

# Análisis de los efectos agudos de la competición en judo

Análisis multiparamétrico

Autor:  
Eduardo Carballeira Fernández

---

Tesis Doctoral UDC  
2015

Directores:  
Eliseo Iglesias Soler  
Xurxo Dopico Calvo

Departamento de Educación Física e Deportiva



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



D. ELISEO IGLESIAS SOLER y D. XURXO DOPICO CALVO, ambos Doctores en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y profesores titulares del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de A Coruña.

HACEN CONSTAR:

Que el Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte D. EDUARDO CARBALLEIRA FERNÁNDEZ, ha realizado bajo su dirección el trabajo titulado “ANÁLISIS DE LOS EFECTOS AGUDOS DE LA COMPETICIÓN EN JUDO: ANÁLISIS MULTIPARAMÉTRICO”, el cual reúne todas las condiciones para ser defendido y optar al grado de Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte: Avances e Investigación.

Y para que así conste, lo firman en A Coruña, a 7 de septiembre de dos mil quince.

Fdo. Dr. Eliseo Iglesias Soler

Fdo. Dr. Xurxo Dopico Calvo



## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis doctoral se ha podido llevar a cabo gracias al esfuerzo y compromiso de mis directores de tesis, el Dr. Eliseo Iglesias Soler y el Dr. Xurxo Dopico Calvo. Eliseo, gracias por tu profesionalidad, humildad y compromiso, desde el inicio de la tesis y durante todas sus fases he tenido todo tu apoyo y comprensión. Me has enseñado a no quedarme en la superficie del conocimiento al abordar cualquier duda que pudiera surgir. La realización de una tesis doctoral es un proceso complejo que requiere dominar diversos aspectos relacionados con la investigación, y creo que Eliseo me has sabido guiar perfectamente en mi proceso de aprendizaje de cada uno de ellos. Xurxo, trabajando a tu lado he comprendido que hacerse buenas preguntas es más importante que tener buenas respuestas, gracias por hacerme pensar, por enseñarme a dar un paso atrás para observar las cosas en su globalidad.

Quiero agradecer también a mis compañeros doctorandos (algunos ya doctores) Tania, Dan, Xián, Vero, Jorge, Elena y en especial a Popi por las horas que hemos compartido juntos y los debates, no siempre sobre ciencia, que hemos tenido. Para mi ha sido una época especial donde he aprendido mucho a vuestro lado.

Además, agradezco el esfuerzo y apoyo que han prestado para que esta tesis doctoral llegara a buen fin mis amigos y judocas Eloy, Nico y Luis. También quiero extender mi agradecimiento a mis alumnos del Judo Club UDC por su comprensión y apoyo durante todos estos años.

Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración de todo el personal de la Facultad de Ciencias del Deporte, pero en especial

quiero agradecer a María (biblioteca) y Domingo (vigilancia) su paciencia conmigo.

He de agradecer la colaboración de los judocas de la Federación Gallega de Judo y D.A. que han participado en este estudio, y en especial el apoyo recibido del presidente de nuestra Federación, D. Mario Muzas Cobo.

Por último, y no menos importante, quiero agradecer a mis padres que en cada objetivo que me he marcado me han mostrado su apoyo incondicional. Ellos han sido mi ejemplo a seguir, un ejemplo de esfuerzo, sacrificio y superación personal.

A Mi hermana, me ha enseñado con su ejemplo el camino del trabajo, constancia y valentía.

A Marta lo hace todo más fácil. Su alegría me ha ayudado en las situaciones más difíciles.

*A quienes siempre están ahí, mis padres y mi hermana.*

*A mi Marta, mi compañera.*

*A ti.*

"Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes"

*Bernardo de Chartres, s.XII*

*Isaac Newton, 1675*

*Google Académico, s.XXI*



## RESUMEN

El judo es un deporte de combate con esfuerzos intermitentes y de alta intensidad, en el que muchos atributos físicos son necesarios para lograr el desarrollo técnico-táctico óptimo y conseguir el éxito competitivo. La fuerza y el mantenimiento de esta en el tiempo son considerados factores predictores del rendimiento en este deporte. En una competición de judo, los deportistas deben participar en varios combates con un período de recuperación que decrece progresivamente entre ellos (i.e. sistema de eliminatoria), y disponiendo de un tiempo de recuperación mínimo de 10 minutos entre las luchas (Art. 10; FIJ, 2014). El esfuerzo de alta intensidad que caracteriza al combate de judo se repite sucesivamente en condiciones fisiológicas y metabólicas desfavorables. El presente trabajo tuvo como objetivo valorar los efectos de la competición de judo en la producción de fuerza y en la estabilidad, y su relación con las variables fisiológicas y metabólicas. Los resultados mostraron una mayor demanda cardiovascular hacia el final del combate y de la competición. También se encontró una participación glucolítica menor, una peor capacidad de remoción, una peor recuperación cardíaca y un impacto mayor en la regulación autonómica del corazón en los últimos combates. Esta situación fisiológica y metabólica se asoció con la pérdida de rendimiento en la capacidad de producir fuerza y la pérdida de estabilidad post-combate. Esta información puede ser de gran ayuda para los entrenadores y fisiólogos en orden de mejorar el diseño de entrenamientos de judo.

**Palabras clave:** fuerza, estabilidad, frecuencia cardíaca, recuperación cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, competición de judo, sistema eliminatoria, fatiga.



## RESUMO

O judo é un deporte de combate con esforzos intermitentes e de alta intensidade, onde moitos atributos físicos son necesarios para acadar o desenvolvemento técnico e táctico ideal e obter o éxito competitivo. A forza e a capacidade de manter esta no tempo son considerados preditores do rendemento neste deporte. Nunha competición de judo, os deportistas deben participar en varios combates cun período de recuperación que decrece progresivamente entre eles (i.e. sistema knockout), e tendo un tempo mínimo de recuperación de 10 minutos entre as loitas (Art.10; IJF, 2014). O esforzo de alta intensidade que caracteriza ao combate de judo é repetido sucesivamente en condicións fisiolóxicas e metabólicas desfavorables. O presente estudo ten como obxectivo avaliar os efectos da competición de judo na produción de forza e estabilidade, e a súa relación coas variables fisiolóxicas e metabólicas. Os resultados mostraron maior demanda cardiovascular ao final do combate e da competencia. Menor participación glucolítica, menor capacidade de eliminación de lactato sanguíneo, peor recuperación cardíaca e un maior impacto na regulación autonómica do corazón nos últimos combates. Este estado fisiolóxico e metabólico asociouse coa perda de rendemento na capacidade de producir forza e a perda de estabilidade post-combate. Esta información pode ser útil para os adestradores e fisiólogos, a fin de mellorar o deseño de adestramentos de judo.

**Palabras chave:** forza, estabilidade, frecuencia cardíaca, recuperación cardíaca, variabilidade da frecuencia cardíaca, competición de judo, sistema de cualificación, fatiga.



## ABSTRACT

Judo is a high-intensity intermittent combat sport, in which many physical attributes are necessary to achieve optimal technical-tactical development and competitive success. Strength and strength endurance are considered potential predictors of judo performance. In a judo competition, athletes should participate in several bouts interspersed with a recovery period that decreases progressively (i.e. knockout system), and having a minimum recovery time of 10 minutes between fights (Art. 10; IJF, 2014). High intensity effort that characterizes the judo bout is repeated successively in unfavourable physiological and metabolic conditions. This study aims to assess the effects of the judo competition in the strength and stability, and its relationship with the physiological and metabolic variables. The results showed greater cardiovascular demand towards the end of combat and competition. Less glycolytic participation, poorer removal capacity, a worse cardiac recovery and a greater impact on the autonomic regulation of the heart in the latest fighting was also found. This physiological and metabolic state associated with yield loss in the ability to produce force and loss of post-combat stability. This information can be helpful to coaches and physiologists in order to improve the design of judo training.

**Keywords:** strength, stability, heart rate, lactate, heart rate recovery, heart rate variability, judo competition, knock out system, fatigue.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción, justificación y propósito.....</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>Índice de tablas y figuras.....</b>	<b>33</b>
2.1	Tablas .....	33
2.2	Figuras .....	37
<b>3</b>	<b>Marco teórico .....</b>	<b>43</b>
3.1	Efectos cardiovasculares y metabólicos del esfuerzo en judo	43
3.1.1	Perfil fisiológico de los judocas .....	43
3.1.2	Fisiología del combate y de la competición de judo.....	44
3.2	La fuerza en judo .....	58
3.2.1	La curva fuerza-tiempo dinámica: el salto con contramovimiento (CMJ).....	67
3.2.2	La curva fuerza-tiempo estática: le evaluación isométrica	69
3.2.3	Evolución de diferentes manifestaciones de fuerza en la competición en judo.....	70
3.3	El control postural en judo .....	72
3.3.1	Importancia del control postural en el deporte.....	72
3.3.2	El control postural en judo .....	78
3.3.3	Efecto de la fatiga en el control postural .....	82
<b>4</b>	<b>Material y método: muestra y procedimiento .....</b>	<b>85</b>
4.1	Muestra.....	85
4.2	Procedimiento .....	86
<b>5</b>	<b>Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas.....</b>	<b>93</b>
5.1	Objetivos.....	93
5.1.1	Objetivos generales .....	93
5.1.2	Objetivos específicos .....	93
5.2	Hipótesis .....	94
5.3	Material y Método.....	95
5.3.1	Evaluación fisiológica .....	95
5.3.2	Análisis de los parámetros fisiológicos.....	97
5.3.3	Análisis estadístico.....	114
5.4	Resultados.....	117
5.4.1	Evolución del peso corporal a lo largo de la competición 117	
5.4.2	Estructura temporal de los combates .....	117
5.4.3	La frecuencia cardiaca durante la competición.....	118

5.4.4	Evolución de los TRIMPexp a lo largo de la competición	119
5.4.5	Lactato sanguíneo a lo largo de la competición .....	121
5.4.6	Cambios de la FC, la variabilidad de la FC y la complejidad de la FC en reposo por la mañana al despertarse .	124
5.4.7	Evolución del porcentaje de la FC de reserva, de la variabilidad de la FC y de la complejidad de la FC en el combate y la recuperación. ....	126
5.4.8	Correlaciones entre los parámetros fisiológicos y mecánicos.....	131
5.5	Discusión .....	139
5.5.1	Duración de los combates.....	140
5.5.2	La frecuencia cardíaca y los TRIMPexp durante la competición .....	142
5.5.3	Impacto de la competición de judo en la modulación cardíaca autónoma en reposo.....	160
5.5.4	La evolución del porcentaje de la frecuencia cardíaca de reserva, de la variabilidad de la FC y de la complejidad de la FC durante la competición de judo .....	172
5.5.5	La evolución de la recuperación cardíaca a lo largo de la competición .....	190
5.5.6	La asociación entre las variables fisiológicas y metabólicas durante la competición en judo .....	197
<b>6</b>	<b>Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza .....</b>	<b>207</b>
6.1	Objetivos.....	207
6.2	Hipótesis .....	207
6.3	Material y Método.....	208
6.3.1	Evaluación de diferentes manifestaciones de la fuerza ..	208
6.3.2	Análisis de los parámetros mecánicos .....	216
6.3.3	Análisis estadístico.....	223
6.4	Resultados.....	225
6.4.1	Evolución de las manifestaciones de fuerza a lo largo de la competición .....	225
6.4.2	Correlaciones entre las diferentes manifestaciones de la fuerza y las variables fisiológicas y metabólicas.....	236
6.5	Discusión .....	249
6.5.1	La evolución de las manifestaciones de fuerza a lo largo de la competición .....	249

6.5.2	La asociación entre las diferentes manifestaciones de fuerza	261
6.5.3	La asociación entre los efectos de la competición de judo sobre las diferentes manifestaciones de fuerza y el estrés fisiológico y metabólico.	265
<b>7</b>	<b>Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas</b>	<b>267</b>
7.1	Objetivos	267
7.2	Hipótesis	267
7.3	Material y Método	267
7.3.1	Evaluación de la estabilidad estática	267
7.3.2	Análisis de los parámetros estabilométricos	270
7.3.3	Análisis estadístico	273
7.4	Resultados	275
7.4.1	Parámetros Bidimensionales (2D)	275
7.4.2	Parámetros Unidimensionales (1D)	277
7.4.3	Correlaciones entre la estabilidad y las variables fisiológicas	283
7.5	Discusión	287
7.5.1	La evolución de los parámetros bidimensionales a lo largo de la competición en judo	287
7.5.2	La evolución de los parámetros unidimensionales a lo largo de la competición en judo	294
7.5.3	Relación entre la estabilidad y las variables fisiológicas	298
<b>8</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>303</b>
8.1	Conclusiones al estudio 1	303
8.1.1	Conclusiones sobre la evolución de la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo durante la competición	303
8.1.2	Conclusiones sobre el impacto de la competición sobre la modulación autonómica cardíaca	304
8.1.3	Conclusiones sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante los combates y la recuperación	304
8.1.4	Conclusiones sobre la evolución de la recuperación cardíaca a lo largo de la competición	305
8.1.5	Conclusiones sobre la asociación entre las variables fisiológicas y metabólicas durante la competición de judo	305
8.2	Conclusiones al estudio 2	307
8.2.1	Conclusiones sobre la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza	307

8.2.2	Conclusiones sobre la asociación entre las diferentes manifestaciones de fuerza.....	309
8.2.3	Conclusiones sobre la asociación entre las manifestaciones de fuerza evaluadas y las variables fisiológicas y metabólicas....	310
8.3	Conclusiones al estudio 3 .....	311
8.3.1	Conclusiones sobre la evolución de los parámetros estabilométricos a lo largo de la competición.....	311
8.3.2	Conclusiones sobre la asociación de la estabilidad con las variables fisiológicas y metabólicas.....	312
<b>9</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>313</b>
<b>10</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>355</b>
10.1	Anexo 1. Hoja informativa para el participante .....	355
10.2	Anexo 2. Consentimiento para la participación en el estudio 360	
10.3	Anexo 3. Protocolo de calentamiento .....	362
10.4	Anexo 4. Hoja de seguimiento de la evaluación .....	363

## ABREVIATURAS

- 1D: unidimensional
- 2D: bidimensional
- 2FIN tramo correspondiente a los 2 minutos finales del combate
- 2INI tramo correspondiente a los 2 minutos iniciales del combate
- 2REC tramo correspondiente a los 2 minutos de recuperación post-combate
- AP: eje antero-posterior en la medición de la estabilidad postural
- ApEn: entropía aproximada
- AR: técnicas autorregresivas
  - art. artículo
- BC: balanceo corporal
  - C1 combate 1
  - C2 combate 2
  - C3 combate 3
  - C4 combate 4
- CDG: centro de gravedad
- CDM: centro de masas
- CDP: centro de presiones
- CEA: ciclo de estiramiento-acortamiento
- CEA95%: área de la elipse que delimita el 95% de los datos
- cm: centímetro
- CMJ: salto con contramovimiento, del inglés *countermovement jump*
- CMJh altura alcanzada en el salto con contramovimiento
- CV: coeficiente de variación
- dL: decilitro
- DM: dinamometría manual
- DMD: dinamometría de la mano dominante
- DMND: dinamometría de la mano no dominante
- DT: desviación típica
  - e.g.: por ejemplo, del latín *exempli gratia*
- ECG: electrocardiograma
- esp. especialmente
- etc. etcétera
- FC: frecuencia cardíaca

- $FC_{max}$ : frecuencia cardiaca máxima  
 $FC_{med}$ : FC media  
 $FC_{res}$ : frecuencia cardiaca de reserva  
FFT: transformada rápida de Fourier  
h: hora  
HF: alta frecuencia, del inglés *high frequency*  
Hg: mercurio  
Hz: hercio  
i.e.: es decir, del latín *id est*  
IC95% intervalo de confianza al 95%  
iCV: coeficiente de variación de los últimos 6 segundos de la producción máxima de fuerza isométrica en cada prueba  
iETS90: empuje isométrico en tendido supino  
IJF: federación internacional de judo, del inglés *International Judo Federation*  
IMPFI: impulso isométrico de fuerza durante los 8 segundos de contracción  
iS135: sentadilla isométrica  
iTDF<sub>med</sub>: tasa de desarrollo de fuerza media: desde inicio hasta el pico de fuerza  
iTTP90: tracción isométrica en tendido prono  
kg\*m<sup>-2</sup>: kilogramo por metro cuadrado  
kg: kilogramo  
km: kilómetro  
L: litro  
LA: concentración de lactato sanguíneo  
LAre: remoción de lactato sanguíneo en sangre  
LF/HF: proporción de baja frecuencia/alta frecuencia, del inglés *low/high frequency ratio*  
LF: baja frecuencia, del inglés *low frequency*  
m: metro  
MDISPL<sub>COP</sub> Promedio del desplazamiento en el eje X (ML) y en el eje Y (AP) del CDP  
MET: equivalente ventilatorio, del inglés *metabolic equivalent task*  
MIF: media de la fuerza isométrica  
min: minuto  
mL: mililitro  
ML: eje medio lateral en la medición de la estabilidad postural  
mm: milímetro

- mmol\*L-1: milimoles por litro
- MRD: promedio de desplazamiento radial en cm
- MRDSD: desviación estándar del MRD
- ms: milisegundo
- MVC: contracción máxima voluntaria, del inglés *maximal voluntary contraction*
- MVEL: velocidad media del desplazamiento del CDP
- N: newton
- N\*kg-1 : newton por kilogramo
- N\*m: newton por metro
- PA: presión arterial
- PAD: presión arterial diastólica
- PAS: presión arterial sistólica
- PCr fosfocreatina
- PIF: pico de la fuerza isométrica
- ppm: pulsaciones por minuto
- PPR: potencia pico relativa medida en un test Wingate
- rec: recuperación
- RF: frecuencia rotacional
- RFC: recuperación de la frecuencia cardíaca
- RM: repetición máxima
- RMSSD<sub>COP</sub>: Raíz cuadrática media de las sucesivas diferencias entre las posiciones consecutivas del CDP en el eje X (ML) y en el eje Y
- RMSSD: raíz cuadrática media de los cuadrados de las diferencias de intervalos normales adyacentes, del inglés *square root of the mean squared differences of successive normal to normal intervals*
- RPE: ratios de percepción subjetiva del esfuerzo, del inglés *ratios of perceived exertion*
- RR: intervalo de tiempo entredos contracciones ventriculares (i.e. ondas R sucesivas)
- RSA arritmia respiratoria sinusal, en inglés *respiratory sinus arrhythmia*
- s: segundos
- S: área de la elipse formada por SD1 y SD2
- SamEn: entropía muestral
- SBR sensibilidad barorrefleja
- SD<sub>COP</sub>: Desviación estándar de la posición en el eje X (ML) y en el eje Y (AP)

- SD1: variabilidad de la frecuencia cardiaca a corto plazo
- SD2: variabilidad de la frecuencia cardiaca a corto y largo plazo
- SNA: sistema nervioso autónomo
- SNC: sistema nervioso central
- SNP: sistema nervioso parasimpático
- SNS: sistema nervioso simpático
- SRA: sistema renina-angiotensina
- STFT: transformación de Fourier a corto plazo
- TDF: tasa de desarrollo de fuerza
- TP: potencia total ó varianza de todos los intervalos RR
- TRIMPs: impulsos de entrenamiento
  - u.a. unidades arbitrarias
  - u.n. unidades normalizadas
- VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca
- VFCcomb: variabilidad de la frecuencia cardíaca en el combate
- VFC<sub>rec</sub>: variabilidad de la frecuencia cardíaca en la recuperación
- VFC<sub>rep</sub>: variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo supino al despertarse
- VLF: potencia absoluta en la banda de muy baja frecuencia
- VO2: consumo de oxígeno
- VO2<sub>max</sub>: consumo máximo de oxígeno
- VO2<sub>pico</sub>: consumo pico de oxígeno
  - vs. del inglés versus, significa en contra o comparado con.
- VT1: primer umbral ventilatorio, del inglés *first ventilatory threshold*
- VT2: segundo umbral ventilatorio, del inglés *second ventilatory threshold*
- W\*kg-1: watios por kilogramo
- W: watio

# 1 Introducción, justificación y propósito

---

El éxito deportivo depende la capacidad del deportista para producir y mantener altos niveles perceptivo-decisionales, psicológicos, coordinativos y condicionales a lo largo de la competición. La reducción en el rendimiento de alguna de estas habilidades o capacidades durante la realización de un ejercicio o la práctica deportiva es síntoma de fatiga (1). El estudio de los mecanismos causantes de fatiga ha sido de gran interés entre los científicos del ejercicio y del deporte (2–9), pero todavía existe mucha controversia a la hora de dar una definición de fatiga unívoca y de establecer el mejor protocolo para medirla (10). En el contexto deportivo, la fatiga puede entenderse como una reducción del rendimiento y la función muscular inducida por la práctica de la especialidad durante el evento deportivo (1,10). La fatiga y el agotamiento son dos conceptos diferentes. El agotamiento es un punto y final a partir del cual la contracción muscular no es posible, sin embargo la fatiga se define como una reducción gradual que progresa en el tiempo según el ejercicio que la induce. De hecho, la fatiga en cierta medida es un mecanismo de defensa para prevenir daños celulares irreparables (6). Por ejemplo, el lactato, que ha sido considerado durante mucho tiempo culpable de la reducción del rendimiento y que está presente en situaciones de fatiga, ha demostrado ser un importante intermediario en la reparación y regeneración de tejido lesionado (11), tener un papel fundamental en muchos procesos metabólicos que protegen la función muscular (11) e

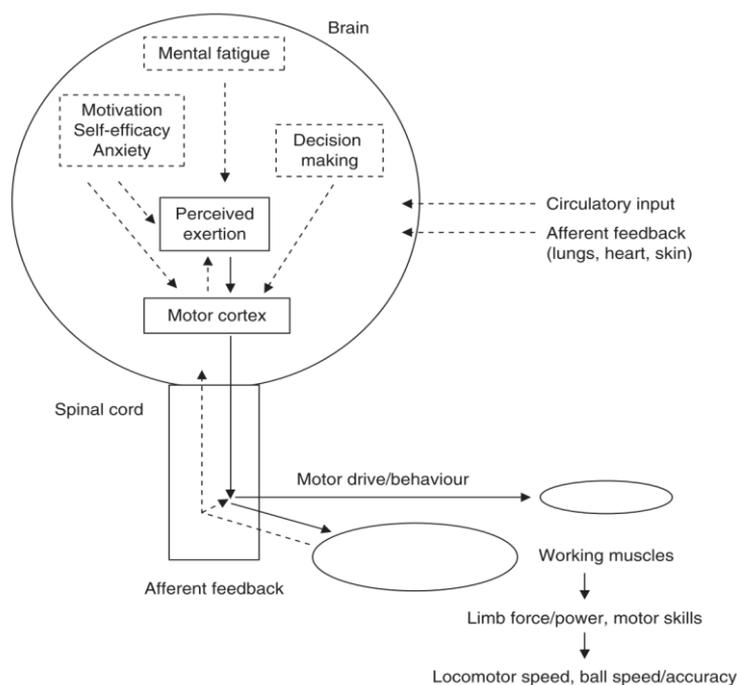
incluso ser un sustrato energético para la utilización por parte del cerebro (8). En el cuerpo humano existen diferentes mecanismos protectores y compensatorios que permiten que el daño de la función muscular producido por la realización de ejercicio o una práctica deportiva pueda llegar a ser catastrófico (6). Estos mecanismos se encuentran a nivel celular (i.e. mantenimiento homeostasis), a nivel muscular (i.e. cambios en los patrones de descarga de potenciales de acción y reclutamiento de unidades motoras), y a nivel de todo un miembro o el cuerpo entero (i.e. activación de músculos sinergistas o la distribución de la carga entre diversos grupos musculares) (1). La comprensión de los mecanismos de fatiga y su control, en las diferentes especialidades deportivas, podría contribuir al aumento del rendimiento deportivo mediante actualización de los métodos de entrenamiento y una adecuación de las estrategias nutricionales.

La fatiga no es un proceso único con un origen común, si no un proceso complejo multifactorial (10). La intensidad del ejercicio y el tiempo que se mantiene son variables que alteran específicamente la capacidad de rendimiento tanto a nivel periférico (i.e. por debajo de la placa motora) como a nivel central (i.e. por encima de la placa motora) (12,13). Un aumento del estrés fisiológico provocado por la modificación de estas variables incrementan gradualmente la sensación de esfuerzo y es específico a la tarea (i.e. en inglés *task dependency*)(14). Es decir, que el tipo de tarea o ejercicio activa diferentes mecanismos que pueden producir varios síntomas de fatiga: reducción de la capacidad de aplicar fuerza a la velocidad demandada, menos distancia recorrida, reducción del rango articular, etc. (1). Incluso un nivel similar de fatiga, por ejemplo, una ligera reducción de la fuerza de

contracción máxima voluntaria, puede ser producido primordialmente por un deterioro a nivel central, como ocurre tras varias horas jugando al tenis, o por fatiga principalmente periférica tras la realización de repeticiones dinámicas con cargas moderadas (i.e. < 50% MVC) en un entrenamiento de fuerza (1,15). En una revisión de Knicker et al (1) sobre los procesos interactivos responsables de la fatiga en el deporte se reportan diferentes síntomas de fatiga en 3 tipos de modalidades deportivas: deportes de equipo, deportes de carreras y deportes de raqueta. Sin embargo, todavía no existen muchos estudios en la literatura científica sobre los síntomas y mecanismos de fatiga en los deportes de combate. En general, los deportes de combate son coordinativamente y condicionalmente complejos, y el éxito en estos deportes depende de multitud de capacidades (i.e. fuerza, potencia muscular, resistencia aeróbica y agilidad) (16–19) y habilidades (i.e. perceptivo-decisionales y coordinativas) (20–24). Estas especialidades deportivas se clasifican como deportes de combate de agarre (v.g. jiu-jitsu brasileño, judo, lucha olímpica y grecorromana), deportes de combate de golpeo (v.g. boxeo, kárate, taekwondo) o deportes de combate mixto (v.g. jiu-jitsu, MMA o artes marciales mixtas) dependiendo del tipo de habilidad que emplean y de sus reglas (25). Como las acciones técnicas que emplean y sus reglas son diferentes es probable que sus requerimientos condicionales y los efectos de la práctica sean diferentes también. El judo actualmente es el deporte de agarre con mayor número de practicantes en todo el mundo y está presente en los Juegos Olímpicos. El judoca tiene que realizar acciones que son coordinativamente complejas para conseguir el éxito antes de la finalización del tiempo de combate (i.e. 5 min de tiempo real más

aprox. 2 min de tiempo sumando todas las pausas (26) y finalizar el combate en tan sólo unos segundos, o en cambio, si al derribar no consiguen la máxima puntuación, pueden continuar en situación de suelo (27). El objetivo en pie es derribar a un adversario de peso similar provocando la pérdida del equilibrio mediante agarres, desplazamientos y acciones defensivas y/o defensivas. En suelo, el judoca deberá intentar controlar el cuerpo del oponente durante un determinado tiempo o conseguir que abandone a través de un control segmentario (i.e. estrangulación o luxación). Tanto las conductas de pie como de suelo requieren altos niveles de fuerza y resistencia para ser mantenidas a lo largo de un combate (28) y más aún durante los combates sucesivos que se disputan en una competición (29). Tradicionalmente se ha intentado extraer información respecto a las capacidades necesarias para el éxito en judo a través de la elaboración de perfiles fisiológicos de los judocas en test de laboratorio (17) o evaluando el rendimiento en tareas que comprenden movimientos específicos y que forman parte del entrenamiento en este deporte (30). Sin embargo, teniendo en cuenta que aunque el rendimiento en estos test seguramente explican en menor o mayor medida al rendimiento en el enfrentamiento, existen otras características de la competición que pueden afectar a la fatiga (Figura 1).

## 1. Introducción, justificación y propósito



**Figura 1.** Modelo propuesto por Knicker et al (1) que representa los posibles mecanismos responsables de los síntomas de fatiga en el deporte. Las líneas intermitentes representan los inputs al sistema desde los centros cerebrales superiores (psicológicos y toma de decisiones), la retroalimentación o feedback aferente (i.e. aferencias desde los músculos activos y otros sitios periféricos) y la retroalimentación o feedback circulatorio. Todo estos inputs en conjunto con la percepción del esfuerzo y las áreas motoras modulan la cascada del comportamiento motor: trabajo muscular, fuerza o potencia de los miembros, habilidades motoras y rendimiento en la habilidad específica.

Una manera de integrar las posibles variables que pueden afectar al rendimiento en la realización específica de una actividad deportiva es la utilización de la simulación de la competición. En este sentido, se ha sugerido que la simulación de la competición satisface la validez externa no alcanzable mediante la realización de test de laboratorio (1). La cuantificación del deterioro de las capacidades condicionales de forma directa durante el enfrentamiento o la competición (i.e. entre 4 a 5 combates en competiciones nacionales y hasta 7 en internacionales)

es una tarea difícil con los medios actuales, sin embargo, la evaluación pre- y post-enfrentamiento puede dilucidar qué manifestaciones de las capacidades evaluadas se han solicitado más durante los enfrentamientos. Existen pocos estudios hasta la fecha que hayan abordado el estudio de la fatiga en judo desde este punto de vista (28,29,31–33), y sólo uno (33) ha evaluado la evolución de la respuesta del miembro inferior y superior; sin embargo, en este estudio no se ha establecido la relación con las variables fisiológicas. Además, en los estudios que han evaluado los efectos de combates sucesivos, la pausa establecida entre combates constaba de un tiempo estable ( $\approx 15$ min), lo cual no describe el transcurso real del sistema de competición en judo. El sistema de eliminación directa se caracterizan por un período de tiempo de recuperación entre los encuentros que disminuye progresivamente a medida que la competición progresa. Esta característica especial produce una mayor densidad del esfuerzo hacia el final de la competición. En ocasiones, esta situación tiene lugar hasta llegar a los combates de semifinales, y se emplaza para un periodo de tiempo mayor (i.e. unas tres horas), el bloque de finales o, lo que es lo mismo, los combates de medalla (i.e. combates para tercer puesto y la final). Hace más de una década, Kraemer et al (34) estudiaron las respuestas fisiológicas y de rendimiento en un torneo de lucha libre simulada con este sistema de eliminación distribuida en dos días (i.e. 3 combates en el día 1, y 2 combates en el día 2). Ellos observaron ciertas disminuciones de rendimiento a lo largo del torneo y los luchadores no alcanzaron una recuperación completa entre los enfrentamientos, incluso en los que se realizan después de un período de descanso de 12 a 15 h desde el combate anterior. Sólo se ha

## 1. Introducción, justificación y propósito

encontrado un estudio llevado a cabo por Muramatsu et al (35) que estudia el esfuerzo dinámico de los judocas emulando los tiempos de recuperación de un atleta japonés durante el Campeonato del Mundo de Judo en 1989. Basándose en los períodos de tiempos de recuperación registrados, estudiaron la evolución de la potencia máxima en 4 combates que duraban 5 minutos de ejercicio máximo intermitente en cicloergómetro (10 veces x 10 seg de trabajo: 20 seg rec), intercalados con un descanso decreciente de 60, 30 y 15 min entre 1°-2°, 2°-3° y 3°-4° combates respectivamente. Estos autores reportaron una disminución de la potencia pico a medida que progresan los combates. Por consiguiente, parece que la duración del descanso entre esfuerzos de lucha puede ser insuficiente para lograr un estado homeostático (34), lo cual influye en el rendimiento posterior (34,36). Este formato de competición simulada parece ser un buen punto de partida para el estudio fisiológico de la competición de judo actual y para el análisis de la magnitud del estrés debido a la acumulación de esfuerzos.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar los efectos de la competición en judo sobre variables fisiológicas, sobre la respuesta del control postural y el efecto sobre diferentes manifestaciones de la fuerza en el miembro superior e inferior. Además, se estudiarán las relaciones entre todas las variables evaluadas. Los resultados de la presente tesis pueden aportar información que ayude a la planificación y diseño de estrategias para reducir los efectos de la fatiga en los judocas ante esfuerzo específicos (i.e. métodos de entrenamiento o suplementación nutricional). Además, puede servir de base para construir herramientas de evaluación que puedan servir a fisiólogos y a

los entrenadores para tomar decisiones cuando están controlando la evolución de la condición física de los judocas dentro de la temporada y mejorar la planificación y diseño de tareas de entrenamiento que busquen disminuir los efectos de la fatiga específica.

Para abordar el objetivo perseguido, se explica a continuación la estructura del presente documento:

- En un primer lugar se expondrán, en el marco teórico, las investigaciones llevadas a cabo hasta el momento sobre la evaluación de las variables fisiológicas y metabólicas durante el enfrentamiento en judo (sección 3.1), y los requerimientos de fuerza (sección 3.2) y control postural (sección 3.3) en este deporte.
- En la sección 4 del documento se explica el procedimiento general, así como la características de la muestra empleada. Cada experimento evaluaba a dos judocas que realizaban un simulacro de competición compuesto por 4 combates. Durante el simulacro se evaluaban variables fisiológicas y metabólicas, diferentes manifestaciones de fuerza del miembro superior e inferior, y la estabilidad de los judocas. El material y método empleado en cada evaluación se explicará dentro de cada uno de los apartados denominados “estudios”.
- En las secciones 5, 6 y 7 se explicarán los objetivos específicos, las hipótesis, los protocolos de evaluación y el análisis de las variables de cada tipo de evaluación, los resultados y la discusión del estudio 1 (i.e. variables fisiológicas y metabólicas), del estudio 2 (i.e. variables relacionadas con diferentes manifestaciones de la

## 1. Introducción, justificación y propósito

fuerza) y del estudio 3 (i.e. variables relacionadas con la estabilidad de los judocas después del enfrentamiento).

- En el apartado 8 se expondrán las conclusiones específicas de cada uno de los estudios y una conclusión general.
- Finalmente, en el apartado 9 se podrá consultar la bibliografía empleada para la elaboración del marco teórico y la discusión. Y en el apartado 10 se adjuntan los anexos a los que se hace referencia en el texto.



## 2 Índice de tablas y figuras

---

### 2.1 Tablas

<b>Tabla 1.</b> Características de la muestra .....	86
<b>Tabla 2.</b> Explicación de las variables fisiológicas analizadas. ....	112
<b>Tabla 3.</b> Peso corporal en Newtons de los judocas a lo largo de la competición. ....	117
<b>Tabla 4.</b> Duración de los combates en segundos.....	118
<b>Tabla 5.</b> Dominio tiempo, frecuencia y análisis no lineal de la VFC en reposo. ....	125
<b>Tabla 6.</b> Evaluación de la VFC y los índices de la complejidad de la FC a lo largo de la competición. ....	129
<b>Tabla 7.</b> Delta porcentual de los parámetros de la VFC (no lineal, dominio de tiempo y dominio de frecuencia) y de la complejidad de la FC en reposo. ....	132
<b>Tabla 8.</b> Parámetros promedio de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición de judo.....	133
<b>Tabla 9.</b> Correlaciones entre los deltas porcentuales de las variables fisiológicas medidas en reposo por la mañana inmediatamente después de despertarse. ....	135
<b>Tabla 10.</b> Correlación entre VFC tras despertar por la mañana y los parámetros de recuperación tras cada combate durante la competición. ....	136
<b>Tabla 11.</b> Asociación entre la FC de recuperación (HRR) y la variabilidad de la FC (HRV) durante la recuperación.....	138
<b>Tabla 12.</b> Asociación entre los parámetros fisiológicos a lo largo de la competición. ....	139
<b>Tabla 13.</b> Parámetros cinemáticos y cinéticos calculados a partir de la fuerza vertical registrada por la plataforma en la realización del CMJ. ....	219

<b>Tabla 14.</b> Variables de las evaluaciones isométricas de fuerza .....	222
<b>Tabla 15.</b> Evolución de los valores pico del salto con contramovimiento (i.e. CMJ) a lo largo de la competición de judo...	226
<b>Tabla 16.</b> Evolución de la tasa de desarrollo de fuerza del salto con contramovimiento (i.e. CMJ) a lo largo de la competición de judo...	228
<b>Tabla 17.</b> Evolución de la tasa de desarrollo de potencia del salto con contramovimiento (i.e. CMJ) a lo largo de la competición de judo...	229
<b>Tabla 18.</b> Evolución del pico isométrico de fuerza y el impulso mecánico isométrico a lo largo de la competición de judo. ....	231
<b>Tabla 19.</b> Tasa de desarrollo de fuerza media ( $\dot{TDF}_{med}$ , $N \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ ) en la tracción isométrica a 90°, el empuje isométrico a 90° y la sentadilla isométrica a 135°.....	235
<b>Tabla 20.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates del CMJ. ....	238
<b>Tabla 21.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates del CMJ y la iS135. .....	239
<b>Tabla 22.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates de la iTTP90 y la iS135.....	240
<b>Tabla 23.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates de la iETS90 y el CMJ. ....	241
<b>Tabla 24.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de los valores máximos de altura, potencia, fuerza y velocidad del CMJ, y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición. ....	242
<b>Tabla 25.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de la tasa de desarrollo de fuerza (i.e. TDF) y de la tasa de desarrollo de potencia (i.e. TDP) del CMJ, y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.....	243
<b>Tabla 26.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales en las pruebas isométricas y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.....	245

## 2. Índice de tablas y figuras

<b>Tabla 27.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales en las pruebas isométricas y la media de los índices de la RFC y la VFC durante la recuperación de los combates.....	246
<b>Tabla 28.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de la tasa de desarrollo de fuerza (i.e. iTDF) y de la variabilidad en la producción de fuerza (i.e. iCV) en las pruebas isométricas, y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición. ....	247
<b>Tabla 29.</b> Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de la tasa de desarrollo de fuerza (i.e. TDF) y de la variabilidad en la producción de fuerza (i.e. iCV) en las pruebas isométricas, y la media de la recuperación de la FC y la variabilidad de la FC durante la recuperación de los combates. ....	248
<b>Tabla 30.</b> Variables estabilométricas analizadas .....	271
<b>Tabla 31.</b> Evolución en valor absoluto de las variables estabilométricas bidimensionales (2D) en la prueba de estabilidad en bipedestación con ojos cerrados. ....	276
<b>Tabla 32.</b> Evolución del cambio (% vs. Pre) durante la competición de judo de las variables estabilométricas bidimensionales (2D) en la prueba de estabilidad en bipedestación con ojos cerrados. ....	277
<b>Tabla 33.</b> Correlaciones entre el delta porcentual medio en los parámetros de la estabilidad bidimensional (2D) y los efectos metabólicos y fisiológicos medios de la competición. ....	285
<b>Tabla 34.</b> Correlaciones entre el delta porcentual medio de los parámetros de la estabilidad unidimensional (1D) y los efectos metabólicos y fisiológicos medios de la competición. ....	285
<b>Tabla 35.</b> Correlaciones ( $r$ ) entre el delta porcentual medio de los parámetros de la estabilidad bidimensional (2D) y el efecto fisiológico de la competición de judo (delta porcentual).....	286
<b>Tabla 36.</b> Correlaciones ( $r$ ) entre el delta porcentual medio de los parámetros de la estabilidad unidimensional (1D) y el efecto fisiológico de la competición de judo (delta porcentual).....	286



## 2.2 Figuras

**Figura 1.** Modelo propuesto por Knicker et al (1) que representa los posibles mecanismos responsables de los síntomas de fatiga en el deporte. Las líneas intermitentes representan los inputs al sistema desde los centros cerebrales superiores (psicológicos y toma de decisiones), la retroalimentación o feedback aferente (i.e. aferencias desde los músculos activos y otros sitios periféricos) y la retroalimentación o feedback circulatorio. Todo estos inputs en conjunto con la percepción del esfuerzo y las áreas motoras modulan la cascada del comportamiento motor: trabajo muscular, fuerza o potencia de los miembros, habilidades motoras y rendimiento en la habilidad específica. ....27

**Figura 2.** Control neuro-cardiovascular durante ejercicio: mecanismos centrales y reflejos. Extraído de Smith et al (108). ....53

**Figura 3.** Representación de la evolución temporal de la ejecución de una habilidad de judo evaluada a través de sistema combinado de cámaras infrarrojas y plataformas de fuerzas en las tres fases de la proyección: desequilibrio o kuzushi, preparación o tsukuri y proyección o kake. Extraído de Blais et al (157). ....59

**Figura 4.** Momentos de fuerza (N\*m) resultantes de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera durante el movimiento realizado por uno de los judocas. Extraído de Blais et al (157).....60

**Figura 5.** A: Modelo esquemático del control que ejerce el SNC sobre la postura humana. La información sensorial proveniente de la visión, del órgano vestibular y de los husos neuromusculares es enviada al SNC para ser procesada. Basándose en esta información cinemática el SNC selecciona un apropiado plan de acción y envía comandos motores que producen torques articulares para adaptarse a la situación. B: el control de la postura puede ser modelado a través de un sistema de control basado en la retroalimentación (i.e. feedback en inglés). En el gráfico “Plant” representa el sistema músculo esquelético y el “controller” representa el SNC. Extraído de Kim et al (231).....74

**Figura 6.** Representación esquemática del experimento. Los participantes realizaban un test máximo incremental (TMI) la semana previa a la del simulacro de competición. Además, durante la misma semana del experimento completaban 3 sesiones de familiarización (F1, F2, F3), un día de descanso (DES) previo a la simulación de la

competición. Los participantes realizaron un auto-registro de la FC al despertarse por la mañana en posición de tendido supino, tanto el día de la competición (RRsupino pre), como al día siguiente (12h postcompetición, RRsupino post). ..... 88

**Figura 7.** Disposición del material para la evaluación. CMJ: salto con contramovimiento; iETS90: acción de empuje isométrico en posición de tendido supino con flexión de codos de 90°; iTTP90: acción de tracción isométrica en posición de tendido prono con flexión de codos de 90°; iS135: acción de extensión de piernas isométrica en bipedestación con flexión de rodillas de 135° ..... 89

**Figura 8.** Esquema del simulacro de competición. Pre: precombate; Post: postcombate; LA: lactato sanguíneo al minuto 1 y 3 después del combate; RFC (2min): registro de la recuperación de la frecuencia cardiaca durante 2 minutos; 2REC: registro FC durante los 2 minutos de recuperación. .... 91

**Figura 9.** Detalle de la colocación del monitor cardiaco en el cinturón. .... 97

**Figura 10.** Parámetros utilizados en la caracterización de la recuperación cardiaca. RFCT30: semilogarítmica de los primeros 30 s; RFC60: delta de la FC transcurrido primer minuto después del combate y la FC final; RFC120: delta de la FC transcurridos dos minutos del combate y la FC final. .... 100

**Figura 11.** A) Gráfico de dispersión del decremento del ritmo cardiaco durante 120 segundos, para el cálculo de la RFCT30 se utilizan 30 seg (zona sombreada 10° al 40°). B) La línea roja del gráfico representa la recta de regresión que se calcula para obtener el valor de la pendiente “m”, siendo la inversa de ésta el valor de la constante de tiempo RFCT30. Además, se muestra el valor porcentual de recuperación que alcanzaría el sistema de mantenerse constante la pendiente, transcurrido el tiempo calculado con la RFCT30. C) y D) Se comparan el cálculo de la constante de tiempo de un mismo sujeto en dos combates (2° y 3°) diferentes del simulacro (elaboración propia)..... 102

**Figura 12.** Representación de la interpretación del análisis de Poincaré (modificado de Guzik et al (293)). RR: intervalo de tiempo entre dos pulsos; SD1: semieje corto de la elipse; SD2: semieje largo de la elipse. .... 107

**Figura 13.** Esquema de funciones del RHRV (297) ..... 110

**Figura 14.** Representación gráfica de los segmentos analizados en un combate con el software RHRV: 2INI (amarillo), 2FIN (turquesa) y 2REC (rojo). Se observa también la representación de las diferentes variables en dominio tiempo, en dominio frecuencia y la relacionada con la complejidad (ApEn)..... 112

**Figura 15.** Frecuencia cardíaca a lo largo de una competición de judo simulada. Los valores son media  $\pm$  desviación típica. \*Diferencias significativas vs. combate 1.  $p < 0,05$ . Abreviaturas: ppm=pulsaciones por minuto; %FCres= porcentaje de frecuencia cardíaca de reserva; %FCmax=porcentaje de frecuencia cardíaca máxima..... 119

**Figura 16.** Impulso de entrenamiento (TRIMPexp) en una competición de judo simulada..... 120

**Figura 17.** Tamaños del efecto (g de Hedges) de la comparación de combates de los TRIMPexp registrados durante una competición de judo simulada..... 120

**Figura 18.** Análisis ANOVA del lactato sanguíneo ‘combate x momento’. \*Diferencias significativas vs. Pre dentro de cada combate ( $p < 0,05$ ). †Diferencias significativas Post3 vs. Post1 dentro de cada combate ( $p < 0,05$ ). §Diferencias significativas vs. combate 1 dentro de cada momento ( $p < 0,05$ ). #Diferencias significativas vs. combate 2 dentro de cada momento ( $p < 0,05$ ). ¥Diferencias significativas vs. combate 3 dentro de cada momento ( $p < 0,05$ ). Los columnas representan los valores medios, y las barras de error las desviaciones típicas. .... 122

**Figura 19.** Evolución de los valores de lactato delta (diferencia pre-post-) a lo largo de la competición. \*Diferencias significativas con combate 1 ( $p < 0,05$ ). †Diferencias significativas con combate 2 ( $p < 0,05$ ). §Tendencia a existir diferencias con combate 1 ( $0,05 > p < 0,1$ ). Los columnas representan los valores medios, y las barras de error las desviaciones típicas. .... 123

**Figura 20.** Remoción del lactato sanguíneo entre  $LA_{post1}$  vs.  $LA_{post3}$ . Los valores son medias y las barras de error son las desviaciones típicas. .... 124

**Figura 21.** Evolución del porcentaje de FC de reserva a lo largo de la competición. .... 127

<b>Figura 22.</b> Índices de recuperación de la FC. *Diferencias significativas con combate 1 ( $p < 0,05$ ). †Diferencias significativas con combate 2 ( $p < 0,05$ ). Los valores son media $\pm$ DT. ....	131
<b>Figura 23.</b> Asociación entre SampEn antes de la competición y en porcentaje de cambio después de la competición ( $\Delta\%$ SampEn). Análisis de Correlación Spearman. ....	137
<b>Figura 24.</b> A) Salto vertical con contramovimiento, CMJ. B) Dinamometría isométrica manual, DM .....	211
<b>Figura 25.</b> A la izquierda el judoca con traje blanco realiza un agarre con su mano izquierda sobre la solapa del adversario, a esta mano se le denomina tsurite (i.e. dominante). A la derecha el judoca de blanco realiza con su mano izquierda un agarre a la manga, en este caso su mano izquierda recibe el nombre de hiki-te (i.e. no dominante). .....	212
<b>Figura 26.</b> Imagen del sistema de medición de la fuerza isométrica del miembro superior. Se destaca el anclaje del transductor extensiométrico (MuscleLab Force Sensor).....	213
<b>Figura 27.</b> Sentadilla isométrica 135° (iS135).....	215
<b>Figura 28.</b> Segmentos del salto analizados: 1. Segmento negativo. 2. Segmento de transición. 3. Segmento positivo. 4. Segmento de despegue. 5. Segmento de caída. (elaboración propia) .....	218
<b>Figura 29.</b> Evolución del cambio porcentual postcombate de la fuerza pico en la evaluación mecánica. Las columnas representan las medias porcentuales respecto al valor pre de cada ejercicio. Las barras de error representan las desviaciones típicas de las medias porcentuales. $\Omega$ Diferencias significativas respecto al combate 1. $\S$ Diferencias significativas respecto al combate 2. $\#$ Diferencias significativas respecto al combate 3.....	233
<b>Figura 30.</b> Evolución de la variabilidad en la producción de fuerza durante la competición en judo. Los columnas representan las medias y las barras de error la desviación típica.....	236
<b>Figura 31.</b> Posición del sujeto sobre la plataforma de fuerzas. ....	269
<b>Figura 32.</b> Estabilograma representativo de la prueba de estabilidad. Pre OC: estabilograma pre-combate con ojos cerrados. Post OC: estabilograma post-combate con los ojos cerrados. ....	270

<b>Figura 33.</b> Evolución, en valor absoluto, del desplazamiento medio (MDISPL) del CDP en la dirección medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).....	278
<b>Figura 34.</b> Evolución del porcentaje del cambio del desplazamiento medio (MDISPL) del CDP respecto a los valores pre-competición (% Pre). Se presentan las dimensiones medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).....	279
<b>Figura 35.</b> Evolución, en valores absolutos, de la desviación estándar (SD) de la posición del CDP en la dirección medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP). ....	280
<b>Figura 36.</b> Evolución del porcentaje del cambio de la desviación estándar (SD) de la posición del CDP respecto a los valores pre-competición (% Pre). Se presentan las dimensiones medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP). ....	280
<b>Figura 37.</b> Evolución, en valores absolutos, de la variabilidad (RMSSD) del desplazamiento del CDP en la dirección medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP). ....	281
<b>Figura 38.</b> Evolución del porcentaje del cambio de la variabilidad (RMSSD) del desplazamiento del CDP respecto a los valores pre-competición (% Pre). Se presentan las dimensiones medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP). ....	282



## 3 Marco teórico

---

### 3.1 Efectos cardiovasculares y metabólicos del esfuerzo en judo

#### 3.1.1 Perfil fisiológico de los judocas

Tradicionalmente, la información sobre las necesidades fisiológicas del combate de judo procedía de datos obtenidos en estudios de evaluación de judocas en pruebas de laboratorio (37–42) o en pruebas inespecíficas en función del nivel (43–45), género (37,46) y categoría de edad (45,47). Como resultado de estas pruebas los judocas de alto nivel han sido caracterizados como atletas con bajo contenido de grasa corporal (excepto los pertenecientes a la categoría del peso pesado). Además, estos deportistas alcanzan altos niveles de fuerza dinámica tanto en el tren inferior como superior, tienen alta capacidad aeróbica en las evaluaciones tanto en tapiz rodante como en bicicleta:  $VO_{2max}^1 = 50-55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y  $VT2^2 = 79-84 \%VO_{2max}$  en hombres, y  $VO_{2max} = 40-45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y  $VT2 = 85-88 \%VO_{2max}$  en mujeres. También, los judocas obtienen valores altos de potencia y capacidad anaeróbica en el test de Wingate con el miembro superior (PPR<sup>3</sup> en hombres = 7.6-11.3 W/kg y PPR en mujeres = 5.7-5.9 W/kg) e inferior (PPR en hombres = 9.6-16.2 W/kg y PPR en mujeres = 8.9-10.7 W/kg). También, han demostrado un elevado nivel de resistencia en diferentes

---

<sup>1</sup>  $VO_{2max}$  consumo máximo de oxígeno (unidades relativas =  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

<sup>2</sup> VT2 es el segundo umbral ventilatorio medido en un test incremental (unidades = en % del  $VO_{2max}$ ).

<sup>3</sup> PPR es la potencia pico relativa medida en un test Wingate (unidades =  $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

ejercicios calisténicos (flexo-extensiones de codo, trabajo de abdominales, repeticiones en el press de banca con cargas sub-máximas)(17).

### **3.1.2 Fisiología del combate y de la competición de judo**

#### **3.1.2.1 Fisiología de un combate de judo**

La fisiología de los combates de judo ha sido estimada mediante el empleo del análisis de la estructura temporal y de los patrones de movimiento para estimar la utilización de las vías energéticas del combate de judo (48–53). Los combates de judo son esfuerzos irregularmente intermitentes que duran entre 3 y 4,5 minutos (26,50,54–56), si se tienen en cuenta los combates que terminan antes de que finalice el tiempo total. Sin embargo, algunos autores caracterizan la duración total de un combate de judo completo, incluido el tiempo de pausa, en aproximadamente 7 min (26,48). Este tiempo total se distribuye entre 7 y 11 períodos de actividad que duran de 18 a 30 segundos, intercalados con períodos de pausa de 9 a 14 segundos (50). En general, el ratio esfuerzo-pausa reportado fue de 2:1 a 3:1 (57), empleando de entre el 49% al 58% del período de actividad principalmente en la disputa del agarre, trabajo que ha demostrado ser metabólicamente muy exigente (49,50). En este sentido, el estudio de la distribución de pausas dentro del combate de judo ha sido empleado para extraer información sobre la bioenergética del combate de judo (48). Estos autores han reportado mayor número de pausas a medida que el combate avanza, y han atribuido este patrón a una decisión voluntaria de los judocas para tratar de disminuir la intensidad

### 3. Marco teórico

relativa con el fin de evitar el agotamiento. Sin embargo, las limitaciones del análisis temporal no permiten llegar a conclusiones sobre la intensidad alcanzada dentro del combate, debido a que los judocas modulan sus acciones para adaptar sus esfuerzos al oponente, y las acciones a la máxima intensidad se intercalan con otras a intensidad submáxima.

El enfrentamiento en judo es una actividad de alta intensidad como lo demuestra la elevada frecuencia cardíaca media (i.e. 85% a 92% de la FCmax) y los elevados valores de lactato en sangre (i.e. de 12 a 18 mmol \* L<sup>-1</sup>), registrados durante y después de los combates de judo respectivamente (28,29,54,58–63). Las habilidades específicas de judo (e.g. los agarres, las proyecciones, y el mantenimiento de posiciones) demandan energía en pequeñas unidades de tiempo (i.e. PCr y contribución glucolítica) durante los períodos de actividad (61,64–68). Estos períodos de actividad no son distribuidos uniformemente dentro del combate (48,51), por lo que los valores medios de FC no pueden informar sobre la evolución del esfuerzo cardíaco en el combate de judo. Bonitch et al (69) reportaron el aumento del ritmo de contracción del músculo cardíaco a medida que transcurría el enfrentamiento. En esta línea, Ahmaidi et al (70) diseñaron un estudio en el que los judocas realizaban combates simulados de 3 min y registraron la FC, el VO<sub>2</sub> y los parámetros respiratorios minuto a minuto. Estos autores informaron del incremento progresivo de la FC (%FCmax para el 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup> y 3<sup>er</sup> min: 70%, 86% y 89%), del VO<sub>2</sub> (%VO<sub>2</sub>max para el 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup> y 3<sup>er</sup> min: 28%, 68%, 78%), del el pulso de oxígeno (ml\*kg<sup>-1</sup>\*pulsación<sup>-1</sup> para el 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup> y 3<sup>er</sup>: 8 ±2, 16 ±4, 18 ±3), del volumen corriente (litros para el 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup> y

3<sup>er</sup>:  $1,3 \pm 0,4$ ,  $1,9 \pm 0,5$ ,  $2,1 \pm 0,5$ ), y de la frecuencia respiratoria ( $\text{ciclo} \cdot \text{min}^{-1}$  1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup> y 3<sup>er</sup>:  $26,9 \pm 8,2$ ,  $33,9 \pm 6,6$ ,  $35,6 \pm 6,6$ ) durante la simulación del combate, lo que sugiere que estos valores pueden ser incluso mayores en competición cuando se completa el tiempo oficial de enfrentamiento. Iglesias et al (71) estudiaron la evolución de los valores relativos de la frecuencia cardíaca ( $\%FC_{\text{max}}$  y  $\%FC_{\text{res}}$ ) minuto a minuto durante dos combates de 5 minutos separados por aproximadamente 15 minutos. Estos autores encontraron una aceleración de los valores de FC hasta el tercer minuto ( $\%FC_{\text{max}}$  y  $\%FC_{\text{res}}$  del 1<sup>er</sup> al 3<sup>er</sup> min: 82% a 92% y 74% a 88%) para posteriormente permanecer estables hasta el final del enfrentamiento en valores cercanos al 92% de la  $FC_{\text{max}}$  ó al 90% de la  $FC_{\text{res}}$ . La alta activación aeróbica hacia el final del combate puede ser la consecuencia de la reducción cada vez más acentuada de los depósitos energéticos y la recuperación incompleta ( $\approx 12$  s) entre períodos de actividad. Esta situación estresante lleva al sistema cardiovascular a trabajar en dos direcciones: oxidando sustratos y llevando a cabo el proceso de recuperación (72). En conjunto, el combate de judo parece ser un esfuerzo de alta demanda metabólica con una gran participación de ambas vías, aeróbica (73) y anaeróbica (17,39).

### 3.1.2.2 Fisiología de una competición de judo

En judo, como en cualquier deporte de combate, existe una gran complejidad a nivel coordinativo y condicional, por esta razón, evaluar en combate es el mejor estímulo para el estudio de la máxima implicación de los sistemas cardiovasculares y neuromusculares de una manera específica (40). Sin embargo, el efecto fisiológico de la

competición de judo no se ha estudiado profundamente debido a que las reglas y el contexto de la competición son cambiantes, y la manipulación de las características de éstas es difícil para ajustarla para introducir evaluaciones controladas.

La competición de judo no es sólo una sucesión de enfrentamientos; los judocas de alto nivel realizan de 4 a 5 combates en el mismo día con el fin de clasificarse entre los cinco mejores competidores (35) con un intervalo mínimo de 10 minutos entre dos encuentros consecutivos (Art. 10.2 de la FIJ, 2014). El análisis de los combates por separado no da mucha información sobre los posibles efectos de la fatiga acumulada en el rendimiento durante el transcurso de la competición. Sorprendentemente, pocos estudios han analizado el sistema real de competición para caracterizar el esfuerzo (i.e. lactato en sangre y/o la frecuencia cardíaca) que los judocas tienen que afrontar (26,29,41–44). Algunos de los resultados encontrados en estudios previos sobre la competición de judo se presentan a continuación.

#### **3.1.2.2.1 Lactato sanguíneo en la competición de judo**

La medición de lactato en sangre (i.e. LA) se ha utilizado desde hace mucho tiempo para estimar la intensidad del esfuerzo en judo (60,78–80), ya que este metabolito informa acerca de la participación de la glucólisis no oxidativa (81). Un número considerable de estudios en la literatura han analizado LA en uno o dos combates consecutivos (36,40,61,77,80,82–84), sin embargo, pocos estudios han abordado el efecto de la competición de judo sobre la evolución del lactato sanguíneo (32,60,75,79), y aún menos estudios han informado de la

evolución de lactato en sangre en un formato de competición oficial (simulada o real) que se caracteriza por el decremento progresivo del descanso entre combates. Sikorski et al (53) llevaron a cabo mediciones de lactato sanguíneo en cuatro combates dentro de una competencia real. Estos autores encontraron un incremento progresivo del LA post-combate ( $10.3 \pm 4.7$ ,  $13.3 \pm 2.0$ ,  $15.9 \pm 1.4$  y  $17.2 \pm 1.9$   $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ). No obstante, en este trabajo se incluyeron combates terminados antes del tiempo límite y los que consumieron los 5 minutos. Por lo tanto, la interpretación fisiológica de la participación glucolítica en el artículo de Sikorski et al (53) es difícil, ya que algunos combates habían sido tan cortos que no habían requerido prácticamente la activación del sistema aeróbico. Por otra parte, otro parámetro empleado para caracterizar el esfuerzo en la competición de judo ha sido la eliminación de lactato en sangre (32,60,75). La capacidad de eliminar lactato en sangre (LAre) ha sido sugerida como una capacidad importante para los judocas, debido a que los combates en una competición se disputan con un tiempo de recuperación mínimo que dura de 10 a 15 minutos (85). A pesar de la falta de evidencia científica de que una mejor capacidad de LAre puede determinar el éxito en judo, estrategias como la recuperación activa que implican aclaramiento metabolito han demostrado aumentar hasta diez veces la probabilidad de ganar un combate (36). Además, LAre es indicador de la eficacia del sistema cardiovascular para eliminar metabolitos, y cambios en la magnitud de este parámetro aportan información de la intensidad del esfuerzo precedente (86). Sin embargo, en la actualidad no hay trabajos que hayan estudiado la evolución de este parámetro a lo largo de una competición de judo lo

que podría ser una valiosa información para el diseño de planificaciones de entrenamiento y para la evaluación de las adaptaciones fisiológicas de los judocas a lo largo de la temporada.

#### **3.1.2.2.2 La frecuencia cardíaca en la competición de judo**

La frecuencia cardíaca (FC) se ha convertido en el método más comúnmente utilizado como indicador de la intensidad del ejercicio en campo (87). Esta variable es muy fácil de obtener y presenta una buena asociación con el consumo de oxígeno, en especial en intensidades submáximas (88,89). Además, la FC se ha sugerido como indicador de la contribución del metabolismo aeróbico durante los esfuerzos de carácter intermitente (90,91).

Como se discutió en la sección 3.1.2.1, un combate de judo exige un alto nivel de trabajo del sistema cardiovascular para satisfacer las necesidades de oxígeno y la energía que demandan los músculos de los judocas. No obstante, como se mencionó anteriormente, una competición de judo no está compuesta por un solo enfrentamiento; curiosamente, en la revisión de la literatura sólo se encontró un trabajo que informaba sobre los valores medios de FC de cada combate y discutía la evolución de FC durante una competencia simulada (92). Estos autores encontraron un incremento significativo de FC del segundo al tercer combate. Sin embargo, este estudio no está exento de limitaciones para interpretar correctamente el esfuerzo cardíaco durante toda la competición, ya que emplean un descanso de 5 minutos entre los encuentros, lo que no se corresponde con el período de descanso mínimo permitido por el reglamento oficial (27). Además, presentaron valores medios de FC de cada combate en términos

absolutos lo que dificulta obtener conclusiones válidas sobre la evolución de la FC durante la competición. Los valores relativos de FC, como porcentaje de la FC máxima ( $\%FC_{\max}$ ) y el porcentaje de FC de reserva ( $\%FC_{\text{res}} = FC_{\max} - FC_{\text{baseline}}$ ), describen con mayor precisión la intensidad cardiovascular alcanzada por los deportistas (93). Sin embargo, la intensidad del ejercicio que reporta el  $\%FC_{\max}$  no indica necesariamente que los deportistas están realizando ejercicio a una intensidad superior a su nivel de reposo y, por esta razón, algunos autores han recomendado el empleo de  $\%FC_{\text{res}}$  como una variable que describe mejor la intensidad de un esfuerzo (93).

El estudio en unidades temporales durante los combates parece ser un buen método para extraer información más detallada sobre el estrés cardiovascular provocado por el enfrentamiento en judo. Por lo tanto, el estudio de la evolución de la FC en términos relativos ( $\%FC_{\max}$  ó  $\%FC_{\text{res}}$ ), teniendo en cuenta no sólo la FC media durante cada combate, sino también las diferentes fases en el combate (i.e. comienzo y final del encuentro) podría aportar una mejor comprensión del esfuerzo realizado en una competición de judo.

### **3.1.2.3 La cuantificación de la carga en judo. La evaluación autonómica cardíaca como herramienta para control de la carga del entrenamiento y la competición.**

#### **3.1.2.3.1 Cuantificación de la carga en la competición de judo**

No hay un “protocolo estándar de referencia” para la cuantificación de la carga de un ejercicio y, por lo tanto, esta cuestión

### 3. Marco teórico

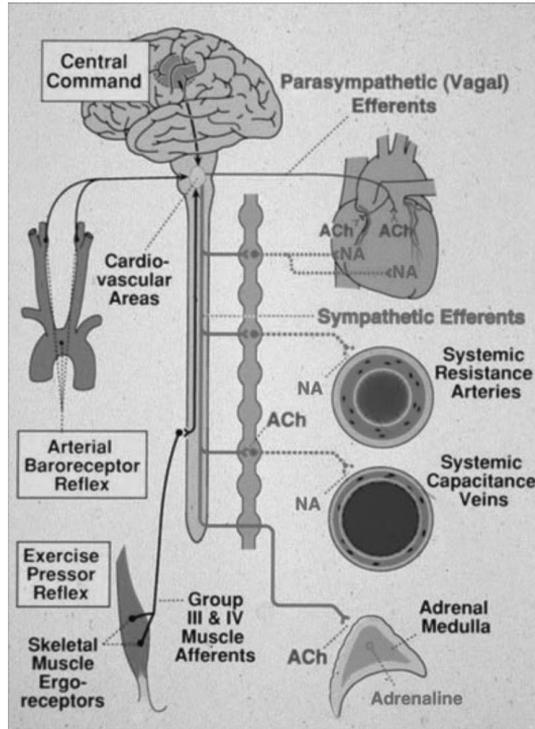
está todavía en debate (94). La carga de la competición de judo se ha estimado a través de parámetros de intensidad como la FC (37), el LA (60), el VO<sub>2</sub> (70) y las escalas de percepción de esfuerzo o RPE (i.e. *rate of perceived effort* por sus siglas en inglés) (59). Sin embargo, estos parámetros de intensidad no siempre son representativos de la carga total de un combate o una competición, ya que la duración de los combates no está predeterminada. Por esta razón, algunos autores modificaron la regla de la puntuación máxima que determina el final del combate (27), con el fin de estudiar el esfuerzo menos favorable que el judoca pueda afrontar (28,29,40,60–62).

No obstante, incluso estableciendo la regla de tiempo completo, los combates siguen sin tener la misma duración, ya que dependerán de la duración de las pausas y, por consiguiente, el uso de un índice de carga que incluya la intensidad y la duración como el impulso de entrenamiento (i.e. *training impulse* o TRIMP por sus siglas en inglés) (95) puede aportar información interesante. La cuantificación con TRIMP ha sido escasamente utilizada en los deportes de combate (96), pero demuestra una fuerte correlación con el esfuerzo percibido después de una competición de kárate. En esta línea, nuevas metodologías han sido propuestas recientemente como herramientas capaces de discriminar entre los niveles de estrés impuestos por diferentes intensidades de ejercicio mediante la cuantificación del impacto sobre el sistema nervioso autónomo (i.e. SNA) a través de la variabilidad de la FC (i.e. VFC) (94,97–102).

### **3.1.2.3.2 Evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo, durante ejercicio y en la recuperación**

Es bien sabido que el SNA regula la homeostasis a través del control no consciente de las funciones viscerales del organismo (103). Se ha demostrado que el SNA ejerce su influencia directamente en el nodo sinusal a través de las ramas simpática y parasimpática (**Figura 2**) (104). Estas aferencias llegan al músculo del corazón produciendo una respuesta variable e irregular en el comportamiento del intervalo RR (105). El estudio de la variabilidad e irregularidad del intervalo RR ha sido empleado para la estratificación del riesgo de padecer alguna enfermedad y, más recientemente, para valorar el estado físico o la carga de entrenamiento (94,106). La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) analizada en reposo ha demostrado ser capaz de reflejar a medio plazo (i.e. dentro de 24 horas después del ejercicio) el estado de recuperación e informar acerca de la adaptación a una sesión de entrenamiento precedente (98,100,107).

### 3. Marco teórico



**Figura 2.** Control neuro-cardiovascular durante ejercicio: mecanismos centrales y reflejos. Extraído de Smith et al (108).

Por otra parte, y según lo sugerido en recientes líneas de investigación, la irregularidad del intervalo latido a latido es esencial para la salud y es un indicador de una buena condición física (109,110). En este aspecto, el análisis de la complejidad de la señal del ritmo cardíaco informa acerca de la flexibilidad del sistema autonómico cardiovascular para adaptarse a factores estresantes internos o externos, tales como el ejercicio (111). Recientemente, Blasco-Lafarga et al (112) reportaron que el aumento de la modulación vagal, representada por valores bajos de FC y valores altos de complejidad de la FC, fueron capaces de predecir el rendimiento y la regulación metabólica (i.e. la producción de lactato en la sangre) en una prueba

específica de judo supramáxima; sin embargo, no hay estudios que hayan abordado la relación entre la VFC y la complejidad de la FC con los efectos fisiológicos de una competición de judo.

El SNA también juega un papel importante durante el ejercicio y en la recuperación a través de la regulación de los cambios en los parámetros cardiovasculares con el fin de suministrar oxígeno a los músculos activos y para preservar la perfusión a los órganos vitales (113). El patrón específico de la modulación neuro-cardíaca a través de las ramas del SNA durante el ejercicio está todavía en debate (114,115). Inicialmente, algunos autores afirmaban que la elevación de la FC y el gasto cardíaco al comienzo del ejercicio estaba mediado en su totalidad por una inhibición vagal casi completa y, a medida que aumentaba la intensidad de trabajo (i.e.  $FC \approx 100 \text{ latidos} \cdot \text{min}^{-1}$ ), la rama simpática era la responsable del incremento de la FC (113,116,117), participando de manera linealmente no concurrente y siendo ramas antagonistas recíprocamente. Recientemente, se ha sugerido que las ramas simpática y parasimpática interactúan y no están relacionadas linealmente; de hecho, parecen presentar un antagonismo recíproco o, mejor dicho, un antagonismo acentuado (118), donde evoluciona el balance simpático-vagal desde una relación de 1:4 en reposo a 4:1 a alta intensidad (i.e.  $175 \text{ latidos} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (115).

Estos autores declaran que no existe una retirada completa de la actividad parasimpática y, por el contrario, la modulación vagal permanece funcionando durante el ejercicio en paralelo a una actividad cada vez más simpática como consecuencia de un reajuste barorreflejo arterial producido por un incremento del comando central (i.e. las

### 3. Marco teórico

señales anticipativas desde los centros superiores del cerebro) y el reflejo vasopresor del ejercicio (i.e. la retroalimentación que se produce al contraer los músculos esqueléticos) (119,120). Por lo tanto, y tras la revisión de estos estudios, se concluyó que durante el aumento progresivo de la carga de ejercicio, la hemodinámica y las respuestas reflejas están directamente relacionados con la intensidad del ejercicio realizado (121,122). Además, en esta línea, el análisis de la VFC durante el ejercicio ha demostrado su eficacia para diferenciar el ejercicio realizado por encima y por debajo de los umbrales ventilatorios (123,124), y discriminar entre el tipo de ejercicio (i.e. combate de judo o combate en cicloergómetro al mismo nivel FC) en base a las diferencias en el patrón de respiración (125).

Tras el ejercicio, el organismo lleva a cabo un rápido cambio en la actividad autónoma para realizar el tránsito hacia el proceso de recuperación. Varios mecanismos contribuyen a aumentar la actividad parasimpática, lo que lleva a una disminución de la FC a pesar de la actividad simpática que permanece activada para disminuir progresivamente más tarde en relación directa con la intensidad del esfuerzo precedente (116,126,127). Con el fin de cuantificar la actividad vagal después del ejercicio, habitualmente se estudia la evolución temporal de la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC), y varios índices calculados a partir de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en diferentes momentos del período de la recuperación (VFCrec) (128–130). Dado que el SNA interactúa con todos los demás sistemas fisiológicos, el estado de este sistema puede dar una indicación global del estado fisiológico de todo el cuerpo (131); por otra parte, algunos factores como la participación neta de energía

anaeróbica (132), o la acumulación de metabolitos estresantes para el sistema (133,134), han demostrado retrasar la recuperación autonómica a corto plazo.

La competición de judo produce un gran estrés cardiovascular, una alta estimulación metabólica (i.e. lactato sanguíneo, amoníaco, hipoxantina, xantina, etc.), aumentos hormonales significativos, y altos valores en las escalas de esfuerzo percibido (57). Es de esperar que los efectos fisiológicos de un combate de judo, o la acumulación de combates sucesivos distribuidos en sistema de eliminatoria, afecten al sistema nervioso autónomo en su función de control sobre el corazón. Blasco-Lafarga et al (112) estudiaron las medidas en reposo de la VFC a corto plazo y la recuperación de la FC (i.e. RFC y VFC en fase de recuperación) después de una prueba de judo supramáxima. Estos autores encontraron que esta prueba de judo específica produce una gran perturbación del SNA. Sin embargo, hasta la fecha no hay estudios que hayan analizado la evolución de la VFC durante y después de los combates de judo. Esta información puede ser utilizada en el desarrollo de nuevos métodos para la planificación de la recuperación después de los combates de judo o del entrenamiento, y la evaluación del impacto de estos en la alteración de la homeostasis (135). La combinación de ambas metodologías de recuperación (i.e. RFC y VFC) informan de la función de los diversos componentes cardiovasculares y proporcionan un indicador válido de la respuesta integral al estrés (132,136).

La modulación del SNA sobre el corazón durante y después del ejercicio ha sido estudiado a través de la VFC desde hace dos décadas

### 3. Marco teórico

(113,114,116,125,129,137–149); sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en la descripción de los ejercicios en estado estable y han analizado la señal de FC con los métodos convencionales como la transformada rápida de Fourier (FFT), o técnicas autorregresivas (AR), en donde las características de los datos deben ajustarse a un comportamiento estacionario. Por lo tanto, estos métodos no se pueden aplicar cuando se produce un cambio brusco de la FC como ocurre inmediatamente después del ejercicio (129). Por esta razón, se ha sugerido que se debe analizar el fragmento estacionario del período de recuperación, que se inicia de tres a cinco minutos después de la finalización del ejercicio (113,124,150–153). Aún así, cierta información se puede perder cuando el análisis de recuperación inmediata no se realiza y cuando se estudian deportes con patrón de actividad intermitente.

El combate de judo se caracteriza por continuas cardio-aceleraciones y cardio-deceleraciones, lo que hace necesaria la utilización de una técnica de análisis de resolución temporal. La transformación de Fourier a corto plazo (STFT) es una técnica de tiempo-frecuencia que se ha empleado con éxito para el estudio de ejercicio y recuperación de combates no estacionarios cortos (94,114,125,133,135,143,144,154). El principio fundamental de STFT consiste en elegir una pequeña ventana temporal suficiente para el análisis de la señal, considerándola como estacionaria (155). De hecho, cuando la señal es estacionaria, ambos métodos espectrales (i.e. FFT y STFT) proporcionaron información uniforme sobre los efectos de la intensidad del ejercicio sobre el control de FC autónoma (136).

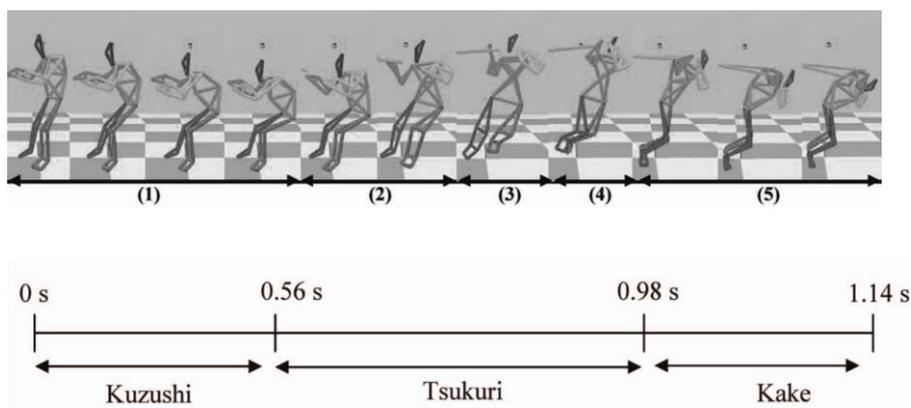
Aunque la evaluación de la VFC durante un estado estable en reposo es atractivo para minimizar los artefactos de los datos y obtener una interpretación más clara, la validez de estos estudios es limitada para sacar conclusiones acerca de los efectos de un esfuerzo. Por esta razón, el estudio de la regulación de la frecuencia cardíaca en el campo, durante el ejercicio y la recuperación, es complejo y no hay estudios en la literatura que hayan estudiado previamente la evolución de la VFC en el judo o en cualquier competición de un deporte de combate.

### **3.2 La fuerza en judo**

El judo es un deporte coordinativamente complejo (24,156) en el que se emplean múltiples habilidades a lo largo de un combate: conductas de agarre, mantenimiento de posiciones, desplazamientos, habilidades de proyección, habilidades de volteo y control en suelo. El grado de resistencia a vencer en cada una de estas habilidades es muy variable, y dependen del estado de inercia del oponente y de la fuerza que éste aplica. En un trabajo en donde se fijaban sensores monoaxiales en el judogi de un judoca al que proyectaban (i.e. giro a dos apoyos o morote-seoi-nage), se pudieron medir las fuerzas de tracción ejercidas en situación sin oposición (64). Estos autores reportaron fuerzas de tracción de  $2.7 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$  sobre el cuello de la chaqueta y de  $2.5 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$  sobre la manga. Estos mismos autores hicieron otro estudio de las tres fases (i.e. desequilibrio o kuzushi, preparación o tsukuri y proyección o kake; véase Figura 3) durante la proyección de la misma habilidad, y analizaron variables cinemáticas

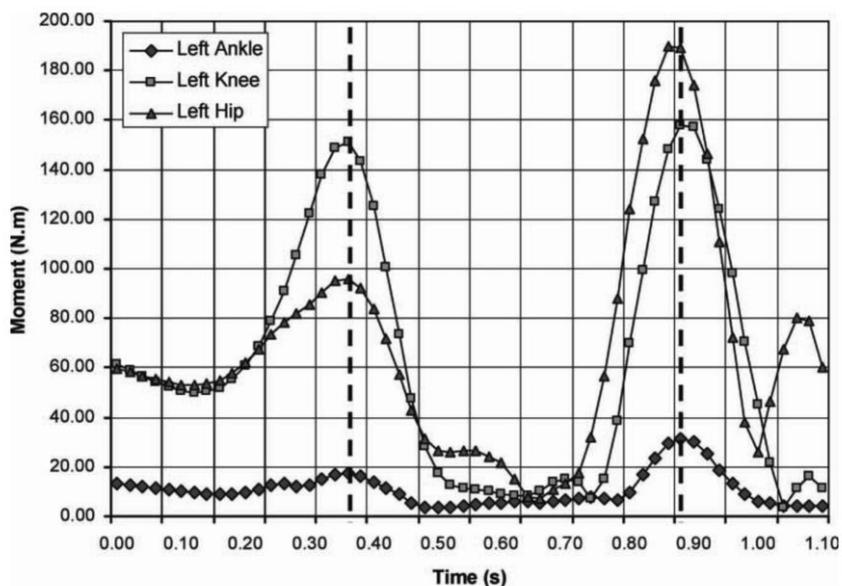
### 3. Marco teórico

(i.e. sistema de digitalización con cámaras infrarrojas) y dinámicas (i.e. plataformas de fuerzas) (157).



**Figura 3.** Representación de la evolución temporal de la ejecución de una habilidad de judo evaluada a través de sistema combinado de cámaras infrarrojas y plataformas de fuerzas en las tres fases de la proyección: desequilibrio o kuzushi, preparación o tsukuri y proyección o kake. Extraído de Blais et al (157).

Los autores de este estudio concluyeron que los momentos de fuerza en el miembro inferior y el tronco eran superiores que a los del miembro superior en todas las fases de la proyección. La fase donde se elevaba al oponente (i.e. tsukuri) fue la que más solicitó el miembro inferior, y especialmente fueron más demandadas las articulaciones de la rodilla y la cadera (Figura 4).



**Figura 4.** Momentos de fuerza (N\*m) resultantes de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera durante el movimiento realizado por uno de los judocas. Extraído de Blais et al (157)

Los autores de otro estudio (158) cuantificaron el impacto de la realización de la habilidad de giro a dos apoyo sobre una plataforma de fuerzas, pero esta vez con apoyo de las rodillas. En este trabajo se registraron incrementos de la fuerza sobre la plataforma de hasta 10 veces el peso corporal. En una situación con oposición estos valores podrían ser mayores por acciones del adversario para evitar ser proyectado, o menores en caso de que el judoca que ejecuta aproveche la inercia del adversario en la dirección y sentido del desplazamiento.

La resistencia a vencer no sólo es una información a tener en cuenta a la hora de analizar los requerimientos de la fuerza en judo, ya que, en cada habilidad deportiva específica existe un tiempo disponible para aplicar la fuerza requerida; toda la fuerza que no se aplique en ese tiempo tendría el mismo efecto que no poseer ese nivel de fuerza

(159). El tiempo disponible para realizar una habilidad de proyección dependerá del tiempo de reacción desde que la oportunidad es percibida por el atacante y del tiempo que el judoca emplea para ejecutar la habilidad (160). Los judocas emplean alrededor de 1 segundo en ejecutar una habilidad de proyección (157,161,162), esta duración es variable ya que, dependiendo de cómo se gestione la preparación de la entrada, este tiempo puede acortarse o alargarse. Por lo tanto, en un periodo muy corto ( $\approx 1s$ ), el judoca deberá vencer una resistencia que variará entre media (miembro superior) y grande (miembro inferior), lo que requiere una capacidad elevada para desarrollar fuerza por unidad de tiempo (i.e. tasa de desarrollo de fuerza, TDF) ante cargas medias y altas.

Las habilidades de proyección ocupan un gran volumen del entrenamiento de los judocas, ya que su eficiente ejecución permite conseguir la máxima puntuación y la victoria en un enfrentamiento. Sin embargo, no es posible aplicar una proyección sin agarre, por lo tanto conseguir un buen agarre es el primer objetivo y uno de los más importantes que debe pretender un judoca. El agarre permite controlar al adversario y no ser controlado, definiendo las posibilidades de ataque y defensa (163). Las conductas de agarre modifican la posición relativa del oponente y ayudan a mantener la propia durante el enfrentamiento. Además, el agarre contribuye a la regulación postural del judoca, sirviendo de punto de apoyo y fuente de información kinestésica sobre los movimientos del oponente (164). El grado de resistencia a vencer en las conductas de agarre no ha sido establecido todavía, sin embargo cabe esperar un rango muy variable ya que

dependerá de la interacción entre los niveles de fuerza y la habilidad coordinativa de los judocas que se enfrenten. Tradicionalmente se ha empleado el test dinamométrico para evaluar la fuerza y resistencia a la fuerza de las conductas de agarre en judocas (29,47,73), pero no sólo los músculos del antebrazo son solicitados en esta habilidad, lo que puede explicar por qué evaluaciones que impliquen toda la musculatura (o gran parte de ella) que participa en el trabajo de agarre sean más adecuadas para la evaluación de la fuerza del tren superior en judo. De hecho, la fuerza máxima isométrica en el test de dinamometría no parece discriminar entre judocas de diferente nivel (165); por el contrario si existen diferencias en una prueba de resistencia a la fuerza basada en tracciones dinámica suspendido en una barra sobre un traje de judo (i.e. judogi) (166). Aproximadamente del 48% al 58% del tiempo de actividad durante un enfrentamiento se emplea en las conductas de agarre (49,167). En cada secuencia de combate la disputa de agarres dura entre  $16 \pm 5$  a  $18 \pm 3$  segundos (49); además, en determinadas ocasiones, la secuencia de lucha continúa con trabajo en suelo, que dura entre 7 y 24 segundos (162), en donde el trabajo de agarre juega un papel fundamental. En todas estas trabajos se destaca la resistencia a la fuerza, y la fuerza máxima como intervenciones condicionales determinantes para el éxito en las conductas de agarre (17).

Las necesidades de fuerza en el enfrentamiento en judo no se limitan sólo a las conductas de agarre y de proyección, si no que existen otras habilidades como los desplazamientos, el mantenimiento de la postura en pie, y el trabajo de la zona media (168) y el miembro inferior, en suelo, que también requieren altos niveles de fuerza. En

### 3. Marco teórico

cada una de estas habilidades se emplean una gran variedad de activaciones: concéntricas, excéntricas, isométricas y la combinación de ellas como el ciclo estiramiento-acortamiento (i.e. CEA). Sin embargo, se ha sugerido que en algunas habilidades predominan más un tipo de activación que otra; por ejemplo, las activaciones isométricas en las habilidades de agarre (17,28,32) y el CEA en las habilidades de proyección (33). Durante el enfrentamiento los judocas adoptan posiciones bajas como medida defensiva (i.e. mejor equilibrio producido por el descenso del centro de gravedad y la ampliación de la base de sustentación) que provocan activaciones isométricas del miembro inferior. De este modo, se originan fases de transición estático-dinámica, o bien acciones de CEA que buscan proyectar desde condiciones de pre-activación. En resumen, podríamos decir que la disputa del agarre durante el combate es mantenida gracias a la resistencia a la fuerza del miembro superior; las acciones de alta intensidad que buscan proyectar están relacionadas con la potencia muscular del miembro inferior; y los movimientos empleados para inmovilizar al oponente implican la fuerza máxima y la resistencia a la fuerza de todo el cuerpo. Por lo tanto, los judocas necesitan desarrollar un amplio repertorio de manifestaciones de la fuerza para ejecutar las habilidades específicas que les permitan obtener éxito en una competición.

Algunos autores sugieren que el nivel de fuerza que posee un judoca es predictor del rendimiento en competición (17,169). En una competición en edad absoluta los deportistas se distribuyen en categorías de peso; existen 7 categorías, tanto en hombres como en mujeres. Los judocas procuran tener un bajo porcentaje graso (i.e.

entre el 7% al 10%), excepto las categorías pesadas que no tienen límite de peso, para así poder disponer de una masa muscular mayor en relación a su peso corporal y conseguir una ventaja ante adversarios más pequeños (170). Por lo tanto, poseer una elevada fuerza relativa es de vital importancia para conseguir éxito en la competición de judo. Como se ha comentado anteriormente, el combate de judo es un esfuerzo en el que se demandan diferentes manifestaciones de la fuerza, por lo que gran parte de los trabajos de investigación se han centrado en estudiar las características neuromusculares de los judocas de alto nivel o élite en comparación con sedentarios, o con judocas de menor nivel (17,25,46,166,171–176). Entre las manifestaciones de la fuerza estudiadas destacamos la fuerza máxima dinámica, la potencia muscular, la fuerza isométrica y la resistencia muscular en ciertos ejercicios empleados habitualmente en el entrenamiento.

La fuerza dinámica máxima ha sido evaluada empleando ejercicios que guardan relación con las características de los gestos específicos en judo (i.e. grupos musculares, tipo de activación, ángulos, etc.): press de banca, remo en banco o máquina y sentadilla (40,73,177–179). En general se encontró que la sentadilla discriminó más entre judocas de nivel, que la fuerza máxima dinámica evaluada con el miembro superior. Una razón que puede explicar este hallazgo es que, independientemente del nivel, todos los judocas están expuestos al trabajo de agarre que estimula el miembro superior, en cambio, la utilización del miembro inferior depende más del carácter ofensivo de los deportistas, siendo en las proyecciones donde más se estimula la adaptación del miembro inferior. Sin embargo, esto no deja de ser especulativo, ya que las adaptaciones también pueden deberse a los

### 3. Marco teórico

métodos no específicos empleados para el entrenamiento de la fuerza; por lo tanto; futuros estudios deberán abordar la causa de estas adaptaciones. También se han empleado máquinas isocinéticas (17,173) que, aunque lejos de la características específicas de las acciones en judo porque evalúan las acciones a una velocidad constante, sirven para detectar desequilibrios musculares. Como norma general, los extensores de los judocas son más fuertes que los flexores, tanto en las extremidades como en el tronco (17). Se ha encontrado que la fuerza de la zona media de los judocas es superior a sujetos sanos control (180), pero, en comparación con los luchadores de lucha olímpica, los judocas poseen menor capacidad de ejercer fuerza en el recto abdominal pero mayor en los músculos oblicuos (168).

Los científicos del deporte se han interesado por la potencia que son capaces de generar los judocas (28,46,80,175,177,181–183). Los judocas de nivel internacional obtuvieron valores mayores en la curva de fuerza-velocidad en la sentadilla con salto que los judocas recreativos, en cambio en la curva del ejercicio de press de banca no hubo diferencias significativas (177). En el salto con contramovimiento (i.e. CMJ) los judocas alcanzan alturas de entre 36 y 58 centímetros (17,28,175,176). Sin embargo, estos datos hay que valorarlos con cautela, ya que los saltos han sido evaluados a través de diferentes sistemas de medida y el valor de las variables es dependiente del dispositivo utilizado (i.e. plataformas de contacto o plataformas de fuerza) (184).

La fuerza isométrica, o fuerza que se aplica sin movimiento articular, tiene un papel fundamental en diversas habilidades específicas en judo. En la literatura científica son numerosos los autores que han medido la fuerza isométrica en judocas (29,32,83,174,179,185,186). La evaluación de la dinamometría manual no presentó diferencias entre zurdos y diestros, ni tampoco entre sexos cuando se expresaba la fuerza en términos relativos al peso corporal en judocas de alto nivel. En cambio, sí existían diferencias entre sexos en fuerza relativa cuando se evaluaban a judocas de un nivel más bajo (17). Se ha sugerido que la lateralidad morfológica no guarda relación con la lateralidad funcional en judo (187), consecuentemente parece más adecuado hacer referencia a la posición del judoca que a su lateralidad morfológica cuando se estudia la fuerza de la dinamometría manual. Por ejemplo un zurdo sería aquel que mantiene su mano izquierda prioritariamente agarrando el tronco del adversario (i.e. mano tsurite) y el pie izquierdo adelantado. La mayoría de los estudios han evaluado la fuerza isométrica de los músculos del antebrazo como parámetro representativo de las conductas de agarre (32), sin embargo, estas conductas dependen del rendimiento de otros grupos musculares (28,83,166,172,182,186,188). Se ha comprobado que la fuerza isométrica manual no ha incrementado en los últimos 40 años, y no existen diferencias en fuerza isométrica manual entre los judocas clasificados como élite y no élite (17). Incluso se ha reportado que los valores pico de fuerza isométrica manual no eran diferentes a un grupo control de estudiantes de educación física que no practicaba ningún deporte regularmente; pero, por otro lado, los judocas sí obtuvieron un ratio de fatiga menor en esta prueba (174). Por lo tanto,

futuros estudios deberán abordar el estudio de la fuerza de agarre en judocas evaluando otras pruebas de fuerza isométrica del miembro superior y analizando otras variables además del pico de fuerza.

Los judocas han demostrado poseer un nivel muy alto en relación a la resistencia a la fuerza en ejercicios calisténicos, como en la realización de contracciones abdominales en tendido supino y las flexio-extensiones de brazo en tendido prono (i.e. percentil 80 a 90) (17). También la resistencia a la fuerza del miembro superior es una característica discriminativa en judocas de diferente nivel (57,166,189).

#### **3.2.1 La curva fuerza-tiempo dinámica: el salto con contramovimiento (CMJ)**

Las características mecánicas de los músculos extensores de las piernas han sido estimadas en diversas disciplinas a partir del análisis de la curva fuerza-tiempo en el test de salto vertical (190). La altura del salto ha sido una de las medidas más comunes para evaluar la potencia muscular del miembro inferior (184,191). Una de las pruebas de salto más empleadas es el CMJ (i.e. *counter movement jump* por sus siglas en inglés), que se caracteriza por un mejor rendimiento en la fase concéntrica comparado al salto sin contramovimiento, por el efecto que el estiramiento previo tiene sobre el reflejo miotático y sobre el componente elástico del músculo (192,193). Se ha sugerido que el ciclo de estiramiento-acortamiento (i.e. CEA) que caracteriza a estos saltos es un buen modelo para estudiar el daño muscular producido por la fatiga de acciones repetidas CEA (194). De hecho, algunos autores han sugerido que a través de la monitorización a través del

análisis del salto vertical, se podrían controlar las respuestas neuromusculares del miembro inferior al esfuerzo realizado en el entrenamiento y en la competición (195–197). El patrón motor del salto tiene ciertas características comunes con los gestos de extensión del miembro inferior en las proyecciones de judo, aunque no es un gesto del todo específico. Se ha reportado que el CMJ se asocia con el número de proyecciones en un test específico de judo extensamente validado (198), y también con el rendimiento en competición (17).

Se han reportado altos índices de replicabilidad del CMJ medido con plataformas de fuerzas ( $ICC = 0.92-0.98$ ,  $CV = 1.3-4.1$ )(199). Las variables más utilizadas para describir el rendimiento en el CMJ son el pico de fuerza, el pico de potencia, el pico de velocidad y la altura alcanzada (184,200). Sin embargo, no existe total consenso en la literatura sobre cuales son las variables que mayor sensibilidad tienen para predecir el rendimiento en un salto vertical (201–203). La forma de las curvas que describen el salto vertical: la curva fuerza-tiempo, la curva velocidad-tiempo y la curva potencia-tiempo, pueden cambiar por efecto del entrenamiento (201,204) y se ha demostrado que cada deporte produce adaptaciones específicas en las variables mecánicas del CMJ (203). Por ello, el estudio de otras variables relacionadas con estas curvas puede describir mejor la evolución del rendimiento del salto a través de un período de entrenamiento (204), o el efecto que ejerce sobre las variables mecánicas del CMJ la fatiga producida por la realización de un ejercicio.

### **3.2.2 La curva fuerza-tiempo estática: le evaluación isométrica**

Tradicionalmente, los test isométricos habían quedado limitados a la evaluación de la fuerza muscular para obtener información sobre las características neuromusculares en procesos de rehabilitación, o para la evaluación de pacientes con patologías que les impedían para la realización de test isoinerciales o isocinéticos (205,206). Además, también han sido ampliamente utilizados en trabajos de investigación por la alta reproductibilidad que poseen tanto en ejercicios monoarticulares como multiarticulares (206). Existe controversia acerca de la idoneidad de los test isométricos para medir cambios en el rendimiento de acciones específicas en diferentes especialidades deportivas, principalmente por sus diferencias en la actividad neural y características mecánicas con los movimientos dinámicos (207,208). Sin embargo, la relación entre test isométricos y acciones dinámicas se fortalece cuando se utilizan ejercicios multiarticulares (200,209,210) y ángulos cercanos al pico de fuerza del ejercicio dinámico de interés (208,211). Adicionalmente, la posición corporal de medida ha de ser similar al ejercicio entrenado para detectar cambios en la producción de fuerza isométrica por unidad de tiempo (212).

Aunque, evidentemente, la evaluación de la fuerza en gestos específicos, o con métodos isoinerciales, posee una validez externa mayor, existen ciertas limitaciones de estos test que pueden ser superadas por los test multiarticulares isométricos. Por ejemplo, en el diseño de un experimento en el que se quiera evaluar diferentes manifestaciones de la fuerza con test isoinerciales habría que utilizar

cargas diferentes para cada manifestación a evaluar (e.g. carga equivalente a la 1RM y a la potencia máxima). Del mismo modo, sería necesario cambiar la carga en cada momento de medición para evaluar una manifestación de fuerza concreta para cada sujeto, lo que dificultaría evaluar a muchos participantes en el mismo experimento. Hay que tener en cuenta que existen especialidades deportivas en donde la fuerza isométrica es importante en la ejecución de habilidades específicas, como ocurre con la lucha libre olímpica (34,213) o en el judo (28).

En una evaluación isométrica se pueden obtener diversas variables, como la manifestación pico de la fuerza isométrica (PIF) o su valor medio durante el tiempo de contracción especificado (MIF) (214), la combinación de intensidad y duración en la aplicación de fuerza a través de la obtención del impulso mecánico (i.e. integral de la curva fuerza-tiempo, IMPIF) (215), la tasa de desarrollo de fuerza (TDF) que expresa la fuerza en unidad de tiempo o fuerza explosiva (216), y la variabilidad en la producción de fuerza isométrica (i.e. *steadiness* en inglés) (217). La replicabilidad es variable-dependiente; por ejemplo, se han reportado valores altos (i.e. ICC > 0,95; CV < 4%) para el PIF, y para las variables relacionadas con la tasa de desarrollo de fuerza se recomienda medir a partir de los 100 milisegundos, cuando se busca una mayor replicabilidad (218)

### **3.2.3 Evolución de diferentes manifestaciones de fuerza en la competición en judo**

La cuantificación de la fuerza que un judoca ha de vencer cuando ejecuta las habilidades específicas durante el enfrentamiento, y el

efecto de la repetición de estas acciones, es una tarea complicada. Sin embargo, existe la posibilidad de evaluar los efectos del combate sobre la producción de fuerza en gestos similares a los utilizados en el combate pero en un contexto más controlado, lo que podría informar sobre aquellas manifestaciones de la fuerza y grupos musculares que han sido más solicitados. En esta línea Iglesias et al (29) diseñaron un estudio en el que evaluaron la fuerza isométrica manual y dos modalidades de salto (i.e. CMJ con carga equivalente al peso del judoca y CMJ con acción de brazos) a 6 judocas en dos enfrentamientos de 5 min separados por 15 min de recuperación. Estos autores encontraron que, después de dos combates, la fuerza en la prueba de dinamometría manual isométrica se redujo en las dos manos y, en cambio, la altura de los saltos no mostró cambios significativos. Estos resultados parecen señalar una diferente sollicitación del miembro inferior y del miembro superior durante los combates. En los últimos años, el estudio de la evolución de diferentes manifestaciones de fuerza a lo largo de sucesivos enfrentamientos en deportes de combate ha suscitado gran interés (28,31–33,219). En estos estudios se han analizado los efectos del combate y la evolución durante 3 o 4 combates sucesivos de la dinamometría manual isométrica (28,32), el CMJ (28,33), de la potencia muscular del miembro inferior a través de la sentadilla realizada con la carga asociada a la máxima potencia (31), de la fuerza en rotación externa e interna del hombro en pruebas isocinéticas y de la evolución de biomarcadores de daño muscular (33). La recuperación entre combates que emplearon estos estudios fue de 15 min, sin embargo, el reglamento en judo especifica que el tiempo mínimo para la

realización de un segundo combate es 10 min (Art. 10.2, (27)). Normalmente, la duración de la recuperación entre combates es cercana al tiempo mínimo hacia el final de la eliminatoria (35), aunque dependiendo de la organización (i.e. varias zonas de competición para una misma categoría de peso) esta situación se puede dar varias veces durante un campeonato. Por lo tanto, parece interesante estudiar el efecto de la competición de judo sobre la evolución de las variables mecánicas con un formato similar a una competición real, es decir recuperaciones decrecientes atendiendo a la distribución de los tiempos en un sistema de eliminatoria, y teniendo en cuenta que el tiempo mínimo de participación entre combates es de 10 min. Un aspecto importante de la evaluación de las manifestaciones de fuerza de los judocas después del enfrentamiento es que se evalúan en unas condiciones fisiológicas determinadas, valores altos de frecuencia cardíaca y de lactato sanguíneo (57), sin embargo, pocos estudios han analizado las asociaciones entre las variables mecánicas y fisiológicas después de enfrentamientos (29,31,32,83).

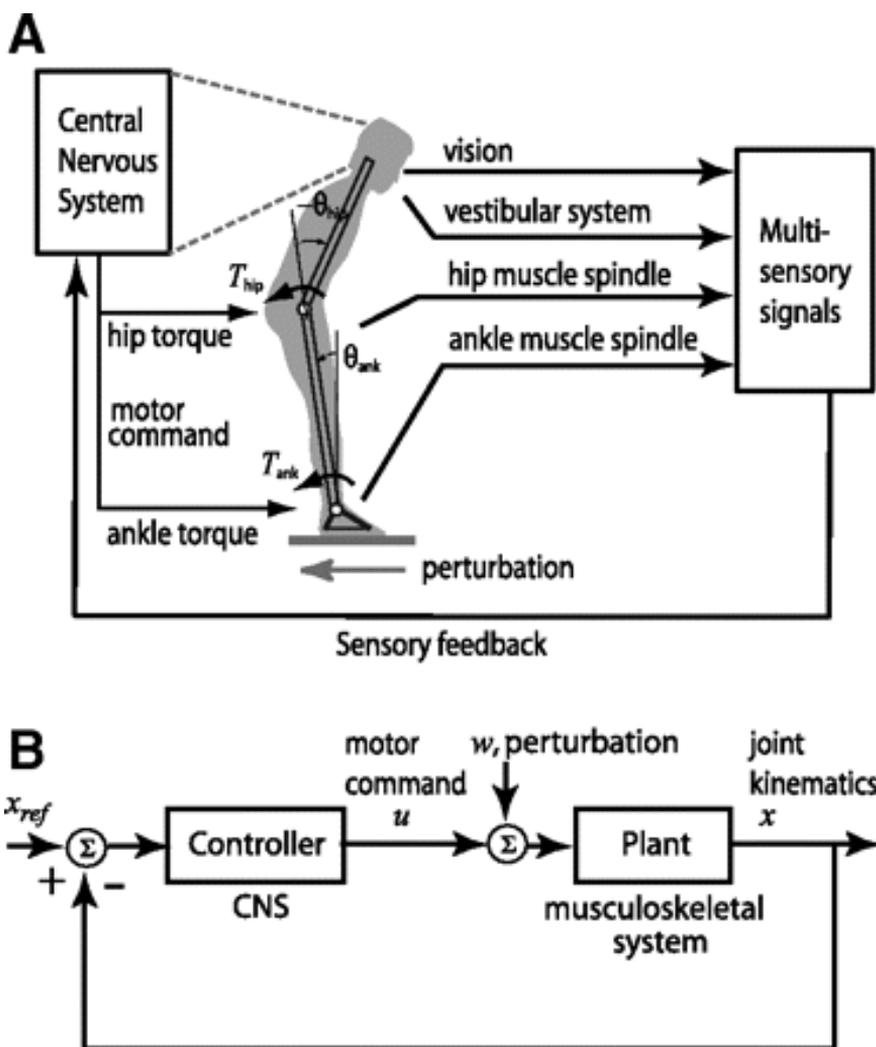
### **3.3 El control postural en judo**

#### **3.3.1 Importancia del control postural en el deporte**

El control postural es una habilidad compleja basada en la interacción de procesos sensoriomotores dinámicos (220). El estudio de los mecanismos responsables del control postural (Figura 5) ha suscitado gran interés en la literatura, ya que su comprensión mejoraría los procesos de prevención, evaluación y rehabilitación de las lesiones (221–225). Por otro lado, un buen control de la postura puede

### 3. Marco teórico

influenciar el rendimiento de algunos deportes, habiéndose demostrado además que la práctica de actividad física mejora la capacidad de mantener una postura (226–230). El control postural comprende dos objetivos funcionales (220): 1) la habilidad de mantener la adecuada relación entre los segmentos del cuerpo, y entre el cuerpo y el ambiente-contexto en una tarea específica (i.e. la orientación en el espacio); y 2) la habilidad de mantener la proyección del centro de masas (i.e. CDM) dentro de los límites de la base de sustentación (i.e. estabilidad).



**Figura 5.** A: Modelo esquemático del control que ejerce el SNC sobre la postura humana. La información sensorial proveniente de la visión, del órgano vestibular y de los husos neuromusculares es enviada al SNC para ser procesada. Basándose en esta información cinemática el SNC selecciona un apropiado plan de acción y envía comandos motores que producen torques articulares para adaptarse a la situación. B: el control de la postura puede ser modelado a través de un sistema de control basado en la retroalimentación (i.e. *feedback* en inglés). En el gráfico “Plant” representa el sistema músculo esquelético y el “controller” representa el SNC. Extraído de Kim et al (231).

### 3. Marco teórico

Múltiples factores pueden influir en la estabilidad de un deportista durante la ejecución de una tarea de su especialidad; entre ellos, los factores biomecánicos y antropométricos (232), el control de la dinámica del CDM (233) en una situación dinámica o estática, y la superficie de apoyo. Para ello, los deportistas utilizan diferentes estrategias de movimiento para estabilizarse a la hora de iniciar una acción voluntaria (234), reaccionar ante perturbaciones provocadas por fuerzas externas inesperadas (235), o anticipar una fuerza desestabilizadora (236). Todas estas acciones son controladas por el sistema nervioso central (SNC) dando un “peso específico” a la información proveniente de los receptores visuales, laberíntico-vestibulares y propioceptivos, y ejecutando una respuesta musculoesquelética adaptada a las características de la situación (234,237).

Entre los métodos utilizados para el estudio de la estabilidad postural se encuentra la cuantificación, mediante plataformas de fuerzas, del balanceo corporal (i.e. BC) (238). A través de estas plataformas se pueden obtener parámetros derivados del desplazamiento del centro de presiones (i.e. CDP). El CDP representa el centro de la distribución de la fuerza total aplicada sobre la plataforma. En posiciones estáticas o en el inicio de la marcha, donde existen pequeñas variaciones del BC, se ha sugerido que el CDP se relaciona de forma lineal con el CDM (233), siempre y cuando se utilice una estrategia de tobillo (i.e. péndulo invertido). Muchos problemas de salud (i.e. lesiones de tobillo, neuropatías diabéticas, enfermedad de Parkinson, etc.) han demostrado producir un aumento del BC (221,227). Además, ciertas situaciones como la fatiga producida por la realización de un ejercicio muscular localizado, por actividad

física general, o un deporte en concreto, producen un incremento del área y la velocidad del BC (228,239–243).

Numerosos autores han sugerido que existen adaptaciones específicas en los mecanismos responsables del control postural (i.e. visión, sistema laberíntico-vestibular y propiocepción) según la actividad deportiva practicada (226–228,230,244–247). Estos estudios han demostrado que los deportistas que practican ciertas especialidades, especialmente la cohorte de alto nivel (226,248,249), desarrollan estrategias sensoriomotoras específicas al control postural durante la práctica de su deporte. Herpin et al (250) compararon a esgrimistas con tiradores olímpicos y un grupo control en un test estático y en el test de organización sensorial. En este último test se evaluaba la respuesta postural a 6 condiciones en donde se combinaban variaciones en la referencia visual y los movimientos de la plataforma. Acorde a que el rendimiento en tiro olímpico depende de mantener una postura estática estable (250), los autores del citado estudio observaron que los tiradores tenían menos BC que el resto de participantes, precisamente en las dos situaciones en las que la plataforma permanecía inmóvil y la referencia visual era estable (i.e. con ojos abiertos y cerrados). En cambio, los esgrimistas obtuvieron mejores resultados que los tiradores y los participantes control en la prueba de plataforma móvil con ojos cerrados, demostrándose una relación entre la naturaleza dinámica de su especialidad deportiva y el rendimiento en pruebas de estabilidad dinámica. En la línea de estos hallazgos, en otro estudio se evaluaba el control postural de tiradores, taekwondistas y participantes control en diferentes pruebas de estabilidad (251). Estos autores evaluaron a los participantes en

### 3. Marco teórico

pruebas con modificación de la información visual (i.e. ojos abiertos y ojos cerrados), la información propioceptiva (i.e. superficie rígida y sobre un hule de espuma) y aplicando una carga cognitiva en una doble tarea, que consistía en responder a un estímulo sonoro para evaluar el tiempo de reacción a la vez que se evaluaba la estabilidad. Los resultados de este estudio mostraron como los tiradores nuevamente obtenían mejores resultados en la posición bidpedal estática, y como se veían menos afectados por la doble tarea en el mantenimiento de esa posición. Por lo tanto, los autores del estudio concluyeron que los tiradores invertían menos atención en mantener una postura con características similares a su especialidad deportiva (i.e. bipedestación). El nivel de especificidad de las adaptaciones puede ser tan preciso que, en un estudio reciente (252), se reportó que no existían diferencias entre ciclistas de carretera y de montaña cuando se les evaluaba la estabilidad con ojos cerrados; sin embargo, los ciclistas de carretera tenían menor BC cuando la información visual estaba disponible. Los autores atribuyeron esta diferencia a una mayor utilización de la información visual en el ciclismo de carretera, siendo el uso de esta información más solicitada en el entrenamiento y competición en esta especialidad del ciclismo. Recientemente se ha realizado un estudio () que comparaba el rendimiento después de un periodo de entrenamiento en dos dispositivos diferentes. Las pruebas utilizadas para la valoración de la respuesta del control postural fueron una prueba de bipedestación estática, y el resultado obtenido en un videojuego específico de cada dispositivo. El entrenamiento consistía en controlar un avatar virtual a través del movimiento del CDM. Los autores encontraron que cada dispositivo mejoró el rendimiento en su

videojuego comparado con el grupo control; sin embargo, no encontraron diferencias en el rendimiento en la prueba estática o un efecto de transferencia en el rendimiento en el videojuego del otro dispositivo. Por lo tanto, de lo expuesto anteriormente se puede deducir que no encontraremos un entrenamiento que sirva para mejorar por sí solo toda la complejidad que el control postural comprende (i.e. efecto de la visión, postura, frecuencia y duración de la actividad). En esta línea, tampoco existe una prueba de evaluación que sirva para valorar todos los aspectos del control postural (220). En una exhaustiva revisión de la literatura, Kiers et al (227) reportaron que la prueba más utilizada en los estudios de estabilidad fue la de bipedestación con ojos abiertos (en 32 estudios de 39 analizados), y la misma prueba pero con ojos cerrados fue utilizada en 25 estudios. Las variables más utilizadas fueron las relacionadas con la velocidad, en 31 estudios, y con el área, en 32 estudios. Además, en 24 de los 39 estudios de esta revisión, se utilizó un tiempo de medición inferior a 60 segundos; en 18 de los 24 estudios, este tiempo fue de 30 segundos o menos.

### **3.3.2 El control postural en judo**

El control postural es muy importante en los deportes de combate, especialmente en los que existe agarre como el judo, la lucha libre olímpica o el sambo (164,229,249,253–255), debido a que el éxito en estos deportes se basa principalmente en preservar el CDM dentro de la base de sustentación que cambia continuamente de tamaño y forma, para desde una posición estable poder ejecutar habilidades específicas y provocar la pérdida del equilibrio del oponente. La regulación

### 3. Marco teórico

voluntaria del CDM en una dirección determinada, implicando incluso movimientos rotacionales (187), es fundamental en la fase de ataque. Simultáneamente, el luchador que recibe un ataque debe mantener la proyección de su CDM dentro de la base de sustentación para no perder el equilibrio y ser derribado en la lucha en bipedestación, o volteado y controlado en la lucha en suelo. El control postural sin influencias externas es ya de por sí una tarea compleja en posición bípeda, ya que la masa que supone la cabeza, brazos, y el tronco (2/3 de la masa corporal total) está situada a una distancia considerable (2/3 de la altura) sobre una base de sustentación relativamente pequeña (233). En deportes de lucha con agarre existe una dificultad añadida puesto que las tracciones y empujes que se ejercen en el miembro superior son una fuente de perturbación desestabilizadora en todas las direcciones: antero-posterior, medio-lateral, rotacional y sus combinaciones. Estas perturbaciones que se reciben sobre el miembro superior llegan a cambiar incluso la estrategia de equilibrio habitual, donde la perturbación tiene origen en el apoyo (i.e. *bottom-to-up* en inglés), hacia una estrategia dónde la perturbación proviene del miembro superior, y ha de ser amortiguada por el tronco y los miembros inferiores (i.e. *up-to-bottom* en inglés) (253,256,257). La fuerza aplicada en prensión manual se ha asociado de forma lineal al aumento del área del CDP como se demuestra en un estudio realizado con jóvenes judocas (258). La dinámica del combate provoca continuos cambios de posición (i.e. paso de pie a tumbado, etc.) y planos de movimiento, aceleraciones y deceleraciones que estimulan de manera importante el sistema laberíntico-vestibular (259), que debe ser integrada conjuntamente con la información proveniente de los otros

sistemas que participan en el control postural (i.e. visual y propioceptivo). Las habilidades de proyección en judo se pueden ejecutar a un apoyo, a dos apoyos o con apoyo de la espalda (24) en un contexto tanto estático como dinámico y con poca disponibilidad de tiempo para percibir cambios y responder adecuadamente. Esta situación de incertidumbre genera una gran cantidad de información, en algunos casos conflictiva (i.e. información visual *versus* información laberíntico-vestibular), que debe ser gestionada en un corto espacio de tiempo por el sistema nervioso central (260). Dentro de toda esta complejidad, cabe señalar que la estabilidad en el enfrentamiento en judo depende de la interacción entre los judocas, sus posiciones relativas (187) y su contra-comunicación a través del agarre, llegando a situaciones en donde el centro de gravedad del sistema (i.e. la proyección del centro de masas) puede situarse fuera de la base de sustentación de uno, o de los dos judocas (164).

En vista de todas las amenazas que la estabilidad del judoca debe afrontar en un combate, no es de extrañar que el estudio del control postural en judo haya suscitado gran interés. Estudios previos han reportado tendencias en la asociación entre la capacidad de control postural del judoca y el rendimiento alcanzado en competición, con una valoración del rendimiento a través de criterios de ranking, y niveles de actividad y efectividad competitiva (20,169). Cuando se compararon cohortes de judocas con grupos control que no practicaban actividad física, se observó que los practicantes de judo alcanzaban mejores resultados y se apoyaban más en la información propioceptiva que los participantes sanos (261). Los judocas tienen mejor rendimiento que los bailarines (254) y que los nadadores (262)

### 3. Marco teórico

en ausencia de información visual, lo que sugiere que se apoyan más en la información vestibular y propioceptiva. Paillard et al (263) encontraron asociaciones interesantes entre los sistemas de ataque y direcciones de caída, y el rendimiento en pruebas de estabilidad. En un estudio con judocas de nivel nacional, se observó que los judocas que practican habilidades a dos apoyos eran más estables en la dirección antero-posterior en un test en bipedestación sobre plataforma móvil que los judocas que ejecutaban con habilidades a un apoyo (263). En un estudio anterior de este mismo grupo los autores observaron que la posición media de las oscilaciones en el eje anteroposterior estaba inversamente relacionada con la dirección de caída de los judocas (264). Estos mismos autores concluyeron que la repetición de una habilidad de proyección en particular probablemente desarrolla habilidades posturales específicas, al observar que los judocas que tenían preferencia por habilidades de proyección a un apoyo obtenían mejores resultados en pruebas de estabilidad a un apoyo, y los que empleaban más habilidades a dos apoyos eran más estables en pruebas estabilométricas a dos apoyos (265). Existe controversia respecto a si la capacidad de control postural en judocas es diferente según el nivel de rendimiento (229,253), lo que parece estar más claro en otros deportes, en donde se ha destacado la mayor habilidad postural de deportistas de alto nivel (247,248,266). Esta controversia puede tener su origen en la baja demanda de algunas pruebas posturales a la hora de discriminar entre niveles de deportistas que por la práctica de su deporte ya poseen un alto nivel en la capacidad de controlar la postura (220), o bien que la falta de estandarización de aquellos aspectos que

influyen en la evaluación de la estabilidad reduzca la sensibilidad de las pruebas de evaluación empleadas (232).

### **3.3.3 Efecto de la fatiga en el control postural**

De la revisión de los estudios mencionados se puede observar que la mayoría de estos trabajos han abordado el control postural en judo a través de análisis comparativos de judocas con deportistas de otras especialidades, con participantes sanos o entre judocas de diverso nivel de rendimiento. Estos estudios describen la estabilidad en esta cohorte y analizan el peso específico de cada fuente de información (i.e. visual, laberíntico-vestibular y sensoriomotora) según las características de la prueba de evaluación. Sin embargo, no se ha encontrado hasta la fecha ningún estudio en el que se estudie el efecto del enfrentamiento en judo de forma aguda sobre la estabilidad. En dos trabajos de revisión Zemková (228,267) señala que el estudio de la respuesta del BC al ejercicio específico es una alternativa más apropiada para valorar la estabilidad de los deportistas, y que puede tener una capacidad predictiva mayor del riesgo de lesión y una mayor sensibilidad para evaluar los efectos del entrenamiento en el equilibrio.

El reajuste rápido a niveles basales de la capacidad de estabilidad después del ejercicio específico de la especialidad deportiva se considera una importante habilidad que puede influir en el rendimiento deportivo (228). La capacidad del complejo sistema postural para disminuir la magnitud del BC a valores basales dependerá del nivel de fatiga producida por el ejercicio en cuestión (240). Paillard (240) señaló, en una reciente revisión, que la fatiga general (i.e. la que implica todo el cuerpo o gran número de grupos musculares)

### 3. Marco teórico

producida por ejercicios de duración corta e intensa incrementa el BC cuando el nivel de energía requerida sobrepasa el umbral de acumulación de lactato. La magnitud de la perturbación inducida por el ejercicio global dependerá de la intensidad y duración del ejercicio, de los impactos que pueda sufrir el deportista durante la realización de la actividad, y del nivel de deshidratación que alcance. Si estos parámetros son lo suficientemente estresantes, el sistema nervioso no podrá compensar la perturbación inducida por los efectos del ejercicio mediante su mecanismo de integración y redistribución de peso específico (i.e. *re-weighting*) (268,269).

En cambio, cuando la fatiga es inducida por la ejercitación de uno o pocos grupos musculares, el BC se ve afectado si la pérdida de fuerza es de, al menos, del 25% al 30% de la contracción máxima voluntaria (240). La magnitud de la perturbación inducida por el ejercicio localizado dependerá de las características de carga del ejercicio (i.e. pérdida de fuerza experimentada, localización de los músculos solicitados, tipo de activación, naturaleza de la contracción y número de músculos solicitados) (240). También, el tipo de test postural utilizado puede modificar la respuesta al ejercicio localizado (i.e. monopodal o bipodal, estático o dinámico, con o sin información visual, etc.), así como las características de los participantes y las condiciones fisiológicas en que realizan la evaluación (i.e. intensidad, duración, nivel de hidratación y la naturaleza de las actividades realizadas 48h antes del test) (240).

El judo es un deporte intermitente de alta intensidad que produce niveles altos de estrés cardíaco (i.e.  $93 \pm 3\%$  de la  $FC_{\max}$ ), gran

acumulación de lactato sanguíneo (i.e.  $13.8 \pm 3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y se ha reportado que la pérdida de fuerza después del enfrentamiento es preferentemente en los miembros superiores, sin afectación a los miembros inferiores (28,31). Sin embargo, no existen estudios que analicen cómo afectan estas condiciones fisiológicas y neuromusculares a la estabilidad post-esfuerzo específico. Sólo dos estudios han analizado la respuesta postural de luchadores (255) y samboistas (270) evaluados tras dos pruebas en cicloergómetro: una prueba máxima de corta duración (i.e. test anaeróbico de Wingate) y una prueba aeróbica de cargas progresivas hasta alcanzar una frecuencia cardíaca de 170 ppm (i.e. PWC170) respectivamente. Estos autores encontraron que el ejercicio en cicloergómetro, máximo y submáximo según el caso, afectaba a la estabilidad de los deportistas de combate. Sin embargo, teniendo en cuenta que las características específicas de la actividad influyen sobre la estabilidad y el reajuste postural, no se puede extraer información válida para diseñar entrenamientos que prevengan o palien el efecto de la fatiga específica del enfrentamiento y la competición en judo sobre el control postural, en base a estudios donde el esfuerzo es inespecífico. Además, mediante el estudio de la asociación del cambio producido en distintas manifestaciones de fuerza y las variables que definen la estabilidad después de un combate o competición de judo, se podría inferir, si existe, cuánto contribuye la fatiga en el sistema neuromuscular a la fatiga del sistema sensoriomotor que regula la postura.

## 4 Material y método: muestra y procedimiento

---

### 4.1 Muestra

Once judocas masculinos españoles participaron en el estudio. Los criterios de inclusión para la selección de la muestra fueron: 1) no padecer ninguna enfermedad y/o lesión que pudiera dificultar la interpretación de los datos (p.e. enfermedades cardiovasculares, trastornos neurológicos, lesiones articulares y/o musculotendinosas); 2) haber participado en competiciones oficiales, al menos de nivel nacional, en los 2 últimos años. Todos los participantes firmaron voluntariamente una hoja de consentimiento informado (Anexo 1 y 2). En el caso de ser menor de edad, además, debía firmar el tutor legal del deportista. El estudio se realizó atendiendo a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki; además, todos los procedimientos llevados a cabo fueron aprobados por el comité de ética de la Universidade da Coruña (UDC).

Las características de los participantes se recogen en la Tabla 1. Tres de ellos eran medallistas internacionales, cinco habían obtenido al menos una medalla nacional en los dos años anteriores a la realización del estudio y tres eran medallistas del sector nacional noroeste de su categoría de peso y edad. Los judocas entrenaban una media de 14 horas semanales. La distribución de la preferencia lateral en el mantenimiento de las conductas de agarre (i.e. mano tsurite o mano axial) era de 6 participantes con predominancia diestro y 5 con predominancia zurdo.

**Tabla 1.** Características de la muestra

	N = 11	Media $\pm$ DT	Mínimo	Máximo
Peso con Judogui (kg)		81 $\pm$ 13	64	106
Altura (cm)		176 $\pm$ 6	167	185
Edad (años)		20 $\pm$ 3	17	25
Experiencia (años)		14 $\pm$ 4	8	19
FC máxima (ppm)		198 $\pm$ 7	189	210
FC basal (ppm)		54 $\pm$ 8	44	68
FC reserva (ppm)		146 $\pm$ 9	130	159

DT: desviación típica.

FC: frecuencia cardiaca.

## 4.2 Procedimiento

En el periodo de una semana se llevaba a cabo la evaluación de 2 participantes de la misma categoría de peso y nivel competitivo similar. Las dos semanas previas a la simulación de competición se obtenía la frecuencia cardiaca máxima ( $FC_{max}$ ) de los judocas mediante la realización de un protocolo incremental de esfuerzo máximo en carrera (42).

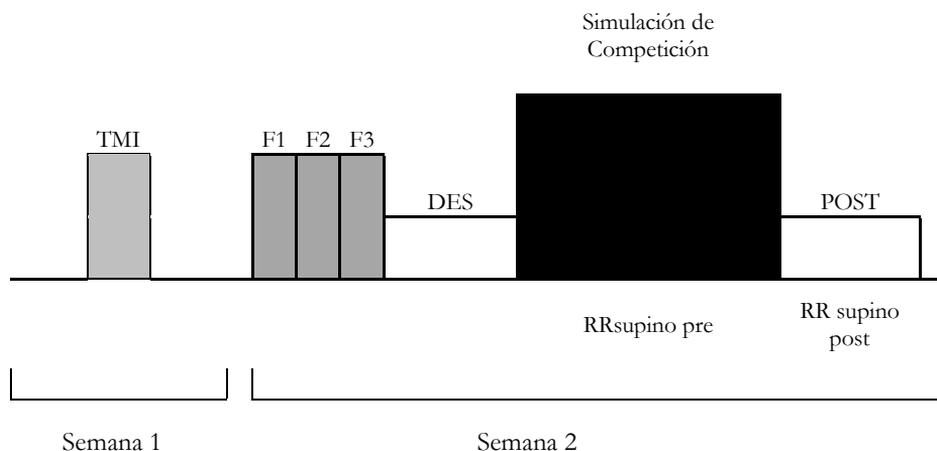
De acuerdo a lo señalado por varios autores (206,208) se realizaban 3 sesiones de familiarización de las pruebas mecánicas los días previos a la simulación de competición. La familiarización se llevó a cabo respetando las mismas características de ejecución que en el día de la evaluación (ver explicación en 6.3.2 más adelante), estas sesiones

#### 4. Material y método: muestra y procedimiento

eran supervisadas por un investigador formado en los procedimientos a desarrollar. Durante este período los participantes entrenaban con normalidad hasta el día previo a la simulación de competición, en el que no podían realizar ninguna actividad vigorosa.

Los simulacros de competición se realizaron hacia el final de la semana. Al principio de la semana se instruía a los participantes en la ejecución de las pruebas mecánicas: salto con contramovimiento (i.e. CMJ), dinamometría manual (i.e. DM), acción de empuje isométrico en posición de tendido supino (i.e. iETS), acción de tracción isométrica en posición de tendido prono (i.e. iTTP) y acción de extensión de piernas isométrica en bipedestación (i.e. iS).

Asimismo, los participantes fueron formados en el manejo de un cardiotacómetro con la finalidad de que en el día de la simulación de competición y en el día posterior al mismo, efectuaran un autorregistro en situación basal (ver explicación en 5.3.2.3 más adelante). A continuación se muestra la representación esquemática del procedimiento a nivel general (Figura 6):



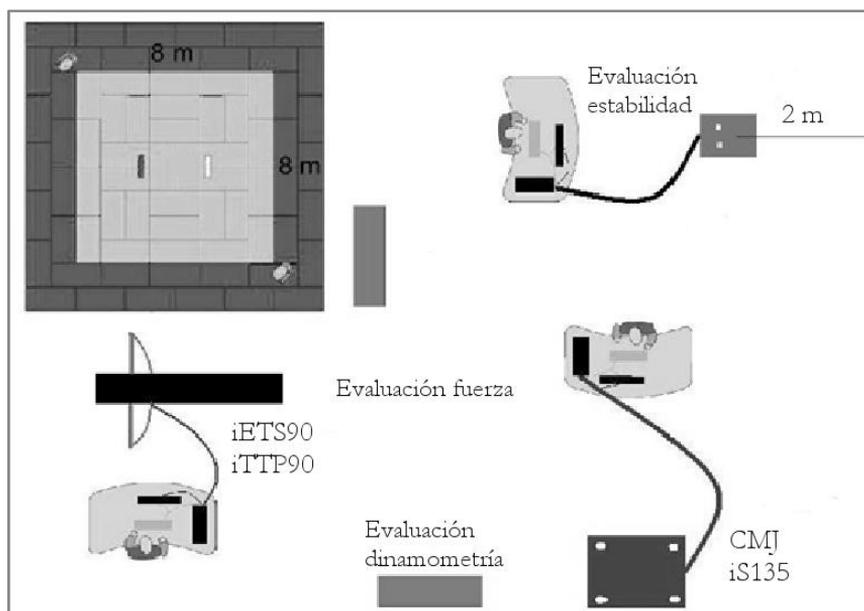
**Figura 6.** Representación esquemática del experimento. Los participantes realizaban un test máximo incremental (TMI) la semana previa a la del simulacro de competición. Además, durante la misma semana del experimento completaban 3 sesiones de familiarización (F1, F2, F3), un día de descanso (DES) previo a la simulación de la competición. Los participantes realizaron un auto-registro de la FC al despertarse por la mañana en posición de tendido supino, tanto el día de la competición (RRsupino pre), como al día siguiente (12h postcompetición, RRsupino post).

El día del simulacro los deportistas eran convocados a las 15.30 de la tarde en las instalaciones de la Facultad de Ciencias del Deporte y de la Educación Física (INEF-Galicia) de la Universidade da Coruña. En primer lugar se realizaban las adaptaciones y marcas oportunas para la estandarización de las posiciones de medición de las pruebas mecánicas y estabilométricas; además, se efectuaba una primera extracción de una muestra de sangre para la obtención de la concentración de lactato sanguíneo basal.

Con el objetivo de simular la realidad de las eliminatorias de una competición, los judocas realizaron 4 combates con recuperación decreciente en un tatami de medidas reglamentarias 8x8 metros (27).

#### 4. Material y método: muestra y procedimiento

En la Figura 7 se muestra la colocación del material dentro del área de competición.



**Figura 7.** Disposición del material para la evaluación. CMJ: salto con contramovimiento; iETS90: acción de empuje isométrico en posición de tendido supino con flexión de codos de 90°; iTTP90: acción de tracción isométrica en posición de tendido prono con flexión de codos de 90°; iS135: acción de extensión de piernas isométrica en bipedestación con flexión de rodillas de 135°.

Habitualmente, en eventos de nivel nacional e internacional, compiten 32 judocas en cada categoría de peso, lo que resulta en 16 combates en la primera ronda. Algunos combates acaban antes del tiempo reglamentario (5 minutos en hombres) debido a la existencia de puntuación límite (27), pero otros se extienden más allá de los 5 minutos, bien por la duración de las pausas o porque se llega a la situación de *golden score*<sup>4</sup>. Sin embargo, hay evidencias de que la

<sup>4</sup> Situación en la que los judocas finalizan el combate en empate, por lo que deberán proseguir sin límite de tiempo (Referee rules 2014-2016, modificación Ljubljana 28 October 2013,

incidencia del tiempo extra es menor del 2% de los combates en campeonatos de alto nivel (36). Teniendo todo esto en cuenta, estimamos que el tiempo mínimo que pasará entre el primer combate y el segundo combate serían 80 minutos, que es el resultado de multiplicar 16 combates a una media de 5 minutos (26,48,271–273). Como en las sucesivas rondas el número de competidores que restan es la mitad, el tiempo mínimo estimado entre el segundo combate y el tercero serían 40 minutos, siendo 20 minutos entre el tercero y el cuarto. Se decidió reproducir estos tiempos de pausa entre combates siendo el mínimo tiempo de recuperación posible en un sistema de eliminatoria, con el objetivo de reproducir el formato más desfavorable posible. Además, se realizó una modificación del reglamento eliminando la puntuación límite (27), de este modo los judocas tenían que luchar durante los 5 minutos reglamentarios aunque consiguiesen la puntuación máxima. Con esta modificación se pretendía reproducir el mayor esfuerzo que un judoca debe afrontar en una combate. Los participantes eran emparejados por categoría de peso y nivel competitivo para asegurar la exigencia propia de una competición real. Se dispuso de un árbitro titulado en el desarrollo de cada encuentro.

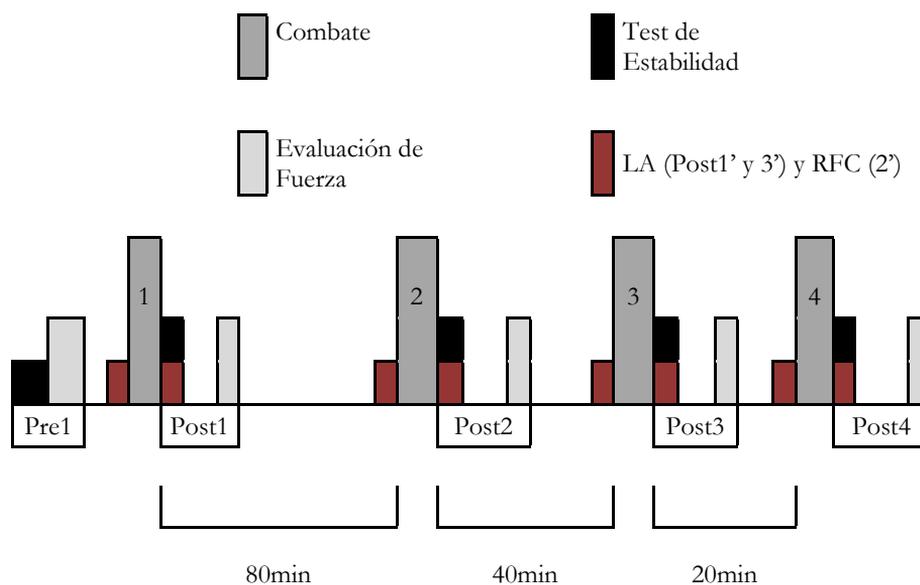
El simulacro de competición duraba aproximadamente 3 horas y media. Los judocas realizaban un calentamiento estandarizado que contenía movilización global, carrera suave, repeticiones de habilidades de judo en estático y en movimiento, proyecciones y secuencias de combate tanto en pie como en suelo (Anexo 3). Los combates y la

---

International Judo Federation) hasta que uno de los dos consiga al menos la mínima puntuación (yuko).

#### 4. Material y método: muestra y procedimiento

recuperación eran monitorizados con un pulsómetro, y se extrajeron muestras de sangre pre- y post-combate. Antes de la competición y después de cada combate los participantes fueron evaluados mediante una prueba de estabilidad y diferentes pruebas de fuerza del miembro inferior y superior (Figura 8).



**Figura 8.** Esquema del simulacro de competición. Pre: precombate; Post: postcombate; LA: lactato sanguíneo al minuto 1 y 3 después del combate; RFC (2min): registro de la recuperación de la frecuencia cardíaca durante 2 minutos; 2REC: registro FC durante los 2 minutos de recuperación.



## **5 Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas**

---

### **5.1 Objetivos**

#### **5.1.1 Objetivos generales**

El objetivo general de este estudio fue describir los efectos neuro-cardiovasculares y metabólicos de un simulacro de competición de judo configurada como una competición real, es decir con sistema eliminatoria.

#### **5.1.2 Objetivos específicos**

- Describir la evolución de la respuesta de la frecuencia cardíaca y la carga acumulada, expresada en TRIMP<sub>exp</sub> durante una competición de judo simulada.
- Evaluar y comparar los efectos de combates sucesivos con recuperación decreciente entre combates sobre la cinética del lactato.
- Identificar los efectos de la competición de judo en el tono y la modulación autonómica cardíaca a corto plazo (i.e. inmediatamente después) y medio plazo (i.e. después de 12h).
- Describir la relación entre las respuestas metabólicas y cardiovasculares durante la competición de judo.

## 5.2 Hipótesis

- La acumulación de sucesivos combates en formato de eliminatoria, provoca un incremento de los niveles de lactato sanguíneo y FC (y por consiguiente de los TRIMP<sub>exp</sub>) hacia el final de la competición.
- Se produce una reducción del intervalo RR y de su variabilidad durante los combates, siendo más pronunciado hacia el final de la competición, de acuerdo a la dependencia establecida en la literatura entre la longitud y variabilidad del intervalo RR y la intensidad del esfuerzo.
- Los judocas recuperan peor (i.e. menor recuperación cardíaca y valores menores de los índices vagales de la VFC) en los últimos combates respecto a los primeros combates.
- La competición de judo produce un efecto sobre el tono y la modulación autonómica cardíaca a medio plazo (i.e. 12 horas post-competición).
- Por último, existe asociación entre el lactato sanguíneo y los índices cardíacos evaluados confirmando de esta manera el vínculo establecido en la literatura entre la participación anaeróbica y las respuestas cardiovasculares durante el periodo de recuperación a corto y medio plazo.

## 5.3 Material y Método

### 5.3.1 Evaluación fisiológica

Los participantes no tomaban ningún tipo de medicación, no presentaban ninguna enfermedad cardiovascular, ninguno era fumador y no podían ingerir ninguna bebida que tuviera cafeína, ni alcohol en las 24 horas anteriores al día de la evaluación.

Durante el simulacro de competición se permitía beber agua *ad libitum*, y un preparado con 1 g de hidrato de carbono por kilogramo de peso cada hora, manteniendo una concentración del 6% por Litro de agua (274,275). Con esta medida se pretendía reproducir la situación habitual de competición de estos deportistas y contribuir a prevenir una bajada del rendimiento debida a una depleción de los depósitos de glucógeno. Aunque los tiempos de participación son relativamente cortos ( $\approx 7$ min), la acumulación de esfuerzos (4 en este simulacro) con un alto compromiso glucolítico puede llegar a producir un descenso de los niveles de glucógeno muscular y glucosa sanguínea, que derivaría en un decremento en el rendimiento (89).

Se extrajo una muestra de sangre capilar del lóbulo de la oreja para realizar las mediciones de la concentración de lactato sanguíneo. Los momentos de extracción fueron: 1) antes de iniciar el calentamiento y después de 10 minutos de reposo ( $LA_{\text{basal}}$ ); 2) 3 minutos a continuación del calentamiento ( $LA_{\text{reposo}}$ ); 3) en todas las situaciones previas al combate ( $LA_{\text{pre}}$ ); 4) y en el 1<sup>er</sup> y 3<sup>er</sup> minuto después de cada combate ( $LA_{\text{post1}}$  y  $LA_{\text{post3}}$ ). Los niveles de concentración de lactato se determinaron en muestras sanguínea de 0.5  $\mu\text{L}$  mediante un

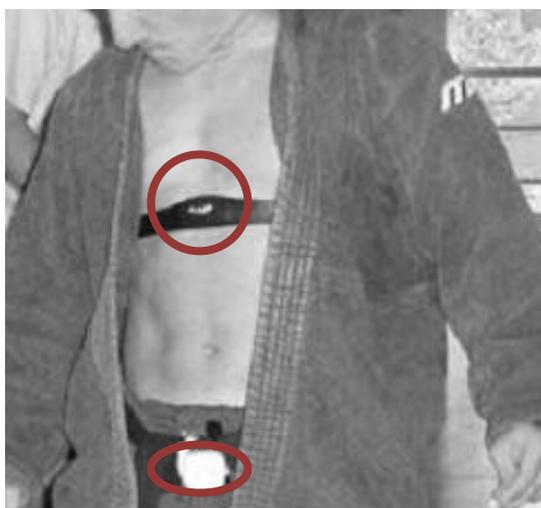
dispositivo Lactate Scout (LS, SensLab GmbH, Germany) cuyo rango de medición y tiempo de análisis son de 0.5 a 25 mmol y 15 seg respectivamente. La precisión y reproductibilidad de este analizador han sido previamente establecidas (276). Este dispositivo utiliza un sistema de tiras reactivas que se colocan directamente en lugar de la extracción. Previamente a cada evaluación y de acuerdo con un código se llevaba a cabo la calibración del Lactate Scout con una solución de valor conocido (rango 9.5–12.5 mmol). Las condiciones ambientales de la sala durante todas las evaluaciones variaron entre 20–24 °C de temperatura y 65–75% de humedad.

La mañana del día de la competición y la del día siguiente (i.e. 12 horas después de la finalización de la competición) los judocas realizaban un auto-registro de la frecuencia cardiaca (FC) durante 10 minutos en situación de tendido supino. Asimismo, se monitorizó de modo continuo la frecuencia cardiaca durante todo el simulacro de competición. Una vez finalizados los combates los judocas caminaban un trayecto muy corto (5 a 6 metros) y durante 2 minutos realizaban una recuperación pasiva en bipedestación uno sobre la plataforma de equilibrio y el otro en el puesto de extracción de sangre. La prueba de estabilidad de los dos participantes era realizada entre la extracción de sangre del primer minuto y la del tercer minuto post-combate.

Para el registro de la FC se utilizó una banda transmisora de electrodos (T61, Polar Electro; Kempele, Finland) que se colocaba en el pecho de cada sujeto (Figura 9). La información era enviada a un monitor cardiaco Polar S810 (Polar Electro; Kempele, Finland), que ha sido validado anteriormente para el registro de los intervalos de

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

tiempo entre cada contracción ventricular y su posterior análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (277). La banda transmisora tiene una resolución temporal de 1000 Hz y se configuró en modo de registro pulso-a-pulso (RR). El monitor correspondiente se fijaba en el cinturón del judoca de manera que no interfiriera en el desarrollo del combate. Los botones del monitor cardiaco se protegían para que ningún impacto pudiera interferir en el registro (Figura 9).



**Figura 9.** Detalle de la colocación del monitor cardiaco en el cinturón.

### 5.3.2 Análisis de los parámetros fisiológicos

#### 5.3.2.1 Lactato sanguíneo

La muestra de 0.5  $\mu$ L de sangre capilar extraída del lóbulo de la oreja se analizó con el Lactate Scout que usa un método enzimático-amperiométrico para la detección del lactato en la sangre capilar. El lactato de la muestra es oxidado por la enzima lactato oxidasa, en el transcurso de esta reacción “redox” los electrones son transferidos por un mediador adicional desde la enzima al electrodo (276).

El valor obtenido en cada momento de medición (Pre, Post1 y Post3) en los combates 1, 2, 3 y 4) era registrado en una planilla (Anexo 4) y almacenados en Excel para su posterior tratamiento. Se calcularon los valores de lactacidemia en porcentaje a la medición basal ( $\%LA_{\text{basal}}$ ) y el valor delta o índice de estrés metabólico ( $\Delta LA_{\text{pre-post}}$ ) entre la concentración de lactato sanguíneo obtenida pre-combate y el mayor valor obtenido entre las dos mediciones post-combate (Post1 y Post3) (278). Finalmente, se obtuvo el valor de remoción de lactato (LAre) mediante el cálculo de la reducción porcentual entre los valores de lactato sanguíneo del primer minuto y el tercero.

### 5.3.2.2 Frecuencia cardiaca en combate

Los datos del monitor cardiaco Polar S810 fueron volcados al software Polar Pro Trainer 5<sup>TM</sup> (Polar Electro, Kempele, Finland) generándose un archivo (.hrm) con las duraciones y posiciones de los intervalos RR. Este programa posee unos algoritmos de filtrado e interpolación de los datos que se aplican de modo automático, además se configuró una zona de protección de 6 pulsaciones por minuto para la eliminación de los pulsos ectópicos. Los archivos “.hrm” eran exportados al programa Excel (Microsoft Office Excel, 2007) para su posterior tratamiento.

Teniendo en cuenta la diferente duración de los combates se decidió considerar los valores de frecuencia cardiaca (FC) de los dos minutos iniciales (2INI), los dos finales (2FIN) y los dos minutos de recuperación (2REC) como representativos del esfuerzo desarrollado por los participantes en cada combate. Del global de los combates y de cada una de las tres fases se obtuvieron los valores de frecuencia

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

cardíaca media ( $FC_{med}$ ), el porcentaje que la  $FC_{med}$  representa de la frecuencia cardíaca máxima ( $\%FC_{max}$ ) y el porcentaje que representa la  $FC_{med}$  de la frecuencia cardíaca de reserva ( $\%FC_{res}$ ) (279).

Además, se estimó la carga cardiovascular (intensidad x volumen) que representaba cada combate a través del cálculo del impulso de entrenamiento (TRIMP<sub>exp</sub>) con la aplicación de un factor de corrección que tiene en cuenta la relación exponencial que existe entre la elevación de la FC y la concentración del lactato sanguíneo (TRIMP<sub>exp</sub>) propuesto por Banister (95). Para el cálculo de este índice de carga se tenían en cuenta todos los minutos de cada combate que eran multiplicados por la elevación de la frecuencia cardíaca en relación con la  $FC_{res}$  y por el factor de corrección específico al género de la muestra:

$$TRIMP_{exp} = \text{duración (min)} * \Delta FC_{ratio} * Y$$

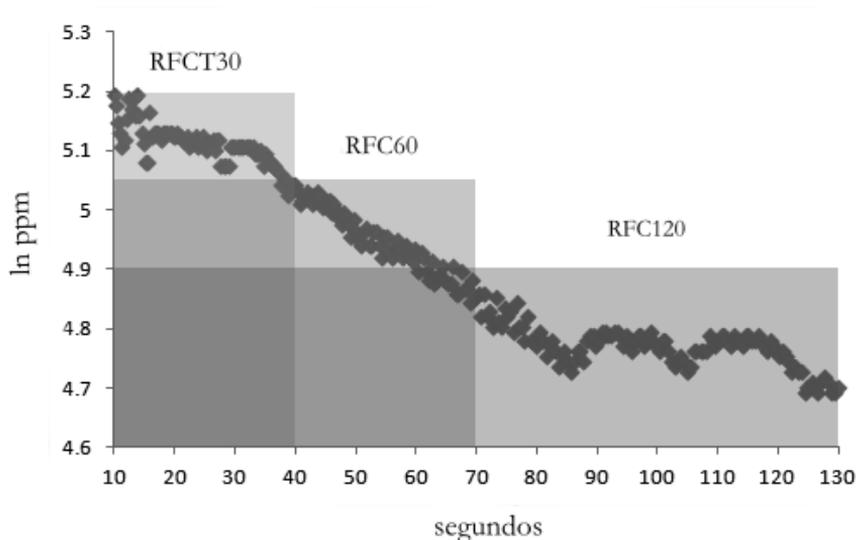
Donde,

$$\Delta FC_{ratio} = \frac{FC_{med \text{ minuto de combate}} - FC_{basal}}{FC_{max} - FC_{basal}}$$

$Y = 0.64e^{1.92x}$  para hombres. Donde,  $e = 2.712$ , y  $x = \Delta FC_{ratio}$ .

### 5.3.2.2.1 Recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC)

Se evaluó la recuperación cardíaca post-combate como estimación de la capacidad del sistema neuro-cardiovascular para decelerar el ritmo cardíaco. Para ello se calcularon tres índices (Figura 10):

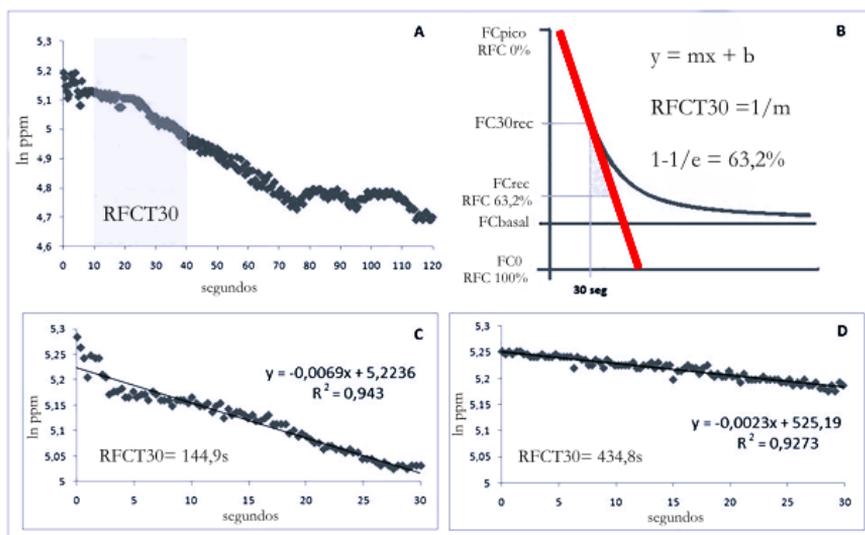


**Figura 10.** Parámetros utilizados en la caracterización de la recuperación cardíaca. RFCT30: semilogarítmica de los primeros 30 s; RFC60: delta de la FC transcurrido primer minuto después del combate y la FC final; RFC120: delta de la FC transcurridos dos minutos del combate y la FC final.

- **Recuperación cardíaca inmediata:** se empleó la regresión semi-logarítmica propuesta por Imai et al (126), para la valoración de la reactivación parasimpática en un plazo ultracorto. Se representó en Excel un gráfico relacionando el logaritmo natural del ritmo cardíaco en pulsaciones por minuto, con la escala temporal de 30 segundos de recuperación (desde los 10 s hasta los 40 s post-combate). Se calculó la ecuación de regresión lineal, y se determinó la **constante de tiempo** del decremento de la FC, como la inversa de la pendiente de la regresión lineal (RFCT30). De este modo obtenemos un valor en segundos que se interpreta como el tiempo que tardaría el corazón en descender su ritmo

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

un 63,2% del valor de FC obtenido al final del combate. Este valor se ajustaría perfectamente siempre y cuando la pendiente calculada fuera constante y ésta evolucionara linealmente hasta llegar a un valor teórico de frecuencia cardiaca igual a cero. Sin embargo, como señalan algunos autores (126,280), el comportamiento de la frecuencia cardiaca al final de un esfuerzo se asemeja a una función mono-exponencial (en Figura 11. B, línea roja) cuyo valor final es la FC basal, pero el cálculo de este tipo de funciones requeriría un registro mayor de la recuperación que sería incompatible con el diseño del estudio y podría estar influenciado por la retirada simpática (281). El cálculo de la RFCT30 se ha mostrado como un parámetro válido para comparar la evolución relativa de la reactivación vagal post-esfuerzo, mostrándose sensible al bloqueo parasimpático con atropina (126).



**Figura 11.** A) Gráfico de dispersión del decremento del ritmo cardiaco durante 120 segundos, para el cálculo de la RFCT30 se utilizan 30 seg (zona sombreada 10° al 40°). B) La línea roja del gráfico representa la recta de regresión que se calcula para obtener el valor de la pendiente “m”, siendo la inversa de ésta el valor de la constante de tiempo RFCT30. Además, se muestra el valor porcentual de recuperación que alcanzaría el sistema de mantenerse constante la pendiente, transcurrido el tiempo calculado con la RFCT30. C) y D) Se comparan el cálculo de la constante de tiempo de un mismo sujeto en dos combates (2° y 3°) diferentes del simulacro (elaboración propia).

- **Recuperación cardiaca a corto plazo.** Se calculó la diferencia entre el valor de FC final y el registrado transcurrido 1 minuto de recuperación (RFC60).
- **Recuperación cardiaca a medio plazo.** Se obtuvo mediante el cálculo de la diferencia entre el valor de FC al final del combate y el registrado tras 2 minutos de recuperación (RFC120). No se aproximaron los datos mediante una función exponencial decreciente de primer orden al no ajustarse los registros a dicho modelo. Cabe la posibilidad de que esta situación sea la consecuencia de que la recuperación se realizó

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

en bipedestación, lo que podría influenciar el retraso en la reactivación parasimpática y/o en la retirada de la actividad simpática. Además, el esfuerzo era máximo o cercano al máximo, siendo el cálculo de la constante de tiempo a través de la función monoexponencial más adecuado para intensidades de esfuerzo sub-máximas (130).

Además, se reportó la FC al final de cada combate en porcentaje de la  $FC_{max}$  con el objetivo de comprobar si los datos obtenidos se situaban dentro del rango señalado en la literatura, entre el 86% y el 93% de la  $FC_{max}$ , como el de mayor sensibilidad (i.e. test-retest) para detectar cambios clínicamente significativos (282).

La reproductibilidad de los índices recuperación cardiaca, tanto de la fase ultra-rápida (RFCT30), como de la fase rápida (RFC60) y la fase media (RFC120), ha mostrado ser alta (ICC = 0.70 a 0.80) a diferentes intensidades de ejercicio (283–287). Al Haddad et al (283) reportaron un coeficiente de variación (CV%) de la RFC60 sin diferencias entre test sub-máximos y test supra- máximos (25.7% vs. 14.7%,  $p=0.10$ ; respectivamente). Además, la RFC60 ha mostrado coeficientes de variación (CV) menores que la RFC120, por lo que esta variable puede que sea más sensible para detectar diferencias entre varias mediciones (99).

### 5.3.2.3 Variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) en reposo

La mañana de la competición y al día siguiente ( $\approx$  12h después del último combate), cada sujeto realizaba un autorregistro de 10 minutos

de duración, en tendido supino inmediatamente después de despertarse y haber vaciado la vejiga. Para ello, como se comentó anteriormente los judocas habían sido formados en la utilización del pulsómetro Polar S810. La frecuencia respiratoria no fue controlada, sin embargo se ha evidenciado que tanto la frecuencia (0,1 Hz y 0,25 Hz) como el ratio inspiración-espирación (1:1; 1:2; 1:3) no tuvieron influencia sobre los parámetros de la VFC (288). El archivo “.hrm” generado por el software Polar Pro Trainer 5<sup>TM</sup> fue importado desde el software Kubios HRV 2.0 (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, University of Kuopio, Finland) para el análisis de la VFC.

Para el análisis de la VFC se eliminó el primer y el último minuto de cada registro. Este procedimiento se llevó a cabo para no incluir en el análisis los tramos en que la colocación del pulsómetro y el estado de alerta previo a la finalización del registro pudieran interferir en la señal, perdiéndose así su condición de estacionariedad. Se llevó a cabo un análisis en el **dominio tiempo** mediante métodos estadísticos estándar (ver explicación de las variables en la Tabla 2). En un estudio reciente se reportaron CV expresados en porcentaje respecto a la media (CV%) de 6.9% y 12.3% para las variables en el dominio tiempo las cuales fueron obtenidas en 4 ocasiones diferentes separadas por 7 días (283).

Con el objeto de discriminar la actividad de cada rama del sistema nervioso autónomo (SNA), se realizó un análisis en el **dominio frecuencia**. El espectro de potencia fue calculado utilizando la FFT (i.e. *fast Fourier transform* por sus siglas en inglés) con un ancho de ventana de 256 segundos y una superposición del 50%. Mediante el

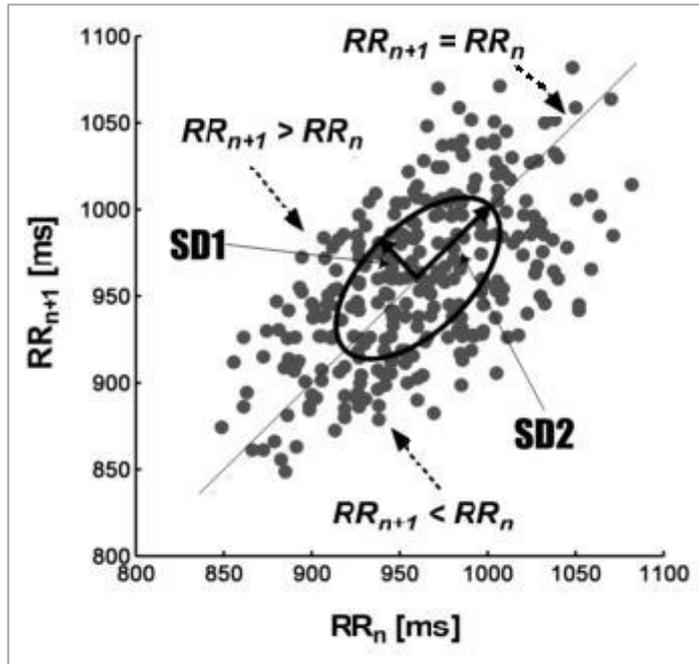
## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

software Kubios se efectuó un tratamiento de artefactos mediante un filtro de pasa alta ajustando el parámetro Lambda, que situaba la frecuencia de corte en 0,035 Hz (i.e.  $\text{Lambda} = 500$ ), de este modo las frecuencias inferiores a este valor fueron atenuadas. A continuación se realizó una interpolación con splines cúbicas a una frecuencia de 4 Hz. De la potencia total de la señal (i.e. TP siglas del inglés *total power*) se extrajeron 3 bandas de frecuencias. La banda de alta frecuencia (HF siglas del inglés *high frequency*), con un ancho de banda de 0,15-0,4 Hz, se atribuye a las oscilaciones respiratorias arrítmicas y que señala la modulación parasimpática del corazón (265,112). La banda de baja frecuencia (LF siglas del inglés *low frequency*), con ancho de banda de 0,04-0,15 Hz, ha sido relacionada con la actividad barorrefleja, con la termorregulación y recibe influencia de las ramas simpática y parasimpática del SNA (141,290). También se calculó el ratio LF/HF, el cual se ha sugerido como indicador de balance simpato-vagal (289), aunque respecto a esta atribución existe controversia e la literatura. Las variables fueron expresadas en valores absolutos y en valores normalizados (u.n.), i.e. la importancia relativa en el espectro total de frecuencias de la señal, extrayendo las frecuencias menores que 0,04 Hz. Cada una de estas variables ha presentado un CV% de aceptable a muy alto: 7,6% para las LF (ln), 12,6% para las HF (ln), llegando hasta 52% para las unidades normalizadas de las bandas de alta y baja frecuencia (HFu.n. y LFu.n.), e incluso alcanzando valores del 81% para el ratio LF/HF (283). Sin embargo, se ha reportado que la evaluación de la VFC medida por la mañana al levantarse, durante 10 minutos y sin haber realizado un actividad extenuante el día anterior,

como la propuesta en el presente estudio, ha reportado ser altamente reproducible (ICC = 0,96 a 0,98) (291).

Con el objetivo de estudiar el comportamiento **no-lineal** y caótico de las contracciones ventriculares se calcularon los índices correspondientes a la entropía muestral (SampEn), así como el mapa de Poincaré (SD1, SD2). El gráfico de dispersión de Poincaré es un método geométrico que tiene como ventaja no requerir la estacionariedad de la señal, además de poseer mayor robustez ante procesos de corrección de artefactos (292). Este método consiste en un mapa de retorno donde cada intervalo RR se correlaciona con el intervalo precedente y esta correlación define un punto en el gráfico. Se demarca una *línea de identidad* entre el cruce de los ejes y el centro de la nube de puntos. Por encima de la línea de identidad de la nube de puntos se hallan los intervalos RR que son mayores que los precedentes, por debajo se representan los intervalos RR más cortos que lo precedentes, y coincidiendo con la línea de identidad se sitúan los intervalos RR consecutivos que tienen la misma duración (Figura 12).

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas



**Figura 12.** Representación de la interpretación del análisis de Poincaré (modificado de Guzik et al (293)). RR: intervalo de tiempo entre dos pulsos; SD1: semieje corto de la elipse; SD2: semieje largo de la elipse.

Para el análisis cuantitativo se ajusta una elipse a la nube de puntos y extrae dos parámetros (117,294):

**SD1:** representa la variabilidad a corto plazo y se calcula mediante la desviación estándar de la distancia transversal entre los puntos y la línea de identidad.

**SD2:** refleja la combinación de la variabilidad a corto y largo plazo, y se calcula mediante la desviación estándar de los puntos a lo largo de la línea de identidad.

Además, tal y como propone Guzik et al (293) se calculó el área de la elipse imaginaria ( $S = \pi \times SD1 \times SD2$ ). El área calculada se

interpreta como una medida de la variabilidad total y, estos autores han encontrado correlaciones significativas ( $p < 0.001$ ) con la desviación estándar de los intervalos RR (SDNN;  $r = 0.98$ ); con la potencia espectral total (TP;  $r = 0.86$ ); y con la sensibilidad barorrefleja (SBR;  $r = 0.80$ )

Por último, se analizó el comportamiento caótico de la señal mediante el cálculo de la complejidad de la señal. Para el análisis se utilizó la entropía muestral (SampEn) que similar a la entropía aproximada (ApEn), cuantifica la aleatoriedad o predictibilidad de la señal (295), es decir, la probabilidad de que no existan patrones similares consecutivos. Una serie con patrones consecutivos repetidos será predecible y tendrá, por lo tanto, un valor pequeño de SampEn, y viceversa, una serie poco predecible tendrá un valor alto de SampEn. Dado que el algoritmo matemático de la ApEn compara cada patrón consigo mismo, Richman y Moorman (296) sugieren que la ApEn obtiene valores en los que hay más semejanza de la que en realidad existe en una serie temporal, siendo los resultados muy dependientes de la longitud de la serie. Por ello, se ha sugerido utilizar la SampEn en registros cortos ( $< 10$  min). Esta modificación se define como el negativo del logaritmo natural de la probabilidad condicional de que dos patrones similares de  $m$  puntos permanezcan semejantes, si incrementamos el número de puntos a  $m+1$  (296). En el cálculo del índice de SampEn se tiene en cuenta el número de intervalos RR ( $N$ ), la longitud del vector de análisis ( $m$ ) y el criterio de tolerancia ( $r$ ), para el cual se propone seleccionar un valor mayor que la desviación estándar (SD) del ruido. Se utilizaron los parámetros  $N=1000$ ,  $m=2$  y  $r=0.2*SD$  según sugiere (295).

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

En la Tabla 2 se resumen las variables calculadas con cada metodología de análisis de la VFC.

### 5.3.2.4 Variabilidad de la frecuencia cardiaca en esfuerzo y recuperación inmediata.

Para el análisis de la VFC en esfuerzo y en la recuperación inmediata se empleó el paquete RHRV (297) desarrollado en entorno “R code” (GNU GPL, R Development Core Team). Esta herramienta permite realizar un análisis de la VFC en el **dominio frecuencia** empleando una metodología más precisa cuando la **señal no fluctúa de modo regular** (Figura 13). Además, se caracterizó la señal en el dominio tiempo y se estudió su complejidad en esfuerzo mediante el análisis no lineal.

El archivo ASCII generado por el software Polar Pro Trainer 5<sup>TM</sup> se importa directamente al paquete RHRV (Figura 13). En primer lugar, el software realiza un cálculo del intervalo de tiempo entre latidos (i.e. serie RR), y posteriormente, la serie temporal es filtrada automáticamente para eliminar artefactos mediante un *filtro no causal de umbral variable* (298). A continuación se realiza una interpolación con *splines monótonas de Hermite* a una frecuencia de 4 Hz, para garantizar la monotonidad<sup>5</sup> de la señal RR.

---

<sup>5</sup> Interpolación de los puntos generados asegurándose que estos se encuentren entre los polos.

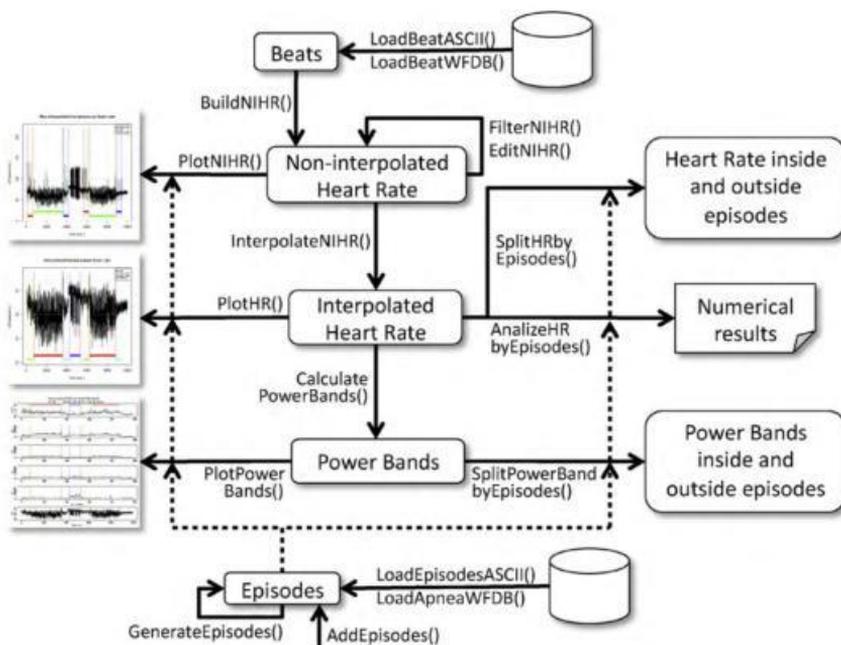


Figura 13. Esquema de funciones del RHRV (297)

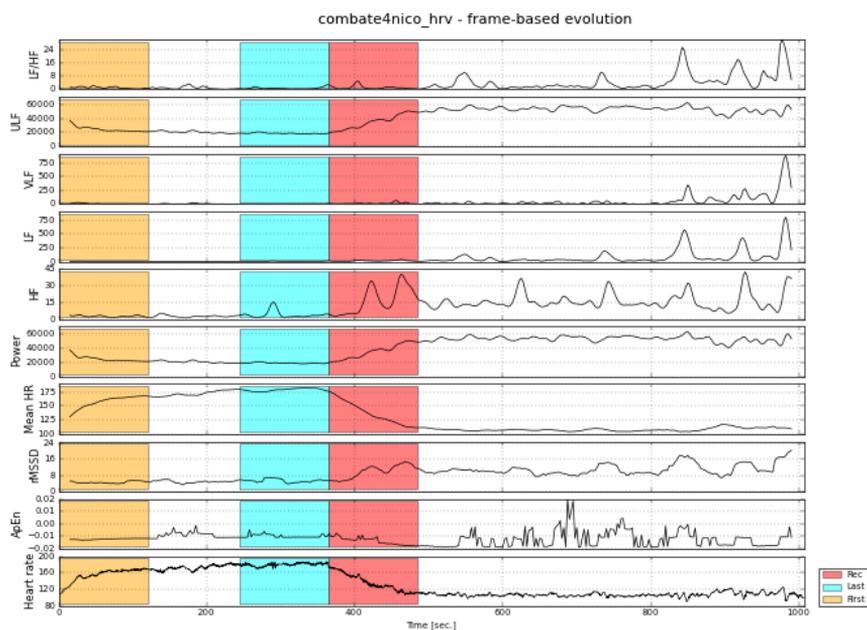
A continuación se realizó un análisis tiempo-frecuencia de la señal de FC en esos intervalos. Para ello se empleó una STFT (Short Time Fourier Transformation) aplicando ventanas de 30 segundos y completando con ceros (zero padding) para obtener espectros de 512 puntos. A partir de este mapa tiempo-frecuencia se obtuvo la potencia total de la señal de frecuencia cardíaca (i.e. TP) en cada ventana, además también se calculó la potencia en las bandas LF (0,05-0,15) y HF (0,15-0,4), así como el cociente entre las bandas LF/HF. El método de análisis de la STFT ha sido empleado con anterioridad para el estudio de la evolución temporal de los cambios dinámicos que se producen en ejercicio (114,125) y en la recuperación inmediata después del ejercicio (135,136). Amara & Wolfe (299) mostraron que el análisis espectral de la VFC era una técnica fiable y reproducible

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

para evaluar la modulación autonómica sobre el miocardio durante ejercicio. Recientemente, se ha reportado en la literatura (300) una buena reproductibilidad de los parámetros de VFC medidas durante ejercicios de similar duración (6 min) a intensidad moderada ( $ICC = 0.58-0.85$ ) y a intensidad alta ( $ICC = 0.40-0.76$ ). En lo que se refiere a las variables medidas post ejercicio, Al Haddad et al (283) reportaron errores típicos diversos, expresados como CV%, dependiendo de la variable a emplear después de ejercicio sub-máximo (aprox. 60%  $VO_{2max}$ ) y después de ejercicio supra-máximo (30 s test de Wingate). No hubo diferencias en los CV% entre las dos intensidades de ejercicio en ninguna de las variables testadas (sub-máximo vs. supra-máximo): HF (ln) (15% vs. 26%), LF (ln) (11% vs. 15%), HFu.n. o LFu.n. (42% vs. 44%), ratio LF/HF (65% vs. 55%). Goulopoulou et al (301) reportaron un ICC de 0,96 para LF (ln) y de 0,93 para HF (ln), en cambio, Buchheit et al (302) reportó un ICC algo más bajo ( $ICC = 0,69$ ) para la HF (ln), mostrando éste igualmente una buena reproductibilidad.

Finalmente, se calculó la ApEn con el objetivo de estudiar la complejidad de la señal (295) durante y post-ejercicio. Además, teniendo en cuenta que no todos los combates duraron lo mismo, y con objeto de estudiar su evolución comparativa se decidió realizar el análisis atendiendo a los 3 intervalos de 2 minutos de duración utilizados para el análisis de la FC en combate: 2INI, 2FIN, 2REC (Figura 14). Se ha reportado en la literatura una buena reproductibilidad de las variables derivadas del análisis de la VFC post-ejercicio de moderada y alta intensidad (94).

## Análisis de los efectos agudos de la competición en judo



**Figura 14.** Representación gráfica de los segmentos analizados en un combate con el software RHRV: 2INI (amarillo), 2FIN (turquesa) y 2REC (rojo). Se observa también la representación de las diferentes variables en dominio tiempo, en dominio frecuencia y la relacionada con la complejidad (ApEn).

A continuación se muestra una tabla resumen de las variables utilizadas para la caracterización fisiológica:

**Tabla 2.** Explicación de las variables fisiológicas analizadas.

Variable	Acrónimos	Descripción	Unidades
Lactato sanguíneo (LA)	LAX	Lactato sanguíneo en situación x=basal, reposo, pre, post1 y post3.	mmol*L <sup>-1</sup>
	%LAX	% que representan LA x= pre, post1 y post3, respecto al LA basal.	%
	$\Delta LA_{pre-post}$	Incremento de la concentración de lactato entre el valor pre-combate y el valor pico post-combate.	mmol*L <sup>-1</sup>
	LAre	Remoción de lactato, calculada como el decremento porcentual de los valores de lactato de LApost3 respecto a LApost1.	%

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

**Tabla 2.** Continuación.

Variable	Acrónimos	Descripción	Unidades
Frecuencia cardíaca en combate	FC <sub>med</sub>	FC media de cada combate	ppm
	FC en 2INI, 2FIN y 2REC.	FC en cada segmento de medición: inicial (2INI), final (2FIN) y recuperación (2REC).	ppm
Impulso de entrenamiento durante combate (TRIMP)	TRIMP <sub>exp</sub>	Estimación de la carga cardiovascular (intensidad x volumen) que representa cada combate con la aplicación de un factor de corrección que tiene en cuenta la relación exponencial que existe entre la elevación de la FC y la concentración del lactato sanguíneo (propuesto por Banister, (95))	u.a.
Recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC)	RFC <sub>T30</sub> (ln)	Logaritmo neperiano de la regresión lineal de la función tiempo-semilogarítmica de HR en 30 seg (10° al 40°)	ppm
	RFC <sub>60</sub>	Delta entre FC <sub>fin</sub> y después de 1 minuto de recuperación.	ppm
	%RFC <sub>res</sub> 60	RFC <sub>60</sub> en % de la FC <sub>res</sub>	%
	RFC <sub>120</sub>	Delta entre HR al final y a los 2 minutos de recuperación	ppm
	%RFC <sub>res</sub> 120	RFC <sub>120</sub> en % de la HR <sub>res</sub>	%
Variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo y en combate	<b>DOMINIO TIEMPO</b>		
	FC <sub>med</sub>	Media de la frecuencia cardíaca	ppm
	FC <sub>dt</sub>	Desviación típica de la frecuencia cardíaca	ppm
	RR <sub>med</sub>	Promedio de los intervalos RR	ms
	RR <sub>dt</sub>	Desviación típica de los intervalos RR	ms
	RMSSD (ln)	Logaritmo neperiano de la raíz cuadrática media de las sucesivas diferencias de los intervalos RR	ms

**Tabla 2.** Continuación.

DOMINIO FRECUENCIA (FFT)			
Variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo y en combate	TP	Potencia Total ó varianza de todos los intervalos RR	ms <sup>2</sup>
	VLF	Potencia absoluta en la banda de muy baja frecuencia → 0.02-0.04	ms <sup>2</sup>
	LF	Potencia absoluta en la banda de baja frecuencia → 0.04-0.15	ms <sup>2</sup>
	HF	Potencia absoluta en la banda de alta frecuencia → 0.15-0.4	ms <sup>2</sup>
	Ratio LF/HF	Ratio (LFabsoluta/(TP-VLF)) / (HFabsoluta/(TP-VLF))	
ANÁLISIS NO-LINEAL			
	SD1	representa la variabilidad a corto plazo y se calcula mediante la desviación estándar de la distancia transversal entre los puntos y la línea de identidad.	ms
	SD2	representa la combinación de la variabilidad a corto y largo plazo, y se calcula mediante la desviación estándar de los puntos a lo largo de la línea de identidad.	ms
	S	Área de la elipse formada por SD1 y SD2 $S = \pi \times SD1 \times SD2$	ms <sup>2</sup>
COMPLEJIDAD			
	ApEn	Entropía aproximada	
	SamEn	Entropía muestral	

### 5.3.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico PASW (v. 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL). La distribución de cada variable fue examinada con los test de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Las variables que no se ajustaban a una distribución normal eran transformadas logarítmicamente con el objetivo de realizar pruebas y comparaciones paramétricas, si las

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

variables seguían presentando una distribución no normal se aplicaban pruebas no paramétricas.

Los datos de frecuencia cardíaca, variabilidad y complejidad de la frecuencia en situación de reposo pre y 12 horas post competición fueron analizados con la prueba t de Student o en caso de que alguna variable no presentara normalidad se aplicó la prueba de Wilcoxon.

La evolución de la recuperación cardíaca se estudió mediante el análisis de la varianza (ANOVA) de un factor (combate) con un diseño de medidas repetidas de cuatro niveles (combate 1, 2, 3 y 4). El análisis de la concentración de lactato sanguíneo a lo largo de la competición, tanto en valores absolutos como en porcentaje respecto al lactato en situación basal, se llevo a cabo mediante un ANOVA de medidas repetidas con dos factores intra-sujetos combate x momento. El primer factor con 4 niveles (combate 1, 2, 3 y 4) y el segundo (i.e. momento) con 3 niveles: pre-combate (pre), al minuto de finalizar el enfrentamiento (post1) y a los 3 minutos (post3). En el caso del análisis de la frecuencia cardíaca en valores absolutos y relativos, la variabilidad y la complejidad de la frecuencia cardíaca se empleó una ANOVA de dos factores: combate (1, 2, 3 y 4) x fase (2INI, fase inicial; 2FIN, fase final; 2REC, fase recuperación).

A la hora de interpretar los resultados de los ANOVA se tenía en cuenta el test de esfericidad de Mauchly, si este resultaba significativo se aplicaba la corrección de epsilon con la prueba Greenhouse-Geisser para determinar el efecto intra-sujeto. En caso de que las distribuciones no fueran paramétricas se realizaba la transformación

logarítmica, y si aún así no se alcanzaban los criterios de normalidad, se empleaba la prueba de Friedman. Durante el análisis de una variable si algún factor del ANOVA alcanzaba la significación se realizaba la comparación por pares empleando la prueba correspondiente según criterios de normalidad y se aplicaba el ajuste de Bonferroni en caso de múltiples comparaciones.

Para el cálculo del tamaño del efecto (TE) en el caso del ANOVA de dos factores se empleó el eta cuadrado ( $\eta^2$ ). Este parámetro se obtiene de realizar el ratio entre la suma de cuadrados del factor y la suma de cuadrados total (Levine & Hullet, 2002). En el caso del ANOVA de un factor se empleó la prueba de diferencias de medias tipificada para el cálculo de la magnitud de cambio en valor absoluto respecto a la situación Pre. Esta diferencia se calculó utilizando como denominador la desviación típica combinada de las dos muestras “g de Hedges” y la corrección de sesgos de Bessel propuesto por (303). La g de Hedges ha sido sugerida como la prueba mas adecuada para cuantificar la magnitud del cambio en muestras con un  $N < 20$  (304). Los TE calculados se interpretan atendiendo a la escala aportada por Cohen (306) en el caso del eta cuadrado ( $\eta^2$ ): pequeños (0,04), moderados (0,11), o grandes (1,0). Y en le caso del cálculo del TE para diferencias de medias estandarizadas ( $g^*$  de Hedges): pequeños ( $0.2 \geq g < 0.5$ ), moderados ( $0.5 \geq g < 0.8$ ) o grandes ( $g \geq 0.8$ ).

La asociación entre variables se examinó con las pruebas de Pearson para aquellas variables que cumplieran los criterios de normalidad y Spearman cuando una de las variables era no paramétrica. Las relaciones encontradas fueron consideradas como  $r =$

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

débiles (0,0), pequeñas (0,1), moderadas (0,3), fuertes (0,5), muy fuertes (0,7), casi perfectas (0,9), y perfectas (1,0) (306). El nivel de significación se estableció en  $p < 0.05$ . Sin embargo las  $p < 0.1$  fueron señaladas como tendencias. Los datos se presentan como medias y desviaciones típicas (media  $\pm$  DT).

### 5.4 Resultados

#### 5.4.1 Evolución del peso corporal a lo largo de la competición

En la Tabla 3 podemos comprobar como el peso corporal no varió durante el transcurso de la competición de judo.

**Tabla 3.** Peso corporal en Newtons de los judocas a lo largo de la competición.

	Pre1	Post1	Pre2	Post2	Post3	Post4
Media (N)	797	794	798	797	797	795
DT	125	124	123	123	122	124

DT=desviación típica.

\*Diferencias significativas  $p < 0,05$ .

#### 5.4.2 Estructura temporal de los combates

La media de tiempo total de los enfrentamientos fue de 31,15 minutos ( $1869 \pm 94$  segundos) por competición y de 7 minutos and 49 segundos ( $469 \pm 73$  segundos) por combate. En la Tabla 4 se puede observar las características de tiempo de cada combate. El test de Friedman para variables no-paramétricas estableció que no existieron diferencias significativas entre combates ( $p = 0,145$ ).

**Tabla 4.** Duración de los combates en segundos.

Combate	Media	DT	IC 95%	
			Límite inferior	Límite superior
1	530	67	460	600
2	426	70	353	499
3	491	61	426	555
4	428	46	380	477

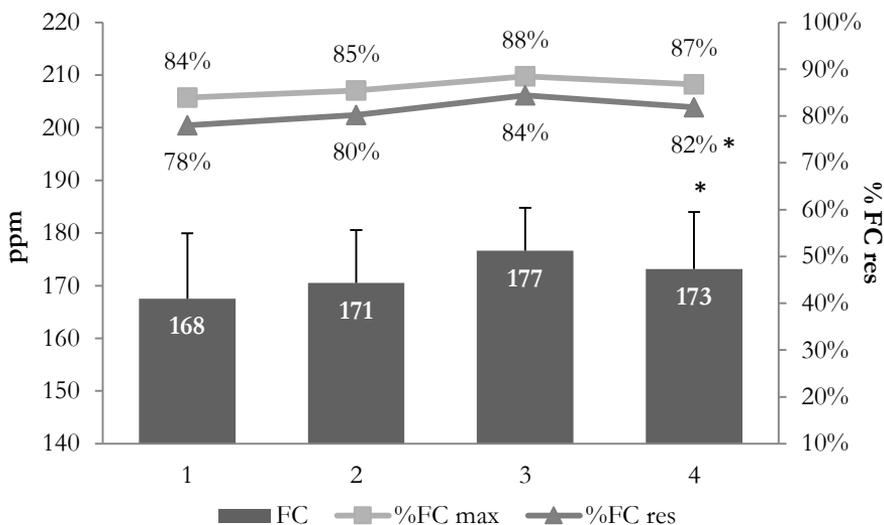
DT=desviación típica.

\*Diferencias significativas  $p < 0,05$ .

### 5.4.3 La frecuencia cardiaca durante la competición

El análisis ANOVA de una vía reflejó las diferencias significativas entre combates en la FC ( $p = 0,033$ ;  $\eta^2 = 0,23$ ), en la %FCmax ( $p = 0,033$ ;  $\eta^2 = 0,23$ ) y en la %FCres ( $p = 0,031$ ;  $\eta^2 = 0,24$ ). La comparación por pares reveló que el %FCres en el C4 fue superior respecto al C1 ( $p = 0,013$ ;  $g = 0,51$ ; IC95% = -0,3 a 1,4) y, sin embargo, no existieron diferencias significativas entre el C3 y el C1 a pesar de presentar un tamaño del efecto grande ( $p = 0,244$ ;  $g = 0,87$ ; IC95% = 0 a 1,7) (Figura 15).

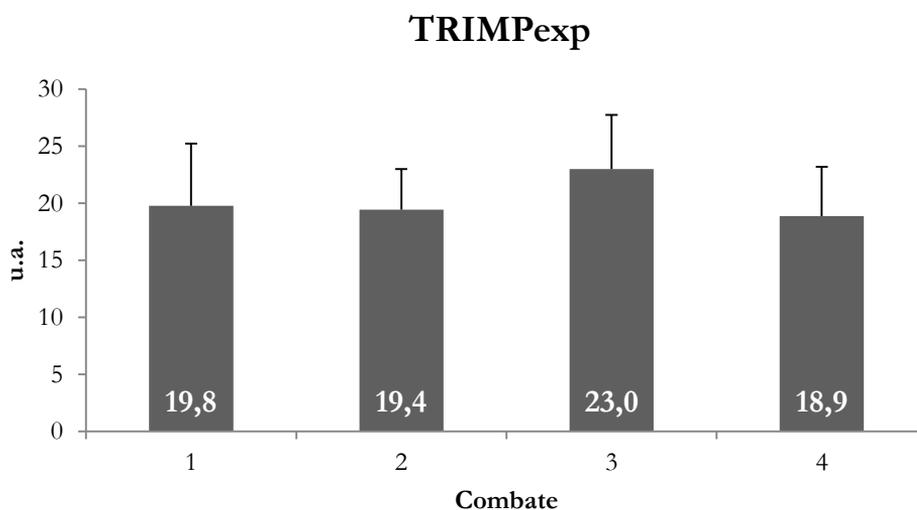
## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas



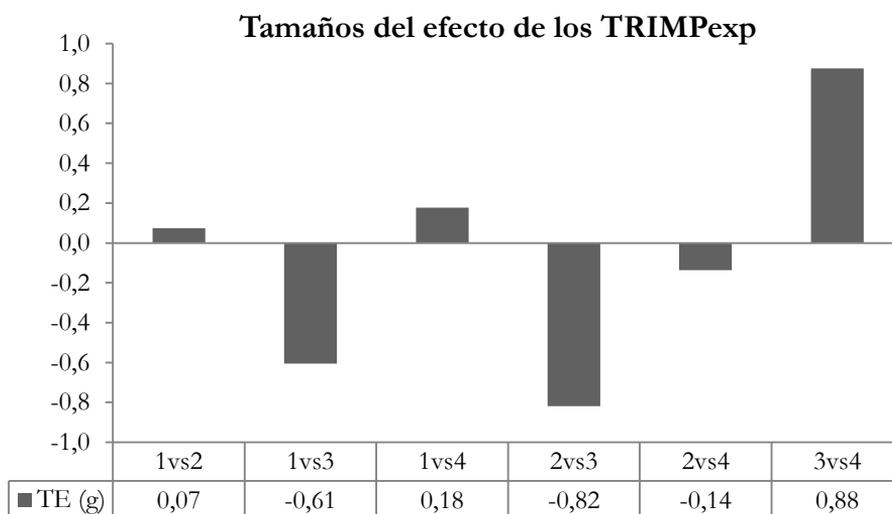
**Figura 15.** Frecuencia cardíaca a lo largo de una competición de judo simulada. Los valores son media  $\pm$  desviación típica. \*Diferencias significativas vs. combate 1.  $p < 0,05$ . Abreviaturas: ppm=pulsaciones por minuto; %FCres= porcentaje de frecuencia cardíaca de reserva; %FCmax=porcentaje de frecuencia cardíaca máxima.

### 5.4.4 Evolución de los TRIMPexp a lo largo de la competición

La carga total (TRIMPexp) realizada durante la competición de judo fue 81,1 u.a. (IC95%= 73,6 a 88,6 u.a.). El ANOVA de un factor encontró diferencias significativas entre combates ( $p = 0,021$ ;  $\eta^2 = 0,23$ ). En cambio, en la comparación por pares no se encontraron diferencias significativas entre combates (Figura 16). Esta falta de diferencias en la comparación por pares puede tener origen en la falta de potencia estadística, ya que el combate 3 mostró un cambio grande respecto al combate 2 y al combate 4 (Figura 17).



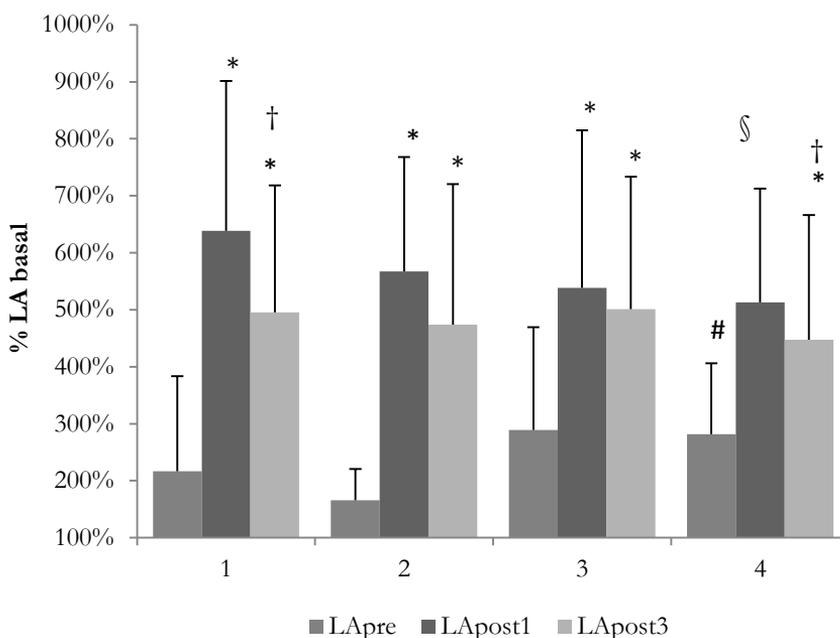
**Figura 16.** Impulso de entrenamiento (TRIMP<sub>exp</sub>) en una competición de judo simulada.



**Figura 17.** Tamaños del efecto (g de Hedges) de la comparación de combates de los TRIMP<sub>exp</sub> registrados durante una competición de judo simulada.

### 5.4.5 Lactato sanguíneo a lo largo de la competición

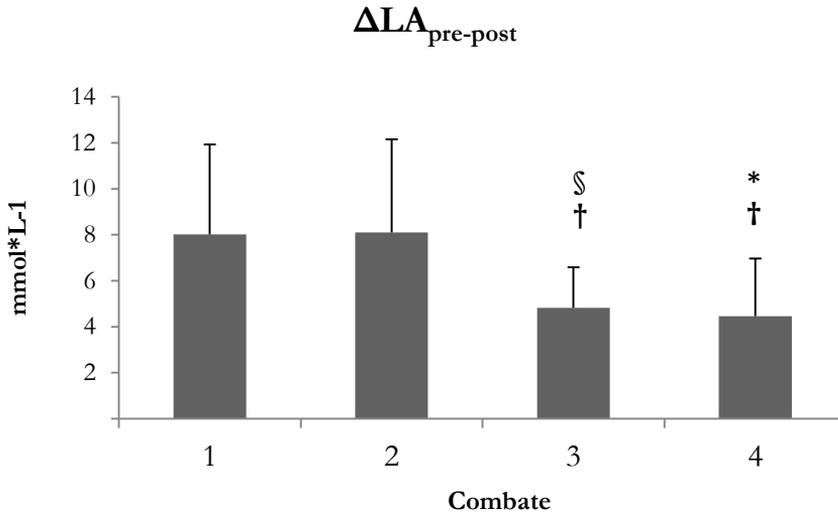
Las características de la evolución del lactato sanguíneo en porcentaje del lactato basal se presentan en la Figura 18. Hubo un efecto significativo ( $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,70$ ) del momento de medida (post1 > post3 > pre) y hubo un efecto de interacción significativo (combate\*momento;  $p = 0,007$ ;  $\eta^2 = 0,04$ ). La media del lactato sanguíneo post1 fue el valor más alto obtenido y fue decreciendo a medida que avanzaba la competición siendo en el C4 menor significativamente respecto al C1 ( $p = 0,017$ ). Sin embargo, el lactato sanguíneo post3 no mostró diferencias significativas entre combates ( $p > 0,05$ ). El pico de lactato sanguíneo ( $LA_{pico}$ ) por lo general se alcanzó en el primer minuto tras finalizar el combate de judo, sin embargo, casi la mitad de los judocas en el C2 y C3 obtuvieron su valor  $LA_{pico}$  en el tercer minuto. El  $LA_{pico}$  en C4 fue significativamente menor que en C1 ( $p = 0,019$ ;  $g = -0,76$ ;  $IC95\% = -1,62$  a  $0,11$ ). Además, el  $\%LA_{pre}$  en C4 fue significativamente superior a  $LA_{pre}$  en C2 ( $p = 0,030$ ;  $g = 1,26$ ;  $IC95\% = 0,26$  a  $2,06$ ).



**Figura 18.** Análisis ANOVA del lactato sanguíneo ‘combate x momento’. \*Diferencias significativas vs. Pre dentro de cada combate ( $p < 0,05$ ). †Diferencias significativas Post3 vs. Post1 dentro de cada combate ( $p < 0,05$ ). §Diferencias significativas vs. combate 1 dentro de cada momento ( $p < 0,05$ ). #Diferencias significativas vs. combate 2 dentro de cada momento ( $p < 0,05$ ). ¶Diferencias significativas vs. combate 3 dentro de cada momento ( $p < 0,05$ ). Las columnas representan los valores medios, y las barras de error las desviaciones típicas.

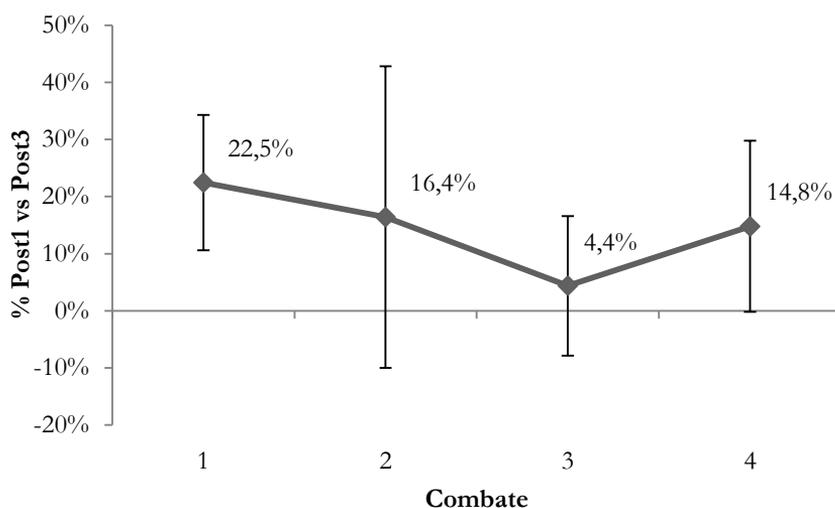
El lactato sanguíneo delta ( $\Delta LA_{pre-post}$ ) fue significativamente diferente entre combates ( $p = 0,008$ ;  $\eta^2 = 0,42$ ) y la comparación por pares determinó que el  $\Delta LA_{pre-post}$  en C1 tuvo una fuerte tendencia a ser mayor que C3 ( $p=0,051$ ;  $g=1,02$ ;  $IC95\%= 0,1$  a  $1,9$ ) y fue significativamente mayor que C4 ( $p=0,035$ ;  $g= 1,04$ ;  $IC95\%= 0,15$  a  $1,94$ ). Además, el  $\Delta LA_{pre-post}$  fue mayor en C2 respecto a C3 ( $p=0,026$ ;  $g= 1,01$ ;  $IC95\%= 0,12$  a  $1,9$ ) y C4 ( $p=0,032$ ;  $g= 1,04$ ;  $IC95\%= 0,2$  a  $1,9$ ) (Figura 19).

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas



**Figura 19.** Evolución de los valores de lactato delta (diferencia pre- post-) a lo largo de la competición. \*Diferencias significativas con combate 1 ( $p < 0,05$ ). †Diferencias significativas con combate 2 ( $p < 0,05$ ). §Tendencia a existir diferencias con combate 1 ( $0,05 > p < 0,1$ ). Los columnas representan los valores medios, y las barras de error las desviaciones típicas.

Friedman mostró diferencias significativas entre combates en la remoción del lactato sanguíneo ( $p = 0,045$ ) (Figura 20).  $LA_{re}$  en el combate 3 mostró una tendencia a ser inferior que en el combate 1 con un tamaño del efecto grande ( $p = 0,063$ ;  $g = -1,45$ ;  $IC95\% = -2,4$  a  $-0,5$ ). En cada combate,  $LA_{post1}$  y  $LA_{post3}$  fueron significativas mayores que  $LA_{pre}$ , sin embargo, sólo el  $LA_{post1}$  en combate 1 y 4 fue significativamente mayor que  $LA_{post3}$ .



**Figura 20.** Remoción del lactato sanguíneo entre  $LA_{post1}$  vs.  $LA_{post3}$ . Los valores son medias y las barras de error son las desviaciones típicas.

#### 5.4.6 Cambios de la FC, la variabilidad de la FC y la complejidad de la FC en reposo por la mañana al despertarse

En general, no hubo diferencias significativas en los índices de dominio de tiempo. Por otro lado, los índices de dominio de frecuencia, LFu.n., HFu.n. y la relación LF/HF, cambiaron significativamente por efecto de la competición. Los cambios en las variables de frecuencia relativa son influenciados por el aumento casi significativo de los valores absolutos del LF (ln ms<sup>2</sup>). Además, VLF (ln ms<sup>2</sup>) fue diferente entre las medidas, sin embargo, TP, HF en valores absolutos y el análisis no lineal no cambió (Tabla 5).

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

**Tabla 5.** Dominio tiempo, frecuencia y análisis no lineal de la VFC en reposo.

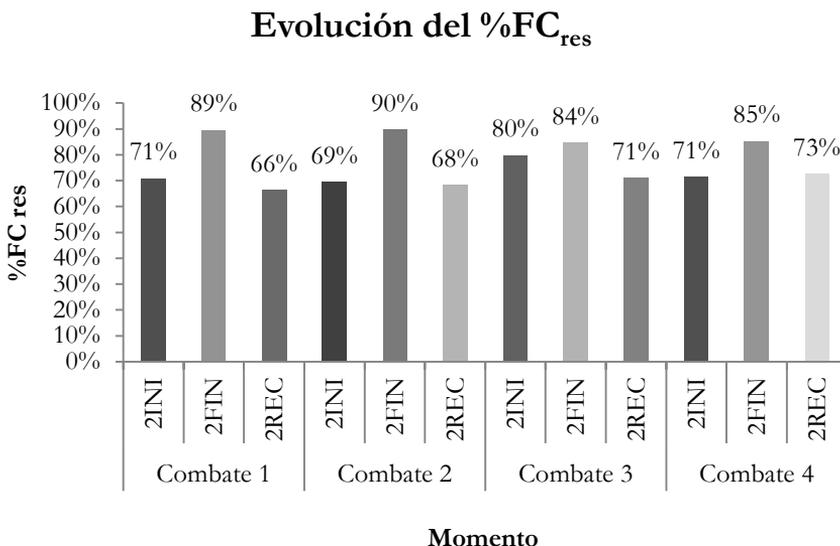
		Pre	Post	Sig.	g Hedges	IC95% (TE)
		Media ± DT	Media ± DT			
Dominio tiempo	RR <sub>med</sub> (ms)	1090 ± 168	1085 ± 156	0,904	-0,03	[-0,87; 0,81]
	RR <sub>dt</sub> (ms)	79 ± 37	85 ± 34	0,308	0,16	[-0,67; 1]
	FC <sub>med</sub> (ppm)	57 ± 10	57 ± 8	0,935	0,00	[-0,84; 0,84]
	FC <sub>dt</sub> (ppm)	5,4 ± 2,6	6,6 ± 2,8	0,106	0,43	[-0,42; 1,27]
	RMSSD (ln ms)	4,3 ± 0,6	4,4 ± 0,5	0,291	0,17	[-0,66; 1,01]
Dominio frecuencia	TP (ms <sup>2</sup> )	6734 ± 5855	8697 ± 6593	0,2	0,30	[-0,54; 1,14]
	VLF (ln ms <sup>2</sup> )	5,2 ± 1,3	6,2 ± 1,4	* 0,003	0,71	[-0,15; 1,57]
	LF (ln ms <sup>2</sup> )	7,4 ± 1,2	8,1 ± 0,8	γ 0,054	0,66	[-0,2; 1,52]
	HF (ln ms <sup>2</sup> )	7,5 ± 1,4	7,7 ± 1,0	0,672	0,16	[-0,68; 1]
	LFu.n.	47 ± 13	60 ± 18	* 0,032	0,80	[-0,07; 1,66]
	HFu.n.	53 ± 13	40 ± 18	* 0,032	-0,80	[-1,66; 0,07]
	LF/HF	1,0 ± 0,6	1,9 ± 1,2	* 0,043	0,91	[0,03; 1,79]
Dominio no lineal	SD1 (ms)	62 ± 34	67 ± 35	0,444	0,14	[-0,7; 0,98]
	SD2 (ms)	147 ± 71	175 ± 71	0,123	0,38	[-0,46; 1,22]
	S (ms <sup>2</sup> )	34172 ± 29257	40242 ± 29007	0,265	0,20	[-0,64; 1,04]
Complejidad de la VFC	SampEn	1,4 ± 0,4	1,2 ± 0,4	0,155	-0,48	[-1,33; 0,37]

RRmed: intervalo RR medio; RRdt: desviación típica del intervalo RR ; FCmed: FC media; FCdt: desviación típica de la FC media; RMSSD: raíz cuadrática media de las sucesivas diferencias entre intervalos RR sucesivos; TP: potencia total en FFT, 0,02 a 0,4 Hz; VLF: banda de muy baja frecuencia en FFT, 0,02 a 0,04 Hz; LF: banda de baja frecuencia en FFT, 0,04 a 0,15 Hz; HF: banda de alta frecuencia en FFT, 0,15 a 0,4 Hz ; LFu.n.: unidades normalizadas de la LF; HFu.n.: unidades normalizadas de la HF; LF/HF: ratio entre las frecuencias de banda baja y alta; SD1: variabilidad a corto plazo en el diagrama de Poincaré; SD2: combinación de la variabilidad a corto y largo plazo en el diagrama de Poincaré; S: área de la elipse formada por SD1 y SD2; SampEn: entropía muestral. \*Diferencias significativas p<0,05. γTendencia a presentar diferencias significativas 0,05>p>0,1.

### **5.4.7 Evolución del porcentaje de la FC de reserva, de la variabilidad de la FC y de la complejidad de la FC en el combate y la recuperación.**

#### **5.4.7.1 Evolución del porcentaje de la FC de reserva durante el combate y la recuperación**

Se escogió el %FC<sub>res</sub> como parámetro representativo para evaluar el estrés cardiovascular en los diferentes momentos (2INI, 2FIN, 2REC) y combates (C1, C2, C3, C4) (Figura 21). Existió efecto de interacción 'combate x momento' ( $p= 0,002$ ;  $\eta^2= 0,08$ ). En cambio, cuando el %FC<sub>res</sub> se expresa como la media de los 3 momentos no muestra diferencias entre los combates ( $p= 0,173$ ;  $\eta^2= 0,01$ ). El esfuerzo cardiovascular en 2FIN fue superior respecto a 2INI y 2REC ( $p<0,001$ ;  $\eta^2= 0,61$ ). Además, el momento 2INI en C3 fue mayor y con un efecto grande que en C1 ( $p = 0,032$ ;  $g=0,89$ ; IC95%=0,01 a 1,76) y que C2 ( $p = 0,007$ ;  $g=1,29$ ; IC95%= 0,4 a 2,2), sin embargo no había diferencia entre 2INI Y 2FIN dentro de C3.



**Figura 21.** Evolución del porcentaje de FC de reserva a lo largo de la competición.

#### 5.4.7.2 Evolución de la variabilidad de la FC y de la complejidad de la FC durante el combate y la recuperación

Los datos referentes a la evolución de la TP, HF y LF a través de los combates y momentos de medición se presentan en la Tabla 6. El ANOVA de dos vías reveló un efecto significativo del momento de medición en TP (ln) ( $p = 0,022$ ;  $\eta^2 = 0,12$ ), siendo el período de recuperación (2REC) significativamente mayor que los últimos momento del combate (2FIN) ( $p = 0,06$ ). En general, la HF (ln) fue más alta en 2FIN que en 2REC ( $p = 0,003$ ,  $\eta^2 = 0,021$ ). Además, la HF presentó una interacción combate\*momento ( $p = 0,049$ ,  $\eta^2 = 0,06$ ), y el análisis post-hoc reveló que la HF en 2INI durante el combate 3 fue significativamente menor y con un efecto grande que en el combate 1 ( $p = 0,038$ ;  $g = 1,02$ ;  $IC_{95\%} = 0,14$  a  $1,92$ ). Por otro lado, el

factor combate tuvo un efecto significativo ( $p= 0,039$ ;  $\eta^2= 0,10$ ) en LF (ln) y el factor momento presentó una tendencia a la significación ( $p= 0,058$ ;  $\eta^2= 0,06$ ). La comparación por pares en LF muestra una tendencia a que C3 sea inferior a C1 ( $p= 0,061$ ) y a que 2REC sea menor que 2INI ( $p = 0,066$ ).

Como se detalla en la Tabla 6, la relación LF/HF fue significativamente diferente entre los momentos ( $p<0,001$ ,  $\eta^2= 0,38$ ) y mostró una tendencia a la interacción combate\*momento ( $p = 0,055$ ,  $\eta^2 = 0,05$ ). Además, en este parámetro 2FIN fue menor que 2INI y 2REC ( $p=0,006$  y  $p<0,001$  respectivamente). Profundizando más, solamente C4 mostró que sus momentos eran iguales, y los valores de 2FIN fueron menores que 2REC ( $p= 0,006$ ) y 2INI ( $p= 0,025$ ) para C1 y C2 respectivamente. Asimismo, C3 mostró 2FIN menor que 2INI ( $p= 0,007$ ) y 2REC ( $p <0,001$ ). La HF en unidades normalizadas (HFu.n.) presentó un efecto del momento ( $p<0,001$ ;  $\eta^2= 0,13$ ).

El análisis de la complejidad de la VFC reveló un gran tamaño del efecto del momento de medición en ApEn ( $p<0,001$ ;  $\eta^2= 0,78$ ) (Tabla 6). El corazón late en 2FIN de manera más caótica que en los momentos 2INI ( $p= 0,001$ ) y 2REC ( $p<0,001$ ). La complejidad de la FC no fue diferente entre los combates.

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

**Tabla 6.** Evaluación de la VFC y los índices de la complejidad de la FC a lo largo de la competición.

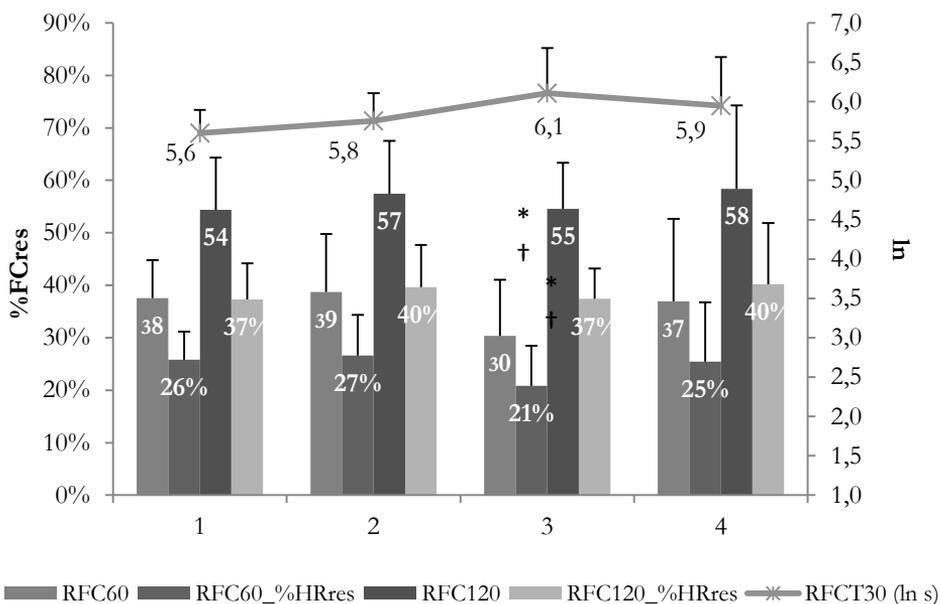
	Combate 1	Combate 2	Combate 3	Combate 4	Efectos
<b>TP (ln ms<sup>2</sup>)</b>					
2INI	6,5±0,1	6,4±0,1	6,4±0,1	6,3±0,3	Combate: NS
2FIN	6,3±0,2	6,3±0,2	6,2±0,2	6,2±0,2	Tiempo: p=0,022, η <sup>2</sup> =0,12
2REC	6,3±0,1	6,4±0,1	6,4±0,1	6,4±0,1	Interacción: NS
<b>HF (ln ms<sup>2</sup>)</b>					
2INI	5,3±0,2	5,1±0,1	5±0,2 <b>Ω</b>	5,2±0,3	Combate: NS
2FIN	5,3±0,2	5,2±0,2	5,2±0,3	5,3±0,3	Tiempo: p=0,003, η <sup>2</sup> =0,21
2REC	4,9±0,2	5±0,2	5±0,2	5±0,2	Interacción: p=0,049, η <sup>2</sup> =0,06
<b>LF (ln ms<sup>2</sup>)</b>					
2INI	5,5±0,2	5,4±0,1	5,2±0,5	5,4±0,3	Combate: p=0,039, η <sup>2</sup> =0,10
2FIN	5,5±0,3	5,3±0,3	5,1±0,4	5,3±0,4	Tiempo: p=0,058, η <sup>2</sup> =0,06
2REC	5,2±0,2	5,2±0,1	5,2±0,1	5,2±0,2	Interacción: NS
<b>LF/HF</b>					
2INI	1,2±0,2	1,4±0,2	1,2±0,3	1,3±0,2	Combate: NS
2FIN	1,2±0,2	1,1±0,2 <b>a</b>	0,9±0,2 <b>a</b>	1,1±0,2	Tiempo: p<0,001, η <sup>2</sup> =0,38
2REC	1,4±0,2 <b>b</b>	1,2±0,2	1,2±0,2 <b>b</b>	1,2±0,2	Interacción: p=0,055, η <sup>2</sup> =0,05
<b>HFu.n.</b>					
2INI	45±3	42±3	47±10	45±4	Combate: NS
2FIN	46±3	47±5	53±7	48±4	Tiempo: p<0,001, η <sup>2</sup> =0,13
2REC	42±3	45±4	46±5	45±4	Interacción: NS
<b>ApEn</b>					
2INI	0,24 ±0,13	0,17 ±0,14	0,20 ±0,07	0,25 ±0,11	Combate: NS
2FIN	0,83 ±0,08	0,66 ±0,58	0,90 ±0,29	0,93 ±0,30	Tiempo: p<0,001, η <sup>2</sup> =0,78
2REC	0,16 ±0,07	0,16 ±0,06	0,17 ±0,08	0,16 ±0,05	Interacción: NS

ΩDiferencias significativas con combate 1. ∫ Diferencias significativas con combate 2. # Diferencias significativas con combate 3. a Diferencias significativas con 2INI dentro del mismo combate. b Diferencias significativas con 2FIN dentro del mismo combate. Los valores representan la media ± DT.

### 5.4.7.3 Evolución de la recuperación de la FC (RFC) durante la competición

La FC al final de cada combate (C1= 92,3  $\pm$ 4,3; C2= 93,0  $\pm$ 5,0; C3= 93,0  $\pm$ 5,4; C4= 97,0  $\pm$ 4,6) fue mayor en C4 respecto a C1 ( $p=0,022$ ;  $g= -1,01$ ; IC95%= -1,9 a -0,12). Los índices de la RFC en cada combate se muestran en la Figura 22. La RFC60 en términos absolutos y en porcentaje de la FC<sub>res</sub> (RFC60\_%FCres) fueron significativamente diferente entre los combates (RFC60,  $p= 0,022$ ; y RFC60\_%FCres,  $p=0,025$ ;  $\eta^2= 0,21$ ). Como la evolución de los dos parámetros fue similar se presentan sólo los datos detallados de la RFC60. En este parámetro absoluto C3 fue notablemente menor que C1 (RFC60,  $p=0,037$ ;  $g=0,76$ ; IC95%=-0,11 a 1,62) y C2 (RFC60,  $p= 0,042$ ;  $g=0,74$ ; IC95%=1,6). Sin embargo, no hubo diferencias entre C3 y C4 en la RFC60 o entre cualquier combate en RFC120. Además, RFCT30 (ln s) presentó diferencia significativa entre los combates ( $p = 0,021$ ;  $\eta^2= 0,27$ ). C3 mostró tendencia a ser mayor que C1 ( $p= 0,063$ ;  $g=-1,07$ ; IC95%=-1,96 a -0,18).

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas



**Figura 22.** Índices de recuperación de la FC. \*Diferencias significativas con combate 1 ( $p < 0,05$ ). †Diferencias significativas con combate 2 ( $p < 0,05$ ). Los valores son media  $\pm$  DT.

### 5.4.8 Correlaciones entre los parámetros fisiológicos y mecánicos

Para el análisis de correlación se decidió calcular el delta porcentual en las variables de la VFC en reposo (Tabla 7) y las variables promedio de los parámetros obtenidos durante la competición (Tabla 8).

Todas las variables de la VFC mostraron un incremento después de la competición de judo, algunos de estos cambios no alcanzaron significación estadística debido a que el intervalo de confianza contenía el valor cero, esta situación puede explicarse a la variabilidad en las respuestas inter-deportista. Sin embargo, las variables de

complejidad de la FC presentaron cambios negativos sin significación estadística.

**Tabla 7.** Delta porcentual de los parámetros de la VFC (no lineal, dominio de tiempo y dominio de frecuencia) y de la complejidad de la FC en reposo.

		Media $\pm$ DT	IC95% [LI; LS]
Dominio de tiempo	% $\Delta$ RRmed	0,34 $\pm$ 10,92	[-7; 8]
	% $\Delta$ RRdt	17 $\pm$ 33	[-5; 38]
	% $\Delta$ FCmed	1,2 $\pm$ 11,5	[-6,5; 8,9]
	% $\Delta$ FCdt	39 $\pm$ 81	[-16; 93]
	% $\Delta$ RMSSD	17 $\pm$ 41	[-10; 45]
Dominio de frecuencia	% $\Delta$ TP	157 $\pm$ 289	[-37; 351]
	% $\Delta$ LF	251 $\pm$ 451	[-52; 553]
	% $\Delta$ HF	89 $\pm$ 258	[-84; 263]
No-Lineal	% $\Delta$ SD1	17 $\pm$ 40	[-10; 44]
	% $\Delta$ SD2	32 $\pm$ 64	[-11; 76]
	% $\Delta$ S	56 $\pm$ 86	[-2; 114]
Complejidad	% $\Delta$ SampEn	-10 $\pm$ 35	[-33; 14]

% $\Delta$ : delta porcentual; LI: límite inferior del intervalo de confianza al 95%; LS: límite superior del intervalo de confianza al 95%; RRmed: intervalo RR medio; RRdt: desviación típica del intervalo RR ; FCmed: frecuencia cardiaca media; FCdt: desviación típica de la frecuencia cardiaca media; RMSSD: raíz cuadrática media de las sucesivas diferencias entre intervalos RR sucesivos; TP: potencia total en el análisis de FFT, 0,02 a 0,4 Hz; LF: banda de baja frecuencia en el análisis FFT, 0,04 a 0,15 Hz; HF: banda de alta frecuencia en el análisis FFT, 0,15 a 0,4 Hz; SD1: variabilidad a corto plazo en el diagrama de Poincaré; SD2: combinación de la variabilidad a corto y largo plazo en el diagrama de Poincaré; S: área de la elipse formada por SD1 y SD2; ApEn: entropía aproximada; SampEn: entropía muestral. Los datos son media  $\pm$  desviación típica (DT) y límites del intervalo de confianza al 95%.

**Tabla 8.** Parámetros promedio de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición de judo.

	Media $\pm$ DT	IC95% [LI; LS]
Tiempo de combate (s)	467 $\pm$ 23	[451; 483]
TRIMP <sub>exp</sub> (u.a.)	20 $\pm$ 4	[18; 22]
FC <sub>med</sub> (ppm)	172 $\pm$ 8	[166; 178]
FC <sub>res</sub> (%)	81 $\pm$ 5	[78; 85]
LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	7,9 $\pm$ 1,8	[6,6; 9,1]
$\Delta$ LA <sub>pre-post</sub> (mmol*L <sup>-1</sup> )	6,3 $\pm$ 2,2	[4,8; 7,8]
LApico (mmol*L <sup>-1</sup> )	11 $\pm$ 3	[9; 12]
LAre (%)	15 $\pm$ 9	[9; 20]
RFCT30 (ln s)	5,9 $\pm$ 0,4	[5,7; 6,2]
RFC60 (pulsaciones)	36 $\pm$ 9	[30; 42]
RFC120 (pulsaciones)	56 $\pm$ 9	[50; 62]
TPrec (ms <sup>2</sup> )	591 $\pm$ 59	[551; 631]
LFrec (ms <sup>2</sup> )	181 $\pm$ 22	[167; 196]
HFrec (ms <sup>2</sup> )	147 $\pm$ 16	[136; 158]
ApEnrec	0,17 $\pm$ 0,06	[0,13; 0,21]

TRIMP<sub>exp</sub>: impulso de entrenamiento con corrección propuesta por Banister (95); FC<sub>med</sub>: frecuencia cardíaca media; FC<sub>res</sub>: frecuencia cardíaca de resvea; LA: lactato sanguíneo;  $\Delta$ LA<sub>pre-post</sub>: incremento del lactato sanguíneo de pre- a post combate; LApico: lactato sanguíneo pico post-combate; LAre: remoción de lactato sanguíneo; RFCT30: semilogarítmica de la recuperación cardíaca en los primeros 30 segundos de recuperación; RFC60: recuperación cardíaca en el primer minuto post-combate; RFC120: recuperación cardíaca en los dos primeros minutos de combate; TPre: potencia total en el análisis FFT durante la recuperación; LFrec: banda de baja frecuencia en el análisis FFT durante la recuperación; HFrec: banda de alta frecuencia en el análisis FFT durante la recuperación; ApEnrec: entropía aproximada durante la recuperación. Los datos son media  $\pm$  desviación típica (DT) y límites (LI: límite inferior y LS: límite superior) del intervalo de confianza al 95%.

Las asociaciones entre todos los cambios porcentuales se muestran en la Tabla 9. Se encontró que los cambios en el dominio del tiempo, dominio de la frecuencia y las variables de Poincaré están altamente correlacionados. Curiosamente, los cambios en RRdt, FC<sub>med</sub> y S correlacionaron positivamente con los cambios de la mayoría de las variables de la VFC. Además, la complejidad de la frecuencia cardíaca (i.e. SampEn) cambió en la misma dirección que el cambio de

intervalo RRmed y no se correlacionó con ninguna otra variable de VFC.

La mayoría de valores delta porcentuales correlacionaron negativamente con su propio valor pre ( $\Delta\%$  vs. pre): RRdt ( $r = -0,595$ ,  $p = 0,053$ ); Ln\_RMSSD ( $r = -0,612$ ,  $p = 0,045$ ); TP ( $r = -0,573$ ,  $p = 0,066$ ); LF ( $r = -0,755$ ,  $p = 0,007$ ); HF ( $r = -0,609$ ,  $p = 0,047$ ); S ( $r = -0,573$ ,  $p = 0,066$ ); SampEn ( $r = -0,655$ ,  $p = 0,029$ ).

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

**Tabla 9.** Correlaciones entre los deltas porcentuales de las variables fisiológicas medidas en reposo por la mañana inmediatamente después de despertarse.

		Dominio tiempo			Dominio frecuencia			No-Lineal		CFC	
		%ΔRRmed	%ΔRRdt	%ΔRMSSD	%ΔTP	%ΔLF	%ΔHF	%ΔS	%ΔSD2	%ΔSD1	%ΔSampEn
Dominio tiempo	%ΔRRmed	1	0,166	0,535 $\gamma$	0,009	-0,045	0,082	0,018	-0,182	0,532	0,786 **
	%ΔRRdt		1	0,825 **	0,782 **	0,773 **	0,618 *	0,901 **	0,536 $\gamma$	0,834 **	0,117
	%ΔRMSSD			1	0,518	0,418	0,536 $\gamma$	0,619 *	0,073	1,000 **	0,447
Dominio frecuencia	%ΔTP				1	0,864 **	0,927 **	0,845 **	0,645 *	0,600 $\gamma$	0,127
	%ΔLF					1	0,673 *	0,782 **	0,600 $\gamma$	0,482	0,164
	%ΔHF						1	0,818 **	0,609 *	0,618 *	0,073
No-Lineal	%ΔS							1	0,782 **	0,633 *	-0,078
	%ΔSD2								1	0,191	-0,345
	%ΔSD1									1	0,442
CFC	%ΔSampEn										1

CFC= complejidad de la frecuencia cardiaca. \*Correlación significativa  $p < 0,05$  (bilateral). \*\*Correlación significativa  $p < 0,01$  (bilateral).  $\gamma$ Tendencia a la correlación  $0,05 > p > 0,1$ .

Los promedios de las variables de la VFC durante la recuperación post-combates no correlacionaron con los deltas porcentuales de las variables fisiológicas en reposo, pero si lo hicieron con las variables fisiológicas en reposo pre-competición. Sin embargo, la recuperación de la frecuencia cardiaca (RFCT30, RFC60, RFC120) no mostró asociación ninguna con la VFC en reposo antes de la competición pero si con la complejidad de la FC pre-competición. El porcentaje de incremento de lactato pre y post combate de judo ( $\% \Delta LA_{pre-post}$ ) correlacionó positivamente con la complejidad de la FC (Tabla 10).

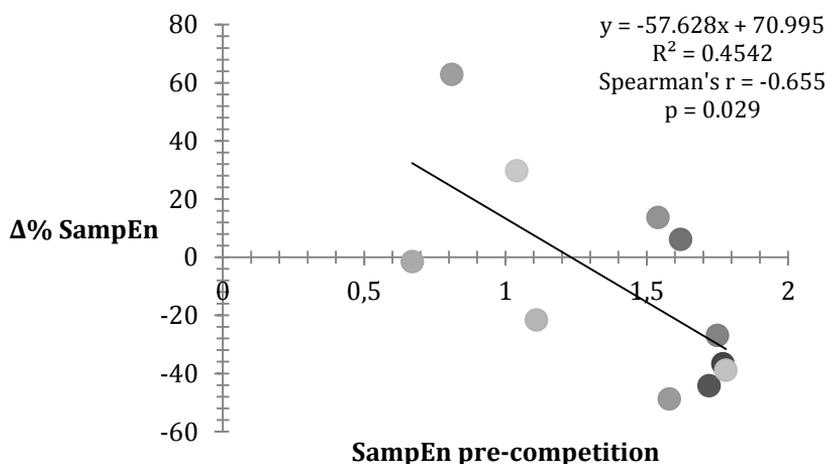
**Tabla 10.** Correlación entre VFC tras despertar por la mañana y los parámetros de recuperación tras cada combate durante la competición.

		VFC y complejidad de la FC Pre-Competición				
		Dominio tiempo		Dominio frecuencia	No-Lineal	CFC
		RRmed (ms)	RMSSD (ln)	TP (ms <sup>2</sup> )	SD1	SampEn
Promedio RFC	RFCT30 (ln s)	-0,315	0,009	0,123	-0,007	0,646 *
	RFC60 (ppm)	0,400	0,187	-0,005	0,087	-0,724 *
	RFC120 (ppm)	0,495	0,373	0,179	0,269	-0,805 **
Promedio VFC en REC	TPrec (ms <sup>2</sup> )	0,647 *	0,582	0,386	0,454	-0,830 **
	LFrec (ms <sup>2</sup> )	0,408	0,636 *	0,679*	0,685 *	-0,594 $\gamma$
	FCrec (ms <sup>2</sup> )	0,646 *	0,645 *	0,551 $\gamma$	0,64 *	-0,835 **
Media LA	$\Delta LA_{pre-post}$ (%)	0,282	0,391	0,455	0,482	0,645 *

CFC= Complejidad de la frecuencia cardiaca. \*Correlación significativa ( $p < 0,05$ ). \*\*Correlación significativa ( $p < 0,01$ ).  $\gamma$  Tendencia a la correlación significativa ( $0,05 > p > 0,1$ ).

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

Además, SampEn pre- competición presentó una fuerte asociación negativa ( $r=-0,655$ ,  $p= 0,029$ ) con el delta porcentual del mismo parámetro (Figura 23).



**Figura 23.** Asociación entre SampEn antes de la competición y en porcentaje de cambio después de la competición ( $\Delta\%$ SampEn). Análisis de Correlación Spearman.

A mejor recuperación cardíaca promedio después de los combates de judo, baja RFCT30, y alta RFC60 y RFC120, se asoció con una mayor variabilidad de la frecuencia cardíaca promedio en el período de recuperación post-combate (IPrec, LFrec, FCrec) (Tabla 11).

**Tabla 11.** Asociación entre la FC de recuperación (HRR) y la variabilidad de la FC (HRV) durante la recuperación.

		Promedio VFC en la recuperación		
		TP (ms <sup>2</sup> )	LF (ms <sup>2</sup> )	HF (ms <sup>2</sup> )
Promedio RFC	RFCT30 (ln s)	-0,666 *	-0,292	-0,603 *
	RFC60 (ppm)	0,865 **	0,584 $\gamma$	0,679 *
	RFC120 (ppm)	0,888 **	0,572 $\gamma$	0,755 **

\*Correlación significativa,  $p < 0.05$ . \*\*Correlación significativa,  $p < 0.01$ .  $\gamma$ Tendencia a la correlación significativa,  $0,05 > p > 0,1$ .

La intensidad, %FC<sub>res</sub>, y la carga, TRIMP<sub>exp</sub>, cardiovascular promedio de la competición no correlacionaron con las variables RFC y VFC en la recuperación. Por otro lado, encontramos que a mayores valores medios de LA obtenidos durante la competición de judo (Pre, Post1 y Post3) menor era el promedio de la RFC60. Asimismo, los valores promedio de LA mostraron una tendencia a la asociación negativa con LFrec. Además, a mejor capacidad para eliminar el lactato a lo largo de la competición (i.e. LA<sub>re</sub>) se asoció con una recuperación más rápida a corto plazo (i.e. mejor media RFCT30) y hubo una tendencia en la asociación con mayor recuperación después de 2 min (RFC120). Los datos se presentan en la Tabla 12.

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

**Tabla 12.** Asociación entre los parámetros fisiológicos a lo largo de la competición.

		Promedio variables fisiológicas competición			
		FCres (%)	TRIMP <sub>exp</sub>	LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	LAre (%)
Promedio RFC	RFCT30 (ln)	-0,133	0,10	0,384	-0,640 *
	RFC60 (beats)	-0,143	-0,36	-0,602 *	0,247
	RFC120 (beats)	0,113	-0,13	-0,442	0,545 $\gamma$
Promedio VFCrec	TPrec (ms <sup>2</sup> )	0,038	-0,19	-0,469	0,250
	LFrec (ms <sup>2</sup> )	-0,146	-0,34	-0,535 $\gamma$	-0,063
	HFrec (ms <sup>2</sup> )	0,237	0,05	-0,378	0,321

\*Correlación significativa ( $p < 0.05$ ). \*\*Correlación significativa ( $p < 0.01$ ).  $\gamma$ Tendencia a la significación ( $p < 0,1$ ).

## 5.5 Discusión

El objetivo de este estudio fue caracterizar el esfuerzo fisiológico y metabólico de la competición de judo, y analizar sus efectos agudos en la modulación cardíaca autonómica.

Trabajos previos han examinado la frecuencia cardíaca durante los combates y las respuestas del lactato en sangre tanto tras varios combates sucesivos como tras torneos de judo simulados (60,62,70,75,80,307,308). Sin embargo, estos autores utilizaron un periodo de recuperación fijo entre combates, lo cual no reproduce el esfuerzo específico de la competición de judo, donde el formato de los torneos impone una recuperación que va disminuyendo con el progreso de la competición.

El presente trabajo analiza la acumulación de lactato en sangre, la intensidad relativa del ejercicio (i.e. %FC<sub>es</sub>), la carga (TRIMP<sub>exp</sub>)

de los combates, la variabilidad de la frecuencia cardiaca (i.e. VFC) en reposo (pre- y post-combate), la VFC durante los combates y durante el periodo de recuperación, y la recuperación de la FC después de los combates (RFC). Hasta el momento, este es el primer estudio en la literatura que analiza los parámetros fisiológicos en una competición de judo simulada con formato de eliminatoria, es decir con una recuperación decreciente entre combates. El diseño del presente estudio, posee una gran validez externa ya que el protocolo de evaluación del rendimiento reproduce con gran especificidad las demandas específicas de la competición de judo en los requisitos fisiológicos y metabólicos, en los requerimientos neuromusculares y coordinativos, en un contexto de patrones temporales de esfuerzo/recuperación específicos.

### **5.5.1 Duración de los combates**

En este estudio, la duración media del combate ha sido de 469  $\pm$ 73 segundos, valores similares a lo reportado en la literatura (29,40,48,53), y además no se encontraron diferencias significativas entre combates. Desafortunadamente, no encontramos estudios en la literatura que hayan analizado la estructura temporal de una competición de judo real o simulada en formato de eliminatoria. Futuros trabajos deberían explorar la influencia del formato de torneo y la distribución de la recuperación en la duración de los combates.

En el presente trabajo se modificó la regla de puntuación límite (art. 10.2. en reglamento de la IJF (27)), de manera que todos los

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

enfrentamientos debían ser completados incluso si la máxima puntuación había sido alcanzada. Esta modificación se hizo para atender al objetivo de realizar la caracterización fisiológica del esfuerzo en la competición de judo. Por lo tanto, se decidió abordar la situación más dura a la que el judoca puede enfrentarse, y esta situación servirá de referencia para determinar los objetivos del entrenamiento. Trabajos previos han analizado la estructura temporal de los enfrentamientos de judo en situaciones de competición tanto reales como simuladas (26,49,50,53,78,308). Sin embargo, los estudios realizados en competición real o que finalizan antes del tiempo reglamentario por diversas causas (i.e. uno de los judocas alcanza la máxima puntuación, es descalificado o se lesiona) no nos aportan la visión de la situación más desfavorable posible a nivel condicional. Castarlenas y Planas (26) analizaron 144 combates de diferentes fases y categorías de peso del Campeonato Mundial de Barcelona de 1991. Estos autores encontraron que el 58% de los combates completaban los 5 minutos de tiempo oficial, mientras que el 42% de los combates terminaban antes de ese tiempo. Sin embargo, Sáez de Cosca et al (309) estudiaron la estructura temporal de los combates en competiciones regionales (N= 53, Campeonato Gallego) y nacionales (N = 17, Campeonato de España) y reportaron que el 79% de los enfrentamientos no completaban el tiempo oficial. Más recientemente, Boguszewski (310) estudió el efecto de la modificación de las normas de IJF (i.e. del inglés International Judo Federation) desde el 2005 al 2010 en la dinámica de los combates y en la duración de los combates. Este autor analizó 40 combates

masculinos (72 judocas, 32 países) de las finales de importantes campeonatos (Grand Slam, Mundiales y Juegos olímpicos). En este estudio se reportó que los combates que terminaban antes de lo establecido desde 2005 a 2009 excedía el 50%. Por lo tanto, parece existir una tendencia a agotar más el tiempo reglamentario en combates de nivel alto en comparación con los combates de campeonatos regionales y nacionales. Esta información señala a que posiblemente a medida que se compite a mayor nivel las capacidades condicionales son más importantes, seguramente porque los niveles son más igualados.

### **5.5.2 La frecuencia cardíaca y los TRIMP<sub>exp</sub> durante la competición**

La frecuencia cardíaca media alcanzada durante los combates osciló entre 168ppm y 177ppm, similar a los obtenidos en enfrentamientos simulados o competiciones (37,54,61,69,311,312). Sin embargo, la comparación de estos estudios con los resultados del presente estudios debe ser considerada con cautela ya que estos estudios presentan los valores de la FC en valores absolutos, y estos pueden representar un porcentaje diferente de la  $FC_{max}$  y de la  $FC_{res}$  (313), implicando por tanto un estrés cardiovascular diferente para los judocas. Los judocas lucharon alrededor de 31 minutos a una intensidad cardiovascular alta ( $>85$  de la  $FC_{max}$ ). Este resultado concuerda con estudios previos que reportaron esfuerzos de entre el 85% y el 95% de la  $FC_{max}$  durante combates y competiciones (28,29,58,61).

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

El presente estudio es el primero en evaluar el estrés cardiovascular en una competición de judo con formato eliminatoria. Se ha encontrado un incremento de la FC en los dos últimos combates en comparación con los dos primeros, siendo el combate 4 significativamente mayor que el combate 1. Iglesias et al (29) evaluaron a judocas de nivel nacional en dos enfrentamientos consecutivos de judo separados por 15 minutos de recuperación. Estos autores reportaron un incremento del 2% en el %FC<sub>res</sub> del combate 1 ( $85 \pm 3\%$  FC<sub>res</sub>) al 2 ( $87 \pm 3\%$  FC<sub>res</sub>). Resultados muy similares reportaron Bonitch-Domínguez (311) en una competición de judo simulada (i.e. 4 combates) con recuperación fijada en 15 min entre combates. Estos autores encontraron valores de 90% FC<sub>max</sub> y no encontraron diferencias significativas entre combates ( $p = 0.067$ ), no obstante, el combate 2 y el combate 3 mostraron un incremento moderado en el %FC<sub>max</sub> en relación al combate 1. Recientemente, Branco et al (92) reportaron valores inferiores y con un ligero incremento en la FC desde el combate 2 al combate 3 (de  $174 \pm 15$  a  $178 \pm 14$  ppm). Sin embargo, los judocas realizaban una simulación de competición compuesta por 4 combates y solamente 5 minutos de descanso entre ellos, lo que podría haber influenciado en los resultados.

La frecuencia cardíaca es considerada como un indicador de intensidad debido a su estrecha relación lineal con el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) a lo largo de un amplio rango de intensidades submáximas. Además, expresar la frecuencia cardíaca como %FC<sub>res</sub>, supone casi exactamente la misma intensidad que el porcentaje del consumo de oxígeno de reserva (i.e. %VO<sub>2res</sub>) (313,314). En la

competición simulada del presente trabajo, el impacto cardiovascular supuso el 78% de la  $FC_{res}$ , por lo tanto atendiendo a la relación establecida con el  $VO_2$ , se podría decir que esta intensidad estaría muy cerca del 78% del  $VO_{2res}$ . No obstante, para que estos valores sean intercambiables debe realizarse una calibración individual. Bonitch et al (69) llevaron a cabo test incrementales en ocho judocas para establecer la pendiente de la curva de relación individual  $FC/VO_2$  y registraron la  $FC_{med}$  durante la competición. Estos autores observaron que el umbral ventilatorio (i.e.  $VT_2$ ) fue de 79% de la  $VO_{2max}$ , lo que supuso una  $FC$  de 175 ppm durante el test incremental, valor que fue sobrepasado durante la competición de judo simulada. Con estos datos podríamos inferir que los judocas del estudio de Bonitch et al y los del presente estudio estaban peleando a un ritmo por encima del umbral, sin embargo esta afirmación plantearía ciertas limitaciones. Las características del ejercicio (i.e. trabajo de brazos, acciones isométricas, actividad intermitente, posturas corporales, patrones de respiración) pueden modificar la pendiente de la curva  $FC/VO_2$  (315,316). La  $FC$  registrada en actividades a un mismo  $VO_2$  que implican el miembro superior, tanto en ejercicios estáticos como en ejercicios dinámicos, es mayor que si se realizan con el miembro inferior (317). Gran parte de la musculatura del miembro superior es activada en el trabajo de agarre, por lo tanto, esta circunstancia puede ser uno de influenciar en las respuestas de la  $FC$  a lo largo de los combates. El tiempo invertido en la conductas de agarre no ha sido registrado en este estudio, pero en relación a esto Miarka et al (50) analizaron 582 enfrentamientos de

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

la categoría absoluta y reportaron que del tiempo de actividad durante el combate (i.e.  $30 \pm 33$  segundos) los judocas invertían  $14 \pm 15$  segundos en el trabajo de agarre. Además, Marcon et al (318) observaron que la lucha por el agarre consume el  $51 \pm 11\%$  del tiempo de cada combate. Se ha reportado que la fuerza aplicada en el trabajo de agarre está por encima del 85% de la contracción voluntaria máxima (i.e. MVC) (319). MacDougall et al (320) reportaron que las contracciones isométricas realizadas con el miembro superior por encima del 80% de la MVC desencadena la utilización de la maniobra de Valsalva, incrementando exageradamente la presión sanguínea. En consecuencia, los cambios en la presión sanguínea producidos por posibles maniobras de Valsalva y la oclusión sanguínea que se puede producir en el trabajo de agarre afectaría a la respuesta de la FC por activación de los baroreflejos (O'Learly, 1996; Lanfranchi & Somers, 2002; Franklin, 1985). En conjunto, todas estas circunstancias nos indican que la relación entre FC y VO<sub>2</sub> en actividades de lucha con agarre se deben interpretar con cautela. Aunque la FC<sub>res</sub> puede no ser capaz de estimar de manera precisa el VO<sub>2res</sub> durante un combate de judo, si ha demostrado servir para informar del estrés cardiovascular y la contribución aeróbica en esfuerzos intermitentes (91). Además, la FC y el VO<sub>2</sub> alcanzados en combates de judo simulados están próximos a los valores máximos alcanzados en test incrementales, lo que si indica que el combate de judo se realiza a un nivel alto de estrés cardiovascular (61,83).

La evolución de la carga cardiovascular no fue lineal a lo largo de la competición. Únicamente el combate 3, que no fue de mayor duración, mostró un cambio grande y significativo respecto al combate 2, mayor demanda cardiovascular (i.e. TRIMP<sub>exp</sub>) que el combate 2 y el combate 4. No existe un método “golden standard” (i.e. de referencia) que pueda medir la intensidad de la carga del ejercicio y del entrenamiento/competición en los deportes de combate. Se ha sugerido que el análisis de los TRIMP<sub>exp</sub> son una herramienta útil para cuantificar la intensidad en deportes intermitentes (95,321,322). En el presente estudio, los TRIMP<sub>exp</sub> fueron calculados y analizados en orden de evaluar la carga interna (volumen x intensidad) en los combates y para compararlos entre sí. Tanto las secuencias de trabajo como las pausas cortas entre combates fueron incluidas en el análisis, por lo tanto los análisis TRIMP<sub>exp</sub> del presente trabajo reflejan, no sólo el estrés cardiovascular durante las secuencias de acción, si no también la capacidad de recuperación durante pausas cortas tras esfuerzos de alta intensidad. La validez de este método para controlar la intensidad será determinada por la asociación de este parámetro con pérdidas de rendimiento durante combates de mayor carga o con la reducción del rendimiento en pruebas medidas pre- y post-combate (ver sección 6.4.2.2). No encontramos estudios en la literatura que hayan analizado el TRIMP en competición de judo. En cambio, estos índices si han sido utilizados recientemente para controlar la carga durante un periodo de entrenamiento (323). Estos autores encontraron valores de TRIMP en entrenamientos basados en práctica de combate o realización de técnicas de 317

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

$\pm 29$  y  $178 \pm 11$ , respectivamente. Estos valores suponen de 4 a 2 veces la carga cardiovascular que se registro en el presente estudio durante una competición de judo. Los autores del estudio citado no reportan ningún tipo de relación con las otras variables que se midieron para cuantificar la carga de entrenamiento (i.e. VFC, cuestionarios psicométricos de recuperación y estrés), así que los resultados de este estudio y el presente trabajo no pueden de momento señalar a los TRIMP como un método adecuado para el control de la carga de entrenamiento en judo. Más estudios son necesarios para conocer la posible aplicación de este método de control de la carga a deportes como el judo.

Se ha sugerido que varios factores fisiológicos pueden influir en la respuesta de FC al ejercicio: estado de hidratación, vasodilatación periférica y temperatura corporal. La **pérdida de agua corporal** y la **vasodilatación periférica** incrementan la FC durante el ejercicio (324). Hamilton et al (325) reportaron un incremento del 10% de la FC cuando no se ingería líquido, incrementando sólo un 5% cuando se proporcionaba líquido a los deportistas. Estos autores indicaron que el incremento en la FC posiblemente correlacionaba con el nivel de deshidratación. El estado de deshidratación lleva a una reducción del volumen sistólico durante el ejercicio como consecuencia de la disminución del volumen sanguíneo (326). Fritzsche et al (327) estudiaron la relación entre el volumen sistólico y la FC en 7 hombres activos pedaleando de 15 a 55 minutos de ejercicio a aproximadamente 57% de su VO<sub>2</sub> pico en un ambiente neutro. Estos autores encontraron que una

disminución del 13% del volumen sistólico estaba asociada con un incremento del 11% en la FC. En el presente estudio se permitió a los judocas ingerir una bebida isotónica entre combates para simular la situación real en una competición, y el peso de los participantes no se modificó a lo largo de la competición. Por lo tanto, la pérdida de agua corporal no parece ser la razón principal que produjera el “drift” (i.e. desviación o deriva en inglés) cardiovascular de un combate a otro.

Algunos autores han reportado que un incremento en la **temperatura corporal** implica vasodilatación que conlleva un incremento en la FC (324,326). La temperatura corporal aumenta tras algunos minutos como resultado de la transferencia de calor desde los músculos del tronco a la sangre (328). La energía metabólica en los músculos es convertida en energía mecánica y térmica (i.e. del 30% al 70% de la energía liberada por la contracción muscular) (328). El ejercicio intenso produce un brusco incremento en el calor producido por la contracción de los músculos esqueléticos y, este calor, se disipa perdiéndose hasta un 80% por evaporación (89). La excesiva acumulación o liberación de calor compromete la función fisiológica celular y de los órganos, lo que puede llevar a una reducción del rendimiento (328). El judo es un ejercicio de alta intensidad en el que los deportistas deben vestir un uniforme no transpirable denominado judogi. Como consecuencia, este judogi dificulta la evaporación del calor producido por el esfuerzo mecánico. Una importante cuestión para futuros estudios sería determinar la influencia del incremento de la temperatura corporal en el rendimiento de la competición de judo

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas y, además, teniendo en cuenta que los judocas utilizan estrategias de pérdida de peso para ajustarse a su categoría.

### 5.5.2.1 Evolución del lactato sanguíneo a lo largo de la competición

Para nuestro conocimiento, éste es el primer trabajo que analiza a través de una competición de judo simulada con formato de eliminatoria las respuestas de lactato sanguíneo. En el presente estudio, encontramos una disminución lineal en los valores de lactato sanguíneo tras los enfrentamientos y un incremento en las mediciones pre-combate. En consecuencia, los valores delta fueron significativamente menores en la segunda mitad de la competición. Existe alguna controversia sobre la evolución del lactato sanguíneo en estudios que han analizado más de un combate empleando la modificación reglamento para evaluar la situación más desfavorable. Franchini et al (62) examinaron tres enfrentamientos con una duración de 4 minutos en diferentes grupos de edad con un mínimo de 20 minutos de descanso entre ellos. No encontraron diferencias significativas en el pico de lactato entre los combates, sin embargo, el lactato antes de cada enfrentamiento incrementaba significativamente ( $p= 0.001$ ) a lo largo de la competición ( $C1 = 1,6 \pm 0,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ;  $C2 = 3,1 \pm 1,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  y  $C3 = 4,3 \pm 2,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Además, varios autores reportaron ausencia de diferencias significativas entre combates (60,80,329,330) y otros encontraron incrementos en los valores de lactato pre-combate en comparación con el primer enfrentamiento (78). No obstante, Franchini et al (36) reportaron valores menores tras los segundos enfrentamientos en

comparación con el primero ( $p= 0.001$ ). En dos estudios con diseños similares a este trabajo, 4 combates con 15 minutos de recuperación entre combates, se encontraron valores menores de lactato sanguíneo en el último combate en comparación con el primero (31) o con los dos primeros combates (32). Además, estos resultados son consistentes con aquéllos observados por Kraemer et al (34) quienes simularon una competición de lucha con combates de cinco minutos, tres de ellos en el primer día y dos en el segundo. Estos autores obtuvieron una disminución de los valores de lactato sanguíneo en ambos días, con un efecto moderado entre el primer y el tercer combate ( $C1 > C3$ , Cohen's  $d = 0.8$ ) en el primer día. En un estudio reciente, Barbas et al (33) (331) diseñaron un torneo de un día donde 12 luchadores se enfrentaron en 5 combates (3 combates de rondas de 2 minutos con 30 segundos de descanso) con disminución de los descansos entre combates hasta el combate 4, y después descansando entre 5 y 6 horas antes del bloque final. Las comparaciones por pares mostraron grandes reducciones de los valores de lactato sanguíneo ( $d$  Cohen = 1.3) entre el combate 1 ( $19.1 \pm 2.8$ ) y el combate 4 ( $15.8 \pm 2.4$ ). los resultados obtenidos indican que a medida que avanza la competición de judo, la vía de energía glucolítica da paso a la participación aeróbica. Además, lo observado durante la competición de judo coincide con la menor contribución anaeróbica y la mayor contribución aeróbica reportado en los últimos bloques de esfuerzo en ejercicios intermitentes de alta intensidad (57,332–334).

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

Varios autores han señalado a que el sistema aeróbico se vuelve más importante a medida que el combate y la competición progresan (35,58,311). En esta línea, y teniendo en cuenta que la concentración de lactato en sangre está considerada como un indicador de la activación de la vía energética glucolítica (81), los deportistas de este estudio presentan una demanda menor de la glucólisis no oxidativa durante la segunda parte de la competición. Son varias razones pueden explicar los bajos niveles de lactato sanguíneo en los últimos combates. Las medidas de lactato post-ejercicio dependen de la relación entre la concentración de lactato actual presente en la sangre, de la liberación de lactato derivada del trabajo muscular y del consumo intra- e inter-celular de lactato (335). Se ha reportado que el consumo de lactato se ve facilitado cuanto más masa muscular está implicada (Richter et al, 1988). A medida que la competición progresa, cabe esperar una percepción de esfuerzo mayor (no evaluada en el presente trabajo) lo que activa un mayor reclutamiento de unidades motoras y un incremento de la liberación de lactato y de H<sup>+</sup> tanto en el intersticio muscular como en la sangre (335–337). En consecuencia, concentraciones elevadas de H<sup>+</sup> incrementan la acción de la deshidrogenasa piruvato (PDH) lo facilita la mayor participación del metabolismo aeróbico. Además, los cambios en el pH tienen un efecto directo en el flujo sanguíneo y, también, un efecto indirecto mediado por cambios en otros componentes vasoactivos (K<sup>+</sup>, ATP, adenosina, óxido nítrico) (336). La concentración de lactato arterial está estrechamente correlacionada con el consumo de lactato, siendo este lactato oxidado como sustrato de energía aeróbica (11). Por lo

tanto, la disminución en el lactato sanguíneo post-combate a lo largo de la competición puede ser debido a un incremento en el consumo de lactato sanguíneo por diferentes tejidos (cerebro, corazón, riñón, hígado), tanto durante las pausas entre combates como en el periodo de recuperación al final de cada combate. Sin embargo, la duración de los combates no fue mayor en los dos últimos enfrentamientos. En consecuencia, la distribución de las pausas entre combates pudo haber influenciado la acumulación de lactato sanguíneo. Por lo tanto, en caso de existir mayores pausas hacia el final de cada uno de los dos últimos combates en comparación con los dos primeros, podría haber resultado en un mayor tiempo para la resíntesis de PCr, lo que resultaría en una menor activación del sistema de energía glucolítico. Además, la reducción del tiempo de recuperación hacia el final de la competición, permitía un tiempo menor para la reposición de líquidos y la aclaración del lactato e hidrogeniones como demuestran los altos valores de lactato pre-combate en los dos últimos combates. Sin embargo, también se debe valorar la posibilidad que la liberación unidireccional de lactato se relaciona con la demanda metabólica del músculo (338–340). Por lo tanto, una disminución voluntaria (i.e. decisión táctica) o involuntaria (i.e. fatiga) en el ritmo de combate puede ser la causa de una menor demanda metabólica, pudiendo satisfacer la fosforilación oxidativa requisitos de ATP.

Numerosos factores pueden influenciar la demanda metabólica, y por consiguiente los valores de lactato obtenidos en una competición de judo: estrés psicológico, reglas de la competición,

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

factores fisiológicos o técnico-tácticos, frecuencias de los ataques y disponibilidad de glucógeno. Mayores activaciones simpático-adrenales y su consecuente efecto en el aumento lactato sanguíneo durante la competición real está probablemente asociado con un mayor efecto del estrés psicológico respecto a los combates simulados o de entrenamiento (341,342). La tensión psicológica de una simulación de combate en diferentes deportes de lucha lleva a una respuesta hormonal de tipo catabólica, disminución de IGF-I y de testosterona, y a un incremento de cortisol (342,343). Markowska et al (341) reportaron que los enfrentamientos en competición, así como los enfrentamientos de entrenamiento, resultan en una mayor secreción de noradrenalina y adrenalina en comparación con los días de descarga, siendo las respuestas más pronunciadas durante la competición que durante el entrenamiento. Parmigiani et al (344) comparó randori (i.e. combates de judo) con kata (i.e. práctica habilidades de judo sin oposición) y encontraron que la elevación pre-competición del cortisol individual se dio sólo en las situaciones previas al randori. La actividad simpático-adrenal incrementa con el ratio de trabajo: la adrenalina activa la enzima fosforilasa, y con ello incrementa la glucólisis y la producción de lactato sanguíneo (345,346). Por lo tanto, las concentraciones de cortisol pre-ejercicio pueden condicionar la participación del metabolismo anaeróbico glucolítico en el ejercicio físico (347). En el presente estudio, en los criterios de selección de la muestra se tuvo en consideración que todos los participantes tuviesen una alta experiencia en competición para minimizar los efectos psicológicos sobre el rendimiento.

Otro de los factores que pudo afectar a la acumulación de lactato es el ratio entre la actividad de formación y degradación del glucógeno muscular. Estudios han demostrado que la degradación de glucógeno y la acumulación de lactato se ven reducidos cuando el glucógeno muscular es bajo (348). Una bajada de los niveles de glucógeno muscular afectaría al rendimiento debido a que se produciría un peor funcionamiento del proceso de acoplamiento excitación-contracción en las fibras musculares que tienen bajo contenido de glucógeno (89). Horswill et al (349) utilizaron un protocolo de pérdida de peso, a través de dieta baja en carbohidratos, para agotar el glucógeno muscular. Estos autores observaron una disminución significativa en el rendimiento anaeróbico así como en la aparición del lactato sanguíneo. Recientemente, varios autores han reportado que la disminución del glucógeno durante un ejercicio prolongado y exhaustivo puede contribuir a la fatiga causando una disminución de la liberación de calcio por parte del retículo sarcoplasmático (8,350). El diseño del presente estudio, no proporciona información sobre la reservas de glucógeno de los judocas a lo largo de la competición. Sin embargo, se intentó paliar la posible reducción del glucógeno muscular proporcionando a los judocas 1g de carbohidrato por kilogramo de peso por hora, en una concentración al 6% por litro de agua (274,275). Esta medida trataba de prevenir la caída en el rendimiento debido al agotamiento de reservas de glucógeno, y además, reproducir la situación habitual en la que competían los judocas del estudio.

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

También, durante el ejercicio intenso, aún cuando las reservas de glucógeno muscular son altas, la acumulación de lactato puede ser baja (351). Como se ha mencionado con anterioridad, una disminución del pH muscular (i.e. un incremento de la acidosis) inhibe la actividad de las enzimas principales enzimas glucolíticas (i.e. PFK y la glucógeno fosforilasa). Iaia et al (352) examinaron cómo la respuesta metabólica y la capacidad de trabajo de un esfuerzo supramáximo se veían afectadas por la intensidad de ejercicios previos. Estos autores observaron que el ejercicio previo llevado hasta el agotamiento a varias intensidades: muy alta intensidad (i.e.  $196 \pm 8\%$  VO<sub>2</sub>max, agotamiento  $\sim 30$  segundos), alta intensidad (i.e.  $118 \pm 3\%$  VO<sub>2</sub>max, agotamiento  $\sim 3$  min) y baja intensidad (i.e.  $60 \pm 2\%$  VO<sub>2</sub>max, agotamiento  $\sim 2$ h) resultó en una disminución diferente de los niveles de glucógeno muscular y pH. Tras 2 minutos de recuperación pasiva, los participantes realizaron un segundo ejercicio exhaustivo de pedaleo a una potencia correspondiente a una intensidad de 130% del VO<sub>2</sub>máx. Estos autores observaron que las tasas medias de utilización de glucógeno muscular durante este segundo bloque no diferían entre las tres condiciones a pesar de las diferencias en el glucógeno muscular inicial. Además, también observaron que la tasa media de acumulación de lactato muscular fue menor tras el ejercicio de alta intensidad (i.e. agotamiento a los 3 min) que estaba asociado a una mayor acidosis muscular. Por lo tanto, la alta intensidad de los ejercicios previos y la insuficiente eliminación de H<sup>+</sup> puede ser un factor importante que haya podido afectar a las medidas de lactato durante el combate y la competición de judo.

Los resultados de este estudio señalan ciertas limitaciones de la utilización del lactato sanguíneo como indicador de intensidad en esfuerzos sucesivos, ya que los valores obtenidos pueden estar afectados por numerosas variables.

### **5.5.2.2 Evolución de la remoción del lactato sanguíneo durante la competición**

Los requerimientos del diseño del presente trabajo sólo permitían dos momentos para la extracción de sangre y análisis de lactato tras los combates. Todos los judocas alcanzaron el  $LA_{pico}$  en el primer minuto después del combate 1 y 4. Sin embargo, algunos participantes alcanzaron el  $LA_{pico}$  en el tercer minuto después del combate 2 ( $n=4$ ) y del combate 3 ( $n=3$ ). Aún así, la remoción del lactato entre el primer y el tercer minuto después de cada combate reportó diferencias entre combates ( $p=0,045$ ). Además, el  $LAre$  del combate 3 fue significativamente menor que  $LAre$  en el combate 1 ( $p=0,063$ ; Dif. media=  $-18 \pm 6$ ;  $IC95\% = -37$  a  $0,8$ ). Es escasa la literatura que se ha centrado en el análisis de la remoción del lactato sanguíneo en combates de judo sucesivos. Recientemente, dos estudios (31,32), con un diseño similar al del presente trabajo, no encontraron diferencias significativas entre combates al analizar la remoción de lactato entre el  $LA_{pico}$  y el  $LA$  después de 14 minutos. Sin embargo, el  $LAre$  a corto plazo no fue analizado en los estudios anteriores. Thomas et al (353) emplearon un modelo matemático biexponencial para describir la cinética de la recuperación de lactato e indicaron que la capacidad oxidativa máxima del músculo estaba relacionada con la capacidad de remoción de lactato tras el primer

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

minuto después de un test all-out (i.e. a la máxima intensidad posible). Además, concluyeron que la capacidad oxidativa máxima del músculo y la capacidad de remoción de lactato estaban asociados con el retraso en la fatiga en ejercicios continuos e intermitentes supramáximos en deportistas bien entrenados. Estos argumentos apoyan las hipótesis de que la capacidad oxidativa del músculo, y por tanto, el rendimiento en el combate pueden estar afectados por la duración del descanso entre enfrentamientos en una competición de judo, especialmente hacia el final de la competición en donde se dispone de minutos de recuperación entre esfuerzos. Sin embargo, el presente estudio no está libre de limitaciones para extraer conclusiones sobre la evolución del LA durante la competición de judo y los resultados deben de ser interpretados con cautela. Queda relegado para futuros trabajos el estudio de capacidad de remoción del lactato sanguíneo durante la competición de judo y sus efectos en el rendimiento.

La capacidad para remover o aclarar lactato sanguíneo se ha vinculado con la eficiencia del sistema cardiovascular para eliminar los metabolitos y los productos de residuos tras el ejercicio (72). Se ha sugerido que esta capacidad es importante en la competición de judo (60) donde se disputan de 4 a 7 combates con un mínimo de 10-15 minutos de recuperación (354). La importancia de la utilización de la remoción de LA como herramienta para evaluar o monitorizar judocas dependerá de su relación con el rendimiento posterior en el ejercicio específico. Franchini et al investigaron el efecto del tipo de recuperación (pasivo o activo) tras un enfrentamiento de judo en la eliminación de lactato y el

rendimiento posterior (36,354,355). Estos autores concluyeron que la recuperación activa produce una mayor remoción de LA, sin embargo, esta estrategia no ayudó a los judocas a rendir mejor en tareas no específicas (i.e. Wingate) o específicas (i.e. test específico de aptitud de judo) de judo. A pesar de todo, Franchini et al (36) aplicaron una regresión logística múltiple para testar el número de vencedores en el segundo combate cuando el deportista realizaba una recuperación activa y su oponente una recuperación pasiva. Concluyeron que las probabilidades de los ganar el combate aumentaba 10 veces cuando los judocas realizaban una recuperación activa y su oponente una recuperación pasiva. Cabe destacar que las estrategias de recuperación activa no sólo movilizan el lactato sanguíneo, sino que también facilitan muchos otros procesos: el incremento del flujo sanguíneo, el transporte de iones y metabolitos, procesos “buffer” (i.e. procesos tampón químicos), etc. Por lo tanto, cualquier mejora en el rendimiento no puede ser atribuida únicamente a la eliminación del lactato sanguíneo, si no que la cinética del mismo puede ser concurrente con otros procesos de recuperación.

La relación entre la capacidad/potencia aeróbica y la eliminación de lactato es un debate controvertido. Gariod et al (356) reportaron que los deportistas de judo con mayores VO<sub>2</sub>max mostraban una resíntesis de PCr más rápida en comparación con aquéllos con menores VO<sub>2</sub>max. Franchini et al (354) reportaron una relación negativa entre la velocidad del umbral anaeróbico en cinta rodante y la concentración de lactato sanguíneo tras un combate de judo medida en los minutos 1, 3, 5, 10 y 15. Sin embargo, en un estudio

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

posterior con una muestra mayor (308) no encontraron una asociación entre la aptitud aeróbica y la disminución del lactato sanguíneo. No obstante, los individuos con una mejor aptitud aeróbica alcanzan el  $LA_{pico}$  antes y valores mayores, después de un ejercicio máximo, que los deportistas no entrenados (72). Esta situación posiblemente sea posible gracias a un flujo de a mayor velocidad del lactato sanguíneo desde músculo a la sangre en individuos entrenados (72). Los deportistas entrenados poseen una densidad mayor de proteínas transportadoras de lactato y  $H^+$  (e.g. MCT1 y NHE1), adicionalmente a una mejor distribución y flujo sanguíneo (357). Varios factores pueden interrumpir la eliminación de lactato sanguíneo durante la competición de judo: 1) la actividad simpático-adrenal provoca vasoconstricción y disminuye el flujo sanguíneo al hígado, riñón y músculos inactivos, por tanto, disminuyendo la oxidación y la eliminación de lactato (358); 2) la adrenalina disminuye la eliminación de lactato por los músculos implicados y, quizás, por los músculos pasivos (359); 3) el aumento de la frecuencia de estimulación de las fibras musculares previamente reclutadas pone a más fibras en modo de producción de LA que en modo de eliminación (11); 4) la producción supera la eliminación de LA, por lo tanto, incrementa el LA muscular y sanguíneo (5). Sería interesante que futuros diseños estudiaran la posible relación entre índices aeróbicos ( $VO_{2max}$  y  $VT_2$ ) y la eliminación de lactato sanguíneo en la competición de judo.

### **5.5.3 Impacto de la competición de judo en la modulación cardíaca autonómica en reposo**

La FC en reposo antes de la competición estuvo en el rango de 53 a 61 ppm que coincide con los valores reportados en la literatura para judocas de alto nivel (29,38,61,82,360,361). Además, los judocas del presente estudio mostraron valores de  $VFC_{rep}$  similares (en el dominio de la frecuencia), o ligeramente mayores (en el dominio de tiempo y análisis no lineal), a aquéllos reportados en judocas de nivel internacional (362,363). Morales et al (362) compararon la VFC entre judocas de nivel nacional e internacional durante competiciones oficiales y no oficiales. Las judocas fueron medidos por la mañana al despertarse, la duración de los registros y la posición de medida (tendido supino), fueron similares al presente trabajo. Estos autores reportaron que los judocas internacionales poseían una VFC mayor comparado con los judocas nacionales. Además, los deportistas de nivel internacional presentaron índices de VFC similares independientemente del tipo de competición (oficial o no oficial). Sin embargo, estos autores registraron valores inferiores de VFC en judocas de nivel nacional en la misma mañana de las competiciones oficiales comparados con las competiciones no oficiales. Los judocas de nuestro estudio presentaron valores mayores de HF en comparación con el componente LF (i.e.  $HF_{u.n.}$  y  $LF_{u.n.}$  o ratio LF/HR) en la mañana de la competición. Estos valores eran similares a los reportados en judocas de nivel internacional tanto en competiciones oficiales como no oficiales y, ratios LF/HF diferentes de los judocas de nivel nacional que presentaron valores con más componente de

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

baja frecuencia independientemente del tipo de competición (362). Además, en otro trabajo con luchadores canarios, (364) encontraron potencias mayores de HF que de LF sin diferencia entre niveles de rendimiento. En este estudio, los judocas fueron emparejados con adversario de nivel similar a fin de asegurar el compromiso en cada combate. Además, eran judocas experimentados que habían competido a nivel nacional e internacional. Por tanto, cabe esperar una menor influencia psicológica sobre la VFC el día de la competición.

### **5.5.3.1 Cambios pre- post- competición**

Hasta el conocimiento del autor, no existen estudios previos que hayan investigado los efectos cardíacos autonómicos en una competición de un deporte de combate. El principal resultado de este trabajo es que la frecuencia cardíaca, el dominio-tiempo y parámetros no lineares no se modificaron como efecto de la competición de judo, sin embargo, algunos índices espectrales presentaron diferencias significativas con efectos moderados a grandes. En más detalle, VLF fue significativamente mayor y LF mostró una tendencia moderada ser mayor en el día de la competición ( $p=0.054$ ). Por otro lado, la HF y la TP permanecieron sin cambios significativos. Debido a los cambios en la banda LF y a la estabilidad de la banda HF, la proporcionalidad de potencia de baja y alta frecuencia se invirtió en la mañana post-competición.

Se ha demostrado que el nivel de FC alcanzado en el momento del registro puede influenciar la VFC (118,365). Sacha y Pluta (366)

encontraron que LF estaba directamente, mientras que HF indirectamente, relacionado con la FC media del sujeto. En consecuencia, estos autores reportaron que LF/HF variaba dependiendo del nivel de la FC, valores más bajos del ratio a FC lentas y más altos a FC rápidas. Por lo tanto, la FC per se puede influenciar el ratio LF/HF independientemente de los cambios en la actividad nerviosa cardíaca autonómica. No obstante, los judocas de este estudio no presentaron diferencias significativas en la FC entre el día pre- y post-competición, esto permite interpretar los resultados sin tener que realizar ningún procedimiento de normalización (367). No se encontraron cambios en los parámetros del dominio tiempo. Salo et al (368) reportaron que los resultados del dominio tiempo y del dominio frecuencia eran dependientes de la metodología empleada para la edición de artefactos tanto biológicos como técnicos. En este estudio se aplicó una interpolación de spline cúbicos. De acuerdo con Salo et al (368) esta metodología de interpolación es adecuada para el análisis del dominio-frecuencia, pero la corrección de artefactos que se realiza puede afectar a los resultados del dominio-tiempo.

La potencia de TP y HF no varió, sin embargo la potencia de LF mostró una tendencia a incrementarse el día después de la competición (~12h tras el último combate). Un incremento de la LF fue encontrada después de una actividad de 30 minutos que consistió en una carrera máxima en tapiz rodante con 4 a 6 minutos de carreras repetitivas en pista a continuación (369). Estos autores observaron que el componente LF permanecía elevado durante las 24 horas siguientes, regresando a niveles pre-ejercicio en las 48

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

horas siguientes. Se atribuyó estos hallazgos al incremento del influjo simpático sobre el nódulo sinusal del corazón debido al ejercicio extenuante. Por otro lado, Al Haddad et al (370), reportaron reducciones significativas de la RRmed coincidiendo con una tendencia de HF a ser menor 12 horas después de un ejercicio de carrera supramáximo. Sin embargo, LF permaneció constante desde las 12 horas a las 36 horas después del ejercicio. Estos autores concluyeron que el balance simpátovagal expresado con el ratio LF/HF, incrementó significativamente y sugirieron que esta situación tuvo origen en una predominancia simpática tras el ejercicio supramáximo. Algunos autores (370–372) sugirieron que los cambios en un espacio temporal medio (de 12 a 48 horas) en los índices de la VFC podrían ser producidos por el grado de perturbaciones homeostáticas corporales. Además, también sugirieron que los índices de la VFC responden a la estimulación del barorreflejo arterial debido a una expansión del volumen plasmático inducido por el ejercicio. Buchheit et al (371) reportaron una importante correlación entre cambios en la actividad cardíaca parasimpática ( $\ln HF$ ) y el volumen plasmático ( $r = 0,82$ ;  $IC_{95\%} = 0,35$  a  $0,96$ ) durante las 48 horas siguientes al ejercicio supramáximo. Por lo tanto, en vista de esta información, no se puede descartar que los índices de la VFC durante los días siguientes al ejercicio puede ser regulado por cambios en el volumen plasmático inducidos por el ejercicio, y la consecuente activación de los barorreceptores. La restauración del volumen plasmático a niveles basales pre-ejercicio indica el retorno del sistema cardiovascular a la homeostasis, pero no necesariamente

supone la restauración de otros sistemas (i.e. neuromuscular o energético) (371). Recientemente, Chen et al (107) estudiaron los efectos a corto (3 h) y a largo plazo (24, 48 y 72 h) de una sesión de entrenamiento de resistencia intensivo de 2 horas en 7 levantadores de peso. Estos autores reportaron un incremento significativo del HF a las 24 horas tras la sesión, y un incremento significativo del LF (u.n.) a las 3 y 24 horas después de la sesión. Estos autores encontraron una concurrencia de síntomas de fatiga: incremento del dolor muscular, elevación del nivel de la creatina kinasa (CK) en el plasma muscular y un incremento de la dehydroepiandrosterona sulfato (DHEA-S). Por lo tanto, concluyeron que el daño muscular generado tras una sesión de entrenamiento intenso de resistencia de 2 horas puede demandar una cantidad extra de coste energético para la reparación muscular. Estos autores hipotetizaron que un aumento de la actividad nerviosa simpática en situación de reposo después de un entrenamiento de levantamiento de pesas sugiere que el cuerpo demanda mayor energía para su recuperación.

Se ha constatado que la potencia de HF está mayoritariamente determinada por la actividad parasimpática (373,374) en situación de reposo. Se ha reportado una fuerte correlación entre la potencia de HF y los registros directos de la modulación cardíaca parasimpática (375). Algunos autores (376,377) han sugerido que la actividad nerviosa simpática puede modular los componentes HF de la variabilidad del intervalo RR. Basándose en los datos publicados hasta el momento, Billman (118) estimó que la contribución de la modulación parasimpática al componente HF es del 90% y que la modulación simpática puede contribuir al 10%.

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

De acuerdo con la ausencia de variación pre- post-combate en el componente HF observada en nuestro estudio concluimos que la competición de judo no condicionó la respuesta de modulación parasimpática en los judocas bien entrenados, 12 horas después de la competición. Estos resultados deben ser interpretados con cautela, debido a que los judocas del presente estudio tenían valores de  $FC_{\text{basal}}$  bajos ( $\sim 57$  ppm) y esta característica ha demostrado ser susceptible de influir en los resultados de la VFC en reposo porque los deportistas podrían enmascarar un cambio en el registro de índices vagales por el fenómeno de saturación (378). Este fenómeno consiste en que a pesar de un incremento en el intervalo RR no se produce un incremento, o incluso se produce una reducción, en la potencia de HF en el análisis de la VFC (379). Este fenómeno ocurre alrededor de 50 ppm (380) y se ha sugerido que se debe a una saturación de los receptores de acetilcolina a nivel del miocito; una elevación del tono vagal puede provocar un control predominante parasimpático del nódulo sinusal, lo que elimina la modulación respiratoria del corazón y consecuentemente reduce la VFC (Plews et al 2013b). Esta reducción de la VFC a bajas FC se relaciona con el hecho de que los índices vagales de la VFC reflejan la magnitud de la modulación de la rama parasimpática sobre el corazón y no el tono parasimpático (375). También, se debe tener en cuenta que los participantes del presente estudio pueden haber experimentado cierta excitación y otros estresantes pre-competitivos, lo que podría haber reducido la actividad parasimpática en la medición el día de la competición, y por lo tanto enmascarar el efecto real de la competición de judo. Futuros

estudios deberán realizarse controlando estas variables extrañas para indagar más sobre los efectos de la competición en las componentes vagales de la VFC.

En la literatura existe cierta controversia acerca de la interpretación del componente LF. Durante mucho tiempo se aceptó que la potencia de LF era un parámetro que informaba sobre la actividad del nervio simpático en el nódulo sinusal (381,382) con cierta influencia del nervio parasimpático (290,373) emplearon una técnica de cirugía altamente selectiva para cortar las aferencias de las ramas del SNA al nódulo sinusal en cánidos, y cuantificaron los papeles relativos de los nervios cardíacos simpáticos y parasimpáticos en el control de la distribución de la potencia a lo largo del espectro de potencia de la FC. Concluyeron que el HF pico resulta del control parasimpático de la automaticidad del nódulo SA, mientras que el LF pico refleja la actividad en ambas divisiones del sistema nervioso autónomo. Pomeranz et al (383) estudiaron el efecto de la administración de propanolol (fármaco simpaticolítica) y atropina (fármaco parasimpaticolítica) en el control neurocardíaco en posición supina y en bipedestación. Propusieron que las fluctuaciones en LF estaban mediadas enteramente por el sistema nervioso parasimpático en la posición supina, se basaron para hacer esta afirmación en que el propanolol reduce la potencia del componente LF en bipedestación, pero no en posición supina. Por lo tanto, estos autores concluyen que la rama simpática y parasimpática del SNA ejercen influencia sobre la LF de la frecuencia cardíaca en bipedestación. En un artículo reciente de Billman (118) basado en

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

la síntesis de la literatura se propone que la componente LF está influenciada en un 50% por la rama parasimpática, 25% por la rama simpática y un 25% por factores no neurales. Sin embargo, como reportaron Pomeranz et al (383) estos porcentajes pueden variar dependiendo de posición adoptada.

La interpretación fisiológica o el origen de las bajas frecuencias del corazón son materia de debate. Los picos de la potencia LF en humanos están localizados alrededor de 0.1 Hz (i.e. 10 segundos, ondas rítmicas de Mayer), y estas oscilaciones se incrementan habitualmente durante los estados de activación simpática (381,382,384). Varios autores han propuesto que estas oscilaciones pueden proporcionar una medida no invasiva del **influjo simpático central** actuando directamente sobre el nódulo sinusal. Sin embargo, las oscilaciones LF del latido del corazón no han mostrado una asociación con situaciones que incrementan la actividad no refleja del SNA:

1. Incrementos en la liberación de norepinefrina en el plasma venoso cardíaco (385–387).
2. Cambios de posición (388).
3. Situaciones de estrés mental (389).
4. Enfermedades cardíacas como insuficiencia cardíaca congestiva (382).
5. Efecto de la edad, ya que se ha demostrado que provoca incremento del influjo simpático (390), pero, por el contrario se produce una disminución de LF (391,392).

6. Ejercicio en sujetos sanos (116), donde se sabe que existen incrementos bien definidos de los influjos simpáticos cardíacos y extracardíacos (389).

Además, varios no se han encontrado correlaciones entre diversas manipulaciones del SNA y la respuesta de la potencia de LF (386,393). Por ejemplo, el bloqueo del flujo simpático cardíaco preganglionar por anestesia espinal segmentaria (388) y las simpatectomías torácicas bilaterales no incrementan la potencia de LF (394).

En un reciente estudio basado en un modelo matemático, Dvir, Brobovsky & Gabbay (395) simularon situaciones de un sujeto sano en reposo y durante ejercicios aeróbicos (a través de la disminución de la resistencia vascular periférica) y, simularon también los efectos que sufriría un paciente con insuficiencia cardíaca (i.e. disminuyendo el volumen sistólico). Cualquier reducción tanto periférica como central llevaba a una disminución en las oscilaciones LF del corazón. Varios estudios que utilizaron diversas manipulaciones y fármacos han reportado que las ondas LF no respiratorias (0.04 – 0.15) estaban asociadas con la modulación del barorreflejo (386,387,393,396–399). Rahman et al (393) encontraron una fuerte asociación ( $r = 0,74$ ,  $p < 0,01$ ) entre el logaritmo de la potencia de LF durante el reposo en situación supina y el logaritmo de la ganancia del barorreflejo tras una inyección de nitroglicerina (la técnica de referencia Oxford). Además, se ha reportado una fuerte correlación positiva entre el logaritmo de potencia LF y el logaritmo de potencia HF ( $r = 0.77$ ,

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

$P < 0.0001$ ; (386)), y entre el logaritmo de potencia HF con el logaritmo de ganancia del barorreflejo ( $r= 0,64$ ,  $p=0,01$ ; (393). Todo lo expuesto sugiere que no es posible separar la modulación barorrefleja del influjo simpático de la modulación barorrefleja del influjo parasimpático.

Uno de los principales hallazgos del presente trabajo ha sido que los judocas presentaban potencias superiores de LF y ratio LF/HF al levantarse por la mañana, concretamente 12 horas después de la simulación de la competición de judo. Este incremento en las bajas frecuencias puede ser interpretado como un incremento en la actividad barorrefleja, como se ha discutido anteriormente, posiblemente inducido por un aumento en la resistencia periférica (395), causada por un probable incremento del volumen plasmático (371) después de la competición de judo. Una circunstancia que apoya esta tesis es que además del incremento de la LF, se encontró una elevación significativa de la VLF después de la competición. La VLF se reduce ( $\sim 20\%$ ) por la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (i.e. ACE) (400). Se ha propuesto que la VLF refleja la actividad del sistema renina-aldosteona (400). Varios autores (116,290,364,401) apoyan la idea de que la actividad del sistema renina-angiotensina (i.e. SRA) juega un papel relevante en el control cardiovascular a corto plazo en escala de tiempo de segundos a minutos (i.e.  $VLF=0.04$  Hz). SRA es un sistema hormonal que ayuda a la regulación de la presión sanguínea a largo plazo y a la regulación del volumen extracelular, por lo tanto este sistema se activa especialmente cuando la osmolaridad plasmática aumenta (89). Es generalmente aceptado que, debido al aumento de

la osmolaridad posterior al ejercicio, se produce una respuesta de expansión del volumen plasmático superando el volumen anterior a la realización del ejercicio (402). La expansión del volumen plasmático puede alargarse hasta las 24 horas después del ejercicio (403) y el SRA juega un papel clave en este proceso. Por lo tanto, el incremento de LF y de VLF encontrado en nuestro estudio podría ser interpretado como activación barorrefleja (i.e. incremento de la LF) inducida por la expansión del volumen plasmático mediado por el SRA (i.e. incremento de VLF). Por otro lado, (404) defiende que las oscilaciones de la VLF dependen, principalmente, del influjo parasimpático con una menor contribución del sistema renina-angiotensina. Más estudios son necesarios para esclarecer la interpretación de la potencia de la VLF y su relación con el SRA.

Las unidades normalizadas de las dos bandas de frecuencia (i.e. LFu.n. y HFu.n.) y el ratio LF/HF presentaron diferencias significativas. Sin embargo, como HF no se modificó por efecto de la competición, el peso de estas diferencias recae los cambios en el LF. El uso del índice LF/HF como indicador del balance simpático-vagal ha sido muy criticado (374,405,406). Además de la escasa contribución simpática en la potencia de la LF, existen también consideraciones matemáticas que pueden influenciar los valores LF/HF. Dos valores similares de LF/HF pueden ser obtenidos tanto a través de cambios exclusivos en el numerador (i.e. LF) como en el denominador (i.e. HF), o por combinaciones diversas de ambos (118). El cambio en una de las componentes sin afectar a los valores es posible en ciertas situaciones, como es el caso en el que durante ejercicio de cierta intensidad (mayor que el

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

primer umbral ventilatorio, VT1) por influencia de la respiración y perturbaciones no-neurales la componente HF aumenta (407), no afectando esas perturbaciones a la componente LF, lo que resultaría en un descenso del ratio LF/HF. En cambio, si realmente LF/HF fuera un índice del balance simpático-vagal, la situación de ejercicio debería resultar en un aumento de este índice. Por tanto, la naturaleza compleja de la potencia de LF, su pobre relación con la activación nerviosa simpática y las interacciones no lineales (y frecuentemente no recíprocas) entre actividad nerviosa simpática y parasimpática, hace difícil delinear las bases fisiológicas para interpretar las dos bandas de frecuencia en unidades normalizadas y para su ratio.

Hasta la fecha no existen estudios en la literatura que hayan considerado estudiar los efectos agudos de la competición de los deportes de combate en la complejidad de la frecuencia cardíaca. En el presente estudio se encontró que la SampEn no se vio significativamente afectada en la recuperación a medio plazo (12 h) tras la competición de judo simulada. Recientemente, se ha reportado que la complejidad de la FC (i.e. SampEn) se recupera más lentamente después de cuatro bloques de Wingate comparados con un único bloque (152), lo que demuestra la capacidad de este parámetro para discriminar entre diferentes estados de fatiga al menos en las medidas a corto plazo. Sin embargo, algunos autores (113,152) identificaron una recuperación más rápida de la SampEn que de los parámetros VFC, esto puede explicar porque no encontramos en este estudio una modificación significativa en la SampEn ya que la medición después de la competición se realizó 12

horas después de su finalización. En esta línea, aunque en una modalidad deportiva diferente, Edmonds et al (408) encontraron una reducción en la VFC hasta 2 días post-competición sin cambios significativos en la SampEn.

#### **5.5.4 La evolución del porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva, de la variabilidad de la FC y de la complejidad de la FC durante la competición de judo**

##### **5.5.4.1 Evolución del porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva a lo largo de los combates y la recuperación**

El análisis de los valores promedios del porcentaje de la  $FC_{res}$  ( $\%FC_{res}$ ) de cada combate puede no aportar suficiente información sobre cómo el esfuerzo del judoca se distribuye a lo largo del enfrentamiento. El análisis de secuencias temporales se ha sugerido como una buena aproximación para abordar esfuerzos intermitentes como en el caso del judo (70,71).

En el presente estudio, se analizaron tres periodos de tiempo de 2 minutos (2INI, 2FIN, 2REC) en cada combate. El estudio segmentado del enfrentamiento ha permitido la comparación de la evolución de cada fase del combate a lo largo de la competición. El último periodo, 2FIN, presentó mayores  $\%FC_{res}$  que el 2INI y el 2REC. Consistente con estos resultados, varios autores (40,70,71) han encontrado que los valores de FC incrementan progresivamente hasta los 90/180 segundos, para posteriormente estabilizarse hasta el final del enfrentamiento.

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

Dentro de lo que abarca nuestro conocimiento, no existen estudios que hayan analizado la evolución del esfuerzo cardiovascular en secuencias temporales durante una competición de judo. Los presentes resultados destacan un efecto de la interacción entre combate y momento en el %FC<sub>res</sub> lo que, como indicaron varios autores (35,409), corrobora que a medida que avanza la competición se dan mayores cargas cardiovasculares y mayor contribución aeróbica. Como se ha discutido anteriormente, varios factores fisiológicos contribuyen al cambio hacia una mayor participación del metabolismo aeróbico con el progreso de la competición: cinética del VO<sub>2</sub>, insuficiente tiempo de recuperación para la resíntesis de la PCr, la acumulación de H<sup>+</sup> que inhibe a las enzimas glucolíticas (PFK y Phos) y, consecuentemente, la activación de la PDH, incremento en la temperatura corporal, etc. De manera similar, el estrés cardiovascular se incrementa hacia el final de la competición posiblemente debido a una inadecuada eliminación de metabolitos entre combates, al cambio a diferentes patrones de reclutamiento de unidades motoras y, posiblemente, a una cinética más rápida del sistema aeróbico, ya que el reclutamiento de unidades motoras y la cinética del sistema aeróbico dependen del ratio de trabajo del ejercicio previo (410–413). Sin embargo, otros factores que no ha podido ser controlados (como la tensión muscular desarrollada en cada combate, la frecuencia de las acciones, etc.) podrían ejercer influencia en los ajustes cardiovasculares.

#### **5.5.4.2 La variabilidad de la FC y la complejidad de la FC durante los combates y la recuperación**

Los principales resultados derivados del análisis del SNA durante una competición de judo fueron que el factor combate (LF), el factor momento (TP, HF, LF, LF / HF, HFnu) y la interacción combate\*momento (HF, LF/HF) afectaron a los índices la VFC, sin embargo, la complejidad de la frecuencia cardíaca (ApEn) solamente reveló efecto del momento de medición.

##### **5.5.4.2.1 La potencia total espectral en el análisis de la VFC durante los combates y la recuperación**

El momento 2FIN fue la más exigente a nivel cardiovascular de las tres analizadas, y la TP durante esta fase mostró una tendencia ( $p= 0,06$ ) a ser menor que en el período 2REC. Es sabido que la TP es dependiente de la intensidad del ejercicio (133,150), ya que este parámetro disminuye a medida que aumenta la intensidad. Se han reportado aumentos concomitantes de la demanda metabólica y la FC junto con la disminución de la TP, vinculándose esta situación a un menor influjo vagal sobre el nodo sinusal durante el ejercicio (116). Los valores más altos de TP durante la fase de recuperación en comparación con períodos de ejercicio han sido interpretados como parte del fenómeno fisiológico llamado reactivación vagal (113,135,414). Esta reactivación vagal contribuye a la cardio-deceleración del corazón después del ejercicio. No existieron diferencias entre combates ni interacción, lo que parece

5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

indicar que cada combate produjo una perturbación similar sobre la modulación autonómica cardíaca.

#### **5.5.4.2.2 La banda de alta frecuencia en el análisis de la VFC durante los combates**

La HF (ln) mostró efecto del tiempo o momento de medición y presentó interacción entre el momento de medición y el combate. Contrariamente a la que era esperado según la asociación fisiológica del HF con la actividad vagal, los resultados mostraron como 2REC fue inferior a 2FIN. Sin embargo, a pesar de que la potencia HF es una componente de la TP, en este estudio se ha encontrado un comportamiento opuesto a TP. Aunque las altas frecuencias se han relacionado con la influencia vagal en el nodo sinusal en situación de reposo (Task Force, 1996), no es así en ejercicio, ya que este parámetro se comporta atendiendo a mecanismos neurales (i.e. arritmia sinusal respiratoria, volumen corriente, comando central y ergorreceptores) y no neurales (i.e. apneas, precarga, movimientos torácicos, mecanismos de retorno venoso y de estiramiento auricular) (146,154,405,407,415–418). Se sabe que los mecanismos no neurales que controlan el RSA (i.e. del inglés respiratory sinus arrhythmia) en reposo son de alrededor de 1% a 4% de la proporción de la potencia HF (405,419). Sin embargo, el componente no-neural aumenta gradualmente durante el ejercicio, aumentando hasta un 32% durante el ejercicio leve (i.e. 25% del  $VO_{2\text{pico}}$  en posición supina durante ejercicio en cicloergómetro) y afectando de manera predominante durante el ejercicio intenso (140). Por lo tanto, se concluye que la HF es difícilmente

interpretable en condiciones de ejercicio de cierta intensidad como es el caso del combate de judo.

En un estudio comparativo, Cottin et al (125) analizaron el espectrograma de 4 minutos durante la realización de un combate de judo y durante un bloque de ejercicio en cicloergómetro (4min, 60 vatios). Estos autores encontraron que incluso con un nivel de frecuencia cardiaca similar entre ejercicios, la HF fue mayor en el combate de judo con respecto al ejercicio en cicloergómetro. El espectrograma del cicloergómetro presentó un pico estrecho centrado en una frecuencia bastante estable dentro de la banda alta frecuencia. Sin embargo, en el combate de judo, el espectrograma no presentó ningún pico de respiración identificable en el rango de la HF. Se ha demostrado que durante el ejercicio de alta intensidad, la frecuencia central responde a la frecuencia respiratoria, incluso siendo la potencia total baja (420). Por lo tanto, el análisis espectral de la FC durante el combate de judo mostró un patrón de respiración irregular, que puede tener origen en respiraciones en fases de bloqueo (correspondiente a fuertes contracciones musculares) y en fases de polipnea. Este patrón de respiración irregular característico del esfuerzo en judo posiblemente influyó la potencia en la banda HF durante la fase 2FIN.

Además de la influencia del tipo de ejercicio sobre los valores de la potencia HF, numerosos estudios han puesto de manifiesto la dependencia del nivel de intensidad que este parámetro posee, lo que debe ser tenido en cuenta para su interpretación en ejercicio (140,407,421–423). Estudios previos (116,140,424–427) han reportado que por debajo del primer umbral ventilatorio (i.e. en

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

inglés *first ventilatory threshold*, VT1) el tono vagal se retira progresivamente y la HF disminuye del mismo modo. Bartels et al (428) encontraron un mayor decremento de la potencia HF durante el ejercicio hasta el segundo umbral ventilatorio (i.e. VT2) cuando se comparó con una situación de reposo equiparada en frecuencia respiratoria (15, 24, 27 y 32 ciclos de respiración\*min<sup>-1</sup>) y en volumen corriente final de CO<sub>2</sub>. Estos autores concluyeron que el HF durante el ejercicio representa la verdadera modulación autonómica cardiovascular, por lo menos cuando se mide hasta VT2. Sin embargo, durante el ejercicio intenso, por encima de segundo umbral ventilatorio (VT2) y a pesar de la reducción en la participación de la actividad vagal (429), existe un aumento de la HF mediado por la retroalimentación mecano-eléctrica (430) de hiperapnea sobre el nodo sinusal (405,407,422,425,431). La hiperapnea aumenta el retorno venoso (407) lo que produce una mayor precarga y conduce a estirar en mayor medida el nódulo sinusal (407,432). Este proceso obtiene como respuesta el acortamiento del intervalo RR (376), es decir un aumento de la FC. Además, la acción de bomba producida por los músculos contribuye a la respuesta cronotrópica positiva a través de un incremento de la precarga de la aurícula derecha del corazón (i.e. gran retorno venoso de la sangre) (154). Estos mecanismos no autónomos pueden regular la frecuencia cardíaca en ausencia de modulación autonómica eficaz durante el ejercicio intenso (114). Por lo tanto, al comparar entre los ejercicios de alta intensidad (i.e. > VT2), un aumento de la potencia HF se podría interpretar como

una mayor presencia del componente no-neuronal, hecho que podría indicar una mayor intensidad de ejercicio alcanzado.

El lactato sanguíneo ( $> 8$  mmol / L) y la frecuencia cardíaca ( $\approx 90\%$  de la predicción de edad de  $FC_{\text{máx}}$ ) alcanzados en este estudio señala a que los judocas estaban peleando, al menos en algunos periodos de tiempo, por encima de su  $VT_2$ . Aunque, es difícil saber qué proporción de las altas frecuencias obtenidas corresponden a una retirada vagal y cuales se debe a mecanismos no neurales, se sabe que cuando se supera el  $VT_2$ , la contribución vagal sobre la potencia de HF es insignificante y los mecanismos no neurales son el componente principal de las altas frecuencias (433). Por lo tanto, los mecanismos no neurales parecen ser la principal fuente de diferencias entre HF en la fase 2INI entre el combate 3 y el combate 1. Este estudio no está exento de limitaciones, ya que se fijó un límite superior de la banda de HF estable (i.e. 0,4 Hz). Pero, se ha sugerido que es recomendable adaptar el límite superior de la banda de alta frecuencia a la frecuencia respiratoria individual obtenida durante el ejercicio (300), de esta manera todos los posibles efectos no neurales en la potencia HF se incluirían dentro del ancho de banda analizado. Se necesitan más estudios para saber si el análisis de la HF durante los combates de judo podría ayudar a discriminar entre diferentes intensidades fisiológicas durante el esfuerzo de lucha.

### **5.5.4.2.3 La banda de alta frecuencia en el análisis de la VFC durante la recuperación**

La frecuencia respiratoria tiene un impacto en la potencia de la HF durante el ejercicio (113,422), sin embargo este parámetro parece representar la verdadera modulación vagal durante la fase de recuperación (144,145). En el presente estudio, no encontramos diferencias en las fases de recuperación entre los combates, por lo que parece que el diferente impacto fisiológico mostrado entre algunos combates (i.e. diferencias entre algunos combates en valores de lactato post-combate y %FCres) no resultaron en diferencias entre los valores de la HF en la recuperación. Los valores de la potencia HF en la fase de recuperación es dependiente de la intensidad del ejercicio (113,136,144,414) y puede estar condicionada por la fatiga acumulada (434). Millar et al (434) registró valores de HF más bajos después de 4 Wingate en comparación con 1 Wingate. Por lo tanto, parece que la carga de ejercicio precedente es una variable que puede influir en la actividad parasimpática durante la recuperación. Sin embargo, en el presente trabajo se encontraron resultados similares de HF en la fase de recuperación, lo que parece descartar un efecto de los combates sucesivos sobre la recuperación parasimpática durante la competición en judo. Hay que tener en cuenta la existencia de un "efecto techo" puede haber influenciado los valores de la HF durante la recuperación parasimpática. Este efecto se refiere a que una vez que los metaborreflejos son activados a altos niveles y la retirada parasimpática durante ejercicio se ha producido casi por

completo, un mayor aumento del estrés metabólico no retrasará más aún la reactivación parasimpática (135).

Algunos factores como la participación neta de energía anaeróbica (132), la demanda metabólica (136), la acumulación de metabolitos de estrés (134,136) y el daño muscular (107) han demostrado retrasar a corto plazo la reactivación parasimpática. Sin embargo, se ha encontrado que la energía total de trabajo no afecta a la actividad parasimpática después del ejercicio (132). Varias intensidades (435) o tipos de ejercicios (153) fueron equiparados en gasto total de energía neta y mostraron diferentes patrones de reactivación parasimpática. El mecanismo sugerido para explicar por qué la reactivación parasimpática se retrasa después de ejercicio de alta intensidad es que después del ejercicio una cantidad determinada de los metabolitos se acumulan (por ejemplo, lactato, epinefrina plasma, fosfato inorgánico y H<sup>+</sup>) dentro del músculo esquelético activo. Estos metabolitos estimulan las ramas III y IV de los nervios aferentes (120,436,437), lo que provoca un aumento reflejo en la actividad nerviosa simpática muscular, conocida como metabarreflejo (120). La estimulación metaborrefleja probablemente es un determinante clave de la reactivación parasimpática a corto plazo después del ejercicio (0-90 min) (438).

#### **5.5.4.2.4 La banda de baja frecuencia en el análisis de la VFC durante los combates**

El logaritmo natural de las bajas frecuencias (ln LF) fueron disminuyendo durante toda la competición (efecto combate,  $p=0,039$ ), presentando una tendencia a ser más bajo el C3 con

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

respecto a C1. Diversos estudios han mostrado como a medida que la intensidad del ejercicio aumenta la potencia de la banda LF disminuye progresivamente (114,125,407,428,433,439). Algunos autores observaron una disminución de LF cuando se sobrepasaba el primer umbral ventilatorio (407,427,439,440), y otros encontraron correlaciones negativas significativas entre el nivel de consumo máximo de oxígeno alcanzado y el ritmo ventilatorio durante el ejercicio y los valores absolutos de la LF (114). Sin embargo, no hay trabajos en la literatura que hayan estudiado el efecto acumulativo de la fatiga derivado de esfuerzos sucesivos en la potencia LF durante el ejercicio, lo que dificulta la discusión de los resultados del presente estudio.

Las interacciones complejas de cuatro mecanismos neuronales contribuyen de manera importante a los ajustes cardiovasculares neuronales al ejercicio: el comando central (418), el reflejo presor del ejercicio (437,441), el barorreflejo arterial y el barorreflejo cardiopulmonar (442). Un incremento concomitante de la frecuencia cardíaca y la presión arterial es posible debido a la acción del barorreflejo (i.e. arco reflejo receptor de presión). La maniobra de restablecimiento (443) que realiza el barorreflejo es lo que ayuda a preservar un suministro de sangre adecuado al músculo esquelético de trabajo, y permite que el sistema opere funcionalmente alrededor de una presión arterial mayor, como ocurre en ejercicio.

Como se discutió en la sección 5.5.3.1, la banda LF recibe modulaciones de las ramas simpáticas y parasimpáticas posiblemente en su mayor parte originadas en los barorreceptores

(118). La influencia de la actividad de los barorreceptores cardiacos se ha observado en un estudio realizado con personas entrenadas en donde se producía una disminución concomitante de la LF de la VFC y la actividad de los barorreflejos cardiacos durante el ejercicio (407). Raven, Fadel y Ogoh (146) sugirieron que el mecanismo de “información anticipativa” del comando central es probablemente el **regulador primario** del reseteo del barorreflejo, mientras que el mecanismo de retroalimentación negativa del reflejo presor del (en inglés exercise pressor reflex, EPR) es más un **modulador** del reseteo. Ambos mecanismos influyen sobre la LF de la VFC (LF\_VFC), sin embargo una disminución en la resistencia periférica puede ser el parámetro predominante que causa la disminución de LF\_VFC durante ejercicio (395). Por lo tanto, la LF\_VFC es una expresión de la modificación de los mecanismos de control de la presión arterial que tiene lugar durante el ejercicio (439).

Además, el análisis de la función de transferencia lineal entre la variabilidad de FC y la variabilidad de la presión arterial sistólica en el dominio LF identificó una reducción gradual de la sensibilidad barorrefleja a frecuencias cardíacas superiores a 150 latidos por minuto, una muestra de la reducción progresiva del control reflejo vagal del corazón cuando la carga de trabajo aumenta (444). En el presente estudio, todos los combates se disputaron a frecuencias cardíacas por encima de 150 latidos por minuto en el momento 2FIN. Sin embargo, hubo una tendencia a que la LF fuera menor en el combate 3 respecto al combate 1. Teniendo en cuenta estos resultados, y que LF es un parámetro dependiente de la intensidad, se podría decir que el combate 3, a pesar de caracterizarse por

#### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

niveles de frecuencia cardíaca similares a los dos primeros combates, representó un mayor impacto fisiológico para los judocas. Futuros estudios deberán determinar los mecanismos responsables de un mayor decremento de la LF en situaciones de combate con FC altas, pero de nivel similar. En esta línea, y no pudiendo extraer una conclusión a este respecto en el presente estudio, se ha sugerido que cuando el oxígeno y la glucosa no suplen las demandas de los músculos, la señalización del óxido nítrico (NO) produce la dilatación vascular en los músculos activos (445) lo que conlleva una disminución de la resistencia periférica, que prevalece sobre cualquier mecanismo vasoconstrictor relacionado con el aumento inducido por el metabolismo de la actividad simpática (446). Por lo tanto, quizá una razón que pueda explicar valores menores de LF en los últimos dos minutos del combate 3 pueda ser una disminución de la resistencia periférica mediada por el NO.

#### **5.5.4.2.5 La banda de baja frecuencia en el análisis de la VFC durante la recuperación**

Las actividad de las bajas frecuencias durante la recuperación son influenciadas principalmente por cambios en la actividad parasimpática (118) a través de cambios en la sensibilidad barorrefleja (en inglés baroreflex sensitivity, BRS) (135,136). En un estudio reciente, Martinmaki y Rusko (136) compararon dos bloques de ejercicios en cicloergómetro realizados a baja (i.e. 107 ppm,  $29 \pm 6\%$  de potencia máxima) y alta (i.e. 145 ppm,  $61 \pm 6\%$  de la máxima potencia) intensidad. Observaron que la LF después del ejercicio de alta intensidad aumentaba progresivamente hasta el

tercer minuto de recuperación, empleando 1 min más que la HF en recuperarse. Además, Niemela et al. (447) demostraron que la BRS es dependiente de la intensidad y por lo tanto se reduce después del ejercicio dinámico y después del trabajo de fuerza, sin embargo, encontraron que la función de los barorreceptores no se recuperó hasta 30 min después de la cesión del esfuerzo (447). Por lo tanto, teniendo en cuenta el probable vínculo entre la LF y la función de los barorreceptores, y la evolución temporal de la recuperación de la función de los barorreceptores, es posible que el análisis de 2 minutos después de los combates de judo realizados en el presente estudio no haya sido suficiente tiempo para observar diferencias en la LF entre combates con estrés cardiaco similar (i.e.  $> 168$  ppm; 80% de los FC de reserva todos los combates).

#### **5.5.4.2.6 La relación entre baja y alta frecuencia (el ratio LF/HF) en el análisis de la VFC durante los combates y la recuperación**

La relación entre LF y HF (i.e. ratio LF/HF) fue significativamente menor en el 2FIN en comparación con el 2INI y 2REC. Teniendo en cuenta que la fase 2FIN fue la más exigente a nivel cardiovascular, y que cabría esperar una gran descarga simpática al músculo cardiaco, este resultado contrasta con la capacidad atribuida al aumento de este ratio para reflejar el flujo simpático en el nodo sinusal (373,384,385). En esta línea, se encontraron resultados similares, cuando 14 adultos sanos entrenaron durante 3, 6 y 9 min a 60% y 70% de la potencia que se alcanza en estado de consumo máximo de oxígeno (i.e. PVO<sub>2</sub>max), y durante 3 y 6 min al 80% de PVO<sub>2</sub>max (114). Estos autores

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

reportaron que los valores absolutos de las componentes de la VFC, HF ( $\text{ms}^2$ ) y LF ( $\text{ms}^2$ ), disminuyeron significativamente con el ejercicio, igualmente el ratio LF/HF disminuyó significativamente respecto a la situación de reposo. Los autores de este estudio observaron que el aumento de la intensidad del ejercicio se asoció con: 1) un fuerte descenso en la LF en unidades normalizadas; 2) un incremento significativo de la HF en unidades normalizadas, y 3) un reajuste gradual del pico de HF a una frecuencia más alta debido a un incremento de la frecuencia respiratoria. Por lo tanto, y teniendo en cuenta que la HF en ejercicio está fuertemente influenciada por componentes no-neurales, el ratio LF/HF medido en ejercicio podría verter conclusiones poco esclarecedoras sobre la compleja modulación neurocardiaca de una situación fisiológica real. El ratio LF/HF como un índice de equilibrio simpático vagal (373) presenta limitaciones ya que se han reportado cambios complejos recíprocos no lineales o no paralelos en las ramas del sistema nervioso autónomo. Por ejemplo, una prueba de que las intervenciones fisiológicas provocan cambios no paralelos sobre las ramas del sistema nervioso autónomo puede observarse en la situación después de ejercicio, en donde la activación simpática sigue siendo alta a pesar de la rápida reactivación de la rama parasimpática cardíaca (118,448). Estas interacciones complejas pueden influir profundamente en el cálculo y las interpretaciones de la relación LF/HF. Para una revisión más detallada sobre este asunto se sugiere la consulta de Billman (118).

#### **5.5.4.2.7 La banda de alta frecuencia en unidades normalizadas en el análisis de la VFC durante los combates y la recuperación**

La HF en unidades normalizadas (i.e. HFu.n.) presentó un efecto del momento o tiempo de medición, siendo 2FIN superior a 2INI y 2REC. Este resultado es la consecuencia de una disminución de la LF durante 2FIN y un incremento concomitante en la HF. De acuerdo con estos resultados, trabajos anteriores encontraron un aumento de la HFu.n. durante el ejercicio extenuante inducido por una disminución de LF en combinación con la estabilidad de la HF (114,405,449). Pichon et al (114) observaron una correlación positiva de la HFu.n. con la ventilación por minuto y el porcentaje de VO<sub>2</sub>max ( $r = 0,92$  y  $r = 0,97$ ,  $p < 0,01$ ). Llegaron a la conclusión de que un aumento importante en la frecuencia respiratoria combinada con la desaparición del control autónomo cardíaco podría explicar la prevalencia de la HF y la disminución de la LF durante la condición de ejercicio intenso. Sin embargo, la HFu.n. presenta limitaciones como indicador para describir o diferenciar entre las ramas autonómicas que actúan sobre el corazón. Un cambio en la potencia total (i.e. el denominador en el cálculo de la HFu.n.) inevitablemente conduce a un cambio artefactual de la potencia normalizada (450). El uso de la potencia espectral normalizada puede distorsionar la respuesta fisiológica esperada respecto a la respuesta que se evidencia. Montano et al. (451) reportan que una intervención con bloqueo colinérgico, que elimina casi completamente la variabilidad del intervalo R-R, conduce a cambios sustanciales en las unidades

#### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

normalizadas de las potencias espectrales: una disminución de un 32% en las frecuencias bajas, y un aumento del 74% en las altas frecuencias. Esta situación se alcanzó a pesar de una casi una frecuencia de pulso monotonía del corazón (i.e. sólo un cambio del 9%) y una falta de cambio en la actividad nerviosa simpática muscular (en inglés muscle sympathetic nerve activity, MSNA). Por lo tanto, la interpretación de la HFu.n. en cuanto a la modulación autonómica es difícil, sin embargo, este parámetro puede tener alguna aplicación para determinar un cambio en el estado fisiológico durante el ejercicio (114). En el presente estudio, el HFu.n. durante la fase 2FIN demostró ser significativamente mayor que en las otras fases y este hecho podría indicar que los judocas combatían por encima del VT2.

#### **5.5.4.2.8 La complejidad de la FC evaluada a través de la entropía aproximada (i.e. ApEn) durante los combates y la recuperación**

La mayor complejidad cardíaca se obtuvo durante el final del combate de judo (i.e. fase 2FIN) en comparación con los 2 minutos en la fase de recuperación y en el comienzo del combate. Acorde con nuestros resultados, trabajos previos han reportado un incremento de la ApEn (117,452) a medida que aumenta la intensidad del ejercicio. De hecho, Tulppo et al (117) analizaron los cambios en ApEn en ejercicios hasta alcanzar el VO<sub>2</sub>máx y reportaron un incremento gradual de este parámetro no lineal después del umbral ventilatorio. Observamos valores muy bajos de ApEn tras combates en comparación con los valores basales obtenidos en la mañana de la competición, lo que indica una

pérdida de complejidad debido a los combates de judo. En línea con los resultados del presente estudio, otros autores también encontraron una pérdida de la complejidad de la FC inmediatamente después de ejercicio de resistencia moderado (113) y supramáximo (434,453). Además, el ejercicio de fuerza también demostró poseer la capacidad de reducir la complejidad de la frecuencia cardíaca (454,455).

Sin embargo, la interpretación de los parámetros de complejidad presenta cierta controversia. Estudios previos (453) han demostrado una asociación entre las influencias vagales y adrenérgicas con la complejidad de la FC. La administración del bloqueo parasimpático o estimulación simpática reduce la complejidad de la FC, mientras que la estimulación parasimpática o bloqueo simpático aumenta la complejidad del sistema cardiovascular (456). Por lo tanto, se ha propuesto que la complejidad de la FC refleja la interacción entre las dos ramas del SNA. Nuestros datos muestran una reducción de la complejidad de la FC a lo largo de los combates de judo, de acuerdo con la literatura actual este hecho podría indicar una modulación vagal deprimida y/o aumento de la actividad simpática. Sin embargo, se observaron que las diferencias significativas entre los dos momentos analizados (2INI y 2FIN) no fueron paralelas a las diferencias de %FCres entre estos momentos en todos los combates. Teniendo en cuenta que la modulación vagal se deprime más con incrementos en la intensidad del ejercicio (457), el resultado actual podría interpretarse como un incremento de las entradas no neurales que influyen sobre el corazón. La presencia

#### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

de más aferencias alcanzando el corazón probablemente es causada por un aumento en el componente no-neuronal (acción mecánica de la respiración, la precarga, etc.) o un incremento de la actividad reflejo presor del ejercicio durante el momento 2FIN en comparación con el momento 2INI.

Por otro lado, recientemente Tan et al (458) señalaron que las series de intervalo de tiempo R-R son fractales sólo en una minoría de casos. Estos autores encontraron que el presunto comportamiento fractal de las series de intervalo de tiempo R-R no reflejan profundos cambios en el estado autonómico (por ejemplo, completo bloqueo simpático y colinérgico) a nivel individual. Algunos autores (117) no encontraron un efecto reproducible en la entropía aproximada después de la administración de fármacos, es decir, a pesar del bloqueo de ambas ramas del sistema nervioso autónomo no se obtuvieron cambios destacables en el control autonómico cardíaco. Por lo tanto, no está claro lo que estas medidas pueden representar en términos de control fisiológico. Además, otra posible limitación para los métodos basados en la entropía durante el ejercicio es que pueden producir resultados engañosos cuando se aplica a señales no estacionarias (109). Por lo tanto, futuras investigaciones deberían realizar un estudio de la estacionariedad de la señal antes de poder aplicar estas técnicas de análisis. Además, otros estudios deberán aportar una correcta interpretación de estos parámetros durante el ejercicio, y su posible relación con el ejercicio por encima del umbral ventilatorio.

### **5.5.5 La evolución de la recuperación cardiaca a lo largo de la competición**

Los valores de frecuencia cardíaca al final de los tres primeros combates estuvieron dentro del rango (86-93% de la  $FC_{max}$ ) que reportaron el menor error típico de medida (i.e. mayor sensibilidad para detectar cambios significativos en la RFC) (459). Sin embargo, la FC final en el combate 4 estaba ligeramente por encima del límite superior del rango de sensibilidad ( $97 \pm 4\%$ ), y por esta razón se podría esperar una pérdida de precisión de la medición RFC en este combate. Los valores de frecuencia cardíaca alcanzados durante y al final de los combates en el presente trabajo son similares a los reportados por la literatura (28,40,54,80,83,92).

Sólo encontramos dos estudios previos (40,460) que hayan estudiado la recuperación de la frecuencia cardíaca después de los combates de judo. En el estudio de Houvenaeghel et al (460) se observan recuperaciones a corto plazo (RFC60) más lentas (i.e. disminución media= 18,2%) después de combates de judo en comparación con el presente estudio (C1 = 26%, C2 = 27%, C3 = 21%, C4 = 25%). Sin embargo, la duración de los combates en Houvenaeghel et al (460) eran de 2 minutos, por lo que estos resultados no son del todo comparables con el presente estudio, con duraciones de combates de hasta los 7 minutos, donde probablemente se alcanzaba una mayor activación aeróbica. Además, los valores de RFC60 del estudio de Houvenaeghel et al (460) se presentan como un porcentaje de la  $FC_{max}$  cuando en el presente estudio se expresaron en porcentaje de la  $FC_{res}$ , en orden de reportar resultados más individualizados según lo sugerido por

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

Daanen et al (461). En un trabajo más reciente, Sbriccoli et al (40) evaluaron un grupo de judocas pertenecientes a la selección italiana olímpica, y entre otras pruebas, se pidió a los deportistas que realizaran realizar un combate de 5 minutos donde tuvieron que luchar contra dos oponentes (2,5 min con cada uno) con el fin de aumentar la intensidad del encuentro. Estos autores reportaron que los judocas varones requerían de  $12 \pm 6$  min para recuperar los valores correspondientes a un 60% de la  $FC_{max}$ , siendo estos valores más altos que los estimados por la RFCT30 en nuestro estudio (desde el más bajo C1 = 4,5 min a la más alta C3 = 7,5 min). La última comparación no está exenta de limitaciones, ya que no medimos de forma directa el tiempo de recuperación más allá del período de 2 minutos, y en su lugar se empleó la semilogarítmica de los primeros treinta segundos de recuperación (RFCT30) propuesta por Imai et al (126). La constante de tiempo RFCT30 representaría el tiempo necesario para recuperar hasta el 63,2% de la FC tomando como rango máximo y mínimo, la FC al final del combate y el valor 0 respectivamente, siempre y cuando el comportamiento de la disminución de la FC fuese lineal. Sin embargo, la frecuencia cardíaca disminuye de manera exponencial (281). Por lo tanto, podemos especular que el tiempo necesario para la recuperación de alrededor del 60% habría sido incluso mayor. Además, en el cálculo de la RFCT30 tomamos como límite superior el valor de la FC al final de los combates, sin embargo, Sbriccoli et al (40) tomó como referencia la  $FC_{max}$ , lo que no siempre es similar a la FC al final del ejercicio.

Recientemente, Blasco Lafarga-et al (112) analizaron los efectos sobre el SNA de una prueba de judo supramáximo. Esta prueba consistió en la realización de algunas habilidades específicas (agarres, lanzamientos,...) distribuidas en períodos de actividad y de descanso a lo largo de 8-9 minutos para reproducir las demandas neuromusculares y energéticas de un combate de judo. Los porcentajes de  $FC_{max}$  y lactatos máximos obtenidos en esta prueba fueron muy similares a los reportados en estudios previos (40,54,83,92) y durante los combates en el presente estudio. La recuperación de la frecuencia cardíaca en el minuto 1 después de la finalización de esta prueba fue similar a los valores obtenidos después de los dos primeros combates y después del C4 en el presente estudio, pero ligeramente superior (i.e. recuperación más rápida) que en el C3. Estas diferencias pueden ser más grandes debido a la posición de bipedestación que se adoptó en nuestro estudio, en comparación con la posición de sentado que emplearon en Blasco Lafarga-et al (112). Por otra parte, los valores menores obtenidos en C3 con respecto a C1 y C2, parecen señalar que, al menos en relación al estrés neurocardíaco, el combate 3 fue más intenso, comparables o ligeramente por encima que una prueba específica supramáxima de duración similar.

La medición de la RFC se ha empleado como una herramienta para monitorizar la carga de ejercicio (98,150,461–464). Este parámetro refleja la capacidad del SNA para adaptarse al estrés producido por el ejercicio precedente, la comparación de nuestros datos de RFC con pruebas de intensidad controlada (velocidad y la inclinación en un tapiz rodante o vaticos en un cicloergómetro)

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

puede dar una idea de la intensidad alcanzada durante los combates de judo. Buchheit et al (132) compararon tres diferentes bloques de ejercicio en carrera con deportistas de actividades intermitentes (fútbol, balonmano, baloncesto o tenis). Siendo el ejercicio de referencia los sprint repetidos (SR), diseñaron una carrera continua moderada isocalórica (CM) y una carrera de alta intensidad intermitente (en inglés high-intensity interval training, HIIT) equiparando el gasto de energía anaeróbica con el entrenamiento SR. Aunque SR y CM son diferentes tipos de ejercicios, tuvieron duraciones totales similares (6 min y de  $\approx 6$  a 8,5 min, respectivamente) que fueron equiparables a las duraciones de los combates de judo registrados en el presente trabajo. Los parámetros de recuperación a ultra-corto plazo y a corto plazo (RFCT30 y RFC60, respectivamente) presentaron diferencias significativas entre SR y CM, y los valores absolutos de estos parámetros obtenidos en nuestro estudio estaban más cerca de los valores obtenidos después del bloque SR que del bloque CM. En otro trabajo, Nakamura et al (465) encontraron también valores de RFCT30 y RFC60 similares a los reportados por Buchheit et al (132), y a los nuestros, después de la realización de dos protocolos supramáximos: una prueba de la capacidad de sprint repetidos (2 min 40 s) y una prueba 30-15 IFT ( $\approx 13$  min). En ambos estudios, los autores llegaron a la conclusión de que el comportamiento de la RFC es similar cuando los protocolos tienen niveles similares de lactato después del ejercicios ( $> 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y, por lo tanto, RFC depende de la contribución de energía anaeróbica. En el presente estudio, se encontraron valores elevados de lactato (del 10

al  $12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y una recuperación lenta de la frecuencia cardíaca a corto plazo (RFCT30 = 270,45 a 445,86 segundos y RFC60 = 39-30 latidos por minuto) después de los combates de judo. Evaluando esta información en conjunto, llegamos a la conclusión de que los combates de judo requieren altas demandas metabólicas, lo que perturba de forma importante el control autonómico cardíaco, por lo menos a corto plazo. Sin embargo, tenemos que ser prudentes en la comparación de los resultados con los estudios anteriormente mencionados, ya que analizan diversos esfuerzos que implican una participación diferente en cuanto a volumen y localización de masa muscular, y la RFC fue medida en posición sentada. La posición de medición influye en la reactivación vagal (371,466), sin embargo, en el presente estudio se escogió una posición de medición en bipedestación ya que al mismo tiempo se les medía la estabilidad encima de una plataforma de fuerzas. La diferente posición de medición a la hora de registrar la RFC puede ser una limitación al comparar nuestro estudio con los demás, sin embargo, el efecto de la postura parece ser menos importante después del ejercicio supramáximo (371).

La evolución de los parámetros de la RFC durante la competición fue diferente entre la fase rápida (RFCT30 y RFC60) y la fase lenta (RFC120). El ANOVA mostró diferencias significativa para RFCT30 y RFC60 entre los combates, mientras que RFC120 fue prácticamente igual a lo largo de la competición. Se han sugerido diversos "procesos de desactivación" que producen la disminución de la frecuencia cardíaca después del ejercicio (para más detalles véase la revisión de Peçanha et al (467) y Stanley et al

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

(438)). La desactivación del mando central y el mecanorreflejo (i.e. reflejo periférico sensitivo al movimiento localizados en el músculo esquelético) son los principales procesos descritos que contribuyen a la reactivación parasimpática durante la fase rápida de la recuperación (126,468–470), junto con la estimulación del barorreflejo arterial (471). Por lo tanto, la interacción entre el comando central y en especial la función del barorreflejo pueden ser el origen de las diferencias entre los combates en el período de recuperación rápida (i.e. primer minuto), periodo que está fuertemente influenciado por la actividad del nervio vago (126). Mientras tanto, la acumulación de metabolitos (i.e. lactato, K<sup>+</sup>, ADP, Pi, H<sup>+</sup>, prostaglandinas y bradicinina) (108), los factores hormonales (i.e. noradrenalina, NE) (280) y el proceso de termorregulación (467) mantienen la actividad del nervio simpático interactuando con el nervio vago desde la finalización del esfuerzo, pero siendo responsables de la recuperación principalmente desde el primer minuto hasta el retorno de la FC a valores basales. Aproximadamente, en este punto, y, obviamente, en función de las características de los participantes y de la intensidad relativa del ejercicio realizado, el sistema cardiovascular es eficiente eliminando los “activadores” del sistema nervioso simpático y propiciando la recuperación del organismo que coincide con la retirada simpática observada (100,280,472). Cada combate produce una alta perturbación de la homeostasis y una alta demanda metabólica tal y como indican los valores de lactato. Una razón que puede explicar por qué no fue RFC120 diferente entre combates, es que 2 minutos representaba un tiempo insuficiente para evaluar la fase lenta de la

recuperación en su totalidad, y que éstas diferencias podrían haber aparecido en tiempos más alejados de la finalización del combate. También, cabe señalar que a pesar de existir diferencias entre los valores de lactato post-combate, estos valores fueron altos en todos los combates, y desconocemos como sería el pool de otros metabolitos que retrasan la retirada simpática como el K<sup>+</sup>, la ADP, el Pi, los H<sup>+</sup>, la epinefrina plasmática, etc. Por lo tanto, puede que las diferencias entre los valores de lactato no hayan sido suficientes para producir diferencias en el impacto sobre el sistema nervioso autónomo. Un estudio anterior (132) comparó dos ejercicios de alta intensidad reflejando valores de lactato post ejercicio similares, pero la contribución de las vías energéticas fueron diferentes, los autores reportaron un desacoplamiento de la fase de recuperación rápida y lenta. Sin embargo, en este caso, los autores encontraron que la fase de recuperación rápida (RFCT30 y RFC60) no fue diferente entre los ejercicios, y en cambio, la tarea que se caracterizaba por un aporte energético más aeróbico y con menos contribución anaeróbica resultó en una fase de recuperación lenta mayor. El nivel de activación neuromuscular obtenido durante un ejercicio podría tener un impacto en la RFC, y los efectos sobre cada fase de recuperación parece ser específico. Algunos estudios mostraron una RFC más lenta en la fase rápida después del ejercicio supramáximo (132,472). Otros, han mostrado como la RFC es más rápida después del ciclo-ergómetro en comparación con el tapiz rodante (473), y más rápido después del ejercicio con las extremidades superiores en comparación con el realizado con el miembro inferior en cicloergómetro. Las investigaciones futuras

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

deberían determinar cual es la ventana de tiempo específica y los factores que influyen en las dos fases de la recuperación de la frecuencia cardíaca. Buchheit et al (132) concluyeron que la contribución anaeróbica y otros factores asociados con un alto nivel de reclutamiento de fibras rápidas (i.e. estrés del comando central, catecolaminas y la liberación del co-transmisor simpático, y la acumulación de lactato y  $H^+$  o la acumulación de otros metabolitos), más que la potencia aeróbica promedio, la sollicitación de la potencia muscular o la gasto energético neto, son de importancia primaria en la determinación del nivel de la reactivación parasimpática después de sprint repetidos. Sin embargo, la incidencia de la acumulación de lactato en la regulación autonómica post-ejercicio no ha sido evaluada directamente todavía.

En el presente estudio, el último combate de la competición (C4) no mostró diferencias en RFC con ninguno de los otros tres combates. Sin embargo, C3 presentó diferencias significativas con C1 y con C2. Por lo tanto, se concluye que el parámetro RFC60 empleado discriminó entre combates, sin embargo la fatiga acumulada no afectó a la recuperación de la frecuencia cardíaca, ya que no hubo un decremento lineal, por lo menos cuando esta recuperación se mide a corto plazo (i.e. hasta 2 minutos).

### **5.5.6 La asociación entre las variables fisiológicas y metabólicas durante la competición en judo**

Los cambios en las diferentes variables analizadas de la VFC resultaron altamente asociados. Estos resultados coinciden con los

de un estudio previo que reportó fuertes correlaciones entre los diferentes métodos de análisis de la VFC (i.e. dominio del tiempo, dominio de la frecuencia, no lineales) (293). Sin embargo, los cambios porcentuales ( $\% \Delta$ ) en la SampEn solamente correlacionaron con el  $\Delta\%RR$  medio y no con el resto de los  $\Delta\%$  de las variables de la VFC (i.e. el dominio del tiempo, dominio de la frecuencia y no lineal). Este resultado no sorprende, ya que la SampEn es una medida de la complejidad de la FC y no es necesariamente análoga a la variabilidad de la FC. Una señal puede ser variable pero no compleja, mientras que una señal aleatoria puede ser menos variable y altamente compleja (474). La complejidad de las fluctuaciones en la serie de intervalos de tiempo entre latidos cardíacos refleja la capacidad para responder ante estresores transitorios por parte del centro de integración del SNA y de otros sistemas de control que se encuentran interactuando, y la capacidad que estos centros de control tienen para adaptarse a las demandas de un entorno en constante cambio (109).

Uno de los resultados interesantes de este estudio fue que los judocas con mayor complejidad de la FC en la situación antes de la competición, mostraron un importante incremento del  $\Delta LA_{pre-post}$  durante los combates y una peor RFC y VFC durante la recuperación. El  $\Delta LA_{pre-post}$  es un indicativo de la liberación de energía glucolítica para satisfacer la demanda de energía rápida durante los combates, por lo tanto, este parámetro puede ser considerado como un marcador de intensidad en combate. Por lo tanto, este último resultado indica que el aumento de la complejidad basal antes de los combates está relacionado con una

## 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

mayor capacidad para desarrollar ejercicio intenso durante los combates de judo posteriores.

En el presente estudio, la SampEn presentó una gran asociación significativa positiva con  $\Delta LA_{pre-post}$ , aunque no existió asociación con el  $LA_{pico}$ . Por otro lado, las variables de VFC (i.e. RMSSD, TP, SD1) vinculados a la influencia vagal sobre el corazón estuvieron asociadas moderadamente pero sin llegar a ser significativas con los valores de lactato promedio. Recientemente, Blasco Lafarga-et al. (112) evaluaron la VFC, la complejidad de la FC y el lactato antes y después de una prueba de judo específica supramáxima. Encontraron una clara asociación entre la actividad vagal en el pre-test con el valor de lactato máximo alcanzado después de la prueba supramáxima. Las posibles razones que podrían explicar por qué no se encontraron correlaciones con  $LA_{pico}$  podría ser que no se pudo medir el  $LA_{pico}$  correctamente, ya que sólo se hicieron dos extracciones sanguíneas, una en el primer y otra en el tercer minuto, siendo estas extracciones insuficientes especialmente en los últimos combates donde el valor mayor se encontraba en la extracción del tercer minuto. En un estudio a largo plazo, se reportó que los atletas con mayor complejidad cardíaca fueron capaces de entrenar a una mayor carga de trabajo durante la semana siguiente (408). Por otro lado, una baja modulación vagal en reposo se ha asociado con una peor recuperación de estrés post-ejercicio de los marcadores cardiovasculares, endocrinos e inmunes (475). Por lo tanto, del contraste de los datos del presente estudio con lo reportado en la literatura se podría concluir que un equilibrio simpático con una

tendencia a la dominación vagal durante condiciones de reposo puede contribuir a una mayor capacidad para alcanzar una mayor intensidad durante los combates de judo.

El cambio porcentual del SampEn se asoció negativamente con el SampEn en la mañana antes de la competición. Además, como ya se ha mencionado en el párrafo anterior, la SampEn antes de la competición también se asoció negativamente con la RFC media y con las variables promedio de la VFC, variables que han demostrado ser dependientes de las carga de esfuerzo recibidas (138). Estos resultados parecen señalar a que los judocas que presentaron mayor complejidad de la FC antes de la competición fueron capaces de luchar de forma más intensa lo que consecuentemente resultó en peor recuperación restablecimiento autonómico cardíaco (i.e. RFC y VFC en la recuperación) y una disminución de la complejidad de la FC doce horas después de la competición. Estudios previos han reportado una asociación entre las influencias vagales y adrenérgicas con la complejidad de la FC. La administración de sustancias de bloqueo parasimpático o la estimulación simpática reduce la complejidad de la FC, mientras que la estimulación parasimpática o bloqueo simpático aumenta la complejidad del sistema cardiovascular (453,456). Por lo tanto, se ha propuesto que la complejidad de la FC refleja la interacción entre las dos ramas del SNA. Nuestros datos muestran una reducción no significativa en la complejidad de la FC significativamente relacionada con índices de alta carga de ejercicio alcanzados a lo largo de una competición de judo simulada. Estos

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

hallazgos sugieren que una competición de judo altera la interacción simpátovagal.

A pesar de la gran asociación encontrada entre la RFC y VFC durante el período de recuperación después de los combates, sólo los índices de la VFC después de los combates presentaron asociaciones moderadas a grandes con la VFC en situación basal antes de la competición. En esta línea, estudios previos han encontrado una asociación pequeña entre la RFC post-ejercicio y la VFC en reposo (476). Por otra parte, y en la línea con nuestros resultados, Javorka et al (113) encontró una asociación entre la RFC y la VFC obtenida del minuto 5 al 10 después del ejercicio. Sin embargo la VFC durante reposo en posición supina y de pie antes del ejercicio no se relacionó con la RFC. Por lo tanto, estos autores concluyeron que el aumento de la actividad parasimpática causando desaceleración del ritmo cardíaco después del ejercicio es en gran medida independiente del tono parasimpático basal. Por el contrario, Blasco-Lafarga et al (112) encontraron asociaciones negativas entre la RMSSD basal ( $\ln$ ) antes de una prueba de judo supramáxima y la RFC60 ( $r = -0,476$ ,  $p < 0,05$ ) y la RFC120 ( $r = -0,457$ ,  $p < 0,05$ ) después de la prueba. Las posibles razones que podrían explicar las diferencias con el presente trabajo son que en el estudio de Blasco-Lafarga et al (112) se estudiaron las asociaciones entre variables después de una prueba específica de donde cada judoca hizo un esfuerzo máximo, y en el presente trabajo se exploraron los valores promedio de cuatro esfuerzos acumulados con diferente intensidades relativa para cada participante. Sin embargo, otros trabajos de investigación deberían

investigar la posible relación entre la modulación autonómica en reposo previa al ejercicio y la recuperación de la FC después del ejercicio, ya que estas asociaciones podrían tener una aplicación útil en la prescripción de las cargas de entrenamiento.

Tanto la VFC en reposo y la RFC post-ejercicio se han relacionado con la aptitud y la carga de entrenamiento. De hecho, Buchheit y Gindre (138) indicaron que los índices de VFC en reposo se relacionan con los valores de VO<sub>2</sub>max, mientras que la RFC después del ejercicio se relaciona más con los niveles de carga de entrenamiento. Estos autores encontraron que los índices vagales son significativamente mayores en los atletas entrenados independientemente de las cargas de entrenamiento que realizan, y que los índices de RFC post-ejercicio es más rápida en los atletas con cargas de entrenamiento moderadas, independientemente de su nivel de condición física. Por lo tanto, se puede concluir que la VFC en reposo y la RFC post-ejercicio proporcionan informaciones distintas y complementarias sobre la función parasimpática. Además del presunto origen parasimpático tanto de la VFC y de la RFC post-ejercicio, se ha sugerido que estos índices son responsables de diferentes aspectos del control neurocardiovascular (462,477). Por ejemplo, la VFC parece reflejar las fluctuaciones fásicas en la actividad eferente vagal (i.e. modulación parasimpática), y la RFC post-ejercicio parece ser un índice de la señalización colinérgica a nivel del nodo sinoauricular (i.e. tono vagal) (375,438).

En el presente estudio, no se encontraron correlaciones entre marcadores de intensidad habitualmente utilizadas como son el

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

%FC<sub>res</sub> y los TRIMP<sub>exp</sub>, y los índices de la RFC o de la VFC. Sin embargo, se encontraron correlaciones de moderadas a grandes entre el promedio del lactato durante la competición y ambos índices de recuperación de la FC. Más detalladamente, los valores promedio de lactato en sangre mostraron una tendencia a asociarse negativamente con la LF en recuperación, y, además, presentaron una asociación negativa significativa con la RFC60. Los últimos resultados concuerdan con los resultados reportados después de una prueba de judo supramáxima, donde se encontraron asociaciones similares entre el lactato en sangre con la RFC60 y la RFC120 (112). Trabajos anteriores ya habían demostrado la existencia de una asociación negativa entre los índices de la RFC no sólo con lactato en sangre (98,371), sino también con la norepinefrina en plasma y con los niveles de acidosis en sangre (98,132,280). El nivel de participación del metabolismo anaeróbico parece influir de manera determinante en el estado autonómico post-ejercicio (132). De acuerdo con esta afirmación y en línea con los resultados del presente trabajo, algunos estudios reportaron una disminución de los índices de VFC en presencia de valores altos de lactato sanguíneo (141,301,370,371,414).

Por otro lado, la falta de asociación entre los índices de RFC con cualquiera de los parámetros de intensidad o de carga durante los combates no concuerdan con lo reportado en la literatura (414). Estos autores calcularon los TRIMP en ejercicios interválicos de carrera y observaron que se asociaban con los parámetros de la VFC medidos durante los tres primeros minutos de la recuperación. Las diferencias entre los resultados del presente

estudio y el estudio anterior radica en que los ejercicios de carrera y los combates de judo son modalidades deportivas diferentes donde el comportamiento de la FC está influido por varios factores (movimientos de las extremidades superiores, patrones de respiración, distribución de tiempo de acción,...).

Cuando se analizaron los efectos a largo plazo después de un periodo de entrenamiento, el incremento en la carga de entrenamiento correlacionó negativamente con la RFC (131). Además, se observó que la FC sub-máxima no se vio afectada por los cambios agudos en la carga de entrenamiento. Por lo tanto, se ha sugerido que mientras la FC durante el ejercicio puede servir para medir el impacto cardíaco, la RFC post-ejercicio podría reflejar el estado del sistema nervioso autónomo, lo que indica la capacidad del cuerpo para responder al ejercicio. En vista de los resultados, futuros estudios deberán investigar la asociación de estos parámetros para aclarar su capacidad para monitorizar el esfuerzo en los deportes de combate.

Las correlaciones encontradas en el presente estudio apoyan la afirmación de que la disminución más lenta de FC después de un ejercicio de alta intensidad o un ejercicio supramáximo se produce por una gran cantidad de acumulación de metabolitos vasoactivos (98,438,478). En una revisión reciente, Stanley et al (438) señalaron que existe una relación casi perfecta ( $r = -0,93$ ; 90% intervalo [IC] -0,98 a -0,78) entre el cambio en la actividad parasimpática post-ejercicio (i.e. la VFC y la RFC) y el cambio en las concentraciones de lactato en sangre después del ejercicio. Fisher et al (436) comprobaron que el reflejo metabólico incrementa o mantiene la

##### 5. Estudio 1. Estudio de la evolución de las variables fisiológicas y metabólicas

frecuencia cardíaca elevada al aumentar la actividad simpática cardíaca. Generalmente se cree que las diferencias entre curvas exponenciales de recuperación de la FC post-ejercicio dependen de la carga de trabajo (132), y esta recuperación es mediada por la retirada gradual de la actividad simpática y la reactivación parasimpática progresiva (102,127), con el objetivo de llevar a cabo la eliminación de los metabolitos que se han producido debido al estrés impuesto por el ejercicio de alta intensidad (280).

Un combate de judo no presentan una intensidad preestablecida, en su lugar cada judoca modula su ritmo de lucha con el fin de adaptarlo a su adversario y a sus propias características condicionales y técnicas. En esta competición de judo simulada, y con el objetivo de estudiar la situación más estresante que los judocas podrían afrontar, se adoptaron algunas estrategias como que los participantes fueron agrupados con atletas de nivel similar, todos los combates duraron el tiempo completo que establece el reglamento, y se animaba a los judocas a combatir a la máxima intensidad posible. En este contexto, podemos encontrar dos intensidades relativas diferentes entre judocas dentro del mismo combate. Esta información debe ser tenida en cuenta para la correcta interpretación de los datos obtenidos en este estudio.

En conclusión, los resultados derivados del análisis correlacional sugieren que los judocas con mayor complejidad de la FC pre-ejercicio pueden llegar a niveles fisiológicos más altos, y que la competición de judo produjo moderados cambios en el control autonómico post-competición. Por otra parte, la influencia de las capacidades condicionales de los judocas en el rendimiento durante

una competición de judo sigue siendo un problema sin resolver y se necesitan más estudios para abordar este tema. Futuros estudios deberán abordarse realizando un análisis concomitante de capacidades condicionales y comportamientos técnico-tácticos del combate, de esta manera se podría establecer un vínculo más sólido entre aspectos fisiológica y metabólico con las habilidades técnicas en judo.

## **6 Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza**

---

### **6.1 Objetivos**

- Describir y comparar la evolución de la fuerza isométrica del miembro inferior (i.e. sentadilla isométrica) y superior (i.e. dinamometría manual, tracción en tendido prono y empuje en tendido supino) a lo largo de la competición de judo medida una vez transcurrido el tiempo mínimo de recuperación disponible por el competidor (i.e. 10 min).
- Analizar y comparar los efectos de la competición de judo sobre la evolución de la potencia muscular a través de la evaluación de diferentes variables que describen la capacidad de salto con contramovimiento (i.e. CMJ).
- Identificar la asociación entre las variables fisiológicas, metabólicas y el cambio en las variables mecánicas durante la competición en judo.

### **6.2 Hipótesis**

- La fuerza del miembro superior se reduce después de cada combate y especialmente en los últimos combates, en donde se dispone de menor tiempo de recuperación. En cambio, no existe un efecto de los combates y ni la competición en la evaluación isométrica y explosiva de la fuerza del miembro inferior.

- Existe asociación positiva entre la pérdida de rendimiento en las diferentes evaluaciones de fuerza en el miembro superior y el incremento del estrés fisiológico y metabólico durante la competición.

## **6.3 Material y Método**

### **6.3.1 Evaluación de diferentes manifestaciones de la fuerza**

Con el objetivo de estudiar la evolución de la fuerza en la competición en judo, se llevó a cabo la evaluación y análisis de diferentes manifestaciones de la fuerza dinámica e isométrica.

Como se ha comentado anteriormente, los participantes habían realizado 3 sesiones de familiarización con las pruebas mecánicas que se describen a continuación. La evaluación del bloque de pruebas mecánicas se realizó al inicio de la competición y 10 minutos después de cada combate. Se decidió este tiempo de recuperación antes de las pruebas mecánicas para evaluar la evolución de la fuerza de los judocas en el momento que podrían ser requeridos para disputar un nuevo enfrentamiento. Ya que según el Art. 10.2 del reglamento de la IJF (27), 10 minutos es el tiempo mínimo que debe transcurrir para la realización del siguiente combate en una competición oficial, en caso de que los combates de la eliminatoria acabarán antes del tiempo reglamentario.

El orden de las pruebas se escogió tratando de minimizar la fatiga producida por la realización de las mismas sobre las demás

## 6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

evaluaciones: 1) Salto con contramovimiento (CMJ); 2) Tracción isométrica en tendido prono (iTTP); 3) Empuje isométrico en tendido supino (iETS); 4) Dinamometría manual (DM); 5) Sentadilla isométrica (iS).

Las pruebas se realizaron con el traje de judo (i.e. *judogi*) y los pies descalzos. Los participantes realizaron la evaluación de fuerza siguiendo el orden de pruebas establecido pero con una participación alternativa y balanceada. Todos los materiales que se describen a continuación fueron calibrados con anterioridad a la sesión de evaluación según las indicaciones del fabricante.

### o Salto con contramovimiento.- CMJ

Con el objetivo de medir la fuerza explosivo-reactiva del miembro inferior, y su evolución a lo largo de la competición, se empleó el test CMJ (479–481)

Para la obtención de las diferentes variables que caracterizan el CMJ se empleó una plataforma de fuerzas (Quattro Jump, Kistler Instrumente, Type 9290AD, Switzerland), y se fijó la frecuencia de muestreo en 500Hz. La obtención de los parámetros relacionados con la producción de fuerza en el salto vertical utilizando plataformas de fuerzas a 500Hz han reportado una fiabilidad muy alta en el pico de potencia (ICC=0.98), en el pico de fuerza (ICC=0.92) y en el pico de velocidad (ICC=0.98), medidos en la fase concéntrica (199).

El judoca se situaba con los pies separados a la altura de los hombros sobre la plataforma de fuerzas, la mirada al frente y las

manos apoyadas en las caderas, evitando así que el balanceo de los brazos pudiera ayudar en la ejecución. Además, con este protocolo se trataba de minimizar las diferencias en la técnica de salto y así la evaluación se centraba en la producción de fuerza de las piernas y la cadera (482,483). Una vez transcurridos 2 segundos sobre la plataforma, el sujeto debía realizar una flexo-extensión rápida de la cadena articular cadera-rodilla-tobillo, efectuando un salto vertical e intentando minimizar el desplazamiento horizontal durante la ejecución (Figura 23). Una vez que los participantes hacían la recepción del salto, debían permanecer inmóviles sobre la plataforma durante 3 segundos en posición de bipedestación hasta alcanzar la estabilización completa.

El CMJ se realizó dos veces con 1 minuto de descanso entre las repeticiones para minimizar el efecto de la fatiga. Los datos del mejor salto eran registrados y guardados en el disco duro utilizando el software Quattro Jump v1.0.9.2 (Quattro Jump, Kistler Instrumente, Switzerland) para su posterior análisis.

○ Dinamometría manual.- DM

Se evaluó la fuerza máxima isométrica en los flexores de los dedos, tanto de la mano dominante (DMD) como de la mano no dominante (DMND). Para ello, se empleó un dinamómetro digital (T.K.K. 5401 Grip-D; Takey, Tokyo, Japan) con capacidad para medir en un rango comprendido entre 7 y 99'5 kgs y una precisión de 0,1 kg.

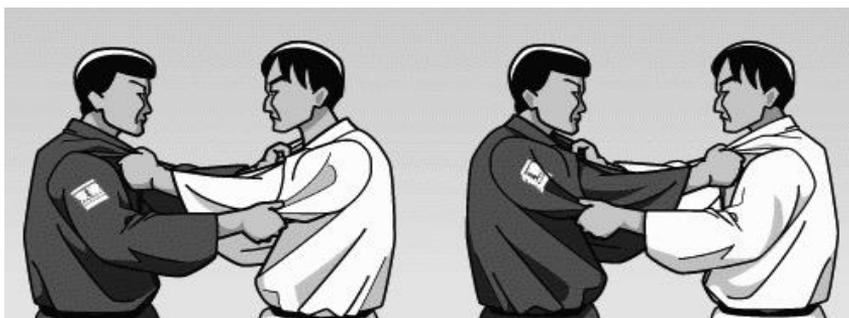
6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

Cada sujeto adaptó el dinamómetro a la longitud de su mano y aplicó la mayor fuerza posible durante 5 s. El brazo que ejecutaba la prueba estaba pegado al cuerpo y estirado (**Figura 24**).



**Figura 24.** A) Salto vertical con contramovimiento, CMJ. B) Dinamometría isométrica manual, DM

La prueba se realizó una vez con cada mano empezando siempre con la mano dominante (*tsurite*) o mano de control axial durante la práctica de judo (Figura 25).



**Figura 25.** A la izquierda el judoca con traje blanco realiza un agarre con su mano izquierda sobre la solapa del adversario, a esta mano se le denomina tsuri-te (i.e. dominante). A la derecha el judoca de blanco realiza con su mano izquierda un agarre a la manga, en este caso su mano izquierda recibe el nombre de hiki-te (i.e. no dominante).

○ Pruebas isométricas.- iTTP90, iETS90 y iS135.

Se estudió las características de la curva fuerza-tiempo en dos pruebas isométricas del miembro superior: tracción en tendido prono 90° (iTTP90) y extensión en tendido supino 90° (iETS90); y en una prueba isométrica del miembro inferior: extensión de piernas en bipedestación 135° (iS135).

La elección de los ejercicios se realizó atendiendo la especificidad de los gestos deportivos (208) en judo (157,161,484). Además, estos ejercicios eran empleados habitualmente por los judocas en sus sesiones de entrenamiento. Por otro lado, se emplearon los ángulos articulares que permitieran alcanzar o estar cerca de la máxima capacidad de aplicar fuerza en cada movimiento (159,200,208,485). Los ángulos articulares se fijaban atendiendo a las marcas realizadas en las cadenas que se empleaban para anclar la barra donde se aplicaba fuerza, y se comprobaban antes de cada ejecución con un goniómetro manual (Steel Goniometer M7518, E-Z Read Jamar, Sammons

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

Preston, USA). La posición adoptada por los participantes en cada prueba fue marcada para que las condiciones fueran las mismas a lo largo de todos los momentos de evaluación.

Para medir la **fuerza de empuje y tracción del miembro superior** se utilizó un banco consistente en una tabla y dos caballetes regulables en altura. La fuerza desarrollada fue medida mediante un transductor extensiométrico (MuscleLab Force Sensor, Ergotest Technology AS, Langesund, Norway) en el que por un extremo se pasó una cadena conectada con la barra de tracción, y el otro extremo fue acoplado a un anclaje fijado al suelo (Figura 26).



**Figura 26.** Imagen del sistema de medición de la fuerza isométrica del miembro superior. Se destaca el anclaje del transductor extensiométrico (MuscleLab Force Sensor).

Para la evaluación de **la fuerza de tracción del miembro superior**, los judocas se colocaron en tendido prono, manteniendo la frente y el pecho apoyados en la tabla durante toda la ejecución y las piernas extendidas a lo largo del banco. En cambio, para la evaluación de **la fuerza de empuje del miembro superior**, los judocas se colocaron en tendido supino, con la espalda totalmente apoyada y no permitiéndose la pérdida de contacto con el banco durante toda la ejecución. En ambos ejercicios, la barra se hizo coincidir en el plano transversal de los músculos pectorales en su inserción torácica, con un ángulo de la articulación del codo fijado en 90°. Para la registro y análisis de los datos se empleó el dispositivo MuscleLab 4000 y el software MuscleLab v7.18 (Ergotest Technology AS, Langesund, Norway). La frecuencia de registro empleada fue de 100 Hz.

La evaluación de la **fuerza isométrica en sentadilla** (iS135) (Figura 27) se llevo a cabo con un sistema de anclaje similar al utilizado con el miembro superior, para esta prueba se empleó la plataforma de fuerzas Quattro Jump (Quattro Jump, Kistler, Switzerland). Los participantes adoptaron una posición de bipedestación sobre la plataforma con los pies separados a la altura de los hombros. Se fijó un ángulo de 135° para la articulación de la rodilla, que está dentro del rango recomendado para evaluar la sentadilla isométrica cuando se busca extrapolar los resultados a gestos dinámicos (184) y además este ángulo es cercano al que se utiliza en ciertas habilidades de proyección en judo (484). Los judocas debían mantener la espalda en ligero contacto con la pared próxima a la plataforma, de este modo se controlaba que la ejecución se realizara

## 6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

con los miembros inferiores y no con los músculos extensores de la espalda, salvaguardando la integridad de la columna vertebral durante la ejecución del esfuerzo máximo isométrico. La frecuencia de registro empleada por la plataforma era de 500 Hz.



**Figura 27.** Sentadilla isométrica 135° (iS135).

Para todos las evaluaciones isométricas se solicitó a los participantes que aplicaran una contracción máxima voluntaria durante 10 segundos. Se empleó la instrucción: *“aplica fuerza tan fuerte y rápido como puedas”*, habiéndose demostrado que este tipo de instrucción es la recomendada cuando se quiere evaluar la fuerza máxima isométrica (PIF) y la tasa de desarrollo de fuerza (TDF) (206,486). Se controló que el nivel de pre-tensión muscular fuera mínimo, evitando

variabilidad en el inicio de la contracción y prevenir que la fatiga provocara finalizar la ejecución antes del tiempo fijado (206,487).

### 6.3.2 Análisis de los parámetros mecánicos

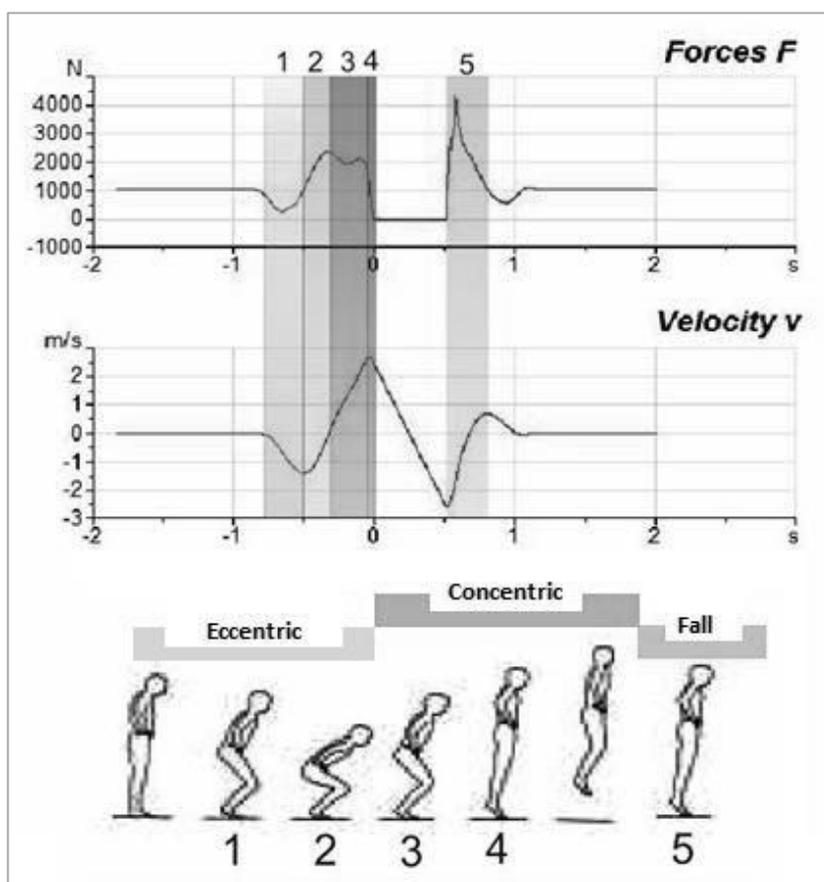
#### ○ Salto con contramovimiento.- CMJ

El mejor salto (i.e. mayor altura) fue seleccionado para un análisis más detallado en Microsoft Excel (Microsoft Corporations, Redmond, Washington, USA). Mediante el método de doble integración el software Quattro Jump v1.0.9.2 obtuvo la fuerza vertical registrada por la plataforma de fuerzas y calculó las curvas temporales de velocidad, de altura del salto y de la potencia.

Se analizaron los valores mecánicos más representativos de las dos fases del salto, excéntrica y concéntrica, y los valores más representativos de la fase de caída. Se estudió la fuerza, velocidad y potencia por segmentos (Figura 28): **1) El segmento negativo** (fase excéntrica 1), comenzó cuando la fuerza vertical decreció más de 10 N respecto de la masa del sujeto (McLellan et al, 2011), y finalizó al alcanzar la velocidad máxima negativa; **2) El segmento de transición** (fase excéntrica 2) comprendió desde el momento de máxima velocidad negativa hasta el final de la fase excéntrica ( $V= 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ); **3) El segmento positivo** (fase concéntrica 1), delimitado por el primer valor de velocidad positivo (final fase excéntrica) y el momento en el que se alcanza la máxima velocidad positiva; **4) El segmento de despegue** (fase concéntrica 2), que fue analizado desde el dato posterior a la velocidad máxima positiva hasta que la fuerza registrada

en la plataforma fue igual a 0 Newtons, momento de pérdida de contacto del sujeto con la plataforma; **5) El segmento de caída**, que comprende desde que la plataforma registró el primer dato de fuerza superior a 10 Newtons (aterrizaje), hasta que en la fase negativa, después de haber superado el pico de fuerza, se alcanza un valor igual al peso corporal del sujeto en Newtons.

Además de la altura, se calcularon los valores máximos de fuerza, velocidad y potencia de cada salto (Tabla 13). También se estudió la tasa de desarrollo de fuerza (TDF), analizando el valor medio desde el inicio hasta el pico de fuerza ( $TDF_{med}$ ) (488), el valor del segmento positivo ( $TDF_{seg+}$ ), y con el objetivo de comparar los resultados con las mediciones isométricas se analizó dentro del segmento positivo la tasa de desarrollo de fuerza desde el inicio (i.e. 0 segundos) hasta los 200 milisegundos de activación isométrica (i.e.  $TDF_{0-200}$ ), siendo este tipo de comparaciones previamente utilizada en la literatura (489). Asimismo, se analizó la tasa de desarrollo de potencia (TDP) dentro de cada fase excéntrica y concéntrica, tomando los valores desde el inicio de la fase hasta alcanzar el valor pico de potencia de la fase. Hori et al (2009) han reportado un ICC de 0.66 para la TDF y 0.91 para la TDP, utilizando una plataforma de fuerza de las mismas características y con la misma frecuencia de registro que las empleadas en el presente estudio.



**Figura 28.** Segmentos del salto analizados: 1. Segmento negativo. 2. Segmento de transición. 3. Segmento positivo. 4. Segmento de despegue. 5. Segmento de caída. (elaboración propia)

Por último, se obtuvo el impulso mecánico (IMP), sumando el área de todos los rectángulos (Newtons x 0.002 seg) que se encuentran debajo de la curva Fuerza-tiempo. Para la caracterización del salto se analizó: 1) El **impulso propulsivo**, tomando como inicio el momento en el que la fuerza representaba un valor en Newtons igual al peso del judoca, hasta que el valor de fuerza fue igual a 0 (despegue); 2) El **impulso de caída**, tomando los datos desde el primer valor de fuerza

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

registrado por la plataforma, hasta que se registraba el valor equiparable en Newtons del peso del judoca después de haber alcanzado el pico de fuerza de caída.

Los valores de fuerza y potencia se expresaron en valor relativo al peso corporal, N/kg y W/kg para controlar las posibles variaciones del peso a lo largo de la competición.

**Tabla 13.** Parámetros cinemáticos y cinéticos calculados a partir de la fuerza vertical registrada por la plataforma en la realización del CMJ.

Variables	Acrónimos	Descripción	Unidades
Distancia ó Altura de salto	h	$h(t) = \int (v(t) - v_0) dt$ donde $v_0 = \text{promedio } v(t)$	cm
Fuerza	$F_{\max}$	Deformación máxima registrada por la plataforma en relación al peso corporal.	$N \cdot kg^{-1}$
	$F_{\text{medSi}}$	Valor medio de fuerza en relación al peso corporal en cada segmento ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) analizado de la fase excéntrica y concéntrica.	$N \cdot kg^{-1}$
Velocidad	$V_{\max}$	Valor máximo de velocidad $V(t) = \int (a(t)) dt$	$m \cdot s^{-1}$
	$V_{\text{medSi}}$	Valor medio en cada segmento ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) analizado de la fase excéntrica y concéntrica.	$m \cdot s^{-1}$
Potencia	$P_{\max}$	Valor máximo de potencia en relación al peso corporal $P(t) = F(t) \cdot v(t)$	$W \cdot kg^{-1}$
	$P_{\text{medSi}}$	Valor medio de potencia en relación al	$W \cdot kg^{-1}$

Análisis de los efectos agudos de la competición en judo

Variables	Acrónimos	Descripción	Unidades
		peso corporal en cada segmento ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) analizado de la fase excéntrica y concéntrica.	
Tiempo	$T_{total}$	Tiempo empleado en realizar el salto.	s
	$TF_{max}$	Tiempo empleado en alcanzar el valor máximo de fuerza.	
Tasa de desarrollo de fuerza	$TDF_{med}$ ,	$TFD_{med}$ : pendiente de fuerza desde el inicio del salto hasta la fuerza máxima.	$N*kg^{-1}*s^{-1}$
	$TDF_{seg+}$	$TDF_{seg+}$ : pendiente de fuerza desde el inicio de la fase concéntrica hasta la velocidad pico concéntrica	
	$TDF_{0-200}$	$TDF_{0-200}$ : pendiente de fuerza desde el inicio hasta los 200ms.	
Tasa de desarrollo de potencia	$TDP_{max}$	$TDP_{max}$ : tasa de desarrollo de potencia desde el inicio del salto hasta potencia máxima	$W*kg^{-1}*s^{-1}$
	$TDP_{exc}$	$TDP_{exc}$ : tasa de desarrollo de potencia desde inicio del salto hasta potencia pico excéntrica.	
	$TDP_{con}$	$TDP_{con}$ : tasa de desarrollo de potencia desde el inicio de la fase concéntrica hasta potencia pico concéntrica.	

## 6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

### ○ Dinamometría manual.- DM

Se registró la fuerza obtenida en el dinamómetro con la mano dominante (DMD) y no dominante (DMND). Los resultados se expresan en valor absoluto (DMDa y DMNDa; kgs) y en relación al peso corporal (DMDrel y DMNDrel; kgs).

### ○ Pruebas isométricas.- iTTP90, iETS90 y iS135.

Para el análisis de la curva fuerza-tiempo se seleccionaron los primeros 8 segundos de la ventana establecida de 10 segundos de evaluación. Se tomó esta decisión debido a que algunos judocas habían retrasado el inicio de la contracción máxima voluntaria una vez dada la señal y comenzado el registro. Se estableció el inicio de la contracción cuando la fuerza aplicada superaba en 10 N la fuerza que se correspondía con la fase de pretensión.

En este periodo de tiempo se analizaron los parámetros de fuerza máxima isométrica (PIF), el promedio de la fuerza isométrica (MIF) y el impulso mecánico o área de debajo de la curva de fuerza-tiempo (IMPIF). Este último parámetro se calculó como la suma del área de los rectángulos contenidos debajo de la curva fuerza-tiempo, multiplicando los valores de fuerza por 0.01 (100 Hz) en el caso de los datos muestreados por el software MuscleLab v7.18, y por 0.002 (500 Hz) en los datos extraídos por el software Quattro Jump v1.0.9.2. Además, y como referencia de la capacidad de ejercer fuerza en unidad de tiempo se calculó la tasa de desarrollo de fuerza media ( $\dot{V}TDF_{med}$ ), calculada como la relación entre el PIF y el tiempo transcurrido en alcanzarlo (490). También se calculó la tasa de desarrollo de fuerza en

los primeros 300 milisegundos de la contracción en intervalos de 100 milisegundos (i.e.  $\dot{i}TDF_{100}$ ,  $\dot{i}TDF_{200}$  y  $\dot{i}TDF_{300}$ ) (491). Finalmente, se analizó la variabilidad de la producción de fuerza isométrica (217) mediante el coeficiente de variación porcentual ( $iCV\%$ ) de los últimos 6 segundos del segmento de análisis. Se decidió eliminar los primeros dos segundos de registro para no incluir en el análisis el tramo de pendiente hasta el pico, y de esta forma realizar el análisis de la variabilidad en la zona de mantenimiento de la producción de fuerza máxima isométrica.

**Tabla 14.** Variables de las evaluaciones isométricas de fuerza

Variable	Acrónimos	Descripción	Unidades
Tracción isométrica en tendido prono ( $\dot{i}TTP90$ )	PIF	Fuerza isométrica pico y media	$N*kg^{-1}$
	MIF		
	IMPIF	Impulso isométrico de fuerza durante los 8 segundos de contracción	$N*s*kg^{-1}$
Empuje isométrico en tendido supino ( $\dot{i}ETS90$ )	$\dot{i}TDF_{med}$	Tasa de desarrollo de fuerza media: desde inicio hasta el pico de fuerza.	$N*kg^{-1}*s^{-1}$
	$\dot{i}TDF_{0-100}$ , $\dot{i}TDF_{0-200}$ , $\dot{i}TDF_{0-300}$ ,	Tasa de desarrollo de fuerza desde el inicio de la producción de fuerza hasta los 100ms, 200ms y 300ms.	$N*kg^{-1}*s^{-1}$
	** $iCV$	Coeficiente de variación porcentual de los últimos 6 segundos de la producción máxima de fuerza isométrica en cada prueba.	%
Sentadilla isométrica ( $\dot{i}S135$ )			

**Tabla 14.** Continuación.

Dinamometría manual (DM)	DMD	Dinamometría de la mano dominante	kg
	DMND	Dinamometría de la mano no dominante	kg

### 6.3.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico PASW (v. 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL). La distribución de cada variable fue examinada con los test de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Las variables que no se ajustaban a una distribución normal eran transformadas logarítmicamente con el objetivo de realizar pruebas y comparaciones paramétricas, si las variables seguían presentando una distribución no normal se aplicaban pruebas no paramétricas.

Para el análisis inferencial de la evaluación de las diferentes manifestaciones de fuerza se empleó un ANOVA de medidas repetidas de un factor en valores absolutos (Pre, Post1, Post2, Post3 y Post4) y en valores porcentuales respecto al Pre (%Post1, %Post2, %Post3, %Post4).

A la hora de interpretar los resultados de los ANOVA se tenía en cuenta el test de esfericidad de Mauchly, si este resultaba significativo se aplicaba la corrección de epsilon con la prueba Greenhouse-Geisser para determinar el efecto intra-sujeto. En caso de que las distribuciones no fueran paramétricas se realizaba la transformación

logarítmica, y si aún así no se alcanzaban los criterios de normalidad, se empleaba la prueba de Friedman. En caso de alcanzar significación estadística se realizaba la comparación por pares empleando la prueba correspondiente según criterios de normalidad y se aplicaba el ajuste de Bonferroni para múltiples comparaciones.

Para el cálculo del tamaño del efecto (TE) se empleó la prueba de diferencias de medias tipificada para el cálculo de la magnitud de cambio en valor absoluto respecto a la situación Pre. Esta diferencia se calculó utilizando como denominador la desviación típica combinada de las dos muestras “g de Hedges” y la corrección de sesgos de Bessel propuesto por (303). La g de Hedges ha sido sugerida como la prueba mas adecuada para cuantificar la magnitud del cambio en muestras con un  $N < 20$  (304). Los TE calculados (i.e.  $g^*$  de Hedges) se interpretan atendiendo a la escala aportada por Cohen (306): pequeños ( $0.2 \geq g < 0.5$ ), moderados ( $0.5 \geq g < 0.8$ ) o grandes ( $g \geq 0.8$ ).

Para el análisis de correlaciones se decidió calcular el valor promedio de los deltas porcentuales de las variables que representan las manifestaciones de fuerza evaluadas, y el promedio de las variables fisiológicas y metabólicas obtenidas en los combates realizados durante la competición. La asociación entre variables se examinó con las pruebas de Pearson para aquellas variables que cumplieran los criterios de normalidad y Spearman cuando una de las variables era no paramétrica. Las relaciones encontradas fueron consideradas como  $r =$  débiles (0,0), pequeñas (0,1), moderadas (0,3), fuertes (0,5), muy fuertes (0,7), casi perfectas (0,9), y perfectas (1.0) (306). El nivel de

significación se estableció en  $p < 0.05$ . Sin embargo las  $p < 0.1$  fueron señaladas como tendencias. Los datos se presentan como medias y desviaciones típicas (media  $\pm$  DT).

## 6.4 Resultados

### 6.4.1 Evolución de las manifestaciones de fuerza a lo largo de la competición

La evolución de los valores de la altura, la potencia máxima, la fuerza máxima y el tiempo en alcanzarla, la velocidad máxima y el tiempo de ejecución del CMJ tanto en valores absolutos como relativos se presentan en la Tabla 15. En valor absoluto la potencia máxima mostró una tendencia ( $p=0,052$ ) a reducirse por efecto de la competición. Además, los judocas tardaron más en alcanzar el pico de fuerza (i.e.  $TF_{max}$ ) durante la realización del CMJ ( $p=0,025$ ) a medida que avanzaba la competición. Cuando los datos se expresaron en valores porcentuales al Pre individual, el combate 4 mostró tener un peor rendimiento comparado con el combate 1 ( $\downarrow$ altura,  $\uparrow TF_{max}$  y  $\downarrow V_{max}$ ) y con el combate 3 (en  $\downarrow$ altura y  $\downarrow F_{max}$ ) (Tabla 15).

**Tabla 15.** Evolución de los valores pico del salto con contramovimiento (i.e. CMJ) a lo largo de la competición de judo.

	Pre	Post1	Post2	Post3	Post4	Sig.
<b>Altura (cm)</b>						
M ± DT	44 ±6	45 ±6	45 ±7	45 ±7	43 ±7	p=0,119
% vs. Pre		101 ±4	102 ±7	101 ±8	96 ±7	Ω p=0,019 #
TE (g*)		0,1	0,1	0,0	-0,2	
IC95%		[-0,7; 0,9]	[-0,7; 1]	[-0,8; 0,9]	[-1,1; 0,6]	
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>						
M ± DT	47 ±5	48 ±6	48 ±6	48 ±6	47 ±6	p=0,052
% vs. Pre		103 ±7	103 ±5	104 ±5	101 ±6	p=0,19
TE g*		0,3	0,3	0,3	0,1	
IC95%		[-0,6; 1,1]	[-0,6; 1,1]	[-0,5; 1,2]	[-0,7; 1]	
<b>F<sub>max</sub> (N/kg)</b>						
M ± DT	25 ±5	26 ±6	25 ±5	24 ±3	23 ±3	p=0,138
% vs. Pre		102 ±8	98 ±6	98 ±9	93 ±10	# p=0,035
TE g*		0,1	-0,1	-0,2	-0,5	
IC95%		[-0,7; 0,9]	[-0,9; 0,8]	[-1; 0,6]	[-1,4; 0,3]	
<b>TF<sub>max</sub> (s)</b>						
M ± DT	0,63 ±0,11	0,59 ±0,09	0,61 ±0,15	0,61 ±0,1	0,7 ±0,16	p=0,025
% vs. Pre		94 ±11	98 ±17	97 ±11	110 ±12	Ω p=0,028
TE (g*)		-0,5	-0,2	-0,2	0,5	
IC95%		[-1,3;0,4]	[-1,1;0,6]	[-1,1;0,6]	[-0,4;1,3]	
<b>V<sub>max</sub> (m/s)</b>						
M ± DT	2,7 ± 0,2	2,7 ±0,3	2,7 ±0,2	2,7 ±0,3	2,7 ±0,3	Ω p=0,171
% vs. Pre		101 ±3	100 ±3	101 ±4	99 ±4	p=0,006
TE (g*)		0,1	0,0	0,1	-0,1	
IC95%		[-0,7; 1]	[-0,8; 0,9]	[-0,8; 0,9]	[-1; 0,7]	

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

**Tabla 15.** Continuación.

<b>T<sub>total</sub> (s)</b>						
M ± DT	1 ±0,2	0,9 ±0,1	1 ±0,2	1 ±0,2	1 ±0,2	p=0,189
% vs. Pre		96 ±11	98 ±12	98 ±11	104 ±9	p=0,195
TE (g*)		-0,4	-0,2	-0,2	0,3	
IC95%		[-1,3; 0,4]	[-1; 0,7]	[-1,1; 0,6]	[-0,5; 1,1]	

Altura: altura alcanzada, en cm; P<sub>max</sub>: potencia máxima, en W\*kg<sup>-1</sup>; F<sub>max</sub>: fuerza máxima, en N\*kg<sup>-1</sup>; TF<sub>max</sub>: tiempo en alcanzar la F<sub>max</sub>, en logaritmo neperiano de segundos (ln s); V<sub>max</sub>: velocidad máxima, en m\*seg<sup>-1</sup>; T<sub>total</sub>: duración de la fase de apoyo del CMJ, en segundos (s). Sig. = significación con un valor alfa de 0,05; M=media; DT=desviación típica; % vs. Pre = valores porcentuales respecto al valor individual obtenido antes de iniciar la competición; TE (g\*)= tamaño del efecto calculado con la g de Hedges y la corrección de sesgos de Bessel; IC95% = intervalo de confianza al 95% del tamaño del efecto. \*Diferencias significativas con Pre. ΩDiferencias significativas con combate 1. §Diferencias significativas con combate 2. #Diferencias significativas con combate 3.

En la Tabla 16 se detalla la evolución de la tasa de desarrollo de fuerza media (i.e. TDF<sub>med</sub>) y los valores correspondientes a la fase concéntrica (TDF<sub>seg+</sub> y TDF<sub>0-200</sub>). El valor de la pendiente en la fase concéntrica era negativo ya que la plataforma registraba una pérdida de fuerza a medida que se producía la triple extensión (i.e. tobillo, rodilla y cadera) del miembro inferior. En los últimos combates la pendiente de fuerza del TDF<sub>0-200</sub> se redujo, volviéndose más positiva, con un efecto moderado (g=0,7) en el combate 3 y grande (g=1) en el combate 4, alcanzando en este último diferencia significativa respecto al valor Pre (p=0,002). El decremento significativo de los deltas porcentuales del TDF<sub>med</sub> (p=0,04) y del TDF<sub>seg+</sub> (p=0,011) alcanzó un 12% (p=0,067 vs. Pre) y un 17% respectivamente en el combate 4 (Tabla 16).

**Tabla 16.** Evolución de la tasa de desarrollo de fuerza del salto con contramovimiento (i.e. CMJ) a lo largo de la competición de judo.

	Pre	Post1	Post2	Post3	Post4	Sig.
<b>TDF<sub>med</sub> (N/kg/s)</b>						
M ± DT	25 ± 9	29 ± 15	26 ± 12	25 ± 6	21 ± 8	p=0,129
% vs. Pre		114 ± 26	102 ± 20	107 ± 27	88 ± 20	p=0,04
TE (g*)		0,3	0,1	0,0	-0,4	
IC95%		[-0,6; 1,1]	[-0,8; 0,9]	[-0,9; 0,8]	[-1,3; 0,4]	
<b>TDF<sub>seg+</sub> (N/kg/s)</b>						
M ± DT	-51 ± 18	-52 ± 22	-46 ± 17	-48 ± 14	-40 ± 18	p=0,114
% vs. Pre		104 ± 22	93 ± 11	102 ± 33	83 ± 17	p=0,011
TE (g*)		-0,1	0,2	0,2	0,7	
IC95%		[-0,9; 0,8]	[-0,6; 1,1]	[-0,7; 1]	[-0,2; 1,5]	
<b>TDF<sub>0-200</sub> (N/kg/s)</b>						
M ± DT	-57 ± 44	-43 ± 44	-43 ± 41	-29 ± 33	-21 ± 27 *	p=0,002
% vs. Pre		226 ± 417	182 ± 193	133 ± 96	64 ± 70	p=0,082
TE (g*)		0,3	0,3	0,7	1,0	
IC95%		[-0,5; 1,1]	[-0,5; 1,2]	[-0,2; 1,6]	[0,1; 1,8]	

TDF<sub>med</sub>: tasa de desarrollo de fuerza media del CMJ; TDF<sub>seg+</sub>: tasa de desarrollo de fuerza en el segmento positivo del CMJ; TDF<sub>0-200</sub>: tasa de desarrollo de fuerza en el tramo 0 a 200 ms; Sig.=significación p<0,05; M=media; DT=desviación típica; % vs. Pre = valores porcentuales respecto al valor Pre individual; TE (g\*)= tamaño del efecto calculado con la g de Hedges y la corrección de sesgos de Bessel; IC95% = intervalo de confianza al 95% del tamaño del efecto. \*Diferencias significativas con Pre. ΩDiferencias significativas con combate 1. §Diferencias significativas con combate 2. #Diferencias significativas con combate 3.

La competición afectó negativamente a la tasa de desarrollo de potencia en la fase excéntrica (i.e. TDP<sub>exc</sub>) pero no alcanzó significación estadística en valores absolutos (p=0,084). Sin embargo, el delta porcentual de la TDP<sub>exc</sub> si presentó un efecto significativo

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

( $p=0,025$ ) de la competición. En el combate 4 la  $TDP_{exc}$  del CMJ se redujo un 12%, aunque el tamaño del efecto fue pequeño ( $g=-0,4$ ). Ni la tasa de desarrollo de la potencia media ni la concéntrica mostraron efecto de la fatiga inducida por la competición (Tabla 17).

**Tabla 17.** Evolución de la tasa de desarrollo de potencia del salto con contramovimiento (i.e. CMJ) a lo largo de la competición de judo.

	Pre	Post1	Post2	Post3	Post4	Sig.
<b>TDP<sub>med</sub> (ln W/kg/s)</b>						
M ± DT	7,4 ± 0,2	7,4 ± 0,3	7,4 ± 0,3	7,5 ± 0,3	7,4 ± 0,4	p=0,739
% vs. Pre		105 ± 16	105 ± 17	107 ± 15	108 ± 30	p=0,785
TE (g*)		0,2	0,2	0,2	0,2	
IC95%		[-0,7; 1]	[-0,7; 1]	[-0,6; 1,1]	[-0,7; 1]	
<b>TDP<sub>exc</sub> (W/kg/s)</b>						
M ± DT	44 ± 16	50 ± 22	47 ± 17	44 ± 15	37 ± 14	p=0,084
% vs. Pre		112 ± 38	96 ± 14	103 ± 32	88 ± 33	* p=0,025
TE (g*)		0,3	0,2	0,0	-0,4	
IC95%		[-0,5; 1,2]	[-0,7; 1]	[-0,8; 0,8]	[-1,3; 0,4]	
<b>TDP<sub>con</sub> (W/kg/s)</b>						
M ± DT	191 ± 30	200 ± 34	194 ± 36	199 ± 49	183 ± 31	p=0,661
% vs. Pre		103 ± 15	103 ± 20	106 ± 28	97 ± 11	p=0,104
TE (g*)		0,3	0,1	0,2	-0,3	
IC95%		[-0,6; 1,1]	[-0,8; 0,9]	[-0,7; 1]	[-1,1; 0,6]	

TDP<sub>med</sub>: tasa de desarrollo de potencia media del CMJ; TDP<sub>exc</sub>: tasa de desarrollo de potencia en la fase excéntrica del CMJ; TDP<sub>con</sub>: tasa de desarrollo de potencia en la fase concéntrica del CMJ; Sig. = significación con un valor alfa de 0,05; M=media; DT=desviación típica; % vs. Pre = valores porcentuales respecto al valor Pre individual; TE (g\*)= tamaño del efecto calculado con la g de Hedges y la corrección de sesgos de Bessel; IC95% = intervalo de confianza al 95% del tamaño del efecto. \*Diferencias significativas con Pre.

En la Tabla 18 se presenta la evolución de los valores del pico de fuerza en todas las pruebas isométricas, y además el impulso mecánico de las pruebas iETS90, iTTP90, y iS135 a lo largo de la competición. El pico de fuerza de la dinamometría de la mano dominante mostró un efecto de la competición ( $p=0,035$ ), existiendo una reducción moderada en el combate 3 ( $g= -0,5$ ; IC95% = -1,4 a 0,3). Por otro lado, la fuerza de la mano no dominante no varió a lo largo de la competición (Tabla 18). El pico de fuerza y el impulso mecánico en las pruebas isométricas del miembro superior disminuyeron drásticamente de forma progresiva combate a combate. Se encontraron tamaños del efecto grande (i.e.  $g < -0,9$ ) tanto en el PIF como en el IMPIF de los dos ejercicios del miembro superior (i.e. iETS90 y iTTP90). En cambio la competición no afectó a la sentadilla isométrica. Los deltas porcentuales (i.e. vs. Pre) del pico y del impulso mecánico isométrico siguieron un comportamiento similar a los valores absolutos a excepción del pico de fuerza en la dinamometría manual de la mano dominante, que no alcanzó significación en este caso. El delta porcentual del PIF y de IMPIF en el combate 4 fue menor que en el combate 1 en la tracción isométrica, y menor que en el combate 1, 2 y 3 en el ejercicio de empuje isométrico (Tabla 18).

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

**Tabla 18.** Evolución del pico isométrico de fuerza y el impulso mecánico isométrico a lo largo de la competición de judo.

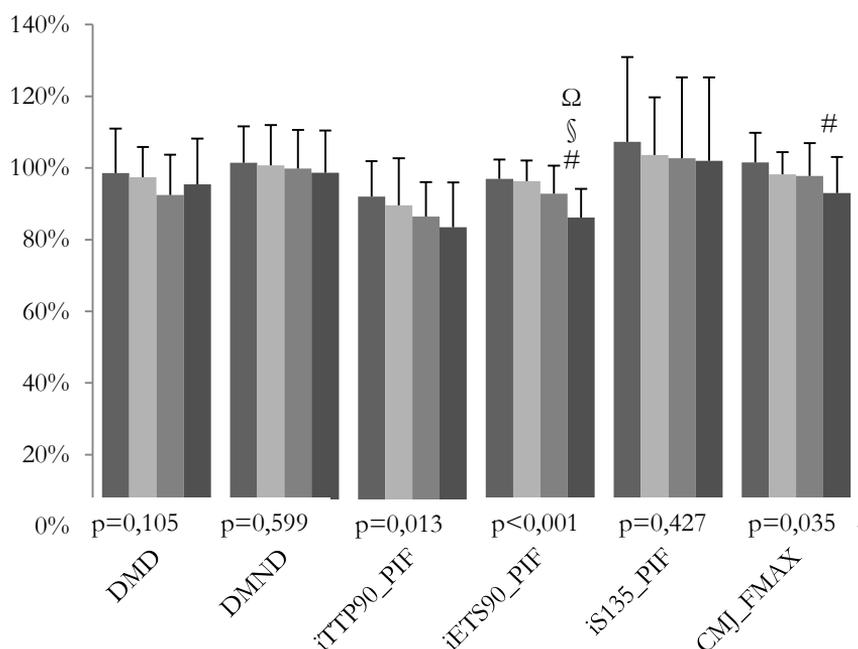
	<b>Pre</b>	<b>Post1</b>	<b>Post2</b>	<b>Post3</b>	<b>Post4</b>	<b>Sig.</b>
<b>DMD</b> PIF (kg)						
M ± DT	49 ±9	48 ±9	47 ±7	45 ±6	46 ±6	p=0,035
% vs. Pre		99 ±12	97 ±8	92 ±11	95 ±13	p=0,105
TE (g*) [IC95%]		-0,1 [-0,9; 0,7]	-0,2 [-1; 0,6]	-0,5 [-1,4; 0,3]	-0,4 [-1,2; 0,5]	
<b>DMND</b> PIF (kg)						
M ± DT	47 ±8	47 ±8	47 ±8	46 ±6	46 ±7	p=0,797
% vs. Pre		101 ± 10	101 ±11	100 ±11	99 ±12	p=0,599
TE (g*) [IC95%]		0,1 [-0,8; 0,9]	0,0 [-0,8; 0,9]	-0,1 [-0,9; 0,8]	-0,1 [-1,0; 0,7]	
<b>iTTP90</b> PIF (N*kg-1)						
M ± DT	10 ±1,4	9,2 ±1,3	8,9 ±1,6	8,6 ±1,3 *	8,3 ±1,4 *	p<0,001
% vs. Pre		92 ±10	90 ±13	86 ±10	84 ±13 Ω	p=0,013
TE (g*) [IC95%]		-0,6 [-1,5; 0,3]	-0,7 [-1,6; 0,2]	-1,0 [-1,9; -0,2]	-1,2 [-2,1; -0,3]	
IMPIF (N*s)						
M ± DT	69 ±11	64 ±11	61 ±18	57 ±9 *	55 ±12 *Ω	p<0,001
% vs. Pre		92 ±13	88 ±16	83 ±11 Ω	79 ±12 Ω	p<0,001
TE (g*) [IC95%]		-0,5 [-1,4; 0,3]	-0,8 [-1,6; 0,1]	-1,2 [-2,1; -0,3]	-1,3 [-2,2; -0,4]	

Análisis de los efectos agudos de la competición en judo

Tabla 18. Continuación.		Pre	Post1	Post2	Post3	Post4	Sig.
<b>iETS90</b>	PIF (N*kg-1)						
	M ± DT	9,7 ±1,3	9,4 ±1,1	9,3 ±1,1	9 ±1,6	8,4 ±1,5	*Ω§ p<0,001
	% vs. Pre		97 ±5	96 ±6	93 ±8	86 ±8	Ω§# p<0,001
	TE (g*) [IC95%]		-0,3 [-1,1; 0,6]	-0,3 [-1,2; 0,5]	-0,5 [-1,3; 0,4]	-0,9 [-1,8; -0,1]	
<b>IMPIF</b> (N*s)							
	M ± DT	68 ±10	65 ±8	63 ±8	60 ±11 *	56 ±11	*Ω§# p=0,001
	% vs. Pre		96 ±7	94 ±7	89 ±9	83 ±9	Ω§# p=0,001
	TE (g*) [IC95%]		-0,3 [-1,2; 0,5]	-0,5 [-1,3; 0,4]	-0,7 [-1,6; 0,2]	-1,1 [-2; -0,2]	
<b>iS135</b>	PIF (N*kg-1)						
	M ± DT	46 ±11	48 ±9	48 ±12	46 ±8	45 ±8	p=0,735
	% vs. Pre		107 ±24	104 ±16	103 ±23	102 ±23	p=0,427
	TE (g*)		0,1 [-0,7; 1]	0,1 [-0,7; 0,9]	-0,1 [-0,9; 0,8]	-0,1 [-0,9; 0,7]	
<b>IMPIF</b> (N*s)							
	M ± DT	325 ±79	328 ±66	324 ±86	311 ±61	309 ±53	p=0,592
	% vs. Pre		104 ±22	100 ±14	99 ±19	99 ±22	p=0,288
	TE (g*) [IC95%]		0,0 [-0,8; 0,9]	0,0 [-0,8; 0,8]	-0,2 [-1; 0,6]	-0,2 [-1,1; 0,6]	

DMD: dinamometría manual de la mano dominante funcional (i.e. tsurite); DMND: dinamometría manual de la mano no dominante funcional (i.e. hikite); iTT90: tracción isométrica en tendido prono con el codo a 90°; iETS90: empuje isométrico en tendido supino con el codo a 90°; iS135: sentadilla isométrica con la rodilla a 135°; PIF: pico isométrico de fuerza relativo al peso corporal, N\*kg<sup>-1</sup>; IMPIF: impulso mecánico isométrico, N\*s; M=media; DT=desviación típica; % vs. Pre = valores porcentuales respecto al valor Pre individual; TE (g\*)= tamaño del efecto g de Hedges y la corrección de sesgos de Bessel; IC95% = intervalo de confianza al 95% del tamaño del efecto. \*Dif. significativas con Pre. ΩDif. significativas con el combate 1. §Dif. significativas con el combate 2. #Dif. significativas con elcombate 3.

Aunque ya se han presentado los valores pico de las pruebas de fuerza en sus correspondientes tablas, en la **Figura 29** se muestra de manera conjunta la evolución del delta porcentual del PIF de las diferentes pruebas de fuerza. La competición influyó negativamente sólo sobre el %PIF de la tracción isométrica, el empuje isométrico y el salto con contramovimiento.



**Figura 29.** Evolución del cambio porcentual postcombate de la fuerza pico en la evaluación mecánica. Las columnas representan las medias porcentuales respecto al valor pre de cada ejercicio. Las barras de error representan las desviaciones típicas de las medias porcentuales. ΩDiferencias significativas respecto al combate 1. §Diferencias significativas respecto al combate 2. #Diferencias significativas respecto al combate 3.

La tasa de desarrollo de fuerza media (i.e.  $\dot{i}TDF_{med}$ ) se redujo significativamente ( $p=0,005$ ) sólo en el ejercicio de empuje isométrico. Sin embargo, la  $\dot{i}TDF_{med}$  de la tracción isométrica mostró una

tendencia a reducirse por efecto de los combates ( $p=0,059$ ) presentando una reducción grande ( $g = -0,9$ ;  $IC95\% = -1,8$  a  $0$ ) en el combate 1 y moderada ( $g = -0,7$  en ambos) en los combates 2 y 4. La  $\dot{i}TDF_{med}$  en el ejercicio de sentadilla isométrica no alcanzó significación, pero si presentó reducciones moderadas ( $g = -0,5$ ;  $IC95\% = -1,4$  a  $0,3$ ) en los dos últimos combates (Tabla 19). En cambio, las  $\dot{i}TDF$  a los 100, 200 y 300 milisegundos no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguno de los ejercicios. La  $\dot{i}TDF_{0-300}$  ( $p= 0,31$ ,  $p= 0,227$  y  $p= 0,087$  en  $\dot{i}TTP90$ ,  $iETS90$  y en  $iS136$  respectivamente) presentó un efecto negativo grande en el combate 4 tanto en  $\dot{i}TT90$  ( $g = -0,8$ ;  $IC95\% = -1,7$  a  $0,1$ ) como en  $iETS90$  ( $g = -0,8$ ;  $IC95\% = -1,6$  a  $0,1$ ) y una reducción moderada en la  $iS135$  del combate 3 ( $g = -0,6$ ;  $IC95\% = -1,4$  a  $0,3$ ) y 4 ( $g = -0,6$ ;  $IC95\% = -1,5$  a  $0,2$ ). No existieron diferencias entre combates en la  $\dot{i}TDF_{med}$  cuando los datos se expresan en valor porcentual al Pre (Tabla 19). Tampoco en los valores porcentuales de  $\dot{i}TDF$  a los 100, 200 y 300 milisegundos existieron diferencias entre combates, aunque el delta porcentual de la  $\dot{i}TDF_{0-300}$  en la tracción isométrica mostró tendencia ( $p=0,099$ ) a una reducción a lo largo de la competición (C1:  $97 \pm 24$ ; C2:  $95 \pm 37$ ; C3:  $82 \pm 26$ ; C4:  $85 \pm 27$ ).

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

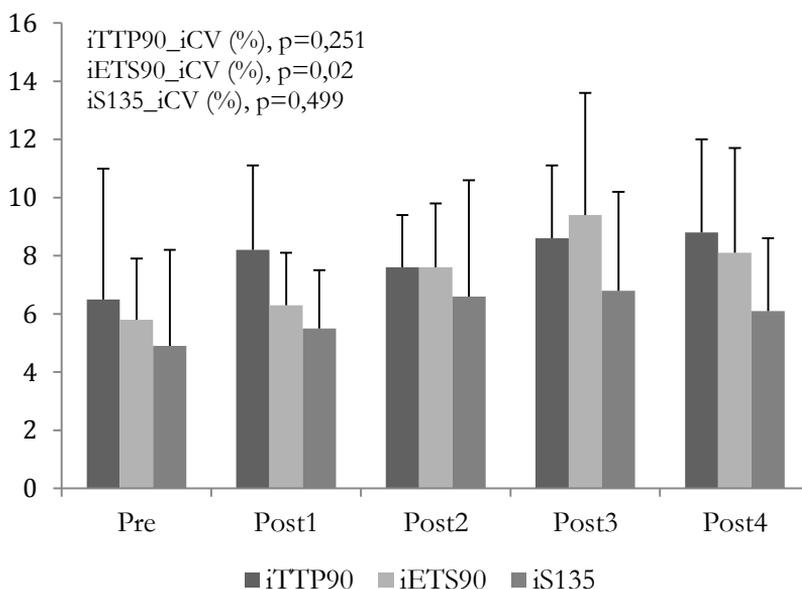
**Tabla 19.** Tasa de desarrollo de fuerza media (iTDFmed, N\*kg<sup>-1</sup>\*s<sup>-1</sup>) en la tracción isométrica a 90°, el empuje isométrico a 90° y la sentadilla isométrica a 135°.

		Pre	Post1	Post2	Post3	Post4	Sig.
<b>iTTP90</b>	M ± DT	1,9 ± 0,8	1,2 ± 0,8	1,4 ± 0,7	1,7 ± 1,3	1,2 ± 1,1	p=0,059
	% vs. Pre		67 ± 58	94 ± 116	127 ± 127	85 ± 79	p=0,138
	TE (g*)		-0,9	-0,7	-0,2	-0,7	
	IC95%		[-1,8; 0]	[-1,5; 0,2]	[-1; 0,6]	[-1,6; 0,1]	
<b>iETS90</b>	M ± DT	6,6 ± 3,7	5,6 ± 1,8	4,2 ± 1,9	4,1 ± 2,1	3,4 ± 1,8	p=0,005
	% vs. Pre		122 ± 90	101 ± 129	76 ± 50	75 ± 71	p=0,126
	TE (g*)		-0,3	-0,8	-0,8	-1,1	
	IC95%		[-1,2; 0,5]	[-1,7; 0,1]	[-1,7; 0,1]	[-2; -0,2]	
<b>iS135</b>	M ± DT	12,6 ± 11	13,2 ± 14,1	9,7 ± 4	8,3 ± 3,9	8,2 ± 2,7	p=0,293
	% vs. Pre		180 ± 293	118 ± 95	91 ± 47	102 ± 88	p=0,22
	TE (g*)		0,0	-0,3	-0,5	-0,5	
	IC95%		[-0,8; 0,9]	[-1,2; 0,5]	[-1,4; 0,3]	[-1,4; 0,3]	

iIT90: tracción isométrica en tendido prono con la articulación del codo a 90°; iETS90: empuje isométrico en tendido supino con la articulación del codo a 90°; iS135: sentadilla isométrica con la articulación de la rodilla a 135°; Sig. = significación con un valor alfa de 0,05; M=media; DT=desviación típica; % vs. Pre = valores porcentuales respecto al valor Pre individual; TE (g\*)= tamaño del efecto calculado con la g de Hedges y la corrección de sesgos de Bessel; IC95% = intervalo de confianza al 95% del tamaño del efecto.

En la Figura 30 se muestra la evolución de la variabilidad de la producción de fuerza isométrica durante los 6 últimos segundos de activación (i.e. iCV) en cada ejercicio. La competición de judo incrementó la iCV del ejercicio de empuje isométrico (i.e. iETS90) de forma significativa (p=0,02). Además, el combate 3 presentó una tendencia a ser mayor que la medición Pre (p=0,075). Los valores porcentuales respecto al Pre de la variabilidad de la producción de fuerza no mostraron diferencias significativas en ningún ejercicio

( $p=0,617$ ,  $p=0,162$  y  $p=0,728$  para el ejercicio de  $iTTP90$ ,  $iETS90$  y  $iS135$  respectivamente).



**Figura 30.** Evolución de la variabilidad en la producción de fuerza durante la competición en judo. Las columnas representan las medias y las barras de error la desviación típica.

#### 6.4.2 Correlaciones entre las diferentes manifestaciones de la fuerza y las variables fisiológicas y metabólicas.

A continuación se presentan las correlaciones encontradas entre las diferentes evaluaciones de fuerza y las variables fisiológicas y metabólicas. El análisis de asociación se ha realizado empleando el promedio de los deltas porcentuales de las variables representativas de las diferentes manifestaciones de fuerza y el promedio de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.

### 6.4.2.1 Correlaciones entre las diferentes manifestaciones de fuerza

A continuación se presentan las correlaciones encontradas entre las diferentes manifestaciones de fuerza. En la Tabla 20 se puede observar las correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables post-combate del CMJ. Los delta porcentuales de la altura alcanzada post-combate se asociaron significativamente de manera muy fuerte ( $r=0,721$ ;  $p=0,012$ ) y casi perfecta ( $r=0,959$ ;  $p<0,001$ ) a la potencia máxima y a la velocidad máxima alcanzada durante el salto, en cambio, sólo existió una tendencia a la asociación con la  $F_{max}$  del CMJ ( $r=0,589$ ;  $p=0,057$ ). El cambio producido por efecto de los combates en la  $TDF_{0-200}$  estuvo más relacionado con el cambio en la altura alcanzada que la TDF media o la  $TFD_{seg+}$  (i.e. TDF desde inicio de la fase concéntrica hasta velocidad pico concéntrica). Cabe destacar, que el efecto de los combates en la  $F_{max}$  producida durante el CMJ, que se produce generalmente al final de la fase excéntrica, se asoció de manera muy fuerte ( $r=0,800$ ;  $p=0,003$ ) al delta porcentual promedio de la TDF analizada de 0 a 200 milisegundos. Además, el cambio en la TDP en la fase excéntrica parece explicar en un 58% ( $r=0,765$ ;  $p=0,006$ ) el cambio en la  $F_{max}$  alcanzada durante el CMJ.

**Tabla 20.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates del CMJ.

		CMJ			
		mΔh (%)	mΔF <sub>max</sub> (%)	mΔP <sub>max</sub> (%)	mΔV <sub>max</sub> (%)
CMJ	mΔF <sub>max</sub> (%)	0,589 γ			
	mΔP <sub>max</sub> (%)	0,721 *	0,306		
	mΔV <sub>max</sub> (%)	0,959 **	0,585 γ	0,788 **	
	mΔTDF <sub>med</sub> (%)	0,504	0,527 γ	0,329	0,559 γ
	mΔTDF <sub>seg+</sub> (%)	0,339	0,764 **	0,333	0,402
	mΔTDF <sub>0-200</sub> (%)	0,636 *	0,800 **	0,118	0,573 γ
	mΔTDP <sub>max</sub> (%)	0,642 *	0,314	0,585 γ	0,591 γ
	mΔTDP <sub>exc</sub> (%)	0,489	0,765 **	0,272	0,602 γ
	mΔTDP <sub>con</sub> (%)	-0,016	0,073	0,364	-0,014

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05; γ Tendencia < 0,1

En la Tabla 21, se puede observar las correlaciones entre los cambios porcentuales promedio de la iS135 y el CMJ. El cambio en el PIF de la iS135 presentó una tendencia a una fuerte asociación con el cambio en la altura alcanzada, la potencia máxima, la velocidad máxima, y las TDF media y del segmento positivo. En cambio, el delta porcentual del PIF de la sentadilla isométrica correlacionó significativamente y con una asociación muy fuerte con la TDP máxima ( $r=0,769$ ;  $p=0,006$ ). Los cambios en las iTDF de la iS135 (i.e. 0-100, 0-200 y 0-300) se asociaron a la TDF media y la TDF del segmento positivo del CMJ, alcanzando significación en esta última asociación. El delta porcentual de la TDP máxima en el CMJ se asoció positivamente y significativamente con el PIF y el IMPF, con las iTDF a los 200 y 300 milisegundos, y con la iCV de la iS135 (Tabla 21).

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

**Tabla 21.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates del CMJ y la iS135.

		iS135						
		mΔPI F (%)	mΔIM PIF (%)	mΔiTD F <sub>med</sub> (%)	mΔiTDF 0-100 (%)	mΔiTDF 0-200 (%)	mΔiTDF 0-300 (%)	mΔiC V (%)
CMJ	mΔh (%)	0,527 γ	0,492	-0,255	0,502	0,48	0,503	0,48
	mΔF <sub>max</sub> (%)	0,386	0,395	0,418	0,686 *	0,608 *	0,581 γ	0,138
	mΔP <sub>max</sub> (%)	0,525 γ	0,478	-0,627 *	0,262	0,287	0,356	0,497
	mΔV <sub>max</sub> (%)	0,557 γ	0,531 γ	-0,382	0,578 γ	0,524 γ	0,522	0,371
	mΔTDF <sub>med</sub> (%)	0,595 γ	0,639 *	-0,145	0,583 γ	0,547 γ	0,537 γ	0,194
	mΔTDF <sub>seg+</sub> (%)	0,542 γ	0,556 γ	0,355	0,723 *	0,740 **	0,696 *	0,295
	mΔTDF <sub>0-200</sub> (%)	0,109	0,227	0,418	0,691 *	0,436	0,327	0,027
	mΔTDP <sub>max</sub> (%)	0,769 **	0,743 **	-0,382	0,479	0,656 *	0,734 *	0,805 **
	mΔTDP <sub>exc</sub> (%)	0,519	0,542 γ	0,4	0,750 **	0,662 *	0,588 γ	0,057

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05; γ Tendencia < 0,1

En el estudio de correlación de los cambios producidos por efecto de los combates entre las pruebas de fuerza isométrica del miembro superior, no se han observado asociaciones importantes entre la iTTP90 y la iETS90, es decir el rendimiento en la acción de empuje y tracción no siguió un patrón de fatiga común. El delta porcentual promedio de la dinamometría manual de la mano dominante (i.e. tsurite) se relacionó de manera inversa y significativamente con la iCV de la iTTP90 ( $r=-0,635$ ;  $p=0,036$ ), no existiendo correlación con la dinamometría manual de la mano no dominante ( $r=-0,205$ ;  $p=0,546$ ). En la Tabla 22 y en la Tabla 23 se muestran las correlaciones entre los cambios en las evaluaciones de fuerza del miembro superior con las

del miembro inferior. Curiosamente, el cambio de los valores pico y de las diferentes variables empleadas para caracterizar la  $\dot{i}TDF$  de la  $\dot{i}TTP90$  se relacionaron sólo con los cambios de los valores picos y de las variables  $\dot{i}TDF$  de la  $iS135$ , pero no con el CMJ (Tabla 22).

**Tabla 22.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates de la  $\dot{i}TTP90$  y la  $iS135$ .

		$\dot{i}TTP90$					
		$m\Delta PIF$ (%)	$m\Delta IMPI$ F (%)	$m\dot{i}TDF$ med (%)	$m\dot{i}TDF$ 0-100 (%)	$m\dot{i}TDF$ 0-200 (%)	$m\dot{i}TDF$ 0-300 (%)
$iS135$	$m\Delta PIF$ (%)	0,58 $\gamma$	0,796 **	0,281	0,273	0,173	0,41
	$m\Delta IMPI$ (%)	0,621 *	0,849 **	0,269	0,491	0,482	0,441
	$m\dot{i}TDF_{med}$ (%)	0,1	-0,055	0,055	0,391	0,291	0,409
	$m\dot{i}TDF_{0-100}$ (%)	0,456	0,712 *	0,076	0,909 **	0,773 **	0,559 $\gamma$
	$m\dot{i}TDF_{0-200}$ (%)	0,433	0,716 *	0,139	0,791 **	0,718 *	0,576 $\gamma$
	$m\dot{i}TDF_{0-300}$ (%)	0,512	0,770 **	0,184	0,745 **	0,655 *	0,629 *

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

Por otro lado, el cambio en el PIF y la IMPIF del  $iETS90$  se asoció positivamente y significativamente con la altura ( $r=0,747$ ;  $p=0,008$ ) y la TDF en los primeros 200 milisegundos ( $r=0,744$ ;  $p=0,009$ ) del CMJ. Además, el delta porcentual promedio de la Fmax del CMJ mostró tendencia a la asociación positiva con el PIF ( $r=0,528$ ;  $p=0,095$ ) y el delta porcentual promedio de la TDF del segmento positivo (i.e. TDF hasta velocidad pico concéntrica) del  $iETS90$ . La TDP en la fase excéntrica del CMJ se asoció positivamente y significativamente con el delta porcentual promedio en la  $\dot{i}TDF_{0-100}$  del  $iETS90$  ( $r=0,636$ ;  $p=0,035$ ) (Tabla 23).

**Tabla 23.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de las variables evaluadas después de los combates de la iETS90 y el CMJ.

	iETS90					
	m $\Delta$ PIF (%)	m $\Delta$ IMPI F (%)	m $\Delta$ iTDF <sub>med</sub> (%)	m $\Delta$ iTDF <sub>0-100</sub> (%)	m $\Delta$ iTDF <sub>0-200</sub> (%)	m $\Delta$ iTDF <sub>0-300</sub> (%)
CMJ m $\Delta$ h (%)	0,747 **	0,744 **	0,255	0,318	0,036	0,198
m $\Delta$ Fmax (%)	0,528 $\gamma$	0,516	0,591 $\gamma$	0,6	0,091	0,04
m $\Delta$ Pmax (%)	0,376	0,429	0,136	0,491	0,618 *	0,48
m $\Delta$ Vmax (%)	0,619 *	0,588 $\gamma$	0,118	0,455	0,264	0,235
m $\Delta$ TDF <sub>med</sub> (%)	0,19	0,252	-0,173	-0,091	-0,064	0,257
m $\Delta$ TDF <sub>seg+</sub> (%)	0,236	0,396	0,491	0,618 *	0,409	0,25
m $\Delta$ TDF <sub>0-200</sub> (%)	0,609 *	0,673 *	0,591	0,455	-0,227	-0,064
m $\Delta$ TDP <sub>max</sub> (%)	0,286	0,523	-0,164	0,118	0,236	0,167
m $\Delta$ TDP <sub>exc</sub> (%)	0,3	0,222	0,491	0,636 *	0,109	0,114
m $\Delta$ TDP <sub>con</sub> (%)	0,063	0,347	0,2	0,118	0,573 $\gamma$	0,458

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

#### 6.4.2.2 Correlaciones de las variables fisiológicas y metabólicas con el CMJ

En la Tabla 24 se pueden observar como el delta porcentual promedio de la fuerza máxima (i.e. m $\Delta$ Fmax, en %) alcanzada durante la ejecución del CMJ presentó una asociación negativa fuerte ( $r=-0,720$ ;  $p=0,012$ ) con la FC y muy fuerte ( $r=-0,624$ ;  $p=0,04$ ) con los TRIMP<sub>exp</sub> alcanzados durante los combates. Además, la fuerza máxima promedio registrada durante el salto presentó una tendencia a la asociación negativa ( $r=-0,532$ ;  $p=0,092$ ) con el lactato sanguíneo promedio. El incremento promedio del lactato por efecto del combate

se asoció negativamente con la altura alcanzada promedio ( $r=-0,677$ ;  $p=0,022$ ) y mostró una tendencia a correlacionar negativamente con la velocidad máxima del salto promedio ( $r=-0,573$ ;  $p=0,065$ ). También se observó una tendencia a la asociación ( $r=0,559$ ;  $p=0,074$ ), pero en este caso positiva, entre el  $m\Delta F_{max}$  (%) y la recuperación cardíaca al minuto de la finalización del combate (i.e. RFC60) promedio. En cambio, no existió asociación entre las variables del salto y la VFC. En general, una mayor activación glucolítica y un mayor estrés cardíaco se asoció negativamente con el rendimiento en el CMJ.

**Tabla 24.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de los valores máximos de altura, potencia, fuerza y velocidad del CMJ, y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.

	CMJ			
	$m\Delta h$ (%)	$m\Delta P_{max}$ (%)	$m\Delta F_{max}$ (%)	$m\Delta V_{max}$ (%)
FC (ppm)	-0,081	0,172	-0,720 *	-0,044
TRIMP (ua)	0,001	0,155	-0,624 *	-0,085
LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	-0,43	0,008	-0,532 $\gamma$	-0,379
$\Delta LA_{pre-post}$ (mmol*L <sup>-1</sup> )	-0,677 *	-0,202	-0,515	-0,573 $\gamma$

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

El delta porcentual de la TDF del segmento positivo mostró una asociación negativa con el estrés cardiovascular promedio y la TDF en los primeros 200 milisegundos del CMJ se asoció negativamente con el lactato sanguíneo producido durante los combates (véase Tabla 25). Por otro lado, los judocas que mantuvieron o perdieron menos TDF media durante el CMJ fueron aquellos que obtuvieron una recuperación cardíaca y VFC mayor. La  $TDP_{exc}$  se asoció

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

negativamente a los TRIMP<sub>exp</sub> alcanzados durante los combates, y positivamente a la RFC60 y a la VFC (TP y LF). Además, la TDP<sub>exc</sub> mostró tendencia a una asociación negativa con la FC y a una asociación positiva con la RFC60 (Tabla 25).

**Tabla 25.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de la tasa de desarrollo de fuerza (i.e. TDF) y de la tasa de desarrollo de potencia (i.e. TDP) del CMJ, y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.

	CMJ					
	m $\Delta$ TDF <sub>med</sub> (%)	m $\Delta$ TDF <sub>eg+</sub> (%)	m $\Delta$ TDF <sub>0-200</sub> (%)	m $\Delta$ TDP <sub>max</sub> (%)	m $\Delta$ TDP <sub>exc</sub> (%)	m $\Delta$ TDP <sub>con</sub> (%)
FC (ppm)	-0,52	-0,629 *	-0,346	-0,190	-0,578 $\gamma$	0,012
TRIMP (u.a.)	-0,371	-0,607 *	-0,327	0,007	-0,623 *	0,054
LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	-0,515	-0,309	-0,882 **	-0,013	-0,456	0,148
$\Delta$ LA <sub>pre-post</sub> (mmol*L <sup>-1</sup> )	-0,366	0,024	-0,836 **	-0,113	-0,27	0,459
LA <sub>pico</sub> (mmol*L <sup>-1</sup> )	-0,494	-0,205	-0,882 **	-0,046	-0,459	0,341
LAre (%)	0,037	0,128	-0,164	-0,113	-0,142	0,604 *
RFCT30 (ln s)	-0,347	-0,334	-0,355	-0,044	-0,215	-0,265
RFC60 (latidos)	0,624 *	0,629 *	0,483	0,399	0,535 $\gamma$	0,22
RFC120 (latidos)	0,566 $\gamma$	0,554 $\gamma$	0,418	0,300	0,437	0,394

**Tabla 25.** Continuación.

	CMJ					
	m $\Delta$ TDF med (%)	m $\Delta$ TDF seg+ (%)	m $\Delta$ TDF 0-200 (%)	m $\Delta$ TDP max (%)	m $\Delta$ TDP <sub>exc</sub> (%)	m $\Delta$ TDP con (%)
TPrec (ms <sup>2</sup> )	0,780 **	0,698 *	0,309	0,534 $\gamma$	0,686 *	0,298
LFrec (ms <sup>2</sup> )	0,741 **	0,578 $\gamma$	0,473	0,335	0,798 **	-0,017
HFrec (ms <sup>2</sup> )	0,629 *	0,32	0,055	0,412	0,355	0,142

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

### 6.4.2.3 Correlaciones de las variables fisiológicas y metabólicas con los ejercicios isométricos

En la Tabla 26 y en la Tabla 27 se muestran las correlaciones entre las pruebas isométricas y los efectos fisiológicos y metabólicos que produjo la competición de judo. Sólo los ejercicios de tracción y empuje isométrico se asociaron negativamente con la producción de lactato promedio y el delta pre- post-combate promedio respectivamente. En cambio, una buena recuperación cardíaca y una mayor VFC después de los combates se asoció con un mayor impulso mecánico en el ejercicio de tracción isométrica y un mayor pico e impulso mecánico en la sentadilla isométrica (Tabla 27). Además, la dinamometría manual de la mano dominante o tsurite mostró una tendencia a la asociación positiva con la RFC120 ( $r=0,524$ ;  $p=0,098$ ) y la LFrec ( $r=0,570$ ;  $p=0,067$ ), por otro lado la mano no dominante presentó una asociación positiva con la RFC60 ( $r=0,539$ ;  $p=0,087$ ).

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

**Tabla 26.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales en las pruebas isométricas y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.

	FC (ppm)	TRIMP (ua)	LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	$\Delta LA_{pre-post}$ (mmol*L <sup>-1</sup> )	LAré (%)
<b>DM</b>					
DMD_PIF (%)	-0,096	-0,305	-0,509	-0,109	0,248
DMND_PIF (%)	-0,246	-0,113	-0,235	-0,345	0,027
<b>iTTP90</b>					
m $\Delta$ PIF (%)	0,063	-0,003	-0,486	-0,243	0,05
m $\Delta$ IMPIF (%)	-0,151	-0,18	-0,623 *	-0,309	0,039
<b>iETS90</b>					
m $\Delta$ PIF (%)	-0,005	0,173	-0,4	-0,561 $\gamma$	0,005
m $\Delta$ IMPIF (%)	-0,092	0,186	-0,519	-0,521	0,085
<b>iS135</b>					
m $\Delta$ PIF (%)	-0,141	-0,137	-0,278	-0,092	-0,016
m $\Delta$ IMPIF (%)	-0,21	-0,231	-0,337	-0,117	-0,022

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

**Tabla 27.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales en las pruebas isométricas y la media de los índices de la RFC y la VFC durante la recuperación de los combates.

	RFACT30 (ln)	RFC60 (latidos)	RFC120 (latidos)	TPrec (ms <sup>2</sup> )	LFrec (ms <sup>2</sup> )	HFrec (ms <sup>2</sup> )
DM						
DMD_PIF (%)	-0,512	0,459	0,524 $\gamma$	0,459	0,57 $\gamma$	0,225
DMND_PIF (%)	-0,417	0,539 $\gamma$	0,413	0,313	0,093	0,38
iITP90						
m $\Delta$ PIF (%)	-0,233	0,494	0,493	0,478	0,431	0,475
m $\Delta$ IMPIF (%)	-0,374	0,713 *	0,642 *	0,716 *	0,683 *	0,701 *
iETS90						
m $\Delta$ PIF (%)	-0,246	0,324	0,295	0,295	0,128	-0,064
m $\Delta$ IMPIF (%)	-0,26	0,455	0,376	0,425	0,181	0,164
iS135						
m $\Delta$ PIF (%)	-0,391	0,719 *	0,687 *	0,839 **	0,728 *	0,704 *
m $\Delta$ IMPIF (%)	-0,395	0,746 **	0,687 *	0,837 **	0,756 **	0,726 *

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

Los judocas que presentaron mayor lactato sanguíneo promedio por efecto de la competición obtuvieron un peor rendimiento explosivo isométrico en el iITP90 y en la iS135, expresado por la una asociación negativa significativa del lactato sanguíneo con la TDF a los 100, 200 y 300 milisegundos pero no en la TFD media en el empuje isométrico, y una tendencia a la asociación negativa con la TFD0-100 de la sentadilla isométrica (Tabla 28).

6. Estudio 2. Estudio de la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

**Tabla 28.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de la tasa de desarrollo de fuerza (i.e.  $\dot{i}TDF$ ) y de la variabilidad en la producción de fuerza (i.e.  $iCV$ ) en las pruebas isométricas, y la media de las variables fisiológicas y metabólicas a lo largo de la competición.

	FC (ppm)	TRIMP (u.a.)	LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	$\Delta LA_{pre-post}$ (mmol*L <sup>-1</sup> )	LAre (%)
<b>m<math>\Delta\dot{i}TDF_{med}</math> (%)</b>					
$\dot{i}TTP90$	0,308	0,093	-0,069	0,138	0,481
$\dot{i}ETS90$	-0,128	-0,082	-0,291	-0,455	0,009
$iS135$	-0,46	-0,427	-0,355	-0,145	-0,182
<b>m<math>\Delta\dot{i}TDF_{0-100}</math> (%)</b>					
$\dot{i}TTP90$	-0,164	-0,264	-0,755 **	-0,373	0,009
$\dot{i}ETS90$	0,023	0,036	-0,173	-0,164	-0,182
$iS135$	-0,423	-0,566 $\gamma$	-0,585 $\gamma$	-0,279	-0,274
<b>m<math>\Delta\dot{i}TDF_{0-200}</math> (%)</b>					
$\dot{i}TTP90$	-0,123	-0,227	-0,745 **	-0,391	0,073
$\dot{i}ETS90$	0,059	0,136	0,382	0,345	0,255
$iS135$	-0,4	-0,468	-0,436	-0,134	-0,192
<b>m<math>\Delta\dot{i}TDF_{0-300}</math> (%)</b>					
$\dot{i}TTP90$	-0,156	0,027	-0,623 *	-0,39	-0,25
$\dot{i}ETS90$	-0,094	0,021	0,245	0,087	0,322
$iS135$	-0,365	-0,355	-0,409	-0,15	-0,19
<b>m<math>\Delta iCV</math> (%)</b>					
$\dot{i}TTP90$	0,385	0,259	0,442	0,173	-0,423
$\dot{i}ETS90$	0,018	0,164	0,291	0,073	-0,518
$iS135$	0,1	0,399	0,069	0,044	0,161

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1

En la Tabla 29 se presentan las asociaciones entre la RFC, la VFC y la  $\dot{i}TDF$  de las pruebas isométricas. La  $\dot{i}TDF$  (en sus diferentes ventanas temporales de medición) de la  $iS135$  se asoció positivamente a la RFC60 y a la VFC (TP, LF y HF). La  $\dot{i}TDF$  en los primeros 100 y 200 milisegundos de la  $\dot{i}TTP90$  se correlacionó positivamente con el componente LF de la recuperación post-combate. Y cabe destacar que

el delta porcentual promedio del iCV de la iTTP90 fue mayor cuanto peor era la RFCT30, la RFC60 y la RFC120. Del mismo modo, el iCV de la iTTP90 se asoció negativamente a la TP durante la recuperación.

**Tabla 29.** Correlaciones entre el promedio de los deltas porcentuales de la tasa de desarrollo de fuerza (i.e. TDF) y de la variabilidad en la producción de fuerza (i.e. iCV) en las pruebas isométricas, y la media de la recuperación de la FC y la variabilidad de la FC durante la recuperación de los combates.

	RFCT30 (ln)	RFC60 (latidos)	RFC120 (latidos)	TPrec (ms <sup>2</sup> )	LFrec (ms <sup>2</sup> )	HFrec (ms <sup>2</sup> )
<b>mΔiTDF<sub>med</sub></b> (%)						
iTTP90	-0,34	0,27	0,388	0,103	-0,074	0,03
iETS90	-0,245	0,114	0,155	-0,073	-0,064	-0,436
iS135	-0,5	0,442	0,373	0,227	0,245	-0,073
<b>mΔiTDF<sub>0-100</sub></b> (%)						
iTTP90	-0,245	0,387	0,536 <sub>t</sub>	0,591 <b>γ</b>	0,764 <b>**</b>	0,464
iETS90	0,164	0,023	0,227	0,327	0,409	-0,036
iS135	-0,129	0,591 <b>γ</b>	0,398	0,651 <b>*</b>	0,830 <b>**</b>	0,448
<b>mΔiTDF<sub>0-200</sub></b> (%)						
iTTP90	-0,209	0,26	0,364	0,455	0,636 <b>*</b>	0,473
iETS90	0,327	-0,26	-0,109	0,145	0	0,091
iS135	-0,185	0,629 <b>*</b>	0,453	0,704 <b>*</b>	0,770 <b>**</b>	0,526 <b>γ</b>
<b>mΔiTDF<sub>0-300</sub></b> (%)						
iTTP90	-0,141	0,455	0,246	0,37	0,354	0,457
iETS90	0,206	-0,23	-0,091	-0,055	-0,213	-0,206
iS135	-0,249	0,691 <b>*</b>	0,522 <b>γ</b>	0,753 <b>**</b>	0,731 <b>*</b>	0,586 <b>γ</b>
<b>mΔiCV (%)</b>						
iTTP90	0,668 <b>*</b>	-0,610 <b>*</b>	-0,632 <b>*</b>	-0,630 <b>*</b>	-0,503	-0,484
iETS90	0,036	0,109	-0,036	-0,1	-0,073	-0,136
iS135	-0,294	0,411	0,457	0,538 <b>γ</b>	0,168	0,425

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05; γ Tendencia < 0,1

## 6.5 Discusión

Este es el primer estudio en la literatura que analiza los efectos en una competición simulada de judo con recuperación decreciente, es decir, con los esfuerzos distribuidos como en una competición real (i.e. sistema de eliminatoria). Los efectos sobre las diferentes manifestaciones de fuerza se estudiaron transcurridos 10 minutos de recuperación post-combate, siendo éste el tiempo mínimo indicado en el reglamento que ha de transcurrir para poder realizar un nuevo combate (27). Esta situación sólo tendría lugar en el caso de que el resto de los enfrentamientos de la eliminatoria dentro de cada fase finalizaran antes del tiempo reglamentario (i.e. 5 minutos). Por lo tanto, este estudio permite conocer cuál sería el estado de los judocas en el momento de afrontar un nuevo combate a medida que avanza la competición. La información derivada de este estudio puede ser muy valiosa para que los entrenadores y fisiólogos diseñen estrategias de recuperación post-combate, o para utilizar este modelo como un test integral en ciertos momentos de la temporada y poder evaluar los efectos de diversas tareas de entrenamiento aplicadas para mejorar el rendimiento o contrarrestar los efectos de la fatiga.

### 6.5.1 La evolución de las manifestaciones de fuerza a lo largo de la competición

La competición de judo produjo una ligera respuesta fluctuante sobre las variables de rendimiento del CMJ. La mayoría de las variables mostraron un incremento del rendimiento respecto a la medición Pre en los primeros combates, observándose una ligera (i.e. altura,  $V_{max}$ ,

TDFmed, TDPexc), moderada (i.e.  $\downarrow$ Fmax,  $\uparrow$ TFmax,  $\downarrow$ TDFseg+) y gran (i.e.  $\downarrow$ TDF0-200) reducción del rendimiento en los dos últimos, y especialmente en el último combate. Esta situación influyó en los resultados del ANOVA de manera que, en algunas variables no se alcanzaban diferencias significativas entre combates cuando se analizaban en valore absoluto (i.e. los 5 momentos: Pre, combate 1, combate 2, combate 3, combate 4), pero si se obtenían valores de  $p < 0,05$  en la comparación entre los deltas porcentuales de los combates (i.e. delta porcentual en relación al valor Pre). En el caso de la dinamometría manual, sólo la mano dominante (i.e. tsurite) mostró una significativa influencia de la competición, alcanzando en el combate 3 reducciones moderadas. En cambio, la mano no dominante (i.e. hikite) se mantuvo con valores similares a los largo de los combates. Por último, la competición de judo redujo de manera importante el rendimiento de las acciones de empuje (i.e. iETS90) y tracción (i.e. iTTP90), afectando significativamente al pico de fuerza, a la resistencia a la fuerza isométrica (i.e. representada mediante el impulso mecánico) y a la manifestación explosiva de la fuerza (i.e. representada a través de la tasa de desarrollo de fuerza media). La variabilidad de la curva de fuerza aumentó significativamente en el ejercicio de empuje, alcanzando efectos grandes en los combates 2 y 3. Sin embargo, no existió un aumento significativo de la variabilidad en la curva de fuerza de la tracción isométrica, aunque presentó efectos moderados en los 2 últimos combates. La sentadilla isométrica no presentó diferencias significativas con la medición pre-combate, ni

tampoco entre los combates, y en la gran mayoría los efectos fueron pequeños.

La altura del CMJ se redujo hasta un 4% y la fuerza máxima hasta un 7% en el último combate, sin embargo la potencia máxima se mantuvo durante la competición. Esta reducción del rendimiento es algo superior a los datos reportados por Detanico et al (33) en un estudio donde se evaluó el efecto de 3 combates separados por 15 minutos de recuperación entre ellos. Estos autores encontraron una reducción de la altura de un 3,6% después del combate 2 y un 3,2% después del combate 3, y un mantenimiento de la potencia durante los sucesivos combates. Tanto el presente trabajo como el de Detanico et al (33) difieren de lo reportado anteriormente en la literatura, en donde no se han encontrado cambios en el rendimiento cuando se han analizado los efectos de un combate (28) o dos combates (29) sobre el CMJ. Es posible que la realización de uno o dos combates no sea un estímulo suficiente para producir fatiga en la capacidad de ejercer fuerza en un gesto explosivo como es el salto con contramovimiento. En el presente estudio la evaluación de la prueba de salto se iniciaba a los 10 minutos de la finalización de los combates, siendo este el periodo de tiempo mínimo de recuperación permitido por el reglamento para la realización de un nuevo combate. Es decir, a pesar de haber transcurridos 10 minutos los judocas de nuestro estudio mostraron pérdidas de rendimiento en el CMJ importantes. Es posible que la reducción del rendimiento en el CMJ hubiera sido incluso mayor si se hubiera medido inmediatamente al finalizar los enfrentamientos. En nuestro estudio se encontró principalmente una

reducción del rendimiento en el último combate, que fue realizado 20 minutos después del tercer combate. Este tiempo de recuperación es incluso superior a lo que el judoca tendría que afrontar en una competición real, especialmente hacia el final de la eliminatoria, donde el desarrollo de la competición podría provocar más de dos combates seguidos con un tiempo de recuperación de 10 minutos.

Dos de los tres estudios que han evaluado el CMJ después del esfuerzo específico de judo utilizaron plataformas de contacto obteniendo como variable representativa del rendimiento la altura alcanzada. Estos valores no pueden ser comparados con los obtenidos en nuestro estudio, ya que el cálculo de la altura es realizado por cada tipo de plataforma utilizando diferentes algoritmos. La altura alcanzada por los judocas del presente estudio, aproximadamente 45 cm, concuerda con los valores aportados por otros estudios realizados con judocas de alto nivel que han utilizado plataformas de fuerza para la evaluación del CMJ (33,175). Sin embargo, estos valores son inferiores al rendimiento de deportistas de otras especialidades en donde el CMJ forma parte del entrenamiento habitual (i.e. fútbol americano, saltadores, corredores de velocidad, y lanzadores) (200) o a al rendimiento en CMJ de adultos sanos físicamente activos (175). Por otro lado, los valores de fuerza máxima en términos relativos al peso corporal desarrollados durante el CMJ son comparables a deportistas que alcanzan alturas superiores (i.e.  $56 \pm 8$  cm), no siendo así los valores de velocidad máxima alcanzados durante el CMJ (200). A pesar de las posibles limitaciones que puedan tener estas comparaciones debido a la utilización de diferentes dispositivos de

medición o diferentes métodos de cálculo de las variables, no sorprende que la altura alcanzada durante el CMJ sea menor en judocas que en deportistas que utilizan este ejercicio en sus rutinas de entrenamiento. De hecho, en un estudio en el que se evaluaba el CMJ en plataforma de fuerzas se encontró que los judocas de élite obtenían valores de fuerza y potencia mayores en la fase excéntrica y menores en la concéntrica que una cohorte de adultos activos no judocas con los que eran comparados (175). Se ha sugerido que generar una fuerza pico grande durante la realización de un salto vertical puede contribuir a alcanzar un buen rendimiento en el CMJ (492), sin embargo estudios recientes señalan que los aspectos técnicos (i.e. utilización predominante de la acción de la cadera o de la rodilla), una flexión plantar mayor y un mejor gestión de la curva fuerza-velocidad durante la fase concéntrica son mejores predictores del rendimiento en el salto (489,493). Por lo tanto, es posible que los judocas no gestionen bien la fase concéntrica, no pudiendo obtener así un buen resultado en la altura del salto, a pesar de poseer valores elevados de fuerza pico y potencia pico excéntrica. En este caso, la altura alcanzada posiblemente no sea la única ni la mejor variable del test de CMJ a tener en cuenta al analizar los efectos de la fatiga sobre la capacidad de ejercer fuerza explosiva (201), especialmente en judocas. Recientemente se ha demostrado una relación moderada entre el rendimiento en un test de proyecciones de judo y la altura alcanzada en el CMJ (198). Esta variable sufrió cambios pequeños, aunque significativos en la comparación entre combates, en cambio se encontraron reducciones significativas con un efecto que varió de

moderado a grande en la  $F_{\max}$  y en la  $TDF_{0-200}$  a lo largo de la competición, lo que parece indicar que las acciones explosivas del miembro inferior que se producen durante los combates afectaron más a la manifestación de la fuerza a velocidades de contracción más lentas dentro de lo que es una acción ejecutada a alta velocidad: la velocidad era 0 en el caso de la  $F_{\max}$ , y lenta en el inicio de la fase concéntrica en el de la  $TDF_{0-200}$ . En cambio, los judocas parecen tener un desbalance en la curva fuerza-velocidad, inclinándose hacia un perfil de fuerza, no pudiendo aprovechar convenientemente la velocidad de contracción en la ejecución del CMJ sin carga (494), por lo tanto puede que la fatiga producida por la competición de judo no afectara de manera tan importante a la parte final de la fase concéntrica del salto debido a que los judocas no gestionan bien la aplicación de fuerza a velocidades altas. De hecho la duración de las acciones de proyección en judo tienen duraciones ligeramente superiores (i.e. 1,14s a 1,7s) al tiempo de ejecución de un salto vertical (49,157). En este sentido, Iglesias et al (29) evaluaron los efectos de dos combates de judo sobre el CMJ con ayuda del balanceo de los brazos y sobre el CMJ con la carga correspondiente al peso corporal. Ninguno de los dos alcanzó diferencias significativas en ningún combate, sin embargo la reducción en los dos combates comparado con la evaluación pre-combate fue menor en el CMJ con carga, donde se aplica fuerza a velocidades menores. Por lo tanto, de acuerdo con estos autores queda relegado para futuros trabajos comprobar los efectos de la fatiga específica de judo sobre el CMJ con carga, donde las velocidades de ejecución son menores y reproduce una situación

más cercana al esfuerzo que un judoca debe superar, ya que durante las acciones de judo los deportistas deben vencer la resistencia que supone su propio peso, el del adversario y la fuerza que éste ejerce. La reducción del rendimiento del CMJ durante la competición de judo indica que las acciones que implican el ciclo estiramiento-acortamiento del miembro inferior son importantes en el esfuerzo específico de judo. Además, ciertas variables del CMJ (i.e.  $F_{\max}$  o tiempo de vuelo) han demostrado sensibilidad para detectar incrementos en la carga de entrenamiento (195,197), convirtiéndose en una herramienta útil, en combinación con otras (i.e. test psicométricos, etc.), para monitorizar el proceso de entrenamiento (495).

La competición no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de la prueba de sentadilla isométrica (i.e. iS135). Los efectos de los combates sobre las variables de la iS135 fueron pequeños, a excepción de la tasa de desarrollo de fuerza media (i.e.  $\dot{TDF}_{\text{med}}$ ) que presentó una reducción moderada en los dos últimos combates pero sin alcanzar la significación. Solo se ha encontrado en la literatura un trabajo que haya evaluado los efectos de los combates de judo sobre la sentadilla isométrica (28). Los valores pico relativos al peso corporal obtenidos en el presente estudio ( $47 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) eran muy superiores a los reportados en el estudio de Carballera et al (28) ( $34 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Cabe destacar que el protocolo de la prueba era diferente en cuanto al dispositivo empleado, el tiempo de medición y el ángulo de medición, que ha demostrado tener influencia de manera importante en el PIF y la TDF alcanzada (208). Sin embargo, estos autores tampoco encontraron un efecto del combate en las variables que definen el

rendimiento de la sentadilla isométrica. En otro estudio se analizaban los efectos de 4 combates separados por 15 minutos de recuperación sobre la sentadilla concéntrica con una posición de partida de rodillas a 90° y con la carga que se correspondía a la máxima potencia calculada en un test preliminar (75). Estos autores no encontraron efecto de ninguno de los combates sobre la prueba realizada inmediatamente después de los combates. La ausencia de efectos de un combate, sucesivos combates e incluso de combates distribuidos como una competición oficial confirma que el carácter intermitente de las acciones de judo realizadas con el miembro inferior permite la recuperación de la capacidad para aplicar fuerza en las pausas que se suceden durante el combate y en el tiempo que disponen para recuperarse antes de un nuevo enfrentamiento. Sin embargo, en el presente estudio hemos encontrado una reducción de la mayoría de las variables que definen el rendimiento en el CMJ y efectos moderados no significativos en la  $iTDF_{med}$  en la  $iS135$  lo que señala a que existe la activación de algún mecanismo de fatiga hacia el final de la competición que influencia en la manifestación explosiva de la fuerza. Aunque los mecanismos de fatiga contráctil y neural contribuyen a la pérdida del rendimiento explosivo, recientemente se ha constatado que la fatiga central contribuye a una mayor reducción del rendimiento explosivo que de la fuerza máxima después de un protocolo de ejercicio de alta intensidad (496). Teniendo en cuenta lo expuesto y que la fatiga producida a nivel periférico se invierte relativamente rápido (497), puede que la fatiga central haya contribuido al descenso del rendimiento evaluado 10 minutos post-competición en el CMJ sin

afectar al PIF en la iS135. Sin embargo, el diseño del presente trabajo no permite constatar esta hipótesis ya que no se ha utilizado ningún tipo de evaluación de la fuerza de carácter neural, así que queda relegado para futuros estudios aclarar estas cuestiones.

Por otro lado, la competición si afectó de manera importante a las pruebas isométricas de la acción de empuje (i.e. iETS90) y tracción (i.e. iTTP90), y en menor medida al rendimiento de la dinamometría manual de la mano dominante o mano tsurite (i.e. DMD). Los valores obtenidos en nuestro estudio (i.e. 49 kg en la DMD y 47 kg en la DMND) son algo superiores a los obtenidos en el estudio de Iglesias et al (29), pero inferiores a los obtenidos en estudios anteriores (28,73,498). No está claro si tener un pico alto de fuerza máxima en la prueba de dinamometría manual sea una variable predictora del rendimiento en judo (174), incluso después de un periodo de entrenamiento específico no se encontraron cambios en el rendimiento en esta prueba, pero si en otras relacionadas con el carácter condicional de las conductas de agarre como el aumento de la 1RM en remo en banco, o dos pruebas de resistencia a la fuerza dinámica e isométrica con agarre de judogi (i.e. traje de judo) (188). Sin embargo, es una prueba utilizada en varios estudios de efectos post-combate para comprobar la implicación de los músculos del antebrazo. En el presente trabajo se obtuvieron, en comparación con el Pre, descensos de entre 5% y 8% en la DMD y prácticamente fluctuó un 1% por encima y por debajo de la medición Pre sin alcanzar significación en la DMND. Estos resultados concuerdan con el 8% de decremento en la DM obtenido 10 minutos post-combate

por los judocas del estudio de Degoutte et al (76). En el estudio de Carballeira et al (28) se registraron valores entre 3% y 5% inferiores a la medición Pre. En el trabajo de Iglesias et al (29) se obtuvieron descensos significativos de la dinamometría manual después de dos enfrentamientos (i.e. 5% después del primer combate y 15% después del segundo) que en el caso de la mano derecha no se recuperó el rendimiento aún transcurridos 5 minutos después del combate. Recientemente, Bonitch-Góngora et al (32) evaluaron la DM antes y después de cada uno de los 4 combates. Estos autores no encontraron diferencias entre los valores de DM post-combate, pero si en cambio entre los valores pre-combate tanto en la mano dominante como no dominante. En cambio, muy similar a como ocurre en nuestro estudio, en el análisis por pares sólo la mano dominante presentó diferencias en el rendimiento post-combate comparado con la medición antes del combate, reportando reducciones en tres de los 4 combates de entre 13% y 16% respecto a la medición previa al primer combate (32). La razón que explica el efecto moderado encontrado en nuestro trabajo es que las mediciones eran realizadas 10 minutos tras la finalización de los combates, lo que permitía la recuperación de los músculos flexores del antebrazo. Sin embargo, este tiempo no fue suficiente para recuperar por completo la fuerza en la mano dominante, por lo que los entrenadores deberán incluir tareas orientadas a la mejora de la resistencia y de la recuperación post-esfuerzo de los músculos del antebrazo.

Las conductas de agarre son habilidades coordinativamente y condicionalmente complejas, por lo tanto una sola variable como es la

DM no puede explicar el rendimiento en estas habilidades. Por ese motivo en el presente trabajo se incluyeron 2 pruebas isométricas de empuje y tracción, que son dos acciones empleadas durante el esfuerzo específico de judo (188). El estudio del efecto de la competición de judo sobre las pruebas isométricas del miembro superior no sólo nos permite conocer la evolución de la capacidad de producir fuerza en este tipo de activación, muy solicitada en las conductas de agarre (57), si no también inferir el rendimiento dinámico siempre que en la medición se mantengan posiciones y ángulos que guarden cierta especificidad con las situaciones reales (206). Los test multiarticulares isométricos aportan una validez mayor que los test monoarticulares, y solucionan algunas de las limitaciones que poseen los test dinámicos y de campo (210). Por ejemplo, estos test son fáciles de estandarizar y no consumen mucho tiempo en mediciones previas, siendo muy útiles en diseño de medidas repetidas, como es el caso del presente trabajo, debido a su gran reproductibilidad. Además, mediante los test isométricos podemos obtener valores de diferentes manifestaciones de la fuerza (i.e. explosiva, máxima y resistencia a la fuerza) en una sola medición. La competición en judo afectó drásticamente y produjo una reducción prácticamente lineal en la producción máxima de fuerza (i.e.  $\downarrow$ PIF = -8% a -16% en  $\dot{i}$ TTP90 y entre -3% a -14% en  $i$ ETS90), a la resistencia de la fuerza isométrica (i.e.  $\downarrow$ IMPIF= -8% a -21% en  $\dot{i}$ TTP90 y entre -4% a -17% en  $i$ ETS90), y un efecto menor en la tasa de desarrollo de fuerza (i.e.  $\dot{i}$ TDF<sub>med</sub>= -15 a +22 en  $\dot{i}$ TTP90 y entre -15 a +22) tanto en el la  $\dot{i}$ TTP90 como en la  $i$ ETS90. Teniendo en cuenta la ventana temporal en la que se tomaron las evaluaciones, los

resultados del presente trabajo ponen de manifiesto la gran implicación de los músculos que realizan la tracción y el empuje durante los esfuerzos específicos de judo. Sólo existe un estudio anterior a este trabajo que haya analizado el efecto del esfuerzo específico sobre el empuje y la atracción isométrica (28). Los autores de este estudio analizaron los efectos de un combate, encontrando una reducción post-combate de un 5% tanto en la iTTP90 como en la iETS90 siendo la  $p < 0,05$  sólo en este último ejercicio.

Cabe destacar que la variabilidad de la producción de fuerza (i.e. iCV) en la iETS90 aumentó significativamente en relación a la medición Pre ( $p=0,02$ ), aunque no hubo diferencias entre combates. Este parámetro en condiciones submáximas es un indicador de la actividad de las unidades motoras activas durante la contracción (i.e. frecuencia de descarga y reclutamiento) (217). Sin embargo, se necesitan más estudios para comprender cuál es el significado práctico en pruebas máximas. Cabe especular que un aumento de la variabilidad en relación con la medición Pre sea debido por efecto de la fatiga en relación con las características del ejercicio iETS90, ya que en iTTP90 no se encontró un aumento significativo aunque se alcanzaron aumentos moderados hacia el final de la competición.

En general, la competición afectó más a la producción de fuerza máxima y resistencia a la fuerza isométrica en el miembro superior que en el inferior. El rendimiento en la fuerza explosiva dinámica del miembro inferior se redujo hacia el final de la competición.. Esta información puede ser valiosa para ayudar a los entrenadores y fisiólogos en el diseño de tareas de entrenamiento más adecuadas para

augmentar el rendimiento y favorecer la recuperación de los judocas después de esfuerzos específicos.

### **6.5.2 La asociación entre las diferentes manifestaciones de fuerza**

Con el objetivo de estudiar la evolución de los cambios de las diferentes manifestaciones de fuerza se realizó el análisis de asociación entre las variables promedio de los delta porcentuales de las pruebas de fuerza.

La asociación entre el promedio de los deltas porcentuales en la altura con la potencia máxima y la velocidad máxima en el CMJ fue de muy fuerte ( $r=0,721$ ;  $p=0,012$ ) a casi perfecta ( $r=0,959$ ;  $p<0,001$ ) respectivamente. Sin embargo, sólo existió una tendencia a la asociación entre los deltas en la altura y la  $F_{\max}$  ( $r=0,589$ ;  $p=0,057$ ). Por lo tanto, la altura y la  $F_{\max}$  representan expresiones independientes del rendimiento del CMJ y no siguen el mismo patrón de evolución a lo largo de los combates. Estos resultados concuerdan con lo observado en la literatura en donde se reportaron varianzas comunes entre las variables del CMJ menores del 50% (499). Esta información se debería tener en cuenta cuando se evalúe el CMJ bien para controlar la evolución de los judocas tras un periodo de entrenamiento o bien para monitorizar el efecto de la carga de entrenamiento neuromuscular del miembro inferior, ya que este efecto podría tener un impacto mayor en algunas variables que en otras, y no ser detectado si simplemente se tiene en cuenta la altura de salto. Además, el delta porcentual de la tasa de desarrollo de la potencia en la fase excéntrica (i.e.  $TDP_{\text{exc}}$ ) tiene una varianza común del 58% ( $r=0,765$ ;  $p=0,006$ ) con el delta porcentual

de la  $F_{\max}$  durante el CMJ. Estos resultados y el conocimiento de que existieron diferencias significativas entre los combates en la  $TDP_{\text{exc}}$  y en la  $F_{\max}$  plantean la necesidad de controlar la evolución de las mismas durante los periodos de entrenamiento, y el diseño de tareas para mejorar el rendimiento en la fase excéntrica y en la fase de transición, que es donde se produce la fuerza máxima, en los judocas. Se ha reportado que los judocas poseen valores mayores en el pico de la potencia excéntrica y de la fuerza máxima (habitualmente alcanzada en la fase excéntrica) y alcanzan una altura menor, comparado con participantes activos no judocas (175). En este sentido, Laffaye et al (203) señaló que cada deportista posee un patrón específico al deporte que practica en las variables que definen el rendimiento en el salto. En este estudio hemos podido observar como las variables identificadas por Monteiro et al (175) evolucionaban de manera similar a lo largo de la competición, presentando diferencias entre combates, sin embargo el efecto fue menor en la altura. Quizá esto sea debido a que las acciones que emplean el CEA en judo se caracterizan por iniciar su fase excéntrica sin carga, pero hacia el final de la fase excéntrica se añade a la carga que supone el peso del judoca ejecutante y la inercia que lleva, el peso del adversario y su inercia o fuerza que este opone a ser proyectado. En la mayoría de las ocasiones la dirección de la fuerza que el judoca ejecutante aplica no es en dirección puramente vertical, por lo que la gestión de los aspectos “técnicos” de la extensión, especialmente de la articulación de la rodilla y del tobillo, no se asemejan a un salto vertical, pudiendo ser ésta la razón por la que los judocas no alcanzan grandes alturas en la ejecución del CMJ, a pesar

de producir picos de fuerza altos. En un estudio de simulación se ha indicado que la articulación de la rodilla y del tobillo son las articulaciones más efectivas en conseguir variar la altura de salto (i.e. hasta en un 2,4%) (500). Por lo tanto, hay estos datos deberán ser tenidos en cuenta en el entrenamiento de la capacidad explosiva del miembro inferior a través de medios que no sean específicos. Según Laffaye et al (501), la optimización del CEA puede realizarse incrementando la tasa de desarrollo de fuerza en la fase excéntrica (TDF<sub>exc</sub>) y minimizando el tiempo de la fase excéntrica (i.e. T<sub>exc</sub>), es decir producir fuerza en poco tiempo a igualdad de desplazamiento, o lo que sería lo mismo que incrementar la TDP<sub>exc</sub>. Varios estudios han reportado que las alteraciones inducidas por el entrenamiento en la fase excéntrica del CEA, a través tanto del entrenamiento balístico de potencia como a través del entrenamiento con cargas altas, contribuyen a la mejora del rendimiento en el salto vertical (204,502,503). Por lo tanto, esta información tendrá que tenerse en cuenta a la hora de implementar un programa de entrenamiento para la mejora del CEA en judocas.

La iS135 no sufrió cambios significativos a lo largo de la competición, sin embargo el delta porcentual de las variables que expresan el rendimiento de la fuerza aplicada en la iS135 (i.e. PIF, TDF<sub>0-100</sub>, TDF<sub>0-200</sub>, TDF<sub>0-300</sub>) presentaron asociaciones fuertes con el delta porcentual de las variables que expresan el rendimiento en el CMJ (i.e. la altura, la P<sub>max</sub>, la V<sub>max</sub>, la TDF<sub>max</sub>, TDF<sub>med</sub> y TDF<sub>seg+</sub>). Estas asociaciones tuvieron una varianza común de entre el 27% y el 57%, lo que significa que los judocas que mantuvieron sus posibilidades de

fuerza isométrica a lo largo de la competición, también mantuvieron su rendimiento en el salto vertical, confirmando el papel fundamental que juega el entrenamiento de la fuerza máxima y fuerza explosiva con cargas altas en el rendimiento en la competición en judo.

Curiosamente en el estudio de correlación se encontró una asociación entre los delta porcentuales de los valores pico y las TDF de la iTTP90 y la iS135. En cambio no existieron asociaciones entre la iTTP90 y el CMJ. Por otro lado, el delta porcentual de las variables que expresan el rendimiento de la iETS90 (i.e. PIF, IMPIF, TDF<sub>seg+</sub>, TDF<sub>0-100</sub>, TDP<sub>exc</sub>) se asoció con los deltas porcentuales de las variables del CMJ (i.e. altura, F<sub>max</sub>, TDF<sub>0-200</sub>), pero no existieron asociaciones con la iS135. Desconocemos el origen de estas asociaciones, y el presente trabajo no puede responder a si son relaciones causales o no. Por lo tanto, futuros trabajos deberán ser diseñados para verter luz sobre esta materia.

### **6.5.3 La asociación entre los efectos de la competición de judo sobre las diferentes manifestaciones de fuerza y el estrés fisiológico y metabólico.**

Los deltas porcentuales de las variables del CMJ (esp.  $F_{\max}$  y  $TDP_{\text{exc}}$ ), de la  $\dot{i}TPP90$  (esp. la IMPIF y las  $TDF_{0-100, 200, 300}$ ) y de la  $iS135$  (esp. PIF, IMPIF y las  $\dot{i}TDF_{0-100, 200, 300}$ ) se relacionaron negativamente con los deltas porcentuales de algunas variables fisiológicas (i.e. FC, TRIMP<sub>exp</sub>) y metabólicas (i.e. LA,  $\Delta LA_{\text{pre-post}}$ ), y positivamente con la mayoría de las variables fisiológicas de la recuperación (i.e. RFC60, RFC120 y  $VFC_{\text{rec}}$ ). La DMD presentó asociación positiva con la RFC120 y la LF durante la recuperación, y la DMND se relacionó positivamente con la RFC60. Sin embargo, no hubo asociaciones destacables entre el rendimiento en la  $iETS90$  y las variables fisiológicas y metabólicas evaluadas. Pocos estudios han realizado el estudio de la asociación entre las variables fisiológicas y metabólicas y los cambios en la capacidad para producir fuerza (29,31,32,83). Algunos han encontrado cierta asociación negativa entre el porcentaje de la  $FC_{\max}$  y la DMD (29), o la pérdida de rendimiento en  $\dot{i}TPP90$  (83) después de un combate, o asociaciones negativas entre el lactato sanguíneo post-combate y la DM después de 4 combates (307). A diferencia de estos trabajos, en el presente estudio las asociaciones se realizaron promediando los deltas que tomaban la evaluación Pre como el 100%, de esta manera se podía obtener un valor para relacionar las diferentes variables. Este procedimiento permitía poder valorar el impacto de la competición y sus relaciones, sin centrarse en los efectos de cada uno de los combates individualmente. Cabe

destacar que las asociaciones fueron de una magnitud importante a pesar de que los judoca habían gozado de 10 minutos de recuperación pasiva antes de las pruebas de fuerza, lo que parece señalar que esa recuperación no es suficiente para poder mantener el rendimiento durante los siguientes combates. A pesar de la relación existente entre los cambios de algunas de las pruebas de fuerza con los cambios de las variables fisiológicas y metabólicas, las aferencias del músculo esquelético (i.e. aferencias III y IV), y las del corazón y los pulmones que informarían del estrés fisiológico no pueden explicar por completo el descenso del rendimiento en las pruebas de fuerza a las que los judocas fueron sometidos tras los combate. De hecho los valores de lactato fueron descendiendo a medida que avanzaba la competición (ver sección 5.4.5), y las pérdidas de fuerza fueron incrementándose. Según Marcora (504) la incapacidad de mantener el trabajo muscular al nivel deseado o impuesto aumenta la percepción del esfuerzo, esta situación es consecuencia de un aumento de el envío de señales desde el comando central a los músculos respiratorios y locomotores para intentar mantener ese nivel de trabajo. Esta incrementada percepción de esfuerzo contribuye a la generación de la fatiga y reduce la intolerancia al ejercicio.

## **7 Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas**

---

### **7.1 Objetivos**

- Determinar el efecto de la competición de judo sobre la estabilidad de los judocas en situación estática.
- Evaluar y comparar el efecto de los combates, y de la competición de judo, sobre el desplazamiento del centro de presiones en los ejes antero-posterior y medio-lateral.
- Describir la relación entre los parámetros fisiológicos, metabólicos y el cambio en la estabilidad estática durante la competición de judo.

### **7.2 Hipótesis**

- Después de los combates de judo existe una inestabilidad importante, que se acentúa en los últimos combates.
- Existe una relación entre las variables fisiológicas, metabólicas y el efecto de la competición sobre la estabilidad de los judocas.

### **7.3 Material y Método**

#### **7.3.1 Evaluación de la estabilidad estática**

Al inicio de la competición y después de cada combate se evaluó la capacidad estabilométrica de los judocas en situación de bipedestación con los ojos cerrados. En una revisión sistemática de la literatura se ha

reportado que la posición de bipedestación con ojos cerrados es más replicable que con ojos abiertos (505). Los participantes se situaron descalzos y en kimono sobre una plataforma de fuerzas (AMTI, OR6-WP-2000, Watertown, MA, U.S.A.) que fue calibrada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. El orden de evaluación de los participantes en cada combate fue balanceado. Con el objetivo de permitir el descenso de la respiración a parámetros cercanos a los de reposo para evitar interferencias con la medición de estabilidad (506) el registro se iniciaba entre el minuto 1'30" (i.e. judoca evaluado en primer lugar) y minuto 2'30 (i.e. judoca evaluado en segundo lugar) tras la finalización del combate. Los judocas debían dirigir la mirada a un punto de la pared que estaba situado a la altura de los ojos, a 2 metros de la proyección vertical del centro de la plataforma, mantenían esta posición durante 30 segundos, y después se les solicitaba que cerraran los ojos. La posición adoptada debía ser relajada, con los brazos a lo largo del cuerpo y los pies separados a una distancia equivalente a la anchura de los hombros de cada sujeto, con la punta de los pies en el plano sagital. Teniendo en cuenta que los factores biomecánicos pueden explicar hasta en un 50% la varianza de algunos parámetros estabilométricos (232), se decidió asegurar la misma posición en cada momento de medición, marcando sobre la plataforma la posición de los pies adoptada en el la medición basal (i.e. previa al combate 1) (**Figura 31**). En cada evaluación se solicitó a los participantes a permanecer sobre la plataforma "lo más inmóvil posible" (227). Los participantes debían de mantener la postura

### 7. Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas

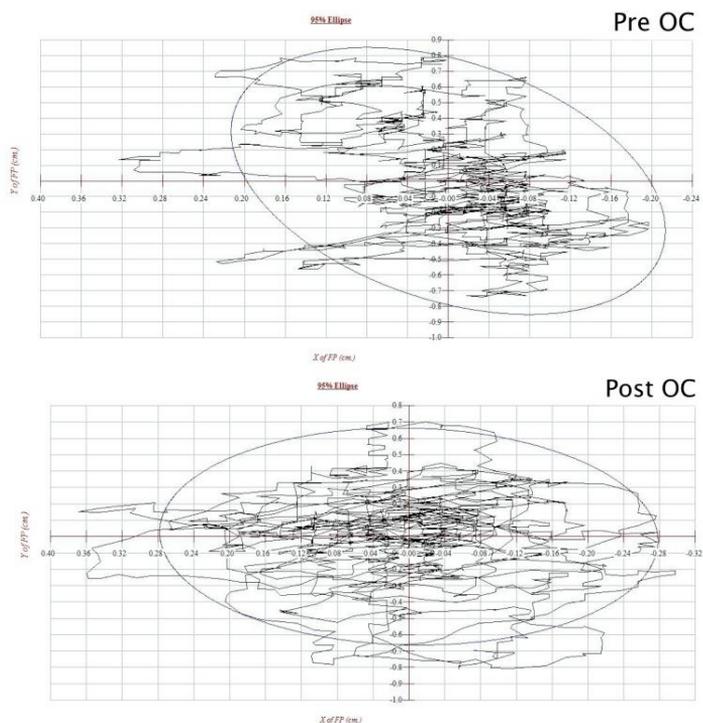
adoptada durante 30 segundos, siendo una duración suficiente para alcanzar una fiabilidad aceptable (507–509).



**Figura 31.** Posición del sujeto sobre la plataforma de fuerzas.

Las señales procedentes de los transductores de la plataforma de fuerzas fueron amplificadas 4000X y digitalizadas usando el dispositivo MiniAmp MSA-6 (AMTI, Watertown, U.S.A.). Se utilizó una frecuencia de muestreo de 50 Hz con una frecuencia de corte de 10 Hz. Los datos de fuerzas, momentos y desplazamiento del centro de presiones ejercidas sobre la plataforma en los tres ejes (antero-posterior, medio-lateral y vertical) fueron monitorizados y guardados en el disco duro utilizando el software NetForce v2.2.1 (AMTI Acquisition Software, Watertown, U.S.A.). En un análisis posterior se empleó el software BioAnalysis v2.2 (AMTI, Watertown, U.S.A.) para

generar el establograma de cada prueba (Figura 32), sobre el que se calcularon las variables cinemáticas de los ejes medio-lateral (ML) y anteroposterior (A/P).



**Figura 32.** Establograma representativo de la prueba de estabilidad. Pre OC: establograma pre-combate con ojos cerrados. Post OC: establograma post-combate con los ojos cerrados.

### 7.3.2 Análisis de los parámetros estabilométricos

A la hora de seleccionar las variables se tuvo en cuenta aquellas que han demostrado mayor sensibilidad para detectar cambios atendiendo a las características del diseño. El estudio del comportamiento del CDP se ha hecho en el dominio tiempo

7. Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas

atendiendo a su perfil bidimensional (2D) y unidimensional (1D) en el eje medio-lateral (ML) y anteroposterior (AP) (Tabla 30).

**Tabla 30.** Variables estabilométricas analizadas

Variable	Acrónimos	Descripción	Unidades
2D	CEA95%	<p>Área de la elipse que delimita el 95% de los datos.</p> $CEA\ 95\% = \pi(MRD + 1.645 * MRDSD)^2$ <p>*SD1S95% → eje mayor de la elipse  **SD2S95% → eje menor de la elipse</p> <p>MRD: Promedio de desplazamiento radial en cm</p> $MRD = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{x_i^2 + y_i^2}}{N}$ <p>MRDSD: Desviación estándar del MRD</p> $MRDSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \left( \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \right) - MRD \right)^2}$	cm <sup>2</sup>
	MVEL	<p>Velocidad media del desplazamiento del COP.</p> $MV = \frac{L}{n * \Delta t}$ <p>L: longitud; Δt: incremento de tiempo;  n: número de datos</p>	cm/s

**Tabla 30.** Continuación.

Variable	Acrónimos	Descripción	Unidades
2D	RF	Frecuencia rotacional*. Representa las revoluciones por segundo del CDP si hubiera realizado su desplazamiento total alrededor de un círculo con el radio de la distancia promedio. $RF = \frac{MV}{2\pi MRD}$	Hz
*Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, & Myklebust, 1996			
1D	MDISPL <sub>COPX</sub> ó Y	Promedio del desplazamiento en el eje X (ML) y en el eje Y (AP) del COP.	cm
	SD <sub>COPX</sub> ó Y	Desviación estándar de la posición en el eje X (ML) y en el eje Y (AP). Informa de la variabilidad de la posición en su eje correspondiente.	cm
	RMSSD <sub>COPX</sub> ó Y	Raíz cuadrática media de las sucesivas diferencias entre las posiciones consecutivas del COP en el eje X (ML) y en el eje Y (AP). Informa de la variabilidad de la velocidad en su eje correspondiente.	

Los parámetros obtenidos con la prueba de estabilidad estática han obtenido índices altos de reproductibilidad (ICC > 0,70) medidos dentro de la misma sesión (505,511,512).

### 7.3.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico PASW (v. 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL). La distribución de cada variable fue examinada con los test de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Las variables que no se ajustaban a una distribución normal eran transformadas logarítmicamente con el objetivo de realizar pruebas y comparaciones paramétricas, si las variables seguían presentando una distribución no normal se aplicaban pruebas no paramétricas.

El análisis de las variables estabilométricas se realizó con un ANOVA de medidas repetidas de 1 factor para los valores absolutos bidimensionales (2D) obtenidos al inicio de la competición (Pre) y los valores obtenidos después de los combates (Post1, Post2, Post3, Post4). Además, para las variables unidimensionales (1D) (ML: mediolateral, y AP: anteroposterior) se utilizó un ANOVA de dos factores, momento (Pre, Post1, Post2, Post3 y Post4) x dirección (ML y AP). Se analizaron también los valores relativos respecto a la situación previa a la competición mediante un ANOVA de medidas repetidas de un factor (%Post1, %Post2, %Post3, %Post4) para los valores 2D, y un ANOVA 4 (combate) x 2 (eje de desplazamiento) tomando como referencia el valor Pre dentro de cada eje para las variables 1D.

A la hora de interpretar los resultados de los ANOVA se tenía en cuenta el test de esfericidad de Mauchly, si este resultaba significativo se aplicaba la corrección de epsilon con la prueba Greenhouse-

Geisser para determinar el efecto intra-sujeto. En caso de que las distribuciones no fueran paramétricas se realizaba la transformación logarítmica, y si aún así no se alcanzaban los criterios de normalidad, se empleaba la prueba de Friedman. En caso de alcanzar significación estadística se realizaba la comparación por pares empleando la prueba correspondiente según criterios de normalidad y se aplicaba el ajuste de Bonferroni para múltiples comparaciones.

Para el cálculo del tamaño del efecto (TE) se empleó la prueba de diferencias de medias tipificada para el cálculo de la magnitud de cambio en valor absoluto respecto a la situación Pre. Esta diferencia se calculó utilizando como denominador la desviación típica combinada de las dos muestras “g de Hedges” y la corrección de sesgos de Bessel propuesto por (303). La g de Hedges ha sido sugerida como la prueba más adecuada para cuantificar la magnitud del cambio en muestras con un  $N < 20$  (304). Los TE calculados (i.e.  $g^*$  de Hedges) se interpretan atendiendo a la escala aportada por Cohen (306): pequeños ( $0.2 \geq g < 0.5$ ), moderados ( $0.5 \geq g < 0.8$ ) o grandes ( $g \geq 0.8$ ).

La asociación entre variables se examinó con las pruebas de Pearson para aquellas variables que cumplieran los criterios de normalidad y Spearman cuando una de las variables era no paramétrica. Las relaciones encontradas fueron consideradas como  $r =$  débiles (0,0), pequeñas (0,1), moderadas (0,3), fuertes (0,5), muy fuertes (0,7), casi perfectas (0,9), y perfectas (1,0) (306). El nivel de significación se estableció en  $p < 0.05$ . Sin embargo las  $p < 0.1$  fueron

señaladas como tendencias. Los datos se presentan como medias y desviaciones típicas (media  $\pm$  DT).

## **7.4 Resultados**

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis unidimensional (1D) y bidimensional (2D) de los parámetros estabilométricos.

### **7.4.1 Parámetros Bidimensionales (2D)**

En la Tabla 31 se presentan los 5 momentos analizados: la evaluación al inicio de la competición (i.e. Pre), y las correspondientes a las evaluaciones después de cada combate (i.e. Post1, Post2, Post3, Post4). Sólo la velocidad media (i.e. MVEL) y el área descrita por el CDP (i.e. CEA95%) se vieron afectadas significativamente ( $p < 0,05$ ). La MVEL después del combate 2 y del combate 4 fue mayor que el Pre. El CEA95% mostró tendencia a ser significativamente mayor que el Pre en el combate 2. La magnitud del cambio en la MVEL y CEA95% fue de moderada a grande en los tres últimos combates.

**Tabla 31.** Evolución en valor absoluto de las variables estabilométricas bidimensionales (2D) en la prueba de estabilidad en bipedestación con ojos cerrados.

	Pre	Post1	Post2	Post3	Post4	Sig.
<b>MVEL (cm/s)</b>						
M ± DT	1,6 ±0,5	1,9 ±0,5	2,2 ±1,0 *	2,1 ±0,5	2,0 ±0,5 *	0,03
TE (g*)		0,5	0,8	0,8	0,7	
IC95%		-0,3 a 1,4	-0,1 a 1,6	-0,1 a 1,7	-0,2 a 1,6	
<b>CEA95% (ln cm)</b>						
M ± DT	0,29 ±0,83	0,54 ±0,62	0,75 ±0,84 γ	0,85 ±0,65	0,75 ±0,66	0,01
TE g*		0,3	0,5	0,7	0,6	
IC95%		-0,5 a 1,2	-0,3 a 1,4	-0,1 a 1,6	-0,3 a 1,4	
<b>RF (Hz)</b>						
M ± DT	0,61 ±0,15	0,7 ±0,23	0,69 ±0,12	0,7 ±0,23	0,64 ±0,16	0,62
TE g*		0,5	0,6	0,5	0,2	
IC95%		-0,4 a 1,3	-0,3 a 1,4	-0,4 a 1,3	-0,6 a 1,0	

MVEL: velocidad media del COP; CEA95%: área de la elipse que delimita el 95% de los datos; RF: frecuencia rotacional. Se presentan los valores: media (M), desviación típica (DT), y el tamaño del efecto (TE) “g de Hedges” con la corrección de sesgos de Hedges & Olkin (1985) (g\*) con su intervalo de confianza al 95% (IC95%). El TE se calcula en relación al valor Pre absoluto. El nivel de significación se ha establecido en el 95%. \*Diferencia significativa con Pre (p<0,05); γ Tendencia a la significación (p<0,1).

En la Tabla 32 se presentan los valores de las variables bidimensionales en relación porcentual con la situación inicial individual (%Pre). No se encontraron diferencias significativas entre los delta porcentuales de los combates en ninguna variable bidimensional. Como se puede observar en la Tabla 32, la MVEL y la CEA95% presentan valores de tamaño del efecto (% vs. Pre) grandes especialmente después del combate 2.

## 7. Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas

**Tabla 32.** Evolución del cambio (% vs. Pre) durante la competición de judo de las variables estabilométricas bidimensionales (2D) en la prueba de estabilidad en bipedestación con ojos cerrados.

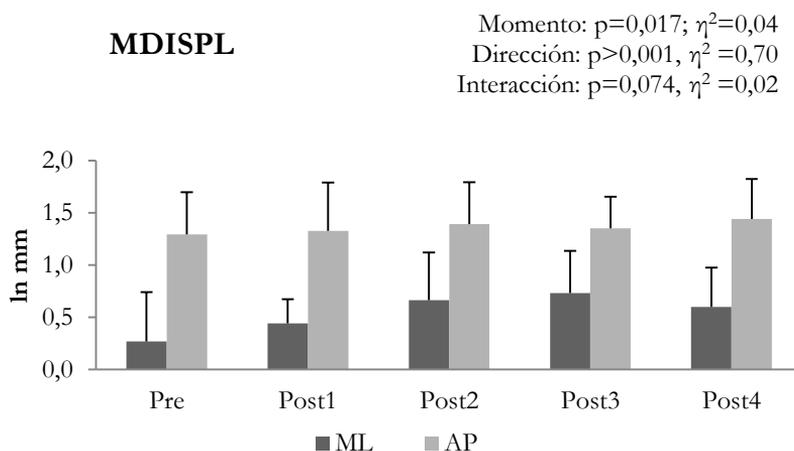
	Post1rel	Post2rel	Post3rel	Post4rel	Sig.
<b>MVEL (%)</b>					
M ± DT	22 ± 27	36 ± 22	34 ± 38	26 ± 23	0,374
TE vs. 100% (g*)	1,1	2,2	1,2	1,6	
IC95%	0,2 a 2,0	1,2 a 3,3	0,3 a 2,1	0,6 a 2,5	
<b>CEA95% (%)</b>					
M ± DT	43 ± 67	73 ± 69	110 ± 138	79 ± 91	0,300
TE vs. 100% (g*)	0,9	1,4	1,1	1,2	
IC95%	0 a 1,8	0,5 a 2,4	0,2 a 2,0	0,3 a 2,1	
<b>RF (%)</b>					
M ± DT	17 ± 38	20 ± 39	17 ± 35	13 ± 45	0,747
TE vs. 100% (g*)	0,6	0,7	0,6	0,4	
IC95%	-0,2 a 1,5	-0,2 a 1,6	-0,2 a 1,5	-0,5 a 1,2	

MVEL: velocidad media del COP; CEA95%: área de la elipse que delimita el 95% de los datos; RF: frecuencia rotacional. Se presentan los valores: media (M), desviación típica (DT), y el tamaño del efecto (TE) “g de Hedges” con la corrección de sesgos de Hedges & Olkin (1985) (g\*) con su intervalo de confianza al 95% (IC95%). El TE se calcula en relación al . \*El nivel de significación se ha establecido en el 95%.

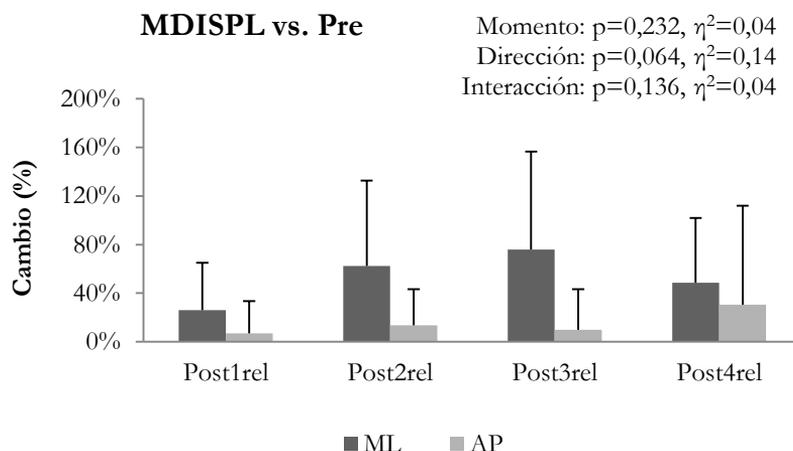
### 7.4.2 Parámetros Unidimensionales (1D)

En las Figuras 33, 35 y 37 se presentan los resultados de los parámetros unidimensionales en valor absoluto. Y en las Figuras 34, 36 y 38 se puede observar la evolución del cambio porcentual de los parámetros estabilométricos post-combate respecto al valor pre. Existió un efecto del momento de medición y de la dirección del desplazamiento cuando se analizaron los valores en valor absoluto del MDISPL, siendo la dirección antero-posterior (i.e. AP) mayor en todos los momentos (Figura 33). Además, también hubo una

tendencia a la significación estadística en la interacción, arrojando una tendencia a ser el combate 3 menor que el Pre en relación a la dirección AP ( $p=0,066$ ). En el análisis del cambio porcentual respecto al Pre individual (Figura 34), no se encontraron diferencias entre momentos ni tampoco interacción. En cambio, si existió una tendencia a que ML fuera mayor que AP ( $p=0,064$ ), es decir, que ML podría verse más afectado por los combates de judo.

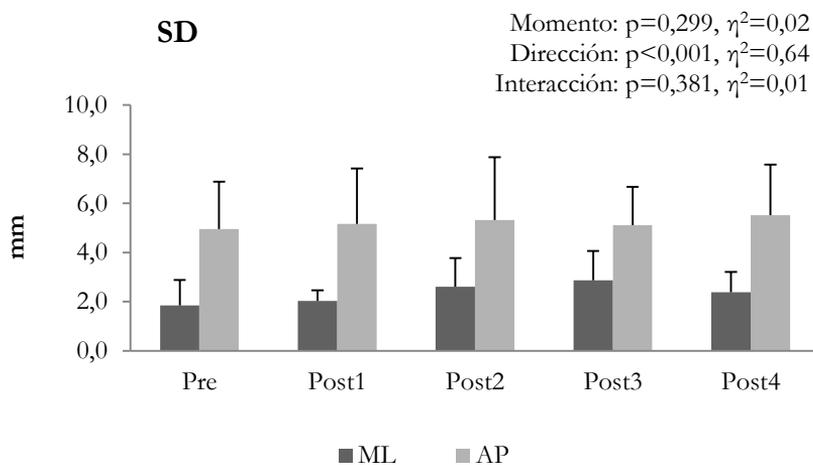


**Figura 33.** Evolución, en valor absoluto, del desplazamiento medio (MDISPL) del CDP en la dirección medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).

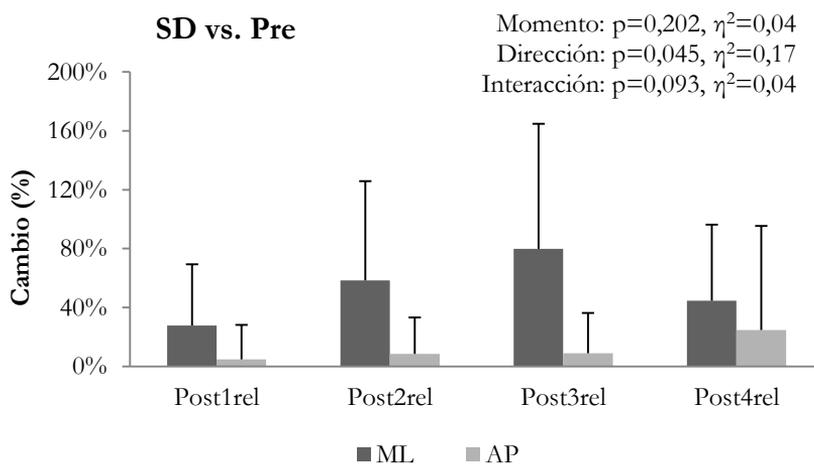


**Figura 34.** Evolución del porcentaje del cambio del desplazamiento medio (MDISPL) del CDP respecto a los valores pre-competición (% Pre). Se presentan las dimensiones medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).

La evolución de la desviación estándar de la posición del CDP se pueden observar en valores absolutos en la Figura 35 y en valores relativos a los valores de reposo pre-competición en la Figura 36. Este parámetro sólo mostró diferencias significativas en el factor dirección tanto en valores absolutos como relativos. Curiosamente, en valores absolutos existió una mayor dispersión de la posición en el eje AP. Pero, cuando se expresan los datos en relación al rendimiento individual de cada eje en la situación Pre, se encontró que la posición del CDP en el eje ML fue relativamente más dispersa ( $p=0,045$ ).

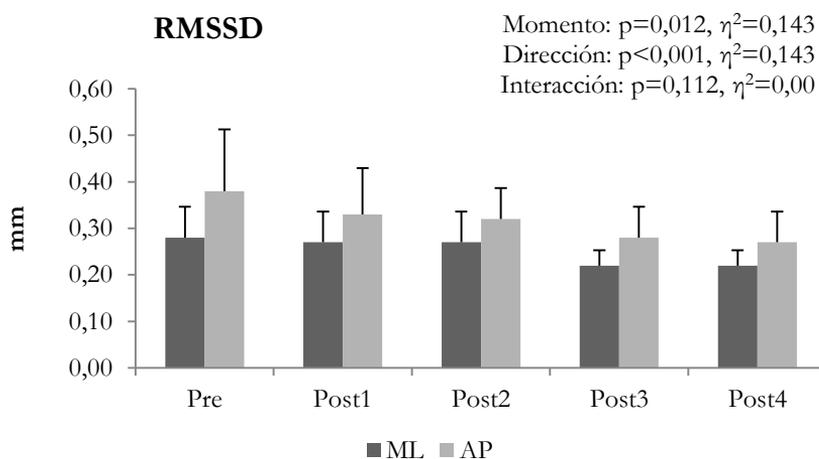


**Figura 35.** Evolución, en valores absolutos, de la desviación estándar (SD) de la posición del CDP en la dirección medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).

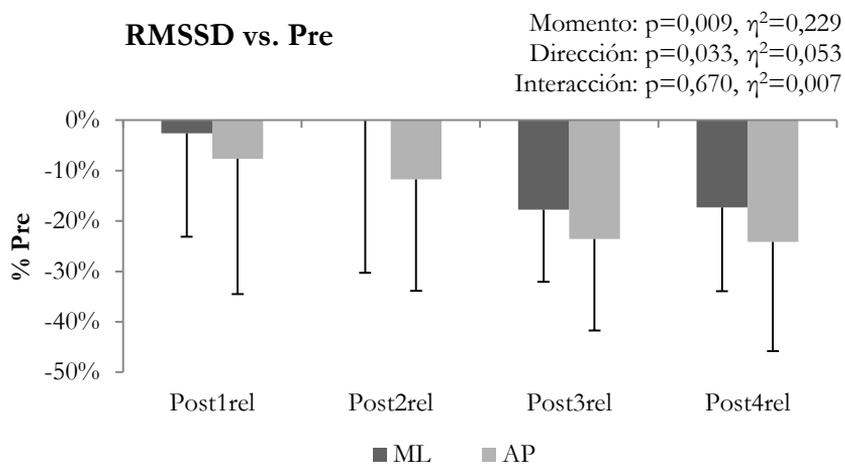


**Figura 36.** Evolución del porcentaje del cambio de la desviación estándar (SD) de la posición del CDP respecto a los valores pre-competición (% Pre). Se presentan las dimensiones medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).

En la Figura 37 se muestra la evolución en valores absolutos del RMSSD, parámetro que indica la variabilidad del desplazamiento del CDP. El momento de evaluación y la dirección afectaron significativamente a la variabilidad, no existiendo interacción significativa entre estos dos factores. Los judocas tuvieron un desplazamiento del CDP menos variable hacia el final de la competición y en valores absolutos la variabilidad en el eje AP era mayor que en el eje ML. En el análisis del cambio relativo se pudo observar también una reducción de la variabilidad por efecto de los combates (Figura 38). En valores relativos al Pre, la variabilidad en el eje AP se redujo más en el eje ML.



**Figura 37.** Evolución, en valores absolutos, de la variabilidad (RMSSD) del desplazamiento del CDP en la dirección medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).



**Figura 38.** Evolución del porcentaje del cambio de la variabilidad (RMSSD) del desplazamiento del CDP respecto a los valores pre-competición (% Pre). Se presentan las dimensiones medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP).

### 7.4.3 Correlaciones entre la estabilidad y las variables fisiológicas

En la Tabla 33 se muestran las relaciones entre el cambio porcentual (% vs. Pre) en los parámetros de la estabilidad bidimensional (2D) y los efectos metabólicos y cardiovasculares de la competición. Se calculó la media de todos los combates de las variables fisiológicas para representar el efecto metabólico y cardiovascular de toda la competición. Un CEA95% en las evaluaciones de estabilidad post-combate se asociaron con valores mayores de lactato ( $p=0,01$ ) y lactato pico ( $p=0,03$ ), así como una peor recuperación de la frecuencia cardíaca al minuto ( $p=0,049$ ) y a los dos minutos ( $p=0,031$ ) post-combate. Esta variable también mostró una tendencia a la asociación positiva con la constante de tiempo de la recuperación cardíaca (RFCT30,  $p=0,084$ ), lo que indicaría una peor recuperación en los participantes con mayor área, y una tendencia a la asociación negativa con la VFC (TPrec,  $p=0,073$ ; y HRrec,  $p=0,099$ ) durante los dos minutos de recuperación inmediatamente posteriores a los enfrentamientos. La frecuencia rotacional se asoció positivamente ( $p=0,043$ ) a la actividad de baja frecuencia cardiovascular (LFrec) en el periodo de recuperación post-combate.

El desplazamiento del CDP y la dispersión de su posición en el eje medio-lateral y en el eje antero-posterior se asociaron a diversas variables fisiológicas (Tabla 34). En general, estos resultados indican que los judocas que obtenían delta porcentuales de MDISPL y de SD más altos post-combate también eran los que presentaban mayores

valores de lactato, menor remoción de la lactacidemia y una recuperación cardiaca más lenta (i.e.  $\downarrow$ RFC120).

En la Tabla 35, se pueden observar las relaciones entre los parámetros estabilométricos bidimensionales relativos y los deltas porcentuales de las variables fisiológicas (i.e. mediciones basales pre-competición vs. post-competición). Existieron diversas asociaciones entre las variables estabilométricas y los deltas porcentuales, pero para facilitar la interpretación sólo serán tenidas en cuenta aquellas que se asociaron con deltas que hayan demostrado al menos una tendencia ( $p < 0,1$ ) a un cambio real ( $TE > 0,5$ ) entre los dos momentos de medición. Una MVEL mayor mostró una tendencia a la asociación negativa ( $r = -0,577$ ;  $p = 0,063$ ) con el  $\Delta LF$  ( $p = 0,054$ ;  $TE = 0,66$ ,  $IC95\% = -0,2$  a  $1,52$ ). También el incremento porcentual del LF se asoció negativamente con la RF ( $r = -0,744$ ,  $p = 0,009$ ). En la Tabla 36, se puede observar que los parámetros unidimensionales no se asociaron de manera significativa a la mayoría de las variables delta. Cabe destacar la asociación positiva entre la dispersión media del CDP en el eje AP (i.e.  $SD_{COPY}$ ) en las evaluaciones de estabilidad post-combate durante la competición y el incremento de la potencia LF en situación de reposo post-competición ( $r = 0,882$ ;  $p < 0,001$ ).

7. Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas

**Tabla 33.** Correlaciones entre el delta porcentual medio en los parámetros de la estabilidad bidimensional (2D) y los efectos metabólicos y fisiológicos medios de la competición.

	LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	$\Delta LA_{pre-post}$ (%)	LA <sub>pico</sub> (mmol*L <sup>-1</sup> )	LAre (%)	RFCT30 (s)	RFC1 (latidos)	RFC2 (latidos)	TPrec (ms <sup>2</sup> )	LFrec (ms <sup>2</sup> )	HFrec (ms <sup>2</sup> )
m $\Delta$ MVEL (%)	0,345	0,43	0,374	-0,004	0,204	-0,167	-0,028	-0,045	0,126	0,032
m $\Delta$ CEA95% (%)	0,737 **	-0,109	0,642 *	-0,438	0,543 $\gamma$	-0,604 *	-0,648 *	-0,561 $\gamma$	-0,516	-0,522 $\gamma$
m $\Delta$ RF (%)	-0,146	0,572 $\gamma$	-0,073	0,166	-0,065	0,22	0,322	0,405	0,617 *	0,368

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1. Los datos representan el valor de la correlación r (significación).

**Tabla 34.** Correlaciones entre el delta porcentual medio de los parámetros de la estabilidad unidimensional (1D) y los efectos metabólicos y fisiológicos medios de la competición.

	LA (mmol*L <sup>-1</sup> )	$\Delta LA_{pre}$ - <sup>post</sup> (%)	LA <sub>pico</sub> (mmol*L <sup>-1</sup> )	LAre (%)	RFCT30 (s)	RFC1 (latidos)	RFC2 (latidos)	TPrec (ms <sup>2</sup> )	LFrec (ms <sup>2</sup> )	HFrec (ms <sup>2</sup> )
m $\Delta$ MDISPL <sub>COPX</sub> (%)	0,39	0,098	0,268	-0,645 *	0,727 *	-0,536 $\gamma$	-0,648 *	-0,444	-0,274	-0,369
m $\Delta$ MDISPL <sub>COPY</sub> (%)	0,691 *	0,382	0,582 $\gamma$	-0,109	0,118	-0,333	-0,436	-0,500	-0,609 *	-0,382
m $\Delta$ SD <sub>COPX</sub> (%)	0,428	0,151	0,307	-0,650 *	0,744 **	-0,559 $\gamma$	-0,654 *	-0,430	-0,227	-0,383
m $\Delta$ SD <sub>COPY</sub> (%)	0,326	0,146	0,278	-0,073	-0,140	-0,048	-0,115	-0,253	-0,534 $\gamma$	-0,197
m $\Delta$ RMSSD <sub>COPX</sub> (%)	0,458	0,23	0,431	-0,063	0,237	-0,301	-0,446	-0,458	-0,643 *	-0,245
m $\Delta$ RMSSD <sub>COPY</sub> (%)	0,593 $\gamma$	0,464	0,574 $\gamma$	-0,197	0,353	-0,363	-0,504	-0,448	-0,488	-0,336

\*\*Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1. Los datos representan el valor de la correlación r (significación).

Análisis de los efectos agudos de la competición en judo

**Tabla 35.** Correlaciones ( $r$ ) entre el delta porcentual medio de los parámetros de la estabilidad bidimensional (2D) y el efecto fisiológico de la competición de judo (delta porcentual).

	$\Delta\%FC_{med}$	$\Delta\%FC_{dt}$	$\Delta TP$ (%)	$\Delta LF$ (%)	$\Delta HF$ (%)	$\Delta SampEn$ (%)	$\Delta S$ (%)
$m\Delta MVEL$ (%)	-0,103	-0,618 *	-0,582 $\gamma$	-0,577 $\gamma$	-0,827 **	0,1	-0,587 $\gamma$
$m\Delta CEA95\%$ (%)	-0,422	-0,182	0,346	0,235	-0,018	0,642 *	0,211
$m\Delta RF$ (%)	-0,06	-0,309	-0,754 **	-0,744 **	-0,555 $\gamma$	-0,123	-0,640 *

\*\* Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1. Los parámetros estabilométricos representan la media de toda la competición.

**Tabla 36.** Correlaciones ( $r$ ) entre el delta porcentual medio de los parámetros de la estabilidad unidimensional (1D) y el efecto fisiológico de la competición de judo (delta porcentual).

	$\Delta FC_{med}$ (%)	$\Delta FC_{dt}$ (%)	$\Delta TP$ (%)	$\Delta LF$ (%)	$\Delta HF$ (%)	$\Delta SampEn$ (%)	$\Delta S$ (%)
$m\Delta MDISPL_{COPX}$ (%)	-0,378	-0,275	0,045	-0,084	0,213	0,46	0,017
$m\Delta MDISPL_{COPY}$ (%)	0,009	0,182	0,191	0,418	0,145	0,036	0,136
$m\Delta SD_{COPX}$ (%)	-0,431	-0,33	0,033	-0,12	0,242	0,463	-0,009
$m\Delta SD_{COPY}$ (%)	0,243	0,776 **	0,794 **	0,882 **	0,427	-0,117	0,679 *
$m\Delta RMSSD_{COPX}$ (%)	-0,165	0,295	0,287	0,426	-0,012	0,383	0,362
$m\Delta RMSSD_{COPY}$ (%)	-0,469	-0,026	0,128	0,166	0,04	0,537 $\gamma$	0,167

\*\* Sig. < 0,01; \*Sig. < 0,05;  $\gamma$  Tendencia < 0,1. Los parámetros estabilométricos representan la media de toda la competición.

## 7.5 Discusión

### 7.5.1 La evolución de los parámetros bidimensionales a lo largo de la competición en judo

El estudio de la capacidad de control postural y estabilidad de judocas, y su comparación con otros deportistas o participantes sanos ha suscitado un gran interés en la literatura (230,253,254). Estos estudios señalan que la práctica del judo produce adaptaciones en los mecanismos responsables del equilibrio que mejoran la estabilidad. Por lo tanto, es importante conocer el efecto de la práctica del enfrentamiento en judo, y por extensión, el efecto de la acumulación de varios enfrentamientos como ocurre en una competición sobre la estabilidad de los judocas. Hasta la fecha, el presente estudio es el primer trabajo que analiza la estabilidad de judocas después del enfrentamiento específico y la evolución de la estabilidad a lo largo de una competición. El aumento en la velocidad media del desplazamiento del CDP en una posición estática se ha asociado a una mayor actividad del sistema postural para mantener el CDP dentro del área de sustentación (232,513), y se ha propuesto que a mayor área descrita por el CDP, mayor inestabilidad (233). Los combates de judo produjeron una elevación de la MVEL de moderada a grande en términos absolutos (Tabla 31), y un incremento grande en las variables expresadas en relación a la evaluación inicial de cada judoca ( $g$  de Hedges  $> 1,1$ ). El CEA95% presentó cambios de pequeños a moderados en valores medios absolutos, y se obtuvieron tamaños del efecto grandes ( $g$  de

Hedges  $> 0,9$ ) en valores relativos al Pre. Por lo tanto, se observa un cambio real hacia una mayor inestabilidad post-combate en los judocas, no observándose diferencias entre combates a pesar de si existir ligeras diferencias en la intensidad de los mismos.

Es difícil la comparación directa de los resultados de nuestro trabajo con otros estudios en donde se evalúan a deportistas de combate después de pruebas de diferente naturaleza a la actividad de lucha, ya que el volumen muscular solicitado, la duración de las acciones y la naturaleza de las activaciones (i.e. concéntrica, isométrica, excéntrica, CEA) producen diferentes efectos sobre el reajuste postural después del ejercicio (228,240). Además, los factores biomecánicos, como son la altura y el peso de los deportistas, la anchura máxima del pie, el tamaño de la base de sustentación, y la ángulo de apertura de los pies pueden explicar hasta el 80% de la varianza en la comparación entre las participantes evaluados en una prueba de estabilidad (232,514). Consecuentemente, estos parámetros han de ser controlados en las investigaciones que evalúen el efecto de un ejercicio en comparación con una situación basal. En el presente estudio se realizó una prueba en bipedestación con ojos cerrados en donde todos los factores biomecánicos eran estables intra-sujeto en los diferentes momentos de medición. Sin embargo, no se controló el ángulo de apertura de los pies, aunque este factor ha demostrado afectar sólo a las variables en el dominio frecuencia de la dirección ML (514), que no fueron incluidas en nuestro análisis.

Teniendo en cuenta las diferencias que pudieran existir en el diseño con otros trabajos realizados en deportistas de combate, si parece interesante contrastar nuestros resultados con aquellos en los que se evalúa la estabilidad después de ejercicios propuestos como similares, en relación a las características fisiológicas, a la actividad de lucha. Para facilitar la comparación se calculó el tamaño del efecto ( $g$  de Hedges; IC95%) sobre la estabilidad del ejercicio propuesto en los siguientes trabajos. (270) encontró resultados similares a los del presente estudio en un trabajo dónde luchadores de sambo ( $N= 31$ ) fueron evaluados en una prueba de estabilidad en bipedestación (52 seg) antes y después de una prueba aeróbica submáxima en bicicleta (i.e. PWC170), que consistía en aumentar la carga en vatios (i.e. incrementos de 30 W) cada minuto hasta alcanzar la frecuencia cardiaca de 170 pulsaciones por minuto. Estos autores reportaron un aumento significativo tanto en el área (CEA;  $g = 0,39$ ; IC95% = -0,11 a 0,9) como en la velocidad lineal (MVEL;  $g = 1,32$ ; IC95% = 0,8 a 1,9). En un trabajo reciente, Morán-Navarro et al (255) evaluaron a un grupo de luchadores en diferentes pruebas de estabilidad después de un test anaeróbico de Wingate, entre ellas una prueba bipodal (30 s) sobre superficie estable. Sólo la velocidad media de desplazamiento del CDP incrementó significativamente (TE -no específica método de cálculo-: 3,37), en cambio el CEA post-Wingate no sufrió ninguna variación (TE -no específica método de cálculo-: 0,22). Las diferencias entre estos trabajos y los resultados de nuestro estudio residen, como se comentó anteriormente, en la diferente naturaleza (volumen muscular solicitado, diferente estimulación

neuromuscular, diferentes vías energéticas, etc.) de los ejercicios empleados (228,230). También a pesar de ser pruebas muy utilizadas para la valoración fisiológica de deportistas de combate, el perfil fisiológico de los ejercicios presentan considerables diferentes. Los enfrentamientos de judo empleados en nuestro diseño (i.e. gran volumen muscular y diversidad en el tipo de activación) se caracterizaron por una duración de 7,8 minutos de media, con un patrón de actividad irregularmente intermitente que alcanzó una frecuencia cardiaca media de entre  $168 \pm 12$  ppm y  $177 \pm 8$  ppm (i.e. 84% y 89% de la  $FC_{max}$ , respectivamente) y con valores de lactacidemia post-combate de 10 a 12 mmol/L<sup>-1</sup>. Sin embargo, en los luchadores de sambo del estudio de Melnikov et al (270), aún alcanzando valores similares de frecuencia cardiaca,  $175 \pm 6$  ppm, en la prueba aeróbica PWC170, esta prueba se realizó encima de una bicicleta, con lo que la participación muscular fue principalmente del miembro inferior. Además, era un test incremental submáximo, por lo que el nivel de frecuencia cardiaca incrementaba progresivamente y el nivel más alto alcanzado fue al final del test. Estos autores no reportan la duración del test ni los niveles de lactacidemia alcanzados, teniendo en cuenta la potencia relativa alcanzada y el peso de los participantes se puede estimar una duración cercana a los 10-11 minutos, sin embargo, no es posible saber si la acumulación de lactato post-ejercicio es cercana a actividades luctatorias. En la prueba anaeróbica de Morán-Navarro et al (255), no se encuentra un aumento de la CEA después del ejercicio, sin embargo hay que tener en cuenta que la duración era de 30 segundos, una duración muy corta para poder ser comparable

### 7. Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas

con el perfil fisiológico de combates de lucha o judo. Las diferencias en relación a los resultados de nuestro estudio pueden ser explicadas por los hallazgos de Pline et al (515) quienes reportaron que el aumento del tiempo de la actividad fatigante incrementa la velocidad y el área del desplazamiento del CDP, y que un aumento sólo del nivel de intensidad eleva únicamente la velocidad del desplazamiento del CDP.

El ejercicio empleado en los dos estudios que buscan analizar el efecto de la fatiga en deportistas de combate tienen un carácter más localizado que la realización de la actividad de lucha o judo, donde participa tanto el miembro inferior como superior (83), y la zona media en su función de estabilización para la correcta transmisión de fuerzas en la ejecución de habilidades en judo (157,161,516) y el mantenimiento de contracciones isométricas de los miembros superiores (517). La fatiga que se produce tanto a través de la realización de ejercicios locales como generales contribuyen a reducir la excitabilidad neuromuscular e incrementar la fluctuación de la fuerza generada (3). Sin embargo, a igualdad de nivel de fatiga muscular alcanzada, cuanto mayor sea el número de músculos solicitados, mayor será la perturbación del control postural (518), lo que podría explicar porque existe un efecto mayor sobre la estabilidad en el presente estudio en comparación con los realizados con tareas con menos participación muscular. Está generalmente aceptado que la fatiga en los músculos implicados en el control postural (i.e. miembro inferior) produce un efecto mayor en la estabilidad que la fatiga en músculos no implicados (240). Sin embargo, existen evidencias de que la fatiga en los miembros

superiores (i.e. cuello, hombros, etc.) también perturba el control postural (519,520). Incluso se ha encontrado mayor inestabilidad tras un test incremental hasta la fatiga con el miembro superior respecto a un test similar con el miembro inferior (521), que ha sido atribuida a una concomitante fatiga de los músculos estabilizadores del tronco, músculos que en estado de fatiga han demostrado afectar de forma importante al control postural (9). Por lo tanto, las activaciones de los músculos del miembro superior y la zona media de manera repetitiva a lo largo de los enfrentamientos de judo puede haber contribuido a la pérdida de estabilidad post-ejercicio.

Varias son las hipótesis que intentan explicar como la fatiga producida por una actividad física provoca el incremento de la MVEL o el CEA post-ejercicio (para una revisión detallada Paillard (213)). Las contracciones repetidas modifican las propiedades musculares como son los potenciales de acción, la acumulación de metabolitos e iones extracelulares e intracelulares (8) y reducen la sensibilidad de los husos musculares (522). Este cambio en el organismo es detectado por los quimiorreceptores y metaborreceptores que envían la información a través de las aferencias III y IV a los centros de integración sensorial aferente a nivel espinal y central (523). Como respuesta el sistema nervioso central produce cambios en el patrón de reclutamiento de las unidades motoras, reduce la descarga de las alfa-motoneuronas (524), y se incrementa la latencia entre la actividad electromiográfica de los músculos fatigados y los movimientos del centro de presiones (525). Por lo tanto, se produce una incapacidad

por mantener la fuerza contráctil y el control necesario para mantener la postura (240). Además, la fatiga también produce una alteración de la percepción de la posición de los movimientos que afecta al control postural (526). De hecho, el daño sobre la percepción del esquema corporal es un importante factor perturbador de la estabilidad, ya que se restaura más lento que la actividad refleja después de un ejercicio fatigante (519). El sistema vestibular también puede resultar perjudicado por el efecto de los enfrentamientos en judo. Este sistema es sensible a las aceleraciones de la cabeza, en particular los órganos otolitos, y ya ha sido evidenciado su pérdida de sensibilidad y consecuente afectación del control postural (240). El judo es un deporte en donde existen continuos cambios de posición que pueden afectar a la sensibilidad del utrículo para detectar movimientos horizontales, y del sáculo para identificar movimientos verticales. En este sentido, recientemente se ha publicado un trabajo donde se exponen las grandes aceleraciones que sufre la cabeza de un judoca durante la caída tras recibir una acción del oponente (527). Se ha asumido que aunque la deterioración de las aferencias sensoriales y de las eferencias motoras pueden ser compensados en parte o completamente mediante una reorganización de los mecanismos responsables del control postural (268), cuando la fatiga central se establece, la compensación para evitar la inestabilidad ya no es posible (240). Por lo tanto, es evidente que las características del ejercicio realizado influencia en los resultados de la evaluación estabilométrica, siendo utilizadas diferentes estrategias posturales

compensatorias para contrarrestar o limitar la perturbación del control postural debido a la fatiga general o local (240).

### **7.5.2 La evolución de los parámetros unidimensionales a lo largo de la competición en judo**

El desplazamiento medio del CDP y la dispersión de la posición del CDP en valor absoluto fue mayor en el eje AP tanto en el momento Pre, como después de cada combate. Estos resultados concuerdan con lo reportado en la literatura ya que habitualmente la amplitud del movimiento en el eje AP es mayor que en el ML, siendo además la amplitud de este último inversamente proporcional al tamaño de la base de sustentación (232,528). El control en el eje AP requiere la colaboración de los flexores plantares y dorsales del pie izquierdo y derecho en una posición bípeda (i.e. estrategia de tobillo) (233). Sin embargo, los músculos de la cadera (i.e. estrategia de cadera) son los principales reguladores del movimiento en el eje ML (529). Estas dos estrategias son independientes en la posición bípeda con pies paralelos, y este acoplamiento entre miembros debe ser controlado por el SNC (233). Durante la competición de judo sólo MDISPL presentó diferencias entre momentos y una tendencia al incremento del desplazamiento en ML, manteniéndose AP constante, a medida que avanza la competición. Sin embargo, el desplazamiento y la dispersión medio-lateral sufrió un incremento relativo significativamente mayor que AP, no siendo diferente entre los combates. Estos resultados la fatiga en los grupos musculares de la cadera producida durante cada combate influyó más en la

estabilidad post-combate. En un estudio que comparaba el efecto sobre la estabilidad después de una prueba máxima y submáxima en cicloergómetro del miembro superior e inferior (530) se reportó que sólo cuando se solicitaba la musculatura del miembro inferior en el esfuerzo máximo se registraba un incremento del desplazamiento en el eje ML. Al calcular el tamaño del efecto en el estudio de Melnikov et al (270) podemos observar que estos autores encontraron un tamaño del efecto mayor en la velocidad del desplazamiento medio en el eje AP ( $g = 1,36$ ;  $IC95\% = 0,81$  a  $1,91$ ) que en el eje ML ( $g = 1,06$ ;  $IC95\% = 0,53$  a  $1,6$ ), lo que demuestra que a pesar de que el ejercicio empleado por estos autores tenía características fisiológicas similares, los efectos sobre la estabilidad eran diferentes que los enfrentamientos en judo. Estos resultados confirman la hipótesis de que la implicación de la musculatura de la cadera durante los enfrentamientos en judo es importante, y esto produce un incremento en la inestabilidad en el eje medio-lateral. La fatiga de los músculos proximales degradan en mayor medida el control postural que la fatiga de los músculos distales (240). En efecto, la fatiga de los músculos distales puede ser compensada por la acción de los músculos proximales, lo que es conocido como un cambio de estrategia de tobillo a cadera (531), pero esta reorganización de la coordinación articular puede aumentar el riesgo de lesión al deportista cuando los músculos proximales también se hallan en estado de fatiga y existe una inestabilidad mayor en el plano medio-lateral (221).

Se ha señalado a la habilidad de percibir y adaptarse que poseen los diversos sistemas del organismo, generando respuestas variables

ante un repentino estrés fisiológico, como un indicador de salud (532,533). La variabilidad del desplazamiento del CDP, contrario a ser una señal de inestabilidad, como se pensaba tradicionalmente, es funcionalmente importante para la detección de los límites de la estabilidad (534). Aunque en este trabajo no se ha llevado a cabo un estudio del desplazamiento del CDP en relación con los límites de estabilidad, si se ha calculado un índice de variabilidad a corto plazo para cada eje, la RMSSD (raíz cuadrática media de las sucesivas diferencias entre los desplazamientos). En la Figura 37 se puede observar un efecto del momento de medición ( $p < 0,001$ ) y una variabilidad menor en el eje ML hacia el final de la competición. Por lo tanto, podemos observar que hacia el final de la competición la fatiga producida por la acumulación de combates reduce la variabilidad del desplazamiento del CDP. Se ha sugerido que en una situación donde se alcanzan los requerimientos básicos para mantener la estabilidad postural, como en la situación estática de nuestro estudio, la variabilidad del desplazamiento del CDP señala la actividad exploratoria que realiza el SNC para asegurar los inputs dinámicos que son continuamente enviados por los múltiples sistemas sensoriales (535). Por lo tanto, los resultados del presente estudio indican que hacia el final de la competición puede aumentar el riesgo de lesión de los judocas, ya que esta alteración del control postural puede reducir el número de estrategias motoras disponibles para responder a una amenaza mayor que el simple mantenimiento de la postura en una situación de bipedestación (536). En judo se producen situaciones tanto estáticas como dinámicas, por ello, futuros trabajos deberán abordar el estudio del

efecto de la fatiga específica del combate y la competición de judo sobre la variabilidad en pruebas dinámicas, ya que se ha reportado que no existe relación entre la estabilidad evaluada en una situación estática y en una situación dinámica (537). Existen diversos métodos para expresar la variabilidad del desplazamiento del CDP, pero las medidas tradicionales (i.e. SD del desplazamiento del CDP) han fallado en identificar aspectos fundamentales de la inestabilidad, como permanecer mucho tiempo cerca de los límites de la estabilidad (534). En el presente trabajo se ha empleado la RMSSD, un índice de variabilidad a corto plazo, que se ha reducido por efecto del combate de judo. En cambio, se ha observado un mayor área descrita por el desplazamiento del CDP en una posición de bipedestación que se ha mantenido constante, por lo tanto, un área mayor y una variación menor del desplazamiento indica que el CDP de los judocas estuvo un tiempo mayor muy próximo o en contacto con los límites de estabilidad. Los resultados del presente estudio muestran que la reducción de la variabilidad presentó diferencias entre combates y entre los ejes de desplazamiento evaluados. En valores relativos al Pre, la reducción de la variabilidad en el eje AP fue mayor que la reducción del eje ML. Se ha demostrado que la respiración se sincroniza con el desplazamiento del CDP afectando principalmente al eje AP, especialmente cuando la prueba de estabilidad se realiza con ojos cerrados (538), lo que pudo contribuir a la reducción de la variabilidad en este eje. En cambio, la reducción de la variabilidad en el eje ML puede haberse debido a un aumento de la co-activación de los músculos de la cadera como mecanismo protector

ante una reducción de la rigidez intrínseca (240), producida por la pérdida de fuerza y el aumento de la viscosidad articular (524).

### **7.5.3 Relación entre la estabilidad y las variables fisiológicas**

Los resultados del análisis de las asociaciones entre los valores medios de la estabilidad durante la competición y las variables fisiológicas obtenidas durante y después de los combates de judo, indican que los judocas con mayor concentración de lactato sanguíneo (i.e. valor medio y pico de la media de la competición) post-combate, peor recuperación cardíaca y menor variabilidad de la frecuencia cardíaca en la recuperación, eran los que reportaron un incremento mayor en el área descrita por el CDP. Estos resultados concuerdan con lo sugerido en la literatura donde se ha propuesto que aquel ejercicio que sobrepasa una intensidad equivalente a la del umbral del lactato y que produce una acumulación de metabolitos, afecta de forma importante al control postural (240). Surenkok et al (9) midió la estabilidad estática y dinámica después de un ejercicio de tronco realizado en una máquina isocinética a 60°/s hasta alcanzar una pérdida del torque pico del 25% tanto en flexión como en extensión. Estos autores encontraron una inestabilidad mayor tanto en las pruebas estáticas como dinámicas y un concomitante incremento de los valores de lactato sanguíneo, sin embargo y a diferencia de nuestro estudio no pudieron observar asociaciones entre la estabilidad y el aumento del lactato sanguíneo. Se ha señalado en varios estudios que la presencia de altas concentraciones sanguíneas de lactato y otros

metabolitos pueden contribuir a la inestabilidad después de ejercicios de alta intensidad, deteriorando la información proveniente de los sensores propioceptivos, exteroceptivos y la integración sensorial, y reduciendo la eficiencia muscular (240,530,539). Sin embargo, no se han encontrado trabajos que hayan reportado correlaciones entre estos parámetros. Además, otros “efectos agudos” derivados de la realización de ejercicio, se han sugerido como modificadores potenciales del control postural: la actividad cardíaca y el flujo sanguíneo (540), el exceso consumo de oxígeno post-ejercicio (541), y la frecuencia respiratoria (538,542), además este último factor incrementa especialmente el desplazamiento del CDP si se realiza respiración torácica (543). Todos estos factores se incrementan después del ejercicio, y retornan con mayor o menor velocidad a niveles homeostáticos dependiendo de las características del ejercicio realizado (143,464,467,544). Por lo tanto, el tiempo transcurrido desde la finalización del ejercicio hasta la evaluación de la estabilidad influye en los resultados de la evaluación postural. En el presente estudio la evaluación de la estabilidad se llevó a cabo entre el 2º y el 3er minuto post-combate, por lo que la frecuencia cardíaca era todavía considerablemente mayor que la de reposo (ver sección 5.3.2.2.1). Los judocas que mostraron una deceleración cardíaca más lenta durante los dos primeros minutos post-combate, describieron un área mayor al desplazar su CDP, sin embargo no existió una asociación entre la velocidad del desplazamiento del CDP y la recuperación cardíaca. En el estudio de Melnikov et al (270) se encontró una asociación entre la recuperación cardíaca y la

velocidad lineal del desplazamiento, en cambio la RFC no se asoció al área descrita por el CDP. Del mismo modo que en nuestro estudio, estos autores llevaron a cabo la prueba de evaluación de la estabilidad después de 2 minutos post-ejercicio, las posibles diferencias entre estudios radican en que la posición de medida en el estudio de Melnikov et al (270) era con los talones juntos, y en nuestro estudio los judocas mantenían una separación de los pies en línea con la anchura de las caderas. El área escrita es inversamente proporcional al tamaño de la base de sustentación, de hecho los valores obtenidos en nuestro estudio (C1:  $0,54 \pm 0,62$ ; C2:  $0,75 \pm 0,84$ ; C3:  $0,85 \pm 0,65$ ; C4:  $0,75 \pm 0,66$ ) eran menores que los obtenidos en el estudio de Melnikov et al (270) (valores samboistas después del PWC170:  $1,53 \pm 1,16 \text{ cm}^2$ ). Por lo tanto, puede que la posición adoptada en el estudio mencionado no permitiera diferenciar entre diferentes niveles de recuperación cardíaca post-ejercicio. Existió también una tendencia a la asociación negativa entre la CEA y la actividad autonómica sobre el corazón (i.e. TPrec y HFrec), por lo tanto nuestros resultados confirman que la actividad cardíaca, tal y como señala en su trabajo Conforto et al (540), contribuye al desplazamiento del CDP en situación de bipedestación estática. Algunos autores han señalado la existencia de una relación lineal ( $r^2=0,81$ ) entre el camino recorrido por el CDP y el consumo de oxígeno post-ejercicio tanto en la prueba de estabilidad con ojos cerrados como con ojos abiertos sin mostrar una interacción entre las condiciones (541). También se ha evidenciado que la ventilación influencia de manera importante en la estabilidad en condiciones basales (506,545,546). Y que además,

### 7. Estudio 3. Estudio de la evolución de las variables estabilométricas

las posibles compensaciones que el sistema postural realiza para minimizar el efecto de la perturbación sobre la estabilidad en condiciones basales, son menos efectivas cuando incrementa la ventilación por minuto (240,243,542). El presente estudio no está libre de limitaciones, ya que no se controló el consumo de oxígeno ni la ventilación durante la evaluación de la estabilidad, por lo tanto, no es posible cuantificar la influencia de estas variables sobre nuestras mediciones. Por todo ello, se sugiere que futuros estudios deberán controlar estas variables cuando se desee evaluar el efecto de la realización de un ejercicio sobre la capacidad del control postural, ya que las características de la modalidad realizada influyen sobre la cinética de recuperación del VO<sub>2</sub> (547), y de la recuperación cardíaca (473,548).



## 8 Conclusiones

---

### 8.1 Conclusiones al estudio 1

#### 8.1.1 Conclusiones sobre la evolución de la frecuencia cardiaca y el lactato sanguíneo durante la competición

- Los dos últimos combates mostraron una demanda cardiovascular mayor que el primer combate. Esta demanda se hizo expresa en un mayor  $\%FC_{res}$  en el combate 4 comparado con el combate 1, y en un mayor TRIMP<sub>exp</sub> en el combate 3 comparado con el combate 1.
- El delta del lactato pre-combate respecto al post-combate se redujo hacia el final de la competición lo que demuestra una participación menor de la vía glucolítica a medida que la competición progresa.
- La capacidad de recuperar la homeostasis metabólica mostró diferencias entre combates. Los judocas mostraron una importante reducción de su capacidad de remover lactato en el combate 3.

En general, se concluye que a medida que la competición progresa existe una mayor demanda de las vías aeróbicas tanto para aportar energía durante los combates como para recuperarse de la fatiga que estos producen.

### **8.1.2 Conclusiones sobre el impacto de la competición sobre la modulación autonómica cardíaca**

- Los parámetros en el dominio tiempo y dominio no-lineal no mostraron efecto de la competición. En el dominio frecuencia se encontró un cambio significativo en las potencias de las frecuencias muy bajas y una tendencia en las bajas frecuencias. Estos cambios se interpretan como una posible activación de los mecanismos que regulan los procesos hemodinámicos (i.e. sistema renina-angiotensina y activación barorrefleja) por efecto de la competición, sin embargo futuros estudios deberán corroborar esta hipótesis. Las frecuencias altas y la potencia total no presentaron efecto de la competición.

### **8.1.3 Conclusiones sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante los combates y la recuperación.**

- Existió una participación de la vía aeróbica mayor hacia el final de los combates, constatada por valores mayores de %FC<sub>res</sub> en los 2 minutos finales del combate comparado con los 2 minutos iniciales y los 2 minutos de la recuperación.
- Los índices de la VFC durante los combates y la recuperación presentaron efecto del combate (i.e. LF), de momento (i.e. TP, HF, LF, LF/HF, HFu.n.) e interacción (i.e. HF), sin embargo, la complejidad de la FC sólo reveló

efecto del momento de medición. Existieron diferencias significativas entre el final del combate (i.e. 2FIN) y el resto de momentos en la HF, en el ratio LF/HF, en la HFu.n. y en la ApEn. Estas diferencias podrían tener origen en un incremento marcado de la frecuencia respiratoria en ese momento de los combates. La componente LF se redujo a lo largo de la competición, lo que indica que a medida que la competición progresa existió una perturbación en el SNA.

### **8.1.4 Conclusiones sobre la evolución de la recuperación cardiaca a lo largo de la competición.**

- La recuperación cardiaca en el combate 3 fue significativamente más lenta que en el resto de combates. No todas las variables de la RFC siguieron el mismo patrón. La recuperación cardiaca a corto plazo (i.e. RFC60) y a muy corto plazo (i.e. RFCT30) presentaron diferencias significativas, sin embargo la RFC120 fue similar a lo largo de la competición.

### **8.1.5 Conclusiones sobre la asociación entre las variables fisiológicas y metabólicas durante la competición de judo.**

- Los judocas con mayor complejidad de la FC (i.e. SampEn) en el día de la competición mostraron un mayor incremento de acumulación de lactato durante los combates (i.e.  $\uparrow\Delta LA_{\text{pre-post}}$ ) y una peor RFC y VFC durante la

recuperación. Además, estos deportistas sufrieron una reducción mayor de la complejidad de la FC en la mañana siguiente de la competición.

- Sólo los índices de la VFC durante la recuperación se asociaron de manera moderada a grande con la VFC en reposo. Sin embargo, existieron asociaciones importantes entre la RFC y la VFC durante la recuperación. Estos resultados reflejan que la RFC y la VFC reflejan diferentes aspectos del SNA actuando sobre el nodo sinusal (i.e. modulación versus tono).
- No se encontraron correlaciones entre el promedio de la intensidad cardiovascular (i.e.  $\%FC_{res}$ ) y el promedio del parámetro utilizado para determinar la carga de los combates (i.e. TRIMP<sub>exp</sub>). Tampoco se asociaron los parámetros de recuperación cardiaca (i.e. RFC y VFC) con los índices de carga e intensidad del trabajo cardiovascular. Sin embargo, la RFC<sub>60</sub> y la LF<sub>rec</sub> se asociaron negativamente con el promedio de la acumulación de lactato durante la competición. Se necesitan más estudios utilizando estos parámetros en situaciones de entrenamiento para comprobar si pueden ser una herramienta para poder monitorizar el entrenamiento.

## 8.2 Conclusiones al estudio 2

### 8.2.1 Conclusiones sobre la evolución de las diferentes manifestaciones de fuerza

- Existió una evolución diferente entre las manifestaciones de fuerza del miembro superior e inferior. El miembro superior sufrió de una manera más importante los efectos de la competición. Esta información debe ser tomada en cuenta por entrenadores y fisiólogos a la hora de diseñar entrenamientos que busquen la preparación condicional de los judocas para la competición.
- La dinamometría se vio afectada principalmente en la mano dominante funcional (i.e. tsurite), es decir la que los judocas utilizan para determinar la dirección de las proyecciones.
- La dinamometría de la mano no dominante funcional (i.e. hikite) no sufrió cambios a largo de la competición, lo que indica que el tiempo de recuperación de 10 minutos sí era suficiente para la recuperación de las posibilidades de fuerza de los músculos del antebrazo de esta mano.
- En el presente trabajo se obtuvieron, en comparación con el Pre, descensos de entre 5% y 8% en la DMD y prácticamente fluctuó un 1% por encima y por debajo de la medición Pre sin alcanzar significación en la DMND.
- La competición de judo produjo una ligera respuesta fluctuante sobre las variables de rendimiento del CMJ. La

mayoría de las variables mostraron un incremento del rendimiento respecto a la medición Pre en los primeros combates, observándose una ligera (i.e. altura,  $V_{\max}$ ,  $TDF_{\text{med}}$ ,  $TDP_{\text{exc}}$ ), moderada (i.e.  $\downarrow F_{\max}$ ,  $\uparrow TF_{\max}$ ,  $\downarrow TDF_{\text{seg+}}$ ) y gran (i.e.  $\downarrow TDF_{0-200}$ ) reducción del rendimiento en los dos últimos, y especialmente en el último combate.

- La altura del CMJ se redujo hasta un 4% y la fuerza máxima hasta un 7% en el último combate, sin embargo la potencia máxima se mantuvo durante la competición.
- La competición de judo afectó drásticamente y produjo una reducción prácticamente lineal en la producción máxima de fuerza (i.e.  $\downarrow PIF = -8\%$  a  $-16\%$  en  $iT^*TP90$  y entre  $-3\%$  a  $-14\%$  en  $iETS90$ ), en la resistencia de la fuerza isométrica (i.e.  $\downarrow IMPIF = -8\%$  a  $-21\%$  en  $iT^*TP90$  y entre  $-4\%$  a  $-17\%$  en  $iETS90$ ), y un efecto menor en la tasa de desarrollo de fuerza (i.e.  $iTDF_{\text{med}} = -15$  a  $+22$  en  $iT^*TP90$  y entre  $-15$  a  $+22$  en  $iETS90$ ) tanto en el la  $iT^*TP90$  como en la  $iETS90$ .
- La variabilidad de la curva de fuerza aumentó significativamente en el ejercicio de empuje, alcanzando efectos grandes en los combates 2 y 3. Sin embargo, no existió un aumento significativo de la variabilidad en la curva de fuerza de la tracción isométrica. La sentadilla isométrica no presentó diferencias significativas con la medición pre-combate ni tampoco entre los combates.

### 8.2.2 Conclusiones sobre la asociación entre las diferentes manifestaciones de fuerza

- La evolución de los delta porcentuales de las diferentes variables que explican el rendimiento del CMJ no siguió el mismo patrón, lo que indica que a la hora de valorar el CMJ con el objetivo de evaluar el rendimiento después de tareas específicas de judo o para monitorizar el entrenamiento se debería utilizar además de la altura del salto, la  $F_{\max}$  y la  $TDP_{\text{exc}}$ .
- El delta porcentual de las variables que expresan el rendimiento de la fuerza aplicada en la iS135 (i.e. PIF,  $TDF_{0-100}$ ,  $TDF_{0-200}$ ,  $TDF_{0-300}$ ) presentaron asociaciones fuertes con el delta porcentual de las variables que expresan el rendimiento en el CMJ (i.e. la altura, la  $P_{\max}$ , la  $V_{\max}$ , la  $TDF_{\max}$ ,  $TDF_{\text{med}}$  y  $TDF_{\text{seg+}}$ ). Estas asociaciones tuvieron una varianza común de entre el 27% y el 57%, lo que significa que los judocas que mantuvieron sus posibilidades de fuerza isométrica a lo largo de la competición, también mantuvieron su rendimiento en el salto vertical. Estos resultados confirman el papel fundamental que juega el entrenamiento de la fuerza máxima y fuerza explosiva con cargas altas en el rendimiento en la competición en judo.

### 8.2.3 Conclusiones sobre la asociación entre las manifestaciones de fuerza evaluadas y las variables fisiológicas y metabólicas

- Los deltas porcentuales de las variables del CMJ (esp.  $F_{\max}$  y  $TDP_{\text{exc}}$ ), de la  $i\text{TPP90}$  (esp. la  $\text{IMPIF}$  y las  $\text{TDF}_{0-100, 200, 300}$ ) y de la  $i\text{S135}$  (esp.  $\text{PIF}$ ,  $\text{IMPIF}$  y las  $i\text{TDF}_{0-100, 200, 300}$ ) se relacionaron negativamente con los deltas porcentuales de algunas variables fisiológicas (i.e.  $\text{FC}$ ,  $\text{TRIMP}_{\text{exp}}$ ) y metabólicas (i.e.  $\text{LA}$ ,  $\Delta\text{LA}_{\text{pre-post}}$ ), y positivamente con la mayoría de las variables fisiológicas de la recuperación (i.e.  $\text{RFC60}$ ,  $\text{RFC120}$  y las variables de la  $\text{VFC}_{\text{rec}}$ ).
- La  $\text{DMD}$  presentó asociación positiva con la  $\text{RFC120}$  y la potencia de la banda  $\text{LF}$  durante la recuperación. Además, la  $\text{DMND}$  se relacionó positivamente con la  $\text{RFC60}$ .
- Sin embargo, no hubo asociaciones destacables entre el rendimiento en la  $i\text{ETS90}$  y las variables fisiológicas y metabólicas evaluadas.

### 8.3 Conclusiones al estudio 3

#### 8.3.1 Conclusiones sobre la evolución de los parámetros estabilométricos a lo largo de la competición

- Los combates de judo produjeron un aumento significativo de la velocidad y del área del desplazamiento del CDP respecto a Pre, sin diferencias significativas entre los combates en las variables 2D.
- Además, existieron cambios porcentuales grandes ( $g > 0,8$ ) cuando el efecto del combate se expresa en porcentaje de la evaluación al inicio de la competición de cada judoca (MVEL, de 22% a 36%; CEA95% de 43% a 110%), lo que supone una importante significación práctica.
- El desplazamiento medio del CDP y la dispersión de su posición fue mayor en la dirección antero-posterior en valores absolutos, mostrándose una tendencia a un aumento mayor del desplazamiento en la dirección medio-lateral a medida que avanza la competición. En término relativos a la evaluación inicial, el desplazamiento del CDP, y sobretodo la dispersión de su posición, fue mayor en el eje medio-lateral.
- La variabilidad del desplazamiento del CDP se redujo por efecto de los combates en especial al final de la competición (i.e. Post3 y Post4).

### **8.3.2 Conclusiones sobre la asociación de la estabilidad con las variables fisiológicas y metabólicas.**

- Los parámetros estabilométricos bidimensionales y unidimensionales se relacionaron significativamente con una mayor lactacidemia post-combate, una peor recuperación cardíaca y una menor variabilidad de la frecuencia cardíaca en la recuperación.

## 9 Bibliografía

---

1. Knicker AJ, Renshaw I, Oldham AR, Cairns SP. Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. *Sports Medicine*. 2011. p. 307–28.
2. Vøllestad NK. Measurement of human muscle fatigue. *J Neurosci Methods*. 1997 Jun;74(2):219–27.
3. Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*. 2008 Jan 1;586(1):11–23.
4. Noakes TD. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. *Front Physiol*. 2012;3 APR(April):1–13.
5. Brooks GA. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? *J Physiol*. 2001 Oct;536(1):1–1.
6. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2000;10(3):123–45.
7. Westerblad H, Allen D, Lännergren J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *Physiology*. 2002;17:17–21.
8. Allen D, Lamb G, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*. 2008;88:287–332.
9. Surenkok O, Kin-Isler A, Aytar A, Gültekin Z. Effect of trunk-muscle fatigue and lactic acid accumulation on balance in healthy subjects. *J Sport Rehabil*. 2008;17(4):380–6.
10. Méndez-Villanueva A, Bishop D. Mecanismos de fatiga neuromuscular en humanos. In: Izquierdo M, editor. *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid (Spain): Editorial Médica Panamericana; 2008. p. 645–62.
11. Gladden LB. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol*. 2004 Jul 1;558(Pt 1):5–30.
12. Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue. *Sports Med*. 2009 Jan;39(5):389–422.
13. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*. 2001;81(4):1725–89.
14. Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*. 1992;72(5):1631–48.
15. Izquierdo M, Ibanez J, Calbet J, González-Izal M, Navarro-Amézqueta I, Granados C, et al. Neuromuscular fatigue after resistance training. *Int J Sports Med*. 2009;30(8):614–23.
16. Bridge C, Santos J da S, Chaabène H. Physical and Physiological

- Profiles of Taekwondo Athletes. *Sport Med.* 2014;
- technical/tactical behavior in view of the results of judo fights. *Arch Budo.* 2010;6(4):173–7.
17. Franchini E, Vecchio F, Matsushigue KA, Artioli GG. Physiological profiles of elite judo athletes. *Sport Med.* 2011;41(2):147–66.
  18. Herrera T, Cancino J, Franchini E, Henríquez-Olguín C, Aedo E. Physiological and physical profile of taekwondo athletes of different age categories during simulated combat. *J martial arts Anthropol.* 2014;14(2):36–40.
  19. García-Pallarés J, López-Gullón JM, Muriel X, Díaz A, Izquierdo M. Physical fitness factors to predict male Olympic wrestling performance. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:1747–58.
  20. Lech G, Jaworski J, Lyakh V, Krawczyk R. Effect of the Level of Coordinated Motor Abilities on Performance in Junior Judokas. *Journal of Human Kinetics.* 2011. p. 153–60.
  21. Mikheev M, Mohr C, Afanasiev S, Landis T, Thut G. Motor control and cerebral hemispheric specialization in highly qualified judo wrestlers. *Neuropsychologia.* 2002;40:1209–19.
  22. Casolino E, Lupo C, Cortis C, Chiodo S, Mingati C, Capranica L, et al. Technical and tactical analysis of youth taekwondo performance. *J Strength Cond Res.* 2012;26(6):1489–95.
  23. Sterkowicz S, Lech G, Blecharz J. Effects of laterality on the
  24. Dopico-Calvo X, Iglesias-Soler E, Carballeira-Fernández E. Classification of judo motor skills: tactical and motor criteria approach. *Arch Budo Sci Martial Arts Extrem Sport.* 2014;10.
  25. Tabben M, Chaouachi A, Mahfoudhi M, Aloui A, Habacha H, Tourny C, et al. Physical and physiological characteristics of high-level combat sport athletes. *J Combat Sport Martial Arts.* 2014 Oct 28;5(1):1–5.
  26. Castarlenas JL, Planas A. Estudio de la estructura temporal del combate de judo. *Apunt Educ Física y Deport.* 1997;(47):32–9.
  27. International Judo Federation. IJF Refereeing rules [Internet]. 2014. p. 48. Available from: [http://www.intjudo.eu/Rules/IJF\\_Referee\\_Rules](http://www.intjudo.eu/Rules/IJF_Referee_Rules)
  28. Carballeira-Fernández E, Iglesias-Soler E. Acute effects of judo confrontation: multiparametric analysis. *Mot Eur J Hum Mov.* 2007;19:117–44.
  29. Iglesias-Soler E, Clavel I, Dopico-Calvo X, Tuimil JL. Efecto agudo del esfuerzo específico de judo sobre diferentes manifestaciones de la fuerza y su relación con la frecuencia cardíaca alcanzada durante el enfrentamiento. *RendimientoDeportivo.com.* 2003;(6).

## 9. Bibliografía

30. Franchini E, Brito CJ, Fukuda DH, Artioli GG. The physiology of judo-specific training modalities. *J Strength Cond Res.* 2014 May;28(5):1474–81.
31. Bonitch-Domínguez J, Bonitch-Góngora J, Padial P, Feriche B. Changes in peak leg power induced by successive judo bouts and their relationship to lactate production. *J Sports Sci.* 2010 Dec;28(14):1527–34.
32. Bonitch-Góngora JG, Bonitch-Domínguez JG, Padial P, Feriche B. The effect of lactate concentration on the handgrip strength during judo bouts. *J Strength Cond Res.* 2012 Jul;26(7):1863–71.
33. Detanico D, Pupo JD, Franchini E, dos Santos SG. Effects of Successive Judo Matches on Fatigue and Muscle Damage Markers. *J Strength Cond Res.* 2015;29(4):1010–6.
34. Kraemer WJ, Fry a C, Rubin MR, Triplett-McBride T, Gordon SE, Koziris LP, et al. Physiological and performance responses to tournament wrestling. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Aug;33(8):1367–78.
35. Muramatsu S, Hattori Y, Muramatsu T, Saito H, Horyiaasu T. Changes of peak power during a bout of intermittent anaerobic exercise repeated as the time of the last World Championship of Judo Game. *Bulletin of the Association for the Scientific Studies on Judo, Kodokan, Report VIII, Tokyo, Japan.* 1999. p. 1–9.
36. Franchini E, de Moraes Bertuzzi RC, Takito MY, Kiss M a PDM. Effects of recovery type after a judo match on blood lactate and performance in specific and non-specific judo tasks. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Nov;107(4):377–83.
37. Callister R, Callister R, Staron R, Fleck S, Tesch P, Dudley G. Physiological characteristics of elite judo athletes. *Int J Sports Med.* 1991;12(2):196–203.
38. Ebine K, Yoneda I, Hase H, Aihara K. Physiological characteristics of exercise and findings of laboratory tests in Japanese elite judo athletes. *Médecine du Sport.* 1991;65:73–9.
39. Mirzaei B, Curby D, Rahmani-Nia F, Moghadasi M. Physiological profile of elite Iranian junior freestyle wrestlers. *J Strength Cond Res.* 2009;0(0):1–6.
40. Sbriccoli P, Bazzucchi I, Di Mario A, Marzattinocci G, Felici F. Assessment of maximal cardiorespiratory performance and muscle power in the Italian Olympic judoka. *J Strength Cond Res.* 2007;21(3):738–44.
41. Sharp N, Koutedakis Y. Anaerobic power and capacity measurements of the upper body in elite judo players, gymnasts and rowers. *Aust J Sci Med Sport.* 1987;19(3):9–13.
42. Thomas P, Goubeault C, Beau M, Brandet J. Test d'évaluation au judo dérivé du test de Léger-Mercier. *Médecine du Sport.* 1989;63(6):286–8.

43. Borkowski L, Faff J, Starczewska-Czapowska J. Evaluation of the aerobic and anaerobic fitness in judoists from the Polish national team. *Biol Sport*. 2001;18:107–11.
44. Franchini E, Nunes A, Moraes J, Del Vecchio F. Physical Fitness and Anthropometrical Profile of the Brazilian Male Judo Team. *J Physiol Anthropol*. 2007;26(2):59–67.
45. Kim J, Lee N, Trilk J, Kim E, Kim S. Effects of Sprint Interval Training on Elite Judoists. *Int J Sports Med*. 2011;32:929–34.
46. Almansba R, Sterkowicz S, Belkacem R, Sterkowicz-Przybycien K, Mahdad D. Anthropometrical and physiological profiles of the Algerian Olympic judoists. *Arch Budo*. 2010;6(4):185–93.
47. Little N. Physical performance attributes of junior and senior women, juvenile, junior, and senior men judokas. *J Sports Med Phys Fitness*. 1991 Dec;31(4):510–20.
48. Gorostiaga EM. Coste energético del combate de Judo. *Apunt Med l'Esport*. 1988;25:135–9.
49. Marcon G, Franchini E, Jardim JR, Neto TLB. Structural analysis of action and time in sports: judo. *J Quant Anal Sport*. 2010;6:1–15.
50. Miarka B, Panissa VLG, Julio UF, Del Vecchio FB, Calmet M, Franchini E. A comparison of time-motion performance between age groups in judo matches. *J Sports Sci*. 2012 May;30(9):899–905.
51. Monteiro L. Estrutura e custo energético do combate de judôcombats de judo. Proceedings of IV Congresso de Educação Física e Ciências do Desporto dos Países de Língua Portuguesa. Coimbra: Universidade de Coimbra; 1995. p. 18–21, p.3.
52. Sikorski W. Identification of judo contest from physiological viewpoint. *J Comb Sport Mar Arts*. 2010;1(2):115–8.
53. Sikorski W, Mickiewicz G, Majle B, Laksa C. Structure of the contest and work capacity of the judoist. In: European Judo Union, editor. Proceedings of International Congress on Judo Contemporary problems of training and judo contest. Spala, Poland: European Judo Union; 1987. p. 58–65.
54. Sanchís C, Suay F, Salvador A, Llorca J, Moro M. Una experiencia en la valoración fisiológica competición de judo. *Apunts*. 1991;18:51–8.
55. Serrano M, Salvador A, González-Bono E, Sanchís C, Suay F. Relationships between recall of perceived exertion and blood lactate concentration in a judo competition. *Percept Mot Skills*. 2001;92:1139–48.
56. Hernandez García R, Torres Luque G. Análisis temporal del combate de judo en competición. *Rev Int Med y Ciencias la Act F<sup>3</sup>ísica y del Deport*. 2007;1987(25):6.

## 9. Bibliografía

57. Franchini E, Artioli GG, Brito CJ. Judo combat: time-motion analysis and physiology. *Int J Perform Anal Sport*. 2013;13:624–41.
58. Ahmaidi S, Calmet S, Portero P, Lantz D, Vat W, Libert JP. Bioenergetique et echanges cardiorespiratoires lors de deux situations de combat en judo et en kendo. *STAPS Rev des Sci Tech des Act Phys Sport*. 1997;18(44):7–18.
59. Arruza Gabilondo J, Alzate Saez de Heredia R, Gárate V. Esfuerzo percibido y frecuencia cardiaca: el control de la intensidad entrenamiento de judo. *Rev Psicol del Deport*. 1996;29–40.
60. Bracht V, Moreira N, Umeda O. Efeito de lutas sucessivas sobre o nível de ácido láctico sanguíneo de judocas. *Rev Educ Física/UEM*. 1982;3(6):25–8.
61. Degoutte F, Jouanel P, Filaire E. Energy demands during a judo match and recovery. *Br J Sports Med*. 2003 Jun 1;37(3):245–9.
62. Franchini E, Takito M, Lima J, Haddad S, Kiss M, Regazzini M, et al. Características fisiológicas em testes laboratoriais e resposta da concentração de lactato sanguíneo em três lutas em judocas das classes juvenil-a, júnior e sênior. *Rev Paul Educ Física*. 1998;12(1):5–16.
63. Iglesias-Soler E, Calvo X, Clavel I, Tuimil JL. Análisis de la asociación entre frecuencia cardiaca y modificaciones de la capacidad para manifestar fuerza, en la situación competitiva de judo. II Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte. 2001.
64. Blais L, Trilles F, Lacouture P. Validation of a specific machine to the strength training of judokas. *J Strength Cond Res*. 2007;21(2):409–12.
65. Finaud J, Degoutte F, Scislawski V, Rouveix M, Durand D, Filaire E. Competition and food restriction effects on oxidative stress in judo. *Int J Sports Med*. 2006 Oct;27(10):834–41.
66. Franchini E, Sterkowicz S, Szmatlan-Gabrys U, Gabrys T, Garnys M. Energy system contributions to the special judo fitness test. *Int J Sports Physiol Perform*. 2011 Sep;6(3):334–43.
67. Franchini E, Bertuzzi R, Degaki E, Mello F, Fiebig E, Silva W. Energy Expenditure in Different Judo Throwing Techniques. In: Yong J, Hong Y-L, Sun J-H, editors. *Proceedings of 2008 Joint International Pre-Olympic Conference on Sports Science and Sports Engineering*. Liverpool: World Academic Union; 2008. p. 55–60.
68. Laskowski R, Kujach S, Smaruj M, Grzywacz T, Luszczuk M, Marek A, et al. Lactate concentration during one-day male judo competition: A case study. *Arch Budo*. 2012;8(1):51–7.
69. Bonitch-Góngora J, Ramirez J, Femia P, Feriche B, Padial P. Validating the relation between

- heart rate and perceived exertion in a judo competition. *Med Dello Sport*. 2005;58(1):23–8.
70. Ahmaidi S, Portero P, Calmet M, Lantz D, Vat W, Libert JP. Oxygen uptake and cardiorespiratory responses during selected fighting techniques in judo and kendo. *Sport Med Train Rehabil*. Taylor & Francis; 1999 Jan;9(2):129–39.
71. Iglesias-Soler E, Calvo X, Clavel I, Tuimil JL. La frecuencia cardiaca a lo largo del combate de judo: análisis de los porcentajes de frecuencia cardiaca máxima y de reserva a lo largo de los diferentes minutos de enfrentamiento. II Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte. 2001. p. 9.
72. Tomlin DL, Wenger H a. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med*. 2001 Jan;31(1):1–11.
73. Thomas S, Cox M, LeGal Y, Verde T, Smith H. Physiological profiles of the Canadian National Judo Team. *Can J Sport Sci*. 1989;14(3):142–7.
74. Kim J, Cho H, Jung H, Yoon J. Influence of performance level on anaerobic power and body composition in elite male judoists. *J Strength Cond Res*. 2011;25(5):1346–54.
75. Bonitch-Domínguez J, Bonitch-Góngora J, Padiál P, Feriche B. Changes in peak leg power induced by successive judo bouts and their relationship to lactate production. *J Sports Sci*. 2010 Dec;28(14):1527–34.
76. Degoutte F, Jouanel P, Bègue RJ, Colombier M, Lac G, Pequignot JM, et al. Food restriction, performance, biochemical, psychological, and endocrine changes in judo athletes. *Int J Sports Med*. 2006 Jan;27(1):9–18.
77. Suay F, Salvador A, González-Bono E, Sanchís C, Martínez M, Martínez-Sanchís S, et al. Effects of competition and its outcome on serum testosterone, cortisol and prolactin. *Psychoneuroendocrinology*. 1999;24:551–66.
78. Obminski Z, Borkowski L, Starczewska-Czapowska J. Capillary blood lactate levels after judo matches in male and female competitors. Gender related differences. *Med Sport*. 2008;3(6):171–6.
79. Majeau H, Gaillat M. Étude de l'acide lactique sanguin chez le judoka en fonction des méthodes d'entraînement. *Médecine du Sport*. 1986;60:194–7.
80. Tumilty D, Hahn A, Telford R. A physiological profile of well-trained male judo players with proposals for training. EXCEL. 1986;
81. Di Prampero PE, Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*. 1999 Dec 1;118(2-3):103–15.

## 9. Bibliografía

82. Degoutte F, Jouanel P, Filaire E. Solicitation of protein metabolism during a judo match and recovery. *Sci Sports*. 2004 Feb;19(1):28–33.
83. Carballeira-Fernández E, Iglesias-Soler E, Dopico-Calvo X. Analysis of the acute effects of confrontation in judo, through the studying of the association between metabolic and mechanical parameters. *Fit Perform J*. 2008 Jul 1;7(4):229–38.
84. Franchini E, Takito MY, Bertuzzi RC. Morphological, physiological and technical variables in high-level college judoist. *Arch Budo*. 2005;1:1–7.
85. Franchini E, Takito M, Nakamura F, Matsushige K, Kiss M. Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003;43:424–31.
86. Messonnier L, Emhoff C-AW, Fattor J a, Horning M a, Carlson TJ, Brooks GA. Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. *J Appl Physiol*. 2013 Apr 4;(April):1593–602.
87. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*. 2003 Jan;33(7):517–38.
88. Åstrand P, Rodahl K. Textbook of work physiology. Physiological bases of. New York: McGraw Hill; 1986.
89. Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del deporte. 5th ed. Editorial Paidotribo; 2007. 688 p.
90. Baudry S, Roux P. Specific circuit training in young judokas: effects of rest duration. *Res Q Exerc Sport*. 2009 Jun;80(2):146–52.
91. Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vanni R, Pizzini G, Veicsteinas A. Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2004 Oct;93(1-2):167–72.
92. Branco B, Massaça L, Andreato I, Marinho B, Miarka B, Monteiro L, et al. Association between Rate of Perceived Exertion, Heart Rate and Blood Lactate in Successive Judo Fights (Randori). *Asian J Sports Med*. 2013;4(x):2–7.
93. Mann T, Lamberts RP, Lambert MI. Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports Med*. 2013 Jul;43(7):613–25.
94. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *Eur J Appl Physiol*. 2010 Feb;108(3):435–42.
95. Banister EW. Modeling Elite Athletic Performance. *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*. 1991. p. 403–24.
96. Tabben M, Sioud R, Haddad M, Franchini E, Chaouachi A, Coquart

- J, et al. Physiological and perceived exertion responses during international karate kumite competition. *Asian J Sports Med.* 2013;4(4):263–71.
97. Borresen J, Lambert MI. Autonomic Control of Heart Rate during and after Exercise Training Status. *Sport Med.* 2008;38(8):633–46.
98. Buchheit M, Duché P, Laursen PB, Ratel S. Postexercise heart rate recovery in children: relationship with power output, blood pH, and lactate. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2010 Apr;35(2):142–50.
99. Daanen HAM, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NLU. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012 Sep;7(3):251–60.
100. Peçanha T, Prodel E, Bartels R, Nasario-Junior O, Paula RB, Silva LP, et al. 24-h Cardiac Autonomic Profile after Exercise in Sedentary Subjects. *Int J Sports Med.* 2013 Aug 2;
101. Plews DJ, Laursen PB, Meur Y Le, Hausswirth C, Kilding AE, Buchheit M. Monitoring training with heart rate variability: How much compliance is needed for valid assessment? *Int J Sports Physiol Perform.* 2013 Dec 11;
102. Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac Parasympathetic Reactivation Following Exercise: Implications for Training Prescription. *Sports Med.* 2013 Aug 3;1–20.
103. Basnayake SD, Green AL, Paterson DJ. Mapping the central neurocircuitry that integrates the cardiovascular response to exercise in humans. *Exp Physiol.* 2012 Jan;97(1):29–38.
104. Hejmel L, Gál I. Heart rate variability analysis. *Acta Physiol Hung.* 2001 Jan;88(3-4):219–30.
105. Pumprla J, Howorka K, Groves D, Chester M, Nolan J. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *Int J Cardiol.* 2002 Jul;84(1):1–14.
106. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med.* 2003 Jan;33(12):889–919.
107. Chen JL, Yeh DP, Lee JP, Chen CY, Huang CY, Lee SD, et al. Parasympathetic Nervous Activity Mirrors Recovery Status in Weightlifting Performance After Training. *J Strength Cond Res.* 2011;1546–52.
108. Smith S a, Mitchell JH, Garry MG. The mammalian exercise pressor reflex in health and disease. *Exp Physiol.* 2006 Jan;91(1):89–102.
109. Costa MD, Schnettler WT, Amorim-Costa C, Bernardes J, Costa A, Goldberger AL, et al. Complexity-loss in fetal heart rate dynamics during labor as a potential biomarker of acidemia. *Early Hum Dev.* Elsevier Ltd; 2014 Jan;90(1):67–71.

## 9. Bibliografia

110. Wallot S, Fusaroli R, Tylén K, Jegindø E-M. Using complexity metrics with R-R intervals and BPM heart rate measures. *Front Physiol.* 2013 Jan;4(August):211.
111. Voss A, Schulz S, Schroeder R, Baumert M, Caminal P. Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2009 Jan 28;367(1887):277–96.
112. Blasco-Lafarga C, Martínez-Navarro I, Mateo-March M. Is Baseline Cardiac Autonomic Modulation Related to Performance and Physiological Responses Following a Supramaximal Judo Test? Lucia A, editor. *PLoS One.* 2013 Oct 18;8(10):e78584.
113. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res.* 2002 Aug;35(8):991–1000.
114. Pichon AP, De Bisschop C, Roulaud M, Denjean A, Papelier Y. Spectral Analysis of Heart Rate Variability during Exercise in Trained Subjects. *Med Sci Sport Exerc.* 2004 Oct;36(10):1702–8.
115. White D, Raven P. Autonomic Neural Control of Heart Rate during Dynamic Exercise: Revisited. *J Physiol.* 2014;1–34.
116. Arai Y, Saul JP, Albrecht P, Hartley LH, Lilly LS, Cohen RJ, et al. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am J Physiol.* 1989 Jan;256(1 Pt 2):H132–41.
117. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Takala TE, Seppänen T, Huikuri H V. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol.* 1996 Jul;271(1 Pt 2):H244–52.
118. Billman GE. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Front Physiol.* 2013 Jan;4(February):26.
119. McIlveen S a, Hayes SG, Kaufman MP. Both central command and exercise pressor reflex reset carotid sinus baroreflex. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2001 Apr;280(4):H1454–63.
120. Rowell L, O'Leary D. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol.* 1990;69:407–18.
121. Ogoh S, Wasmund WL, Keller DM, Yurvatia O-, Gallagher KM, Mitchell JH, et al. Role of central command in carotid baroreflex resetting in humans during static exercise. *J Physiol.* 2002 Jun 21;543(1):349–64.
122. Williamson JW. The relevance of central command for the neural cardiovascular control of exercise. *Exp Physiol.* 2010 Dec;95(11):1043–8.
123. Mourot L, Fabre N, Savoldelli A, Schena F. Second Ventilatory Threshold From Heart Rate Variability: Valid When the Upper

- Body is Involved? *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;
124. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sport Exerc.* 2007 Aug;39(8):1366–73.
125. Cottin F, Durbin F, Papelier Y. Heart rate variability during cycloergometric exercise or judo wrestling eliciting the same heart rate level. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Mar;91(2-3):177–84.
126. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* Elsevier; 1994;24(6):1529–35.
127. Kannankeril PJ, Le FK, Kadish AH, Goldberger J. Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise. *J Investig Med.* Slack; 2004;52(6):394–401.
128. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med.* 1999 Oct 28;341(18):1351–7.
129. Goldberger J, Le FK, Lahiri M, Kannankeril PJ, Ng J, Kadish AH. Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2006 Jun;290(6):H2446–52.
130. Pierpont GL, Stolpman DR, Gornick CC. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *J Auton Nerv Syst.* Elsevier; 2000;80(3):169–74.
131. Borresen J, Lambert MI. Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *Eur J Appl Physiol.* 2007 Nov;101(4):503–11.
132. Buchheit M, Laursen PB, Ahmaidi S. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007 Jul;293(1):H133–41.
133. Martinmäki K, Häkkinen K, Mikkola J, Rusko H. Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Oct;104(3):541–8.
134. Miyamoto T, Kawada T, Takaki H, Inagaki M, Yanagiya Y, Jin Y, et al. High plasma norepinephrine attenuates the dynamic heart rate response to vagal stimulation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2003 Jun;284(6):H2412–8.
135. Kaikkonen P, Rusko H, Martinmäki K. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scand J Med Sci Sports.* 2008 Aug;18(4):511–9.
136. Martinmäki K, Rusko H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high

## 9. Bibliografia

- intensity exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Feb;102(3):353–60.
137. Borresen J, Lambert MI. Autonomic control of heart rate during and after exercise. Measurements and implications for monitoring training status. *Sport Med.* 2008;38(8):633–46.
138. Buchheit M, Gindre C. Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Hear Circ Physiol.* 2006;291:H451–8.
139. Casties J, Mottet D, Le Gallais D. Non-linear analyses of heart rate variability during heavy exercise and recovery in cyclists. *Int J Sports Med.* 2006 Oct;27(10):780–5.
140. Cottin F, Médigue C, Lepretre P-M, Papelier Y, Koralsztein J-P, Billat V. Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. *Med Sci Sport Exerc.* 2004 Apr;36(4):594–600.
141. Heffernan KS, Kelly EE, Collier SR, Fernhall B. Cardiac autonomic modulation during recovery from acute endurance versus resistance exercise. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2006 Feb;13(1):80–6.
142. Iellamo F. Neural mechanisms of cardiovascular regulation during exercise. *Auton Neurosci.* Elsevier; 2001;90(1):66–75.
143. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Mar;112(3):829–38.
144. Kaikkonen P, Nummela A, Rusko H. Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *Eur J Appl Physiol.* 2007 Dec;102(1):79–86.
145. Ng J, Sundaram S, Kadish AH, Goldberger J. Autonomic effects on the spectral analysis of heart rate variability after exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2009 Oct;297(4):H1421–8.
146. Raven PB, Fadel PJ, Ogoh S. Arterial baroreflex resetting during exercise: a current perspective. *Exp Physiol.* 2006 Jan;91(1):37–49.
147. Sandercock GR, Brodie D. The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2006 Oct;16(5):302–13.
148. Shin K, Minamitani H, Onishi S, Yamazaki H, Lee M. The power spectral analysis of heart rate variability in athletes during dynamic exercise—Part II. *Clin Cardiol.* Wiley Online Library; 1995;18(11):664–8.
149. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri H V. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol.* 1998 Feb;274(2 Pt 2):H424–9.
150. Buchheit M, Chivot A, Parouty J, Mercier D, Al Haddad H, Laursen

- PB, et al. Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur J Appl Physiol.* 2010 Apr;108(6):1153–67.
151. Dixon EM, Kamath M V, McCartney N, Fallen EL. Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Cardiovascular Research.* 1992. p. 713–9.
152. Millar PJ, MacDonald MJ, Bray SR, McCartney N. Isometric handgrip exercise improves acute neurocardiac regulation. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Nov;107(5):509–15.
153. Mourot L, Bouhaddi M, Tordi N, Rouillon JD, Regnard J. Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *Eur J Appl Physiol.* Springer; 2004;92(4):508–17.
154. Blain G, Meste O, Blain A, Bermon S. Heart rate variability in elite American track-and-field athletes. *Am J Physiol Circ Physiol.* Am Physiological Soc; 2007 May;21(1):H1651.
155. Gabor D. Theory of communication. *Proc Inst Electr Eng.* 1946;93:429–57.
156. Franchini E, Sterkowicz S, Meira CMJ, Gomes FRF, Tani G. Technical variation in a sample of high level judo players. *Percept Mot Skills.* 2008 Jun;106(3):859–69.
157. Blais L, Trilles F, Lacouture P. Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoï Nage). *J Sports Sci.* 2007 Sep;25(11):1211–20.
158. Montero-Carretero C, López-Elvira JL. Impacto producido por la técnica seoï-otoshi. Relación con años de práctica y grado en judo. *Rev Artes Marciales Asiáticas.* 2014;9(1):32 – .
159. González-Badillo JJ, Ribas Serna J. Bases de la programación del entrenamiento de la fuerza. Inde, editor. Barcelona; 2002. 366 p.
160. Schmidt R, Lee T. Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis. 5th ed. Champaign, editor. Human Kinetics. Human Kinetics Publishers; 2011. 592 p.
161. Imamura R, Hreljac A, Escamilla RF, Edwards WB. A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *J Sport Sci Med.* 2006;122–31.
162. Miarka B, Branco BHM, Vecchio FBD, Camey S, Franchini E. Development and validation of a time-motion judo combat model based on the Markovian Processes . *Int J Perform Anal Sport.* 2015;15:315–31.
163. Calmet M, Miarka B, Franchini E. Modeling of grasps in judo contests. *Int J Perform Anal Sport.* 2010;10(3):229–40.

## 9. Bibliografía

164. Margnes E, Paillard T. Teaching balance for judo practitioner. *J martial arts Anthropol.* 2011;11(1):42–6.
165. Franchini E, Takito M, Kiss M, Sterkowicz S. Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biol Sport.* 2005;22(4):315–28.
166. Franchini E, Miarka B, Matheus L, Del Vecchio F. Endurance in judogi grip strength tests: comparison between elite and non-elite judo players. *Arch Budo.* 2011;7(1):1–4.
167. Miarka B, Panissa VLG, Julio UF, Del Vecchio FB, Calmet M, Franchini E. A comparison of time-motion performance between age groups in judo matches. *J Sports Sci.* Routledge; 2012;30(9):899–905.
168. Iwai K, Okada T, Nakazato K, Fujimoto H, Yamamoto Y, Nakajima H. Sport-specific characteristics of trunk muscles in collegiate wrestlers and judokas. *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):350–8.
169. Krstulović S, Zuvela F, Katić R. Biomotor systems in elite junior judoists. *Coll Antropol.* 2006;30(4):845–51.
170. Artioli GG, Franchini E, Nicastro H, Sterkowicz S, Solis MY, Lancha AH. The need of a weight management control program in judo: a proposal based on the successful case of wrestling. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7(1):15.
171. Harrison A, Moody J, Thompson K. Judo. In: Winter E, Jones A, Davison R, Bromley P, Mercer T, editors. *Sport and exercise physiology testing guidelines.* 1st ed. Routledge Ltd. Taylor & Francis Group; 2006. p. 272.
172. Sterkowicz S, Lech G, Chwala W, Ambrozy T, Jaworski J, Klys A. Muscle strength in young judo contestants vs. untrained subjects. *Arch Budo.* 2011;7(3):179–84.
173. Ghrairi M, Hammouda O, Malliaropoulos N. Muscular strength profile in Tunisian male national judo team. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2014 Apr;4(2):149–53.
174. Ache Dias J, Wentz M, Külkamp W, Mattos D, Goethel M, Borges Júnior N. Is the handgrip strength performance better in judokas than in non-judokas? *Sci Sports.* Elsevier Masson SAS; 2012 Jun;27(3):e9–14.
175. Monteiro LF, Massuça LM, García-García J, Carratala V, Proença J. Plyometric muscular action tests in judo- and non-judo athletes. *Isokinet Exerc Sci.* 2011;19:287–93.
176. Monteiro LF, Massuça L, García-García J, Calvo-Rico B. Differences of Explosive Strength in Judokas Medallists and Not Medallists. *Indian J Res.* 2014;3(5):199–202.
177. Fagerlund R, Hakkinen H. Strength profile of Finnish judoists-measurement and

- evaluation. *Biol Sport* 1991;8(3):143–9.
178. Franchini E, Nunes AV, Moraes JM, Del Vecchio FB. Physical Fitness and Anthropometrical Profile of the Brazilian Male Judo Team. *J Physiol Anthropol*. 2007;26(2):59–67.
179. Franchini E, Branco B, Agostinho M, Calmet M, Candau R. Influence of Linear and Undulating Strength Periodization on Physical Fitness, Physiological, and Performance Responses to Simulated Judo Matches. *J Strength Cond Res*. 2015;29(2):358–67.
180. Nakamura I, Matsukawa T, Shigeoka T. Characteristics of Isometric Trunk Rotary Torque of Judo Athletes from the View of Performance Level and Gripping Side. *Ann Fit Sport Sci*. 2000;23(23):7–14.
181. Triki M, Rebai H, Abroug T, Masmoudi K, Fellmann N, Zouari N, et al. Comparative study of body composition and anaerobic performance between football and judo groups. *Sci Sport*. Elsevier Masson SAS; 2012;27(5):293–9.
182. Detanico D, Pupo JD, Santos SG Dos. Comparação de índices neuromusculares e fisiológicos de judocas em diferentes categorias de peso. *Rev da Educ Física/UEM*. 2011 Aug 24;22(3):433–40.
183. Farnosi I. Body-composition, somatotype and some motor performance of judoists. *J Sports Med Phys Fitness*. 1980;20(4):431–4.
184. McMaster DT, Gill N, Cronin J, McGuigan M. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Med*. 2014 May;44(5):603–23.
185. Silva A, Fields D, Heymsfield S. Relationship between changes in total-body water and fluid distribution with maximal forearm strength in elite judo athletes. *J Strength Cond Res*. 2011;25(9):2488–95.
186. Franchini E, Takito M, Matheus L, Brito Vieira D. Composição corporal, somatotipo e força isométrica em judocas universitários brasileiros. *Ambito Med Esportiva*. 1997;3(4):21–9.
187. Dopico-Calvo X, Iglesias-Soler E, Carballeira-Fernández E, Mayo X, Ardá A, González-Freire M. The relationship between motoric dominance and functional dominance while executing judo techniques: a study on laterality. *Arch Budo*. 2014;10:287–94.
188. Franchini E, Del Vecchio FB, Ferreira Julio U, Matheus L, Candau R. Specificity of performance adaptations to a periodized judo training program. *Rev Andaluza Med del Deport. Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía*; 2015;8(2):67–72.
189. Ratamess NA. Strength and Conditioning for Grappling Sports. *Strength Cond J*. 2011;33(6):18–24.
190. Bosco C, Luhtanen P, Komi P V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping.

## 9. Bibliografia

- Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1983 Jan;50(2):273–82.
191. Hopkins WG, Schabert EJ, Hawley J a. Reliability of Power in Physical Performance Tests. *Sport Med.* 2001;31(3):211–34.
192. Komi P V., Gollhofer A. Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement During SSC Exercise. *J Appl Biomech.* 1997;13(4):451–60.
193. Linthorne N. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys.* 2001;
194. Komi P V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech.* 2000 Oct;33(10):1197–206.
195. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Cormie P. Neuromuscular and endocrine responses of elite players during an Australian rules football season. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 Dec;3(4):439–53.
196. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol.* 2014;5(February):1–19.
197. Gathercole R, Sporer B, Stellingwerff T. Countermovement Jump Performance with Increased Training Loads in Elite Female Rugby Athletes. *Int J Sports Med.* 2015 Apr 1;36(09):722–8.
198. Detanico D, Dal Pupo J, Franchini E, Giovana dos Santos S. Relationship of aerobic and neuromuscular indexes with specific actions in judo. *Sci Sport. Elsevier Masson SAS;* 2012;27(1):16–22.
199. Hori N, Newton RU, Kawamori N, McGuigan MR, Kraemer WJ, Nosaka K. Reliability of performance measurements derived from ground reaction force data during countermovement jump and the influence of sampling frequency. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):874–82.
200. Nuzzo JL, McBride JM, Cormie P, McCaulley GO. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):699–707.
201. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):177–86.
202. Richter C, McGuinness K, Connor NEO, Moran K. The Variance Needed to Accurately Describe Jump Height From Vertical Ground Reaction Force Data. *J Appl Biomech.* 2014;30:732–6.
203. Laffaye G, Wagner P. Countermovement Jump Height: Gender and Sport-Specific differences in the Force-Time Variables. *J strength Cond Res.* 2013;4(28):1096–105.
204. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-

- shorten cycle performance after training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(9):1731–44.
205. Harbo T, Brincks J, Andersen H. Maximal isokinetic and isometric muscle strength of major muscle groups related to age, body mass, height, and sex in 178 healthy subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2012;267–75.
206. Wilson GJ, Murphy AJ. The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med.* 1996 Jul 1;22(1):19–37.
207. Murphy AJ, Wilson GJ. Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996 Jan;73(3-4):353–7.
208. Murphy AJ, Wilson GJ, Pryor JF, Newton RU. Isometric assessment of muscular function: the effect of joint angle. *J Appl Biomech.* HUMAN KINETICS PUBLISHERS, INC.; 1995;11:205–15.
209. Haff G, Stone M, O'Bryant H, Harold S, Harman E, Dinan C, et al. Force-Time Dependent Characteristics of Dynamic and Isometric Muscle Actions. *J Strength Cond Res.* 1997;11(4):269–72.
210. Bazyler CD, Beckham GK, Sato K. The Use of the Isometric Squat as a Measure of Strength and Explosiveness. *J Strength Cond Res.* 2015;29(5):1386–92.
211. Stone MH, Moir G, Glaister M, Sanders R. How much strength is necessary? *Phys Ther Sport.* Elsevier; 2002;3(2):88–96.
212. Blazevich A. Are training velocity and movement pattern important determinants of muscular rate of force development enhancement? 2012;3689–91.
213. McGuigan M. The importance of isometric maximum strength in college wrestlers. *J Sport Sci Med.* 2006;108–13.
214. Kawamori N, Rossi S, Justice B, Haff E, Pistilli E, O'Bryant H, et al. Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J Strength Cond Res.* 2006;20(3):483–91.
215. Rozand V, Cattagni T, Theurel J, Martin A, Lepers R. Neuromuscular Fatigue Following Isometric Contractions with Similar Torque Time Integral. *Int J Sports Med.* 2014 Oct 6;
216. Peñailillo L, Blazevich A, Numazawa H, Nosaka K. Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scand J Med Sci Sports.* 2014 May 5;1–11.
217. Tracy B, Enoka R. Steadiness training with light loads in the knee extensors of elderly adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;735–45.
218. Buckthorpe MW, Hannah R, Pain TG, Folland JP. Reliability of neuromuscular measurements during explosive isometric

## 9. Bibliografia

- contractions, with special reference to electromyography normalization techniques. *Muscle Nerve*. 2012 Oct;46(4):566–76.
219. Andreato L V, Julio UF, Gonçalves Panissa VL, Del Conti Esteves J V, Hardt F, Franzói de Moraes SM, et al. Brazilian Jiu-Jitsu Simulated Competition Part II: Physical Performance, Time-Motion, Technical-Tactical Analyses, and Perceptual Responses. *J Strength Cond Res*. 2015;29(7):2015–25.
220. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006;35(SUPPL.2):7–11.
221. Hrysomallis C. Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Med*. 2007 Jan;37(6):547–56.
222. Wikstrom E a, Naik S, Lodha N, Cauraugh JH. Bilateral balance impairments after lateral ankle trauma: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. Elsevier B.V.; 2010 Apr;31(4):407–14.
223. Pierantozzi E, Muroli R. Judo high level competitions injuries. *Medit J Musc Surv*. 2009;17:26–9.
224. Pocecco E, Ruedl G, Stankovic N, Sterkowicz S, Del Vecchio FB, Gutiérrez-García C, et al. Injuries in judo: a systematic literature review including suggestions for prevention. *Br J Sports Med*. 2013;47(18):1139–43.
225. Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J. Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. *Med Sci Sports Exerc*. 1984;16(1):64–6.
226. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Med*. 2011 Mar 1;41(3):221–32.
227. Kiers H, Van Dieën J, Dekkers H, Wittink H, Vanhees L. A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Medicine*. 2013. p. 1171–89.
228. Zemková E. Sport-specific balance. *Sports Med*. 2014 May;44(5):579–90.
229. Paillard T. Are there differences in postural regulation according to the level of competition in judoists? *Br J Sports Med*. 2002 Aug 1;36(4):304–5.
230. Paillard T. Sport-Specific Balance Develops Specific Postural Skills. *Sports Med*. 2014 Mar 26;1019–20.
231. Kim S, Horak FB, Carlson-Kuhta P, Park S. Postural Feedback Scaling Deficits in Parkinson's Disease. *J Neurophysiol*. 2009 Nov 1;102(5):2910–20.
232. Chiari L, Rocchi L, Cappello A. Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2002;17(9-10):666–77.
233. Jančová J. Measuring the balance control system—review. *Acta*

- Medica (Hradec Kral. 2008;51(3):129–37.
234. Jacobs J V, Horak FB. Cortical control of postural responses. *J Neural Transm.* 2007 Jan;114(10):1339–48.
235. Mergner T. A neurological view on reactive human stance control. *Annu Rev Control. International Federation of Automatic Control;* 2010 Dec;34(2):177–98.
236. Santos MJ, Kanekar N, Aruin AS. The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 1. Electromyographic analysis. *J Electromyogr Kinesiol. Elsevier Ltd;* 2010 Jun;20(3):388–97.
237. Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 2004 Jan;91(1):410–23.
238. Baldini A, Nota A, Assi V, Ballanti F, Cozza P. Intersession reliability of a posturo-stabilometric test, using a force platform. *J Electromyogr Kinesiol. Elsevier Ltd;* 2013 Dec;23(6):1474–9.
239. Hill M, Pereira C, Talbot C, Oxford S, Price M. The effects of acute arm crank ergometry and cycle ergometry on postural sway and attentional demands during quiet bipedal standing. *Exp Brain Res.* 2015;
240. Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews. Elsevier Ltd;* 2012. p. 162–76.
241. Zemková E, Dzurenková D. Postural sway response to maximal exercises with different forms of muscle contraction. *Facta Univ Phys Educ Sport.* 2009;7(1):37–43.
242. Zemková E, Dzurenková D. There is no difference in balance impairment after intermittent and continual exercise. *Med Sport.* 2009;(17).
243. Zemková E, Hamar D. Physiological mechanisms of post-exercise balance impairment. *Sports Med.* 2014 Apr 22;44(4):437–48.
244. Perrot C, Moes R, Deviterne D, Perrin P. Postural adaptations during specific combative sport movements. *Sci Sport. Elsevier;* 1998;13(2):64–74.
245. Paillard T, Costes-Salon M, Lafont C, Dupui P. Activités posturo-cinétiques et chutes du judoka. *Sci Sports.* 2002;17(02):140–2.
246. Mesure S, Crémieux J. Entraînement sportif et équilibre postural: Performances, contrôle sensoriel et stratégies sensori-motrices. *STAPS Sci Tech des Act physiques Sport.* 1998;
247. Paillard T, Margnes E, Portet M, Breucq A. Postural ability reflects the athletic skill level of surfers. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Aug;111(8):1619–23.
248. Paillard T, Noé F. Effect of expertise and visual contribution

## 9. Bibliografía

- on postural control in soccer. *Scand J Med Sci Sports*. 2006 Oct;16(5):345–8.
249. Melnikov a. a., Savin a. a., Emelyanova L V., Nikolaev RY, Vikulov a. D. Comparative analysis of vertical posture control in athletes differing in expertise. *Hum Physiol*. 2011 Oct 5;37(5):615–20.
250. Herpin G, Gauchard GC, Lion A, Collet P, Keller D, Perrin PP. Sensorimotor specificities in balance control of expert fencers and pistol shooters. *J Electromyogr Kinesiol*. Elsevier Ltd; 2010;20(1):162–9.
251. Negahban H, Aryan N, Mazaheri M, Norasteh AA, Sanjari MA. Effect of expertise in shooting and Taekwondo on bipedal and unipedal postural control isolated or concurrent with a reaction-time task. *Gait Posture*. Elsevier B.V.; 2013 Jun;38(2):226–30.
252. Lion A, Gauchard G, Deviterne D, Perrin P. Differentiated influence of off-road and on-road cycling practice on balance control and the related-neurosensory organization. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. 2009;19:623–30.
253. Perrot C, Deviterne D, Perrin P. Influence of training on postural and motor control in a combative sport. *J Hum Mov Stud*. 1998 Dec 1;35(3):119–36.
254. Perrin P, Deviterne D, Hugel F, Perrot C. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture*. 2002;15:187–94.
255. Morán-Navarro R, Valverde-Conesa A, López-Gullón J, De la Cruz-Sánchez E, García-Pallarés J. Can balance skills predict Olympic wrestling performance?. *J Sport Heal Res*. 2015;7(1):19–30.
256. Yoshitomi S, Tanaka C, Duarte M. Respostas posturais à perturbação externa inesperada em judocas de diferentes níveis de habilidade. *Rev Bras Med do Esporte*. 2006;12(3):159–63.
257. Paillard T. Response to Calmet’s Comment on Paillard, et al. (2005): “Influence of postural regulation in male judokas’ direction of falls”. *Percept Mot Skills*. 2007 Apr;104(2):481–2.
258. Dias J, Kulkamp W, Wentz M. Efeito da preensão manual sobre o equilíbrio de judocas. *Motriz*. 2011;17(2):244–51.
259. Pujszo R, Smaruj M, Błach W. The Crampton index and the body postural control of judo competitors. *J Combat Sport martial arts*. 2012;3(2):27–33.
260. Sozzi S, Monti A, De Nunzio AM, Do M-C, Schieppati M. Sensorimotor integration during stance: time adaptation of control mechanisms on adding or removing vision. *Hum Mov Sci*. Elsevier B.V.; 2011 Apr;30(2):172–89.
261. Mesure S, Amblard B, Crémieux J. Effect of physical training on head-hip co-ordinated movements

- during unperturbed stance. *Neuroreport*. 1997 Nov 10;8(16):3507–12.
262. Itamar N, Schwartz D, Melzer I. Postural control: differences between youth judokas and swimmers. *J Sports Med Phys Fitness*. 2013 Oct;53(5):483–9.
263. Paillard T, Costes-Salon M, Kerlirzin Y, Lafont C, Dupui P. Réponses posturo-cinétiques du judoka en fonction de sa motricité spécifique en phase offensive. *Sci Mot*. 2010 Jun 23;45(45):119–24.
264. Paillard T, Montoya R, Dupui P. Influence of postural regulation in male judokas' direction of falls. *Percept Mot Skills*. 2005 Dec;101(3):885–90.
265. Paillard T, Montoya R, Dupui P. Postural adaptations specific to preferred throwing techniques practiced by competition-level judoists. *J Electromyogr Kinesiol*. 2007 Apr;17(2):241–4.
266. Noé F, Paillard T. Is postural control affected by expertise in alpine skiing? *Br J Sports Med*. 2005 Nov;39(11):835–7.
267. Zemková E. Balance readjustment after different forms of exercise: a review. *Int J Appl Sport Sci*. 2009;21(1):45–60.
268. Vuillerme N, Pinsault N. Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue. *Exp Brain Res*. 2007;183(3):323–7.
269. Vuillerme N, Burdet C, Isableu B, Demetz S. The magnitude of the effect of calf muscles fatigue on postural control during bipedal quiet standing with vision depends on the eye-visual target distance. *Gait Posture*. 2006 Oct;24(2):169–72.
270. Melnikov a. a., Savin a. a., Emelyanova L V., Vikulov a. D. Postural stability during static strain before and after a submaximal aerobic bicycle test in athletes. *Hum Physiol*. 2012;38(2):176–81.
271. Clavel I, Dopico-Calvo J, Iglesias-Soler E, Rivas A. Propuesta metodológica para el estudio y análisis de la estructura temporal del enfrentamiento en judo. *Actas del I Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte*. Cáceres: Universidad de Extremadura.; 2000. p. 29–33.
272. Hernández-García R, Torres-Luque G. Análisis temporal del combate de judo en competición. *Rev Int Med y Ciencias la Act Física y del Deporte*. 2007;7(25):6.
273. Hernández-García R, Torres-Luque G. Fighting in the judo competition individuals and teams. Differences in temporary structure. *J Sport Heal Res*. 2009;1(1):5–11.
274. Burke LM, Hawley JA, Wong SHS, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci*. 2011 Jun 8;1–11.
275. Castell LM, Burke LM, Stear SJ, Maughan RJ. *BJSM reviews: A-Z of nutritional supplements: dietary*

## 9. Bibliografia

- supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance Part 8. *Br J Sports Med.* 2010 May 21;44(6):468–70.
276. Tanner RK, Fuller KL, Ross MLR. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur J Appl Physiol.* 2010 Jun;109(3):551–9.
277. Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sport Exerc.* 2006 May;38(5):887–93.
278. Serrano MA, Salvador A, Gonzalez-bono E, S CS. Relationships between recall of perceived exertion and blood lactate concentration in a judo competition. *Percept Mot Skills.* 2001;92(3):1139–48.
279. Karvonen M, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn.* 1957;35:307–15.
280. Perini R, Orizio C, Comandè A, Castellano M, Beschi M, Veicsteinas A. Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989 Jul;58(8):879–83.
281. Savin WM, Davidson DM, Haskell WL. Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol.* 1982 Dec;53(6):1572–5.
282. Lamberts RP, Maskell S, Borresen J, Lambert MI. Adapting workload improves the measurement of heart rate recovery. *Int J Sports Med.* 2011 Sep;32(9):698–702.
283. Al Haddad H, Laursen PB, Chollet D, Ahmaidi S, Buchheit M. Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *Int J Sports Med.* 2011 Aug;32(8):598–605.
284. Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, Aubert AE. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med.* 2008 Sep;42(9):709–14.
285. Dupuy O, Mekary S, Berryman N, Bherer L, Audiffren M, Bosquet L. Reliability of heart rate measures used to assess post-exercise parasympathetic reactivation. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2012 Jul;32(4):296–304.
286. Mellis MG, Ingle L, Carroll S. Variability in Heart Rate Recovery Measurements Over 1 Year in Healthy, Middle-Aged Adults. *Int J Sports Med.* 2013 Jul 18;
287. Tulumen E, Khalilayeva I, Aytemir K, Ergun Baris Kaya FESC, Sinan Devci O, Aksoy H, et al. The reproducibility of heart rate recovery after treadmill exercise test. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2011 Oct;16(4):365–72.
288. Wang Y-P, Kuo TBJ, Lai C-T, Chu J-W, Yang CCH. Effects of respiratory time ratio on heart rate variability and spontaneous

- baroreflex sensitivity. *J Appl Physiol*. 2013 Oct 3;1648–55.
289. Malik M, Bigger JT, Camm AJ, Kleiger RE, Moss AJ, Schwartz PJ. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J*. 1996 Mar;17(3):354–81.
290. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*. 1981 Jul 10;213(4504):220–2.
291. Melanson EL. Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. 2000 May;28(Supplement):163.
292. Kamen PW, Krum H, Tonkin AM. Poincaré plot of heart rate variability allows quantitative display of parasympathetic nervous activity in humans. *Clin Sci (Lond)*. 1996 Aug;91(2):201–8.
293. Guzik P, Piskorski J, Krauze T, Schneider R, Wesseling KH, Wykretowicz A, et al. Correlations between the Poincaré plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing. *J Physiol Sci. J-STAGE*; 2007;57(1):63–71.
294. Brennan M, Palaniswami M, Kamen P. Poincaré plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2002 Nov;283(5):H1873–86.
295. Pincus S, Gladstone I. A regularity statistic for medical data analysis. *J Clin Monit*. 1991;
296. Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am J Physiol Circ Physiol*. 2000;278(6):H2039–49.
297. Rodríguez-Liñares L, Méndez A, Lado M, Olivieri D, Vila X, Gómez-Conde I. An open source tool for heart rate variability spectral analysis. *Comput Methods Programs Biomed*. Elsevier; 2011 Jul 29;103(1):39–50.
298. Vila XA, Palacios F, Presedo J, Fernández-Delgado M, Félix P, Barro S. Time-Frequency analysis of heart-rate variability. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 1997;16:119–25.
299. Amara C, Wolfe L. Reliability of noninvasive methods to measure cardiac autonomic function. *Can J Appl Physiol*. 1998;23(4):396–408.
300. McNarry M a, Lewis MJ. Heart rate variability reproducibility during exercise. *Physiol Meas*. 2012 Jul;33(7):1123–33.
301. Gouloupoulou S, Heffernan KS, Fernhall B, Yates G, Baxter-Jones ADG, Unnithan VB. Heart rate variability during recovery from a Wingate test in adolescent males. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 May;38(5):875–81.
302. Buchheit M, Millet GP, Parisy A, Pourchez S, Laursen PB, Ahmaidi S. Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Med*

## 9. Bibliografía

- Sci Sport Exerc. 2008 Feb;40(2):362–71.
303. Hedges LV, Olkin I. Statistical methods for meta - analysis. 1985. 389 p.
304. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol.* 2013;4(NOV):1–12.
305. Cliff N. Dominance statistics: Ordinal analyses to answer ordinal questions. *Psychological Bulletin.* 1993. p. 494–509.
306. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
307. Bonitch-Góngora J, Bonitch-Domínguez J, Padial P, Feriche B. The effect of lactate concentration on the handgrip strength during judo bouts. *J Strength Cond Res.* 2012 Jul 7;26(7):1863–71.
308. Franchini E, Takito MY, Bertuzzi RC., Kiss MAPDM. Competitive level, recovery type and blood lactate removal after a judo combat. *Brazilian J Kinanthropometry Hum Perform.* 2004;6(1):7–16.
309. Saez de Cosca E, Clavel I, Dopico-Calvo X, Iglesias-Soler E. Análisis temporal y de las acciones puntuables en las fracciones de minuto del enfrenatamiento de judo. In: INEF, editor. II Congreso de Ciencias del Deporte. Madrid (Spain); 2001. p. 8.
310. Boguszewski D. Relationships between the rules and the way of struggle applied by top world male judoists. *Arch Budo.* 2011;7(1):27–32.
311. Bonitch-Domínguez J. Evolución de la fuerza muscular relacionada con la producción y aclaramiento de lactato en sucesivos combates de judo. 2006.
312. Hernández-García R, Torres-Luque G, Villaverde-Gutierrez C. Physiological requirements of judo combat. *Int Sport J.* 2009;10(3):145–51.
313. Swain D, Leutholtz B, Brian C. Heart rate reserve is equivalent to % VO<sub>2</sub> Reserve, not to % VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sport Exerc.* 1997;29(3):410–4.
314. Davis J, Convertino V. A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Med Sci Sports.* 1975;7:295–8.
315. Bot S, Hollander A. The relationship between heart rate and oxygen uptake during non-steady state exercise. *Ergonomics.* 2000;43(10).
316. Maas S, Kok M, Westra H, Kemper H. The validity of the use of heart rate in estimating oxygen consumption in static and in combined static/dynamic exercise. *Ergonomics.* 1989;32:141–8.
317. Vokac Z, Bell H, Bautz-Holter E, Rodahl K. Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm

- exercise, sitting and standing. *J Appl Physiol.* 1975 Jul;39(1):54–9.
318. Marcon G, Franchini E, Vieira D, Barros T. Time structure and activities performed during a judo match. In: Del'Vecchio F, Franchini E, editors. *Annals of the 5th International Judo Federation World Research Symposium.* International Judo Federation; 2007. p. 49.
319. Taylor A, Brassard L. A physiological profile of the Canadian judo team. *J Sports Med Phys Fitness.* 1981;21:160–4.
320. MacDougall JD, McKelvie RS, Moroz DE, Sale DG, McCartney N, Buick F. Factors affecting blood pressure during heavy weight lifting and static contractions. *J Appl Physiol.* 1992 Oct;73(4):1590–7.
321. Hopkins W. Quantification of training. *Sport Med.* 1991;12:161–83.
322. Alexiou H, Coutts AJ. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 Sep;3(3):320–30.
323. Morales J, Alamo JM, García-Massó X, Buscà B, López JL, Serra-Añó P, et al. Use of heart rate variability in monitoring stress and recovery in judo athletes. *J Strength Cond Res.* 2014;28(7):1896–905.
324. Rowell L. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev.* 1974 Jan;54(1):75–159.
325. Hamilton MT, Gonzalez-Alonso J, Montain SJ, Coyle EF. Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1991;71(3):871–7.
326. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2000;278:H321–30.
327. Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Coyle EF. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol.* 1999;86:799–805.
328. González-Alonso J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Exp Physiol.* 2012 Mar;97(3):340–6.
329. Callister R, Callister RJ, Fleck SJ, Dudley G. Physiological and performance responses to overtraining in elite judo athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(6):816–24.
330. Majeau H, Gaillat M. Étude de l'acide lactique sanguin chez le judoka au cours de la saison 1984–1985. *Med du Sport.* 1986;60:198–203.
331. Barbas I, Fatouros IG, Douroudos II, Chatzinikolaou A, Michailidis Y, Draganidis D, et al. Physiological and performance adaptations of

## 9. Bibliografía

- elite Greco-Roman wrestlers during a one-day tournament. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Jul;111(7):1421–36.
332. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*. 1996 Mar;80(3):876–84.
333. Gaitanos G, Williams C, Boobis L, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1993;75(2):712–9.
334. Bernardi L, Valle F, Coco M, Calciati a, Sleight P. Physical activity influences heart rate variability and very-low-frequency components in Holter electrocardiograms. *Cardiovasc Res*. 1996 Aug;32(2):234–7.
335. Van Hall G. Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta Physiol (Oxf)*. 2010 Aug;199(4):499–508.
336. Juul C. Changes in interstitial K<sup>+</sup> and pH during exercise: implications for blood flow regulation. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2007 Oct;32(5):846–51.
337. Marcora SM, Staiano W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *Eur J Appl Physiol*. Springer; 2010 Jul;109(4):763–70.
338. Van Hall G, Calbet JAL, Sondergaard H, Saltin B. Similar carbohydrate but enhanced lactate utilization during exercise after 9 wk of acclimatization to 5,620 m. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2002 Dec;283(6):E1203–13.
339. Van Hall G, Jensen-Urstad M, Rosdahl H, Holmberg H-C, Saltin B, Calbet JAL. Leg and arm lactate and substrate kinetics during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2003 Jan;284(1):E193–205.
340. Van Hall G, Strømstad M, Rasmussen P, Jans O, Zaar M, Gam C, et al. Blood lactate is an important energy source for the human brain. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2009 Jun;29(6):1121–9.
341. Markowska L, Romanowicz G, Sikorski W, Liwski G. Noradrenaline (NA) and adrenaline (A) in urine excretion in judo athletes during training and competition. *Biol Sport*. 1984;1(2):131–8.
342. Salvador A, Suay F, González-Bono E, Serrano MA. Anticipatory cortisol, testosterone and psychological responses to judo competition in young men. *Psychoneuroendocrinology*. 2003;28:364–75.
343. Pilz-Burstein R, Ashkenazi Y, Yaakovovitz Y, Cohen Y, Zigel L, Nemet D, et al. Hormonal response to Taekwondo fighting simulation in elite adolescent athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2010 Dec;110(6):1283–90.
344. Parmigiani S, Bartolomucci A, Palanza P, Galli P, Rizzi N, Brain P, et al. In judo, Randori (free fight) and Kata (highly ritualized

- fight) differentially change plasma cortisol, testosterone, and interleukin levels in male participants. *Aggress Behav.* 2006;32:481–9.
345. Spriet LL. Anaerobic metabolism in human skeletal muscle during short-term, intense activity. *Can J Physiol Pharmacol.* 1992 Jan;70(1):157–65.
346. Parolin M, Chesley A, Matsos M, Spriet L, Jones N, Heigenshauser G. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am J Physiol.* 1999;277:E890–900.
347. Stupnicki R, Obmiński Z, Klusiewicz A, Viru A. Pre-exercise serum cortisol concentration and responses to laboratory exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995 Jan;71(5):439–43.
348. Vandenberghe K, Goris M, Van Hecke P, Van Leemputte M, Vangerven L, Hespel P. Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985). 1997.
349. Horswill CA, Hickner RC, Scott JR, Costill DL, Gould D. Weight loss, dietary carbohydrate modifications, and high intensity, physical performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1990 Aug;22(4):470–6.
350. Stephenson DG. In pursuit of the glycogen-[Ca<sup>2+</sup>] connection. *J Physiol.* 2011 Feb 1;589(Pt 3):451.
351. Bangsbo J, Aagaard T, Olsen M, Kiens B, Turcotte LP, Richter EA. Lactate and H<sup>+</sup> uptake in inactive muscles during intense exercise in man. *J Physiol.* 1995 Oct 1;488 (Pt 1):219–29.
352. Iaia FM, Perez-Gomez J, Nordborg N, Bangsbo J. Effect of previous exhaustive exercise on metabolism and fatigue development during intense exercise in humans. *Scand J Med Sci Sports.* 2010 Aug;20(4):619–29.
353. Thomas C, Sirvent P, Perrey S, Raynaud E, Mercier J. Relationships between maximal muscle oxidative capacity and blood lactate removal after supramaximal exercise and fatigue indexes in humans. *J Appl Physiol.* 2004 Dec;97(6):2132–8.
354. Franchini E, Magno A, Matheus L. Adaptação dos conceitos de potencia crítica e capacidade de trabalho anaerobio para o judo. *XXVI Simpósio Internacional de Ciências do Esporte.* 2003. p. 1.
355. Franchini E, Takito M, Nakamura F, Matsushigue KA, Kiss MAPDM. Tipo de Recuperação após uma Luta de Judô e o Desempenho Anaeróbio Intermitente Subseqüente. *Motriz.* 2001;7(1):49–52.
356. Gariod L, Favre-Juvin A, Novel V, Reutenauer H, Majean H, Rossi A. Évaluation du profil énergétique des judokas par spectroscopie RMN du P 31. *Sci Sports.* 1995;10:201–7.

## 9. Bibliografía

357. Juel C, Klarskov C, Nielsen J-J, Krstrup P, Mohr M, Bangsbo J. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H<sup>+</sup> release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2004 Feb;286(2):E245–51.
358. Nielsen OB, de Paoli F, Overgaard K. Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *J Physiol.* 2001 Oct 1;536(Pt 1):161–6.
359. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Shoemaker K, Tutungi E, Hughson RL, et al. Effects of pharmacological adrenergic and vagal modulation on fractal heart rate dynamics. *Clin Physiol.* 2001 Sep;21(5):515–23.
360. Almansba R, Sterkowicz S, Sterkowicz-Przybycien K, Belkacem R. Maximal oxygen uptake changes during judoist's periodization training. *Arch Budo.* 2010;6(3):117–22.
361. Sogabe A, Sasaki T, Kaya M, Nagaki K, Yamasaki S. Correlation between Heart Rate on Morning Rising and Condition of Judo Players during Training Camp. *Arch Budo.* 2009;5:41–5.
362. Morales J, García V, García-Massó X, Salvá P, Escobar R, Buscà B. The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *Int J Sports Med.* 2013 Feb 12;34(2):144–51.
363. Sukhov S. Variability of heart rhythm of elite athletes at active orthostatic test. 17th Annual Congress of the European College of Sport Science. Bruges-Belgium; 2012. p. p.548.
364. De Saa Y, Sarmiento S, Martínez-González J, Rodríguez-Ruiza D, Quiroga M, García-Manso J. Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en la caracterización de deportistas de élite de lucha canaria con diferente nivel de rendimiento. *Rev andaluza Med del Deport.* 2009;2(4):120.
365. Boyett MR, D'Souza A, Zhang H, Morris GM, Dobrzynski H, Monfredi O. Is the resting bradycardia in athletes the result of remodelling of the sinoatrial node rather than high vagal tone? *J Appl Physiol.* 2013 Jan 3;(January):1351–5.
366. Sacha J, Pluta W. Different methods of heart rate variability analysis reveal different correlations of heart rate variability spectrum with average heart rate. *J Electrocardiol.* 2005 Jan;38(1):47–53.
367. Billman GE, Huikuri H V, Sacha J, Trimmel K. An introduction to heart rate variability: methodological considerations and clinical applications. *Front Physiol.* 2015;6(February):55.
368. Salo MA, Huikuri H V, Seppänen T. Ectopic beats in heart rate variability analysis: effects of editing on time and frequency domain measures. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2001 Jan;6(1):5–17.

369. Furlan R, Piazza S, Dell'Orto S, Gentile E, Cerutti S, Pagani M, et al. Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate. *Cardiovascular Research*. 1993. p. 482–8.
370. Al Haddad H, Laursen PB, Ahmaidi S, Buchheit M. Nocturnal heart rate variability following supramaximal intermittent exercise. *Int J Sports Physiol Perform*. 2009 Dec;4(4):435–47.
371. Buchheit M, Al Haddad H, Laursen P, Ahmaidi S. Effect of body posture on postexercise parasympathetic reactivation in men. *Exp Physiol*. 2009 Jul;94(7):795–804.
372. Convertino VA. Baroreflex-mediated heart rate and vascular resistance responses 24 h after maximal exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003.
373. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology A. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J*. 1996;17:354–81.
374. Martinmäki K, Rusko H, Kooistra L, Kettunen J, Saalasti S. Intraindividual validation of heart rate variability indexes to measure vagal effects on hearts. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2006 Feb;290(2):H640–7.
375. Hedman A, Hartikainen J, Tahvanainen K, Hakumäki M. The high frequency component of heart rate variability reflects cardiac parasympathetic modulation rather than parasympathetic “tone.” *Acta Physiol Scand*. Wiley Online Library; 1995;155(3):267–73.
376. Taylor JA, Myers CW, Halliwill JR, Seidel H, Eckberg DL. Sympathetic restraint of respiratory sinus arrhythmia: implications for vagal-cardiac tone assessment in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2001 Jun;280(6):H2804–14.
377. Cohen MA, Taylor JA. Short-term cardiovascular oscillations in man: measuring and modelling the physiologies. *J Physiol*. 2002;542(Pt 3):669–83.
378. Goldberger J, Challapalli S, Tung R, Parker M a., Kadish a. H. Relationship of Heart Rate Variability to Parasympathetic Effect. *Circulation*. 2001 Apr 17;103(15):1977–83.
379. Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med*. 2013 Sep;43(9):773–81.
380. Kiviniemi AM, Hautala AJ, Seppänen T, Mäkikallio TH, Huikuri H V, Tulppo MP. Saturation of high-frequency oscillations of R-R intervals in healthy subjects and patients after acute myocardial infarction during ambulatory conditions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2004 Nov;287(5):H1921–7.

## 9. Bibliografia

381. Cooley RL, Montano N, Cogliati C, van de Borne P, Richenbacher W, Oren R, et al. Evidence for a Central Origin of the Low-Frequency Oscillation in RR-Interval Variability. *Circulation*. 1998 Aug 11;98(6):556–61.
382. Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*. 1991 Aug 1;84(2):482–92.
383. Pomeranz B, Macaulay RJ, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol*. 1985 Jan;248(1 Pt 2):H151–3.
384. Pagani M, Montano N, Porta A, Malliani A, Abboud FM, Birkett C, et al. Relationship between spectral components of cardiovascular variabilities and direct measures of muscle sympathetic nerve activity in humans. *Circulation*. 1997 Mar 18;95(6):1441–8.
385. Kingwell B a., Thompson JM, Kaye DM, McPherson G a., Jennings GL, Esler MD. Heart rate spectral analysis, cardiac norepinephrine spillover, and muscle sympathetic nerve activity during human sympathetic nervous activation and failure. *Circulation*. 1994 Jul 1;90(1):234–40.
386. Moak JP, Goldstein DS, Eldadah B a, Saleem A, Holmes C, Pechnik S, et al. Supine low-frequency power of heart rate variability reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. *Hear Rhythm Off J Hear Rhythm Soc*. 2007 Dec;4(12):1523–9.
387. Saul JP, Rea RF, Eckberg DL, Berger RD, Cohen RJ. Heart rate and muscle sympathetic nerve variability during reflex changes of autonomic activity. *Am J Physiol*. 1990 Mar;258(3 Pt 2):H713–21.
388. Hopf H-B, Skyschally A, Heusch G, Peters J. Low-frequency Spectral Power of Heart Rate Variability Is Not a Specific Marker of Cardiac Sympathetic Modulation. *Anesthesiology*. 1995. p. 609–19.
389. Eisenhofer G, Esler MD, Meredith IT, Dart A, Cannon RO, Quyyumi a. a., et al. Sympathetic nervous function in human heart as assessed by cardiac spillovers of dihydroxyphenylglycol and norepinephrine. *Circulation*. 1992 May 1;85(5):1775–85.
390. Taylor J, Williams T, Seals D. Low-frequency arterial pressure fluctuations do not reflect sympathetic outflow: gender and age differences. *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 1998;274:H1194–201.
391. Piccirillo G, Fimognari FL, Viola E, Marigliano V. Age-adjusted normal confidence intervals for heart rate variability in healthy subjects during head-up tilt. *Int J Cardiol*. 1995 Jun 30;50(2):117–24.
392. Vandeput S, Verheyden B, Aubert a E, Van Huffel S. Nonlinear heart rate dynamics: circadian profile and influence of age and gender. *Med Eng Phys*. Institute of Physics and

- Engineering in Medicine; 2012 Jan 16;34(1):108–17.
393. Rahman F, Pechnik S, Gross D, Sewell L, Goldstein DS. Low frequency power of heart rate variability reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. *Clin Auton Res*. 2011;21:133–41.
394. Goldstein DS, Benthó O, Park M-Y, Sharabi Y. Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp Physiol*. 2011 Dec 2;96(12):1255–61.
395. Dvir H, Bobrovsky BZ, Gabbay U. A novel heart rate control model provides insights linking LF-HRV behavior to the open-loop gain. *Int J Cardiol*. Elsevier Ireland Ltd; 2012 Oct 10;
396. Cevese A, Gulli G, Polati E, Gottin L, Grasso R. Baroreflex and oscillation of heart period at 0.1 Hz studied by alpha-blockade and cross-spectral analysis in healthy humans. *J Physiol*. 2001 Feb 15;531(Pt 1):235–44.
397. Goldstein DS, Benthó O, Park MY, Sharabi Y. LF power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp Physiol*. 2011 Sep 2;1255–61.
398. Grasso R, Schena F, Gulli G, Cevese A. Does low-frequency variability of heart period reflect a specific parasympathetic mechanism? *J Auton Nerv Syst*. 1997 Mar 19;63(1-2):30–8.
399. Sleight P, La Rovere MT, Mortara A, Pinna G, Maestri R, Leuzzi S, et al. Physiology and pathophysiology of heart rate and blood pressure variability in humans: is power spectral analysis largely an index of baroreflex gain? *Clin Sci (Lond)*. 1995 Jan;88(1):103–9.
400. Bonaduce D, Marciano F, Petretta M, Migaux ML, Morgano G, Bianchi V, et al. Effects of converting enzyme inhibition on heart period variability in patients with acute myocardial infarction. *Circulation*. 1994 Jul;90(1):108–13.
401. Pichot V, Busso T, Roche F, Garet M, Costes F, Duverney D, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Oct;34(10):1660–6.
402. MacDonald J. Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypotension. *J Hum Hypertens*. 2002;225–36.
403. Sawka MN, Convertino V a, Eichner ER, Schnieder SM, Young a J. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc*. 2000 Feb;32(2):332–48.
404. Tripathi KK. Very low frequency oscillations in the power spectra of heart rate variability during dry supine immersion and exposure to

## 9. Bibliografía

- non-hypoxic hypobaria. *Physiol Meas.* 2011 Jun;32(6):717–29.
405. Casadei B, Moon J, Johnston J, Caiazza A, Sleight P. Is respiratory sinus arrhythmia a good index of cardiac vagal tone in exercise? *J Appl Physiol. Am Physiological Soc;* 1996;81(2):556.
406. Eckberg DL. Physiological basis for human autonomic rhythms. *Ann Med.* 2000 Jul;32(5):341–9.
407. Cottin F, Médigue C, Papier Y. Effect of heavy exercise on spectral baroreflex sensitivity, heart rate, and blood pressure variability in well-trained humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2008 Sep;295(3):H1150–5.
408. Edmonds RC, Sinclair WH, Leicht a S. Effect of a Training Week on Heart Rate Variability in Elite Youth Rugby League Players. *Int J Sports Med.* 2013 Jun 5;
409. Medbø JI, Tabata I. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol.* 1993 Oct;75(4):1654–60.
410. Bangsbo J, Krstrup P, González-Alonso J, Saltin B. ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2001 Jun;280(6):E956–64.
411. DiMenna FJ, Bailey SJ, Vanhatalo A, Chidnok W, Jones AM. Elevated baseline VO<sub>2</sub> per se does not slow O<sub>2</sub> uptake kinetics during work-to-work exercise transitions. *J Appl Physiol.* 2010 Oct;109(4):1148–54.
412. MacPhee SL, Shoemaker JK, Paterson DH, Kowalchuk JM. Kinetics of O<sub>2</sub> uptake, leg blood flow, and muscle deoxygenation are slowed in the upper compared with lower region of the moderate-intensity exercise domain. *J Appl Physiol.* 2005 Nov;99(5):1822–34.
413. Spencer MD, Murias JM, Lamb HP, Kowalchuk JM, Paterson DH. Are the parameters of VO<sub>2</sub>, heart rate and muscle deoxygenation kinetics affected by serial moderate-intensity exercise transitions in a single day? *Eur J Appl Physiol.* 2011 Apr;111(4):591–600.
414. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Mar;112(3):829–38.
415. Gulli G, Tarperi C, Cevese A, Acler M, Bongiovanni G, Manganotti P. Effects of prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation on the autonomic regulation of cardiovascular function. *Exp Brain Res.* 2013 Mar 2;
416. Iellamo F, Pizzinelli P, Massaro M, Raimondi G, Peruzzi G, Legramante JM. Muscle metaboreflex contribution to sinus node regulation during static exercise: insights from spectral analysis of heart rate variability. *Circulation. Am Heart Assoc;* 1999;100(1):27.

417. Lanfranchi P, Somers V. Arterial baroreflex function and cardiovascular variability: interactions and implications. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2002;283:R815–26.
418. Matsukawa K. Central command: control of cardiac sympathetic and vagal efferent nerve activity and the arterial baroreflex during spontaneous motor behaviour in animals. *Exp Physiol.* 2012 Jan;97(1):20–8.
419. Bernardi L, Porta C, Gabutti A, Spicuzza L, Sleight P. Modulatory effects of respiration. *Auton Neurosci basic Clin.* 2001 Jul 20;90(1-2):47–56.
420. Suzuki S, Sumi K, Matsubara M. Cardiac Autonomic Control Immediately after Exercise in Female Distance Runners. *J Physiol Anthropol. J-STAGE;* 2008;27(6):325–32.
421. Anosov O, Patzak A, Kononovich Y, Persson PB. High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Nov;83(4-5):388–94.
422. Blain G, Meste O, Bouchard T, Bermon S. Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory sinus arrhythmia. *Br J Sports Med.* 2005 Jul;39(7):448–52; discussion 448–52.
423. Lewis MJ, Kingsley M, Short a L, Simpson K. Rate of reduction of heart rate variability during exercise as an index of physical work capacity. *Scand J Med Sci Sports.* 2007 Dec;17(6):696–702.
424. Araujo CG, Nobrega AC, Castro CL. Heart rate responses to deep breathing and 4-seconds of exercise before and after pharmacological blockade with atropine and propranolol. *Clin Auton Res.* 1992 Mar;2(1):35–40.
425. Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre P-M, Heubert R, Billat V. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int J Sports Med.* 2007 Apr;28(4):287–94.
426. Drew RC, Bell MPD, White MJ. Modulation of spontaneous baroreflex control of heart rate and indexes of vagal tone by passive calf muscle stretch during graded metaboreflex activation in humans. *J Appl Physiol.* 2008 Mar;104(3):716–23.
427. García-Manso J, Martín-González J, Sarmiento S, Calderón J, Medina G, Benito P. Analysis of reply HRV in an incremental effort test: analysis time-frequency. *Fit Perform J.* 2007 May 1;6(3):181–7.
428. Bartels MN, Jelic S, Ngai P, Gates G, Newandee D, Reisman SS, et al. The effect of ventilation on spectral analysis of heart rate and blood pressure variability during exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004 Nov 30;144(1):91–8.
429. White DW, Raven PB. Autonomic neural control of heart rate during

## 9. Bibliografia

- dynamic exercise: revisited. *J Physiol.* 2014;592(Pt 12):2491–500.
430. Kohl P, Hunter P, Noble D. Stretch-induced changes in heart rate and rhythm: clinical observations, experiments and mathematical models. *Prog Biophys Mol Biol.* 1999 Jan;71(1):91–138.
431. Blain G, Meste O, Bermon S. Influences of breathing patterns on respiratory sinus arrhythmia in humans during exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2005 Mar;288(2):H887–95.
432. Boone T, Linderman J, Astorino T, Baker J, Dalleck L, Drury D, et al. Parasympathetic withdrawal during 30-15 intermittent fitness test correlates with its' maximal running speed in male handball players. *faculty.css.edu.* 2009;12(2):29–39.
433. Cottin F, Leprêtre P-M, Lopes P, Papelier Y, Médigue C, Billat V. Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability in well-trained subjects during cycling. *Int J Sports Med.* 2006 Dec;27(12):959–67.
434. Millar PJ, Rakobowchuk M, McCartney N, MacDonald MJ. Heart rate variability and nonlinear analysis of heart rate dynamics following single and multiple Wingate bouts. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009 Oct;34(5):875–83.
435. Parekh A, Lee CM. Heart Rate Variability after Isocaloric Exercise Bouts of Different Intensities. *Med Sci Sport Exerc.* 2005 Apr;37(4):599–605.
436. Fisher JP, Adlan AM, Shantsila A, Secher JF, Sørensen H, Secher NH. Muscle metaboreflex and autonomic regulation of heart rate in humans. *J Physiol.* 2013 Aug 1;591(Pt 15):3777–88.
437. Kaufman MP. The exercise pressor reflex in animals. *Exp Physiol.* 2012 Jan;97(1):51–8.
438. Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med.* 2013 Dec 3;43(12):1259–77.
439. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol.* 2003 Oct;90(3-4):317–25.
440. Lunt HC, Corbett J, Barwood MJ, Tipton MJ. Cycling cadence affects heart rate variability. *Physiol Meas.* 2011 Aug;32(8):1133–45.
441. Vorluni L, Volianitis S. Baroreflex control of sinus node during dynamic exercise in humans: effect of muscle mechanoreflex. *Acta Physiol (Oxf).* 2008 Mar;192(3):351–7.
442. Fadel PJ, Raven PB. Human investigations into the arterial and cardiopulmonary baroreflexes during exercise. *Exp Physiol.* 2012 Jan;97(1):39–50.

443. Stauss HM. Baroreceptor reflex function. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2002 Aug;283(2):R284–6.
444. Ogoh S, Fisher JP, Dawson E a, White MJ, Secher NH, Raven PB. Autonomic nervous system influence on arterial baroreflex control of heart rate during exercise in humans. *J Physiol.* 2005 Jul 15;566(Pt 2):599–611.
445. Golub AS, Pittman RN. A Paradigm Shift for Local Blood Flow Regulation. *J Appl Physiol.* 2013 Oct 31;(804):1–11.
446. Piepoli M, Coats AJ, Adamopoulos S, Bernardi L, Feng YH, Conway J, et al. Persistent peripheral vasodilation and sympathetic activity in hypotension after maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1993 Oct;75(4):1807–14.
447. Niemelä TH, Kiviniemi AM, Hautala AJ, Salmi J a, Linnamo V, Tulppo MP. Recovery pattern of baroreflex sensitivity after exercise. *Med Sci Sport Exerc.* 2008 May;40(5):864–70.
448. Smith M, Coppieters MW, Hodges PW. Effect of experimentally induced low back pain on postural sway with breathing. *Exp Brain Res.* 2005 Sep;166(1):109–17.
449. Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol. Am Physiological Soc;* 1991;71(3):1136.
450. Tan CO. Heart rate variability: are there complex patterns? *Front Physiol.* 2013 Jan;4(July):165.
451. Montano N, Cogliati C, Porta A, Pagani M, Malliani A, Narkiewicz K, et al. Central vagotonic effects of atropine modulate spectral oscillations of sympathetic nerve activity. *Circulation.* 1998 Oct 6;98(14):1394–9.
452. Tulppo MP, Hughson R, Mäkikallio T, Airaksinen K, Seppänen T, Huikuri H. Effects of exercise and passive head-up tilt on fractal and complexity properties of heart rate dynamics. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2001;280:H1081–7.
453. Gouloupoulou S, Fernhall B, Kanaley J a. Hemodynamic responses and linear and non-linear dynamics of cardiovascular autonomic regulation following supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Mar;105(4):525–31.
454. Heffernan KS, Sosnoff JJ, Fahs C a, Shinsako KK, Jae SY, Fernhall B. Fractal scaling properties of heart rate dynamics following resistance exercise training. *J Appl Physiol.* 2008 Jul;105(1):109–13.
455. Iglesias-Soler E, Boulosa D a., Carballeira E, Sánchez-Otero T, Mayo X, Castro-Gacio X, et al. Effect of set configuration on hemodynamics and cardiac autonomic modulation after high-intensity squat exercise. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2015 Jul;35(4):250–7.

## 9. Bibliografia

456. Yeragani VK, Rao R, Jayaraman A, Pohl R, Balon R, Glitz D. Heart rate time series: decreased chaos after intravenous lactate and increased non-linearity after isoproterenol in normal subjects. *Psychiatry Res.* 2002 Jan 31;109(1):81–92.
457. Mitchell CJ, Churchward-Venne T a, West DDW, Burd N a, Breen L, Baker SK, et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol.* 2012 Apr 19;
458. Tan CO, Cohen M a, Eckberg DL, Taylor JA. Fractal properties of human heart period variability: physiological and methodological implications. *J Physiol.* 2009 Aug 1;587(Pt 15):3929–41.
459. Lamberts RP, Lambert MI. Day-to-day variation in heart rate at different levels of submaximal exertion: implications for monitoring training. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):1005.
460. Houvenaeghel M, Bizzari C, Giallurachis D, Demelas JM. Mesure continue de la fréquence cardiaque en entraînement spécifique de judo. *Sci Sports.* 2005 Feb;20(1):27–32.
461. Daanen HAM, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NLU. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 2012. p. 251–60.
462. Buchheit M, Papelier Y, Laursen PB, Ahmaidi S. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007 Jul;293(1):H8–10.
463. Swart J, Lamberts RP, Lambert MI, St Clair Gibson A, Lambert E V, Skowno J, et al. Exercising with reserve: evidence that the central nervous system regulates prolonged exercise performance. *Br J Sports Med.* 2009 Oct;43(10):782–8.
464. Mann TN, Webster C, Lamberts RP, Lambert MI. Effect of exercise intensity on post-exercise oxygen consumption and heart rate recovery. *Eur J Appl Physiol.* 2014;1809–20.
465. Nakamura FY, Soares-Caldeira LF, Laursen PB, Polito MD, Leme LC, Buchheit M. Cardiac autonomic responses to repeated shuttle sprints. *Int J Sports Med.* 2009 Nov;30(11):808–13.
466. Takahashi T, Okada A, Saitoh T, Hayano J, Miyamoto Y. Difference in human cardiovascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Feb;81(3):233–9.
467. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CLDM. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2013 Nov 17;n/a – n/a.

468. Oosthuysen T, Carter R. Plasma lactate decline during passive recovery from high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(5):670–4.
469. Coote JH. Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Exp Physiol.* 2010 Mar;95(3):431–40.
470. Shibasaki M, Sakai M, Oda M, Crandall CG. Muscle mechanoreceptor modulation of sweat rate during recovery from moderate exercise. *J Appl Physiol.* 2004 Jun;96(6):2115–9.
471. Coote JH. Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Exp Physiol.* 2010 Mar;95(3):431–40.
472. Al Haddad H, Mendez-Villanueva A, Bourdon PC, Buchheit M. Effect of acute hypoxia on post-exercise parasympathetic reactivation in healthy men. *Front Physiol.* 2012 Jan;3(July):289.
473. Maeder MT, Ammann P, Rickli H, Brunner-La Rocca HP. Impact of the exercise mode on heart rate recovery after maximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Jan;105(2):247–55.
474. Lipsitz L. Age-related changes in the complexity of cardiovascular dynamics: A potential marker of vulnerability to disease. *Chaos An Interdiscip J Nonlinear.* 1995;5:102–9.
475. Weber CS, Thayer JF, Rudat M, Wirtz PH, Zimmermann-Viehoff F, Thomas A, et al. Low vagal tone is associated with impaired post stress recovery of cardiovascular, endocrine, and immune markers. *Eur J Appl Physiol.* 2010 May;109(2):201–11.
476. Lee CM, Mendoza A. Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Jul 29;112(7):2757–66.
477. Dewland TA, Androne AS, Lee FA, Lampert RJ, Katz SD. Effect of acetylcholinesterase inhibition with pyridostigmine on cardiac parasympathetic function in sedentary adults and trained athletes. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007 Jul;293(1):H86–92.
478. Crisafulli A, Tocco F, Pittau G, Lorrain L, Porru C, Salis E, et al. Effect of differences in post-exercise lactate accumulation in athletes' haemodynamics. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* NRC Research Press; 2006;31(4):423–31.
479. Bosco C, Komi P V. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand.* 1979 Aug;106(4):467–72.
480. Aura O, Komi P V. Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *Int J Sports Med.* 1986 Jun;7(3):137–43.
481. Häkkinen K, Komi P V, Kauhanen H. Electromyographic and force production

## 9. Bibliografía

- characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *Int J Sports Med.* 1986 Jun;7(3):144–51.
482. Carlock JM, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Ciroslan DA, Pierce KC, et al. The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res.* 2004 Aug;18(3):534–9.
483. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 1990 Dec;22(6):825–33.
484. Suarez G. Análisis de factores biomecánicos y comportamentales relacionados con la efectividad del uchi mata, ejecutado por judokas de alto rendimiento. Universidad de Granada; 2002.
485. Demura S, Miyaguchi K, Shin S, Uchida Y. Effectiveness of the 1RM estimation method based on isometric squat using a back-dynamometer. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2742–8.
486. Sahaly R, Vandewalle H, Driss T, Monod H. Maximal voluntary force and rate of force development in humans - importance of instruction. *Eur J Appl Physiol.* Springer; 2001 Aug 1;85(3-4):345–50.
487. Viitasalo JT. Effects of pretension on isometric force production. *Int J Sports Med.* 1982 Aug;3(3):149–52.
488. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2011 Feb;25(2):379–85.
489. McErlain-Naylor S, King M, Pain MTG. Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *J Sports Sci.* 2014 Nov 26;32(19):1805–12.
490. Khamoui A, Brown L, Nguyen D, Uribe B, Coburn J, Noffal G, et al. Relationship between force-time and velocity-time characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):198–204.
491. Haff G, Ruben R, Lider J, Twine C, Cormie P. A Comparison of methods for determining the rate of force development during isometric mid-thigh clean pulls. *J Strength Cond Res.* 2015;29(2):386–95.
492. Dowling JJ, Vamos L. Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *J Appl Biomech.* 1993;9(1977):95–110.
493. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing Maximal Neuromuscular Power. Part 1: Biological Basis of Maximal Power Production. *Sport Med.* 2011;41(1):17–39.
494. Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin JB. Optimal

- force-velocity profile in ballistic movements-Altius: Citius or Fortius? *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(2):313–22.
495. Claudino JG, Mezêncio B, Soncin R, Ferreira JC, Couto BP, Szmuchowski L a. Pre vertical jump performance to regulate the training volume. *Int J Sports Med.* 2012 Feb;33(2):101–7.
496. Buckthorpe M, Pain MT, Folland JP. Central fatigue contributes to the greater reductions in explosive than maximal strength with high-intensity fatigue. *Exp Physiol.* 2014;99(7):964–73.
497. Froyd C, Millet GY, Noakes TD. The development of peripheral fatigue and short-term recovery during self-paced high-intensity exercise. *J Physiol.* 2013;591(Pt 5):1339–46.
498. Little NG. Physical performance attributes of junior and senior women, juvenile, junior, and senior men judokas. *J Sports Med Phys Fitness.* 1991 Dec;31(4):510–20.
499. Young W, Cormack S, Crichton M. Which jump variables should be used to assess explosive leg muscle function? *Int J Sports Physiol Perform.* 2011 Mar;6(1):51–7.
500. Cheng KB. The relationship between joint strength and standing vertical jump performance. *J Appl Biomech.* 2008 Aug;24(3):224–33.
501. Laffaye G, Wagner P. Eccentric rate of force development determines jumping performance. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2013;16 Suppl 1(September):82–3.
502. Kijowski KN, Capps CR, Goodman CL, Erickson TM, Knorr DP, Triplett NT, et al. Short-term Resistance and Plyometric Training Improves Eccentric Phase Kinetics in Jumping. *J Strength Cond Res.* 2015 Aug;29(8):2186–96.
503. Theodosiou K, Bogdanis GC, Gkantiraga E, Gissis I, Sambanis M, Souglis A, et al. Multiarticular Isokinetic High Load Eccentric Training Induces Large Increases in Eccentric and Concentric Strength and Jumping Performance. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association.* 2014.
504. Marcora S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *J Appl Physiol.* 2009 Jun 1;106(6):2060–2.
505. Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions--a systematic review of the literature. *Gait Posture.* 2010 Oct;32(4):436–45.
506. Caron O, Fontanari P, Cremieux J, Joulia F. Effects of ventilation on body sway during human standing. *Neurosci Lett.* 2004;366(1):6–9.
507. Le Clair K, Riach C. Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clin Biomech.* Elsevier; 1996;11(3):176–8.

## 9. Bibliografia

508. Pinsault N, Vuillerme N. Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Med Eng Phys.* 2009 Mar;31(2):276–86.
509. Scoppa F, Capra R, Gallamini M, Shiffer R. Clinical stabilometry standardization. Basic definitions - Acquisition interval - Sampling frequency. *Gait Posture.* 2013;37(2):290–2.
510. Prieto T., Myklebust J., Hoffmann R., Lovett E., Myklebust B. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996 Sep;43(9):956–66.
511. Demura S, Kitabayashi T, Noda M. Selection of useful parameters to evaluate center-of-foot pressure movement. *Percept Mot Skills.* 2006;103(3):959–73.
512. Kitabayashi T, Demura S, Noda M. Examination of the factor structure of center of foot pressure movement and cross-validity. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2003;22:265–72.
513. Maki BE, Holliday PJ, Fernie GR. Aging and postural control. A comparison of spontaneous- and induced-sway balance tests. *J Am Geriatr Soc.* 1990 Jan;38(1):1–9.
514. Chiari L, Cappello A. Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis. *Med Biol Eng Comput.* 2004;42:71–9.
515. Pline KM, Madigan ML, Nussbaum M a. Influence of fatigue time and level on increases in postural sway. *Ergonomics.* 2006;49(15):1639–48.
516. Imamura R, Johnson B. A kinematic analysis of a judo leg sweep: major outer leg reap--osoto-gari. *Sport Biomech Int Soc Biomech Sport.* 2003;2(2):191–201.
517. Kawczyński A, Samani A, Mroczek D, Chmura P, Błach W, Migasiewicz J, et al. Functional connectivity between core and shoulder muscles increases during isometric endurance contractions in judo competitors. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(6):1351–8.
518. Springer BK, Pincivero DM. The effects of localized muscle and whole-body fatigue on single-leg balance between healthy men and women. *Gait Posture.* 2009 Jul;30(1):50–4.
519. Schieppati M, Nardone A, Schmid M. Neck muscle fatigue affects postural control in man. *Neuroscience.* 2003 Oct;121(2):277–85.
520. Nussbaum MA. Postural stability is compromised by fatiguing overhead work. *AIHA J a J Sci Occup Environ Heal Saf.* 2003;64(1):56–61.
521. Douris PC, Handrakis JP, Gendy J, Salama M, Kwon D, Brooks R, et al. Fatiguing upper body aerobic exercise impairs balance. *J Strength Cond Res.* 2011 Dec;25(12):3299–305.

522. Madigan ML, Davidson BS, Nussbaum M a. Postural sway and joint kinematics during quiet standing are affected by lumbar extensor fatigue. *Hum Mov Sci.* 2006 Dec;25(6):788–99.
523. Pageaux B, Angius L, Hopker JG, Lepers R, Marcora SM. Central alterations of neuromuscular function and feedback from group III-IV muscle afferents following exhaustive high intensity one leg dynamic exercise. *Am J Physiol - Regul Integr Comp Physiol.* 2015;ajpregu.00280.2014.
524. Windhorst U. Muscle proprioceptive feedback and spinal networks. *Brain Res Bull.* 2007;73(4-6):155–202.
525. Mello RGT, Oliveira LF, Nadal J. Anticipation mechanism in body sway control and effect of muscle fatigue. *J Electromyogr Kinesiol.* 2007;17(6):739–46.
526. Ribeiro F, Venâncio J, Quintas P, Oliveira J. The effect of fatigue on knee position sense is not dependent upon the muscle group fatigued. *Muscle Nerve.* 2011 Aug;44(2):217–20.
527. Hashimoto T, Ishii T, Okada N, Itoh M. Impulsive force on the head during performance of typical ukemi techniques following different judo throws. *J Sports Sci.* 2015;33(13):1356–65.
528. Winter D. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture.* 1995 Dec;3(4):193–214.
529. Prince F, Winter DA, Archer SE. Assessment of postural control during quiet stance with different foot configurations. *Gait Posture.* 1995;3(2):110.
530. Hill MW, Goss-Sampson M, Duncan MJ, Price MJ. The effects of maximal and submaximal arm crank ergometry and cycle ergometry on postural sway. *Eur J Sport Sci.* 2014 Apr 8;(May 2014):37–41.
531. Gribble P a, Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004 Apr;85(4):589–92.
532. Lipsitz LA. Dynamics of stability: the physiologic basis of functional health and frailty. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2002;57(3):B115–25.
533. Harbourne RT, Stergiou N. Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Phys Ther.* 2009 Mar;89(3):267–82.
534. Van Emmerik RE a., van Wegen EEH. On the Functional Aspects of Variability in Postural Control. *Exerc Sport Sci Rev.* 2002 Oct;30(4):177–83.
535. Carpenter MG, Murnaghan CD, Inglis JT. Shifting the balance: evidence of an exploratory role for postural sway. *Neuroscience.* IBRO; 2010 Nov 24;171(1):196–204.
536. Glasgow P, Bleakley CM, Phillips N. Being able to adapt to variable stimuli: the key driver in injury and

## 9. Bibliografía

- illness prevention? *Br J Sports Med.* 2013 Jan 28;47(2):64–5.
537. Sell TC. An examination, correlation, and comparison of static and dynamic measures of postural stability in healthy, physically active adults. *Phys Ther Sport.* Elsevier Ltd; 2012 May;13(2):80–6.
538. Manor BD, Hu K, Peng C-K, Lipsitz L a, Novak V. Posturo-respiratory synchronization: effects of aging and stroke. *Gait Posture.* Elsevier B.V.; 2012 Jun;36(2):254–9.
539. Thiele RM, Conchola EC, Palmer TB, DeFreitas JM, Thompson BJ. The effects of a high-intensity free-weight back-squat exercise protocol on postural stability in resistance-trained males. *J Sports Sci.* 2014;33(2):211–8.
540. Conforto S, Schmid M, Camomilla V, D'Alessio T, Cappozzo A. Hemodynamics as a possible internal mechanical disturbance to balance. *Gait Posture.* 2001;14(1):28–35.
541. Bove M, Faelli E, Tacchino A, Lofrano F, Cogo CE, Ruggeri P. Postural control after a strenuous treadmill exercise. *Neurosci Lett.* 2007 May 18;418(3):276–81.
542. David P, Terrien J, Petitjean M. Postural- and respiratory-related activities of abdominal muscles during post-exercise hyperventilation. *Gait Posture.* 2015;41(4):899–904.
543. Hamaoui A, Gonneau E, Le Bozec S. Respiratory disturbance to posture varies according to the respiratory mode. *Neurosci Lett.* Elsevier Ireland Ltd; 2010 May 21;475(3):141–4.
544. Borsheim E, Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sport Med. Adis International;* 2003;33(14):1037–60.
545. Hunter IW, Kearney RE. Respiratory components of human postural sway. *Neuroscience Letters.* 1981. p. 155–9.
546. Schmid M, Conforto S, Bibbo D, D'Alessio T. Respiration and postural sway: Detection of phase synchronizations and interactions. *Hum Mov Sci.* 2004;23(2):105–19.
547. Sousa A, Rodríguez FA, Machado L, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Exercise modality effect on VO<sub>2</sub> off-transient kinetics at VO<sub>2</sub>max intensity. *Exp Physiol.* 2015;n/a – n/a.
548. Ostojic SM, Markovic G, Calleja-Gonzalez J, Jakovljevic DG, Vucetic V, Stojanovic MD. Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108(5):1055–9.



## 10 Anexos

---

### 10.1 Anexo 1. Hoja informativa para el participante

#### Hoja de información al participante

Título: Efectos agudos de la competición en judo: análisis multiparamétrico

Investigadores: Eduardo Carballeira Fernández, Eliseo Iglesias Soler, Xurxo Dopico Calvo

Este documento tiene por objeto ofrecerle información sobre un **estudio de investigación** de tipo descriptivo en el que se le invita a participar. Este estudio se está realizando en la Facultade de Ciencias do Deporte e a Educación Física (INEF Galicia), en la Universidade da Coruña.

Si decide participar en el mismo, debe recibir información personalizada del investigador, **leer antes este documento** y hacer todas las preguntas que necesite para comprender los detalles sobre el mismo. Si así lo desea, puede llevarse el documento, consultarlo con otras personas, y tomarse el tiempo necesario para decidir si participar o no.

La participación en este estudio es completamente **voluntaria**. Vd. puede decidir no participar o, si acepta hacerlo, cambiar de opinión retirando el consentimiento en cualquier momento sin obligación de dar explicaciones.

### **¿Cual es el propósito del estudio?**

El objetivo de este estudio es analizar los efectos agudos de la competición en judo para comprender mejor los mecanismos que producen fatiga en este deporte de combate. Para ello, se realizará un simulacro de competición compuesto por 4 combates, evaluando antes y después de cada combate, pruebas mecánicas: medición de fuerza isométrica en miembro superior e inferior y salto con contramovimiento); coordinativas: test de estabilidad en plataforma de fuerzas, y fisiológicas: se registrará la frecuencia cardíaca y se extraerán 5µL de sangre para el análisis de lactatemia.

### **¿Por qué me ofrecen participar a mí?**

La selección de las personas invitadas a participar depende de unos criterios que están descritos en el protocolo de la investigación. Estos criterios sirven para seleccionar a la población en la que se responderá el interrogante de la investigación. Vd. es invitado a participar porque potencialmente cumple esos criterios, al ser un deportista sano, federado y perteneciente a la Selección Gallega de Judo, además de acreditar un mínimo de 4 años de experiencia competitiva.

### **¿Qué riesgos o inconvenientes tiene?**

La realización de las cargas de trabajo diseñadas puede generar fatiga y dolor muscular de aparición tardía (“agujetas”). Las muestras de sangre so reducidas y siempre serán llevadas a cabo por personal sanitario. Para reducir cualquier riesgo de lesión, todas las valoraciones irán precedidas por un calentamiento específico diseñado y dirigido por un especialista. Las ejecuciones de los

ejercicios serán supervisadas por al menos tres investigadores, que prestarán la ayuda necesaria al deportista.

Si durante el transcurso del estudio se conociera información relevante que afecte a la relación entre el riesgo y el beneficio de la participación, se le transmitirá para que pueda decidir abandonar o continuar.

**¿Obtendré algún beneficio por participar?**

No se espera que Vd. obtenga beneficio directo por participar en el estudio. El único beneficio es estudiar los mecanismos responsables de la fatiga en judo, por ello por su condición de practicante de este deporte obtendrá información que le podrá ayudar a usted y su entrenador en la preparación de las sesiones del entrenamiento para la competición.

**¿Recibiré la información que se obtenga del estudio?**

Si Vd. lo desea, se le facilitará un resumen de los resultados del estudio.

También podrá recibir los resultados de las pruebas que se le practiquen si así lo solicita. Estos resultados pueden no tener aplicación clínica ni una interpretación clara, por lo que, si quiere disponer de ellos, deberían ser comentados con los investigadores del estudio.

**¿Se publicaran los resultados de este estudio?**

Los resultados de este estudio serán publicados en publicaciones científicas para su difusión, pero no se transmitirá ningún dato que pueda llevar a la identificación de los participantes.

### **¿Cómo se protegerá la confidencialidad de mis datos?**

El tratamiento, comunicación y cesión de sus datos se hará conforme a lo dispuesto por la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal. En todo momento, Vd. podrá acceder a sus datos, corregirlos o cancelarlos.

Sólo el equipo investigador tendrá acceso a todos los datos recogidos por el estudio. Se podrá transmitir a terceros información que no pueda ser identificada. En el caso de que alguna información sea transmitida a otros países, se realizará con un nivel de protección de los datos equivalente, como mínimo, al exigido por la normativa de nuestro país. La transmisión de datos a terceros tiene por finalidad el realizar un análisis más exhaustivo de algunos parámetros registrados que por razones técnicas no podrían ser analizados en nuestro laboratorio.

### **¿Qué ocurrirá con las muestras obtenidas?**

Como se ha comentado anteriormente, las pruebas del estudio requieren muestras sanguíneas de muy bajo volumen y cuyo análisis se realiza de forma inmediata mediante sistemas de tiras reactivas. Por ello, una vez obtenido el dato, dichas muestras serán desechadas.

### **¿Existen intereses económicos en este estudio?**

Ninguno de los investigadores recibirá retribución específica por la dedicación al estudio.

Vd. no será retribuido por participar.

Es posible que de los resultados del estudio se deriven productos comerciales o patentes. En este caso, Vd. no participará de los beneficios económicos originados.

Todas las mediciones se llevarán a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física de la Universidade da Coruña, por lo que en ningún caso se contempla el alquiler o arrendamiento de instalaciones.

**¿Quién me puede dar más información?**

Puede contactar con Eduardo Carballeira Fernández en el teléfono 667 896 263 para más información.

**Muchas gracias por su colaboración.**

## 10.2 Anexo 2. Consentimiento para la participación en el estudio

**Título:** Efectos agudos de la competición en judo: análisis multiparamétrico

Yo, [nombre y apellidos] <sup>6</sup>

- He leído la hoja de información al participante del estudio arriba mencionado que se me entregó, he podido hablar con los investigadores del estudio y hacerles todas las preguntas sobre el estudio necesarias para comprender sus condiciones y considero que he recibido suficiente información sobre el estudio.
- Comprendo que mi participación es voluntaria, y que puedo retirarme del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Accedo a que se utilicen mis datos en las condiciones detalladas en la hoja de información al participante.
- Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Respecto a la conservación y utilización futura de los datos y/o muestras detallada en la hoja de información al participante,

---

<sup>6</sup> En caso de ser menor de edad se deberán rellenar dos consentimientos, uno por parte del participante y otro por el tutor legal del mismo.

- No accedo a que mis datos y/o muestras sean conservados una vez terminado el presente estudio
- Accedo a que mis datos y/o muestras se conserven una vez terminado el estudio, siempre y cuando sea imposible, incluso para los investigadores, identificarlos por ningún medio
- Accedo a que los datos y/o muestras se conserven para usos posteriores en líneas de investigación relacionadas con la presente, y en las condiciones mencionadas.

En cuanto a los resultados de las pruebas realizadas,

- DESEO conocer los resultados de mis pruebas
- NO DESEO conocer los resultados de mis pruebas

El/la  
participante  
tutor legal,

Los investigadores,

**Fdo.:**

**Fdo.:**  
Eduardo  
Carballeira  
Fernández

**Fdo.:**  
Eliseo  
Iglesias  
Soler

**Fdo.:**  
Xurxo  
Dopico  
Calvo

**Fecha:**

**Fecha:**

**Fecha:**

**Fecha:**

### 10.3 Anexo 3. Protocolo de calentamiento

Duración	Actividad	Series x Repeticiones
2'	Trote ligero	
2'	Movilidad Articular pasando por posiciones	5" cada posición
3'	Repeticiones de habilidades (uchi-komi) en estático de los grupos de habilidades: Giro a 2 Apoyos, Giro a 1 Apoyo y Sin Giro	3 x 10
8'	Repeticiones con desplazamiento (Yaku-soku-geiko)	2 x 5 habilidades con combinación x 6 repeticiones explosivas
2'	Combate (Randori Ne-waza) suelo	1
5'	Combate (Randori Kumikata) agarre	2 x 1' + r:30" + 1'
3'	Combate (Randori Tachi-waza)	1
3'	Proyecciones alternando con el compañero (Nage-komi)	3 x 3
2'	Estirar y Rehidratarse	
<b>30'</b>	<b>Tiempo Total</b>	
<b>24'</b>	<b>Tiempo Actividad con Implicación Fisiológica (Sombreado GRIS)</b>	

### 10.4 Anexo 4. Hoja de seguimiento de la evaluación

#### PRE:

- Equilibrio 30seg ojos abiertos (no registro) + 30seg ojos cerrados.
- 2 x CMJ
- 2seg pretensión + 10seg Remo Isometrico 90<sup>0</sup>
- 2seg pretensión + 10seg Press Isometrico 90<sup>0</sup>
- 1 x (derecha + izquierda) Dinamometria manual 10seg
- 3seg referencia peso y pretensión + 10seg sentadilla isometrica 135<sup>0</sup>

- Recuperacion 3min

- Lactato pre-test A y B

	BASAL	REPOSO
JUDOCA A		
JUDOCA B		

	HORA INICIO	HORA FINAL
<b>COMBATE 1</b>		

[LA]			
	PRE	POST 1'	POST 3'
JUDOCA A			
JUDOCA B			

	HORA INICIO	HORA FINAL
<b>COMBATE 2</b>		

[LA]			
	PRE	POST 1'	POST 3'
JUDOC A A			
JUDOC			

<b>A B</b>			
------------	--	--	--

		HORA INICIO	HORA FINAL
<b>COMBATE 3</b>			
[LA]			
	PRE	POST 1'	POST 3'
JUDOCA A			
JUDOCA B			

		HORA INICIO	HORA FINAL
<b>COMBATE 4</b>			
[LA]			
	PRE	POST 1'	POST 3'
JUDOCA A			
JUDOCA B			

## POST:

- Equilibrio 30seg ojos abiertos + 30seg ojos cerrados
- [LA] -> 1 MIN
- Equilibrio 30seg ojos abiertos + 30seg ojos cerrados
- [LA] -> 3 MIN
- RFC: 1er y 2º minuto
- 2 x CMJ
- 2seg pretensión + 10seg Remo Isométrico 90°
- 2seg pretensión + 10seg Press Isométrico 90°
- 1 x (derecha + izquierda) Dinamometría manual 10seg
- 3 seg referencia peso y pretensión + 10seg sentadilla isométrica 135°.