

Arián Ramón Aladro Gonzalvo

Efecto de la organización de la
práctica sobre el balance
autónomo cardíaco y el
desempeño motor de adultos
jóvenes sanos en una destreza
motriz fundamental

Departamento
Fisiatría y Enfermería

Director/es
Tricas Moreno, José Miguel
Lucha López, María Orosia

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



Universidad
Zaragoza

TESIS DOCTORAL

Efecto de la organización de la práctica sobre el balance autónomo cardíaco y el desempeño motor de adultos jóvenes sanos en una destreza motriz fundamental

Autor

Arian Ramón Aladro Gonzalvo

Directores

Dra. María Orosia Lucha López

Dr. José Miguel Tricás Moreno

Facultad de Ciencias de la Salud

2019

INFORME FAVORABLE DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACION

El Dr. D. José Miguel Tricás Moreno, codirector de la Tesis Doctoral titulada “Efecto de la organización de la práctica sobre el balance autónomo cardíaco y el desempeño motor de adultos jóvenes sanos en una destreza motriz fundamental”, realizada por D. Arian Ramón Aladro Gonzalvo en el Departamento de Fisiatría y Enfermería de la Universidad de Zaragoza, por el presente informe, autoriza su presentación a trámite, dado que reúne con un nivel de excelencia las condiciones necesarias para su presentación y defensa, destacando especialmente el arduo trabajo realizado por el doctorando para llevar a cabo la Tesis y la complejidad, exactitud y rigor de las argumentaciones que apoyan la expresión de las conclusiones.

La Tesis se corresponde con el Plan de investigación con título inicial “Interferencia contextual y estrés fisiológico en la adquisición, retención y transferencia de una habilidad coordinativa de miembros inferiores”.

Firmado Dr. D. José Miguel Tricás Moreno

INFORME FAVORABLE DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACION

La Dra. María Orosia Lucha López, codirectora de la Tesis Doctoral titulada “Efecto de la organización de la práctica sobre el balance autónomo cardíaco y el desempeño motor de adultos jóvenes sanos en una destreza motriz fundamental”, realizada por D. Arian Ramón Aladro Gonzalvo en el Departamento de Fisiatría y Enfermería de la Universidad de Zaragoza, por el presente informe, autoriza su presentación a trámite, dado que reúne con un nivel de excelencia las condiciones necesarias para su presentación y defensa, destacando especialmente el arduo trabajo realizado por el doctorando para llevar a cabo la Tesis, la profundidad en el análisis de los resultados, la compleja reflexión desarrollada en la discusión que apoya la expresión de las conclusiones y la primorosa culminación de las actividades del doctorando, llevadas a cabo exhaustivamente y en un ámbito internacional.

La Tesis se corresponde con el Plan de investigación con título inicial “Interferencia contextual y estrés fisiológico en la adquisición, retención y transferencia de una habilidad coordinativa de miembros inferiores”.

Firmado Dra. María Orosia Lucha López

A mi padre, madre y hermano, pero en esta ocasión muy en especial, al primero de ellos, porque la vida no le alcanzó para ver concretado este proyecto.

A mi esposa e hijo, por toda la paciencia, la confianza, y sobre todo, por el amor entregado durante todos estos intensos años dedicados al doctorado.

A mi otra familia, abuelos que ya no están, tíos, primos, amigos y a Eduardo Antonio, este logro también es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Si existen pocos momentos placenteros durante la concepción, ejecución y redacción de una tesis de doctorado, puedo afirmar que este es uno de esos. Agradecer a todos los que de una u otra forma han contribuido a que este proyecto toque tierra, representa la más clara evidencia de que realmente es así.

Por ello, es el momento, y en primer lugar de, dar las gracias a mis dos excepcionales Directores de tesis: María Orosía Lúcha López y José Miguel Tricas Moreno. La confianza inicial y generosa, puesta en mí por José Miguel, así como sus sabios consejos, fueron los elementos que dieron origen a lo que hoy, en estos peculiares folios se puede leer. Mi mayor gratitud a María Orosia, quien mes a mes y año tras año, estuvo para resolver todas mis dudas, mis incertidumbres y frustraciones, siempre con la más paciente y amable de las intenciones, que sumadas con su inequívoca supervisión metodológica facilitaron este trabajo.

También agradezco a la Universidad de Zaragoza por esta oportunidad formativa, y al auspicio recibido por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador para el desarrollo de estos estudios.

Un agradecimiento especial también debo a mis compañeros de “fórmula”, Danilo Esparza y Enrique Gea; amigos, no saben cuánto me sirvieron las tertulias, las críticas y los momentos del café.

A los que queriendo y sin querer, también me apoyaron, y a los eternos preocupados, que en ocasiones, y con sarcástica intención afirmaban ¡te falta poco, verdad!

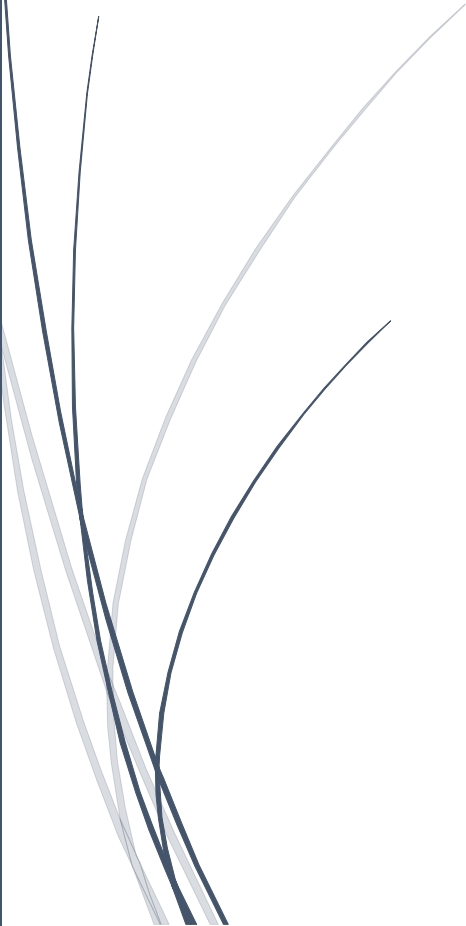
.....a todos, GRACIAS!!

«Y todo como el diamante antes que luz, es carbón»

José Martí



Índice



ÍNDICE

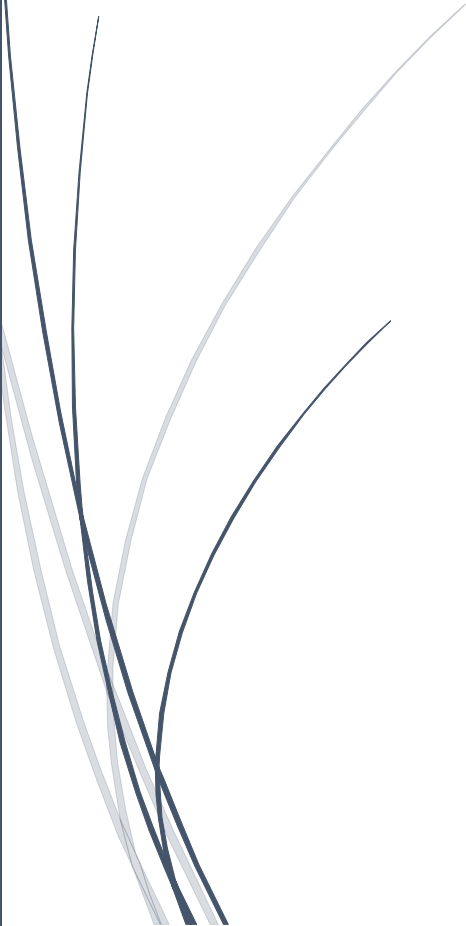
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
LISTA DE ABREVIATURAS	5
INTRODUCCIÓN	6
Determinantes para la ejecución del desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal	8
Control postural. Elementos que lo integran	9
Mecanismos de control de la función postural: Determinantes neurofisiológicos y sensoriales para el equilibrio postural vertical (estático y dinámico)	12
Efecto postural de diferentes tipos de ejercicios y actividades físico-deportivas	16
Capacidad y distribución de carga de peso corporal inter-miembros	18
Estrategias motoras para la conservación del equilibrio postural	19
Otros factores que afectan el equilibrio postural	22
Aprendizaje motor	23
Proceso de aprendizaje durante la práctica física de destrezas motrices	23
Teorías sobre el aprendizaje motor	24
Etapas del aprendizaje	26
Condiciones de práctica	28
Interferencia contextual	32
Mecanismos neurofisiológicos y de control neural del sistema autónomo implicados en el desempeño de secuencias motoras	42
Sistemas de control neural central del flujo autónomo cardíaco	42
Integración neurovisceral y comportamental	46
Una aproximación teórica a la utilidad de la VFC para evaluar el esfuerzo cognitivo durante la ejecución de secuencias motoras	48
PROBLEMAS	51
Para comprobar el efecto de IC:	53

Para establecer si la respuesta autónoma cardiaca se relaciona con el desempeño motor:	53
Para determinar si la habilidad para sentarse y levantarse predice la capacidad de transferencia de la destreza de acuerdo con la condición de práctica ejecutada:	53
JUSTIFICACIÓN	54
HIPÓTESIS	56
Hipótesis específicas	56
OBJETIVOS	57
Objetivo General	57
Objetivos específicos	57
METODOLOGÍA	58
Participantes	58
Criterios de inclusión y exclusión	58
Tipo de estudio	59
Supuestos del estudio	59
Delimitación y limitación	59
Tamaño mínimo de muestra:	59
Limitaciones del planteamiento metodológico del estudio:	60
Variables	60
Variables Independientes	60
Variables Dependientes	60
Co-variables	60
Instrumentos	70
Procedimientos	72
Procedimiento de las condiciones experimentales de práctica y prueba	77
Protocolo general	83
Aspectos éticos	84
Análisis de los datos	84
Estadística descriptiva	85
Estadística inferencial	85
RESULTADOS	92
Características generales de los participantes	92
Resultados de las comparaciones para las diferencias entre grupos	97
Resultados de la magnitud de las diferencias observadas entre grupos	106

Resultados de las comparaciones para las diferencias dentro de los grupos ..	109
Resultados de la magnitud de las diferencias observadas dentro de los grupos	134
Resultados de las correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el desempeño motor.....	136
Resultados de las correlaciones entre el porciento de variación del peso corporal en la prueba simple de sentarse y levantarse y el desempeño motor.....	144
Resultados de las regresiones lineales para las correlaciones significativas...	145
DISCUSIÓN	147
Características generales de los participantes.....	147
Comprobación de la hipótesis 1.	148
Comparaciones de las diferencias entre los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la adquisición.	149
Comparaciones de las diferencias entre los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la retención.	155
Comparaciones de las diferencias entre los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la transferencia.	159
Comprobación de la hipótesis 2.	161
Comprobación de la hipótesis 3.	170
Comprobación de la hipótesis 4.	178
Limitaciones del estudio	182
Utilidad del estudio	183
Aplicación práctica	183
Aplicación clínica	185
Futuras líneas de investigación en el área de la interferencia contextual	188
CONCLUSIONES	190
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	192
ANEXOS.....	212
Anexo 1. Consentimiento Informado	212
Anexo 2. Cuestionario para la selección de los potenciales participantes	215
Anexo 3. Convocatoria en línea	216
Anexo 4. Aprobación del estudio por el Comité de Ética y Bioética de la Universidad de las Américas	218



Resumen



RESUMEN

Introducción: Las destrezas locomotrices, como caminar, correr, sentarse y levantarse, y con ellas otras actividades básicas para el cuidado personal y el trabajo, involucran movimientos dinámicos precisos que desplazan el peso corporal en los planos frontal y sagital. El programa de aprendizaje de destrezas complejas afecta el desempeño motor durante la práctica, donde una alta interferencia con la práctica aleatoria produce una mejor retención de la destreza. Sin embargo, no se conoce mucho sobre la manera más eficiente de aprender una destreza locomotriz fundamental no entrenada, y si el desempeño motor puede ser explicado por los cambios en la función cardíaca autónoma que resulta de la carga cognitiva alcanzada durante la práctica con diferentes programas.

Objetivos: determinar si el programa de práctica modifica el aprendizaje motor de una destreza de equilibrio dinámico en sujetos jóvenes sanos, y establecer si existe una relación entre el desempeño motor y la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante la práctica con diferentes programas.

Metodología: Se realizó un estudio cuasi-experimental aleatorio no controlado. Después de un análisis de poder de muestra, participaron en el estudio sesenta y tres estudiantes universitarios (20.63 ± 2.58 años) sin trastornos del equilibrio y sin entrenamiento previo en tareas de equilibrio o coordinación de miembros inferiores (e.g. *parkour*, *cheerleader*, malabarismo, entrenamiento funcional, monopatín o similar). Estos fueron asignados al azar y equitativamente a tres programas de práctica (i.e., bloqueada, aleatoria o gradual). De acuerdo con la información de retroalimentación proporcionada por un ordenador, la tarea de aprendizaje del equilibrio dinámico consistió en el desplazamiento entre miembros del peso corporal (i.e., en el plano frontal) sobre una plataforma de fuerza durante una tarea de seguimiento visual de un objetivo. El orden de presentación de los parámetros de fuerza-carga fue manipulado entre programas y ensayos con un rango del 35% al 15% del peso corporal, con el fin de obtener el efecto de interferencia contextual. Dieciocho ensayos se llevaron a cabo durante la práctica de adquisición y 24 horas más tarde durante la prueba de retención de la destreza, mientras que 4 ensayos se ejecutaron en la prueba de transferencia. Las variables evaluadas fueron el desempeño motor (tiempo de ejecución y errores de ejecución) y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (proporción *Low frequency/High frequency*; LF/HF) durante la adquisición, retención y transferencia de la destreza.

Resultados: Al comparar los puntajes en la adquisición con los puntajes en la retención, la prueba de Wilcoxon encontró que con los tres programas de práctica se retuvo el aprendizaje ($p > 0.05$), pero el desempeño motor con la práctica bloqueada incluso mejoró en la retención (tiempo de ejecución: diferencia de mediana = -24s, $Z = -3.555$, $p = 0.000$; errores de ejecución: diferencia de mediana = -36, $Z = -2.728$; $p = 0.006$). El efecto principal de Kruskal-Wallis H para la comparación intergrupo fue significativo ($p < 0.05$). El *post hoc* U de Mann-Whitney encontró que, al comparar con el programa bloqueado, el programa gradual aumenta los errores de ejecución durante la adquisición y la retención ($p < 0.017$), mientras que entre el programa bloqueado y aleatorio no hubo diferencias en el desempeño motor. Estos resultados no apoyan el mejor efecto de los programas aleatorio (i.e., efecto de interferencia contextual) y gradual durante la prueba de retención, y coinciden parcialmente con resultados meta-analíticos que han encontrado diferencias entre los programas de práctica solo durante la adquisición.

Además, los tres programas facilitaron por igual la transferencia de la destreza en una tarea que combinó el desplazamiento entre miembros del peso corporal con la ejecución de flexión y extensión lenta de rodillas ($p > 0.05$). La respuesta del sistema cardíaco

autónomo durante los ensayos de transferencia fue mayor en aquellos participantes previamente entrenados en un programa gradual en comparación con los entrenados con la práctica aleatoria.

Interesantemente, en ninguno de los tres programas hubo una correlación estadísticamente significativa entre la proporción LF/HF y el desempeño motor alcanzado durante la adquisición, retención y transferencia de la destreza. Durante el proceso de aprendizaje, solo con la práctica bloqueada el desempeño motor mostró una correlación significativa con la proporción LF/HF: en la medida que el desempeño motor empeoró en la práctica de adquisición, aumentó la respuesta del índice simpático-vagal en reposo durante la prueba de retención, y esta respuesta cardíaca predijo la disminución de la precisión de la tarea.

Conclusiones: En unas pocas sesiones, los sujetos jóvenes y sanos aprenden a controlar el desplazamiento entre miembros del peso corporal en una destreza de equilibrio dinámico, pero la optimización del tiempo de ejecución y la precisión en la tarea sólo es posible cuando se realizan ensayos continuos de la destreza sin modificar tempranamente los parámetros de carga-fuerza (práctica bloqueada). Además, los tres programas facilitaron la transferencia de la destreza.

La proporción LF/HF durante la ejecución de la tarea de equilibrio dinámico no tiene la capacidad de predecir el desempeño motor. Sin embargo, este índice simpático-vagal tiene la propiedad de detectar la respuesta emocional del individuo en el contexto de la práctica bloqueada.

Estos resultados son útiles para entrenadores y educadores físicos en su intento de crear entornos de aprendizaje en los que las destrezas fundamentales se practican de manera efectiva.

Palabras clave: aprendizaje motor, destreza motriz fundamental, interferencia contextual, equilibrio vertical dinámico, variabilidad de la frecuencia cardíaca

Puntos clave:

- El efecto de interferencia contextual no se muestra cuando se practica una destreza motriz fundamental de equilibrio postural.
- La práctica aleatoria debe ser lo suficientemente potente para producir un cambio de comportamiento motor.
- Desafiar gradualmente al practicante no es una estrategia útil para programar la práctica de una destreza motriz fundamental continua de equilibrio postural.
- Todos los programas benefician la retención de la destreza, pero la forma más eficiente de desempeñarse es con la práctica bloqueada.
- La programación bloqueada retarda la recuperación post-práctica del control autónomo cardíaco en la adquisición.
- En comparación con las otras prácticas, la exposición a una práctica bloqueada estimula valores óptimos de control autónomo cardíaco que, al parecer favorecen el desempeño motor en la retención.
- Con la práctica bloqueada, un peor desempeño motor en la adquisición se relaciona con un mayor índice simpático-vagal en reposo previo a la prueba retención.
- Con la práctica bloqueada, un mayor índice simpático-vagal en reposo previo a la prueba retención se relaciona con una mayor cantidad de errores durante esta prueba.
- Todos los programas de práctica benefician por igual la transferencia del aprendizaje.
- El equilibrio autónomo del corazón durante la tarea de transferencia se perturba más en los individuos previamente entrenados en un programa gradual.

ABSTRACT

Introduction: Locomotor skills such as walking, running, sitting and stand-sit and sit-stand transitions, and with them other basic activities for personal care and work, involve temporarily optimal and precise dynamic movements of body weight displacement in the frontal and sagittal planes. The scheme of learning complex skills during practice affects motor performance, where a high interference with random practice supports the better retention of the skill. However, not much is known about the most efficient way to learn fundamental untrained locomotor skill and if the motor performance could be explained by changes in autonomic cardiac function resulting from cognitive loading achieved during motor practice with different schemes.

Objectives: To determine if the practice scheme modifies the motor learning of a dynamic balance skill in healthy young subjects, and to establish if there is a relationship between motor performance and heart rate variability during motor learning with different practice schemes.

Methods: A randomized non-controlled cuasi-experimental study was carried out. After a power sample analysis, sixty-three (20.63 ± 2.58 years of age) university students without balance disorders and previous training in tasks of balance or coordination of lower limbs (e.g. parkour, cheerleading, juggling, functional training, skateboarding, or similar) participated in the study. They were assigned randomly and equally to three practice schemes (i.e., blocked, random, or increasing). According to feedback provided on a computer, the learning task of dynamic balance consisted in the inter-limbs displacement of body weight (i.e. in the frontal plane) on a platform of force during a task of visual tracking a target. The order of the motor parameters of force-load was manipulated between schemes and trials ranging from 35% to 15% of the body weight, in order to get the contextual interference effect. Eighteen trials were carried out during the acquisition practice and 24 hours later during retention test of the skill, while 4 trials were carried out in the transfer test. The outcome measures were motor performance (time of execution and execution errors) and heart rate variability (LF/HF ratio) during the acquisition, retention, and transfer of the skill.

Results: When comparing the scores in the acquisition practice with the scores in the retention test, the Wilcoxon test found that, with all three practice schemes the learning was retained ($p > 0.05$), but the motor performance with the B practice even improved in the retention (time of execution: mean differences = -24s, $Z = -3.555$, $p = 0.000$; execution errors: mean differences = -36, $Z = -2.728$; $p = 0.006$). The Kruskal-Wallis H of the main effect for intergroup comparison was significant ($p < 0.05$). A Mann-Whitney U post hoc procedure found that compared with blocked scheme, the increasing scheme elevated the execution errors during the acquisition and retention ($p < 0.017$), while between blocked and random schemes there were no differences in the motor performance. The results do not support the better effect of the random (i.e., contextual interference effect) and increasing schemes during the retention test and coincide partially with meta-analytic results that found differences between practice schemes only during the acquisition practice.

Moreover, the three schemes facilitated a similar motor performance during the skill transfer that combined the displacement inter-limbs of the body weight and the slow knee flexion and extension task ($p > 0.05$). The response of the sympathovagal balance during the transfer trials was greater in those participants previously trained in an increasing scheme compared to those trained with random scheme.

Interestingly, none of the three schemes presented a statistically significant correlation between the response of the sympathovagal balance and the motor performance

achieved during the acquisition, retention, and transfer of the skill. During the process of learning, only with the blocked practice, the motor performance showed a significant correlation with LF/HF ratio, as follows: as the motor performance worsens in the acquisition practice, it increases the response of the sympathovagal balance at rest during the retention test and, this cardiac response predicts the decrease in the accuracy of the task.

Conclusions: In a few sessions, young and healthy subjects learn to control the inter-limbs displacement of body weight during a dynamic balancing task, but, the optimization of the execution time and the accuracy in motor task only is possible when continuous trials of the skill are performed without modifying early force-load parameters of the task (blocked practice). In addition, all three schemes facilitated the transfer of learning.

LF/HF ratio during the execution of the dynamic balancing task does not have the capacity to predict the motor performance. However, this sympathovagal balance has the property of detecting the arousal response of the individual in the context of the blocked practice.

These results would be useful for coaches and physical educators in their intent to create learning environments in which fundamental motor skills are effectively practiced.

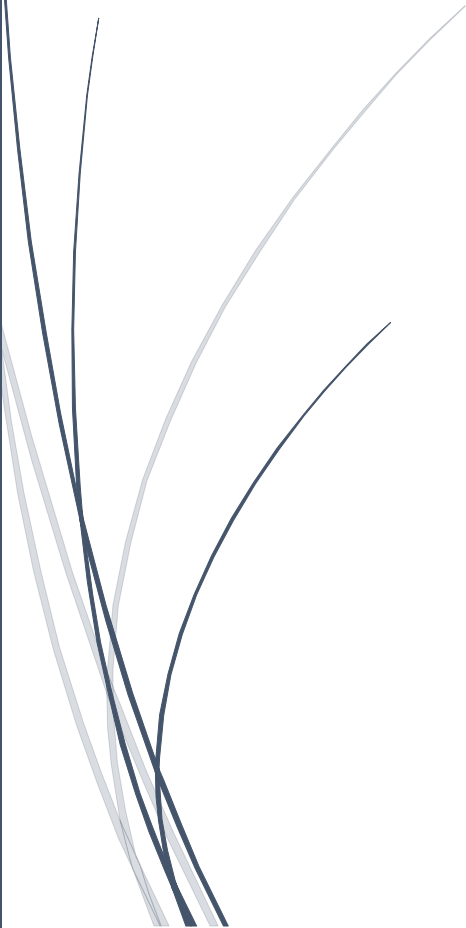
Keywords: motor learning, fundamental motor skill, contextual interference, dynamic vertical balance, heart rate variability

Key points:

- The contextual interference effect doesn't show when a dynamic balance skill is practiced.
- Random practice must be powerful enough to produce a change in motor behavior.
- Gradually challenging the individual isn't a useful strategy to program the practice of a continuous skill of dynamic vertical balance.
- All three practice schemes benefit the retention of the skill, but the most efficient way to perform the skill is with the blocked practice.
- Blocked practice delays the post-practice recovery of cardiac autonomic control in acquisition.
- Exposure to a blocked practice arouses optimal values of cardiac autonomic control and seems to benefit the motor performance in retention.
- With the blocked practice, a worse motor performance in the acquisition is related to a higher sympathovagal balance at rest prior retention test.
- With the blocked practice, a higher sympathovagal balance at rest prior to the retention test is correlated to a greater amount of errors of execution during this test.
- All three practice schemes likewise benefit the transfer of learning.
- Cardiac autonomic control during the transfer task is more disturbed in individuals who previously trained in an increasing scheme.



Abreviaturas

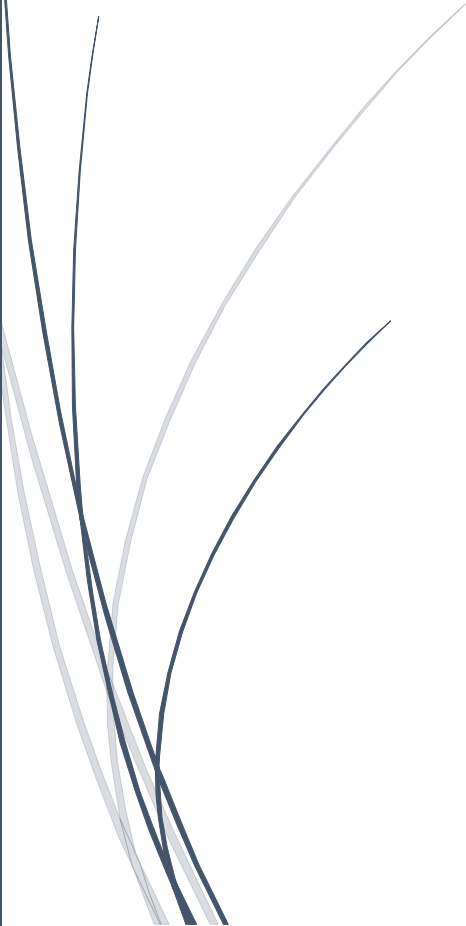


LISTA DE ABREVIATURAS FRECUENTES

APA:	Ajustes posturales anticipatorios
DM:	Desempeño motor
DMF:	Destreza motriz fundamental
EIC:	Efecto de interferencia contextual
IC:	Interferencia contextual
IMC:	Índice de masa corporal
LF/HF:	<i>Low frequency/High frequency</i>
M1:	Corteza motora primaria
NTC:	Núcleo del tracto solitario
PA:	Práctica aleatoria
PB:	Práctica bloqueada
PG:	Práctica gradual
PGf:	Fibras parasimpáticas posganglionares
PMG:	Programa motor generalizado
PMN:	Neuronas motoras parasimpáticas
pSMA:	Área motora pre suplementaria
SG:	Fibras simpáticas posganglionares
SMA:	Área motora suplementaria
SMN:	Neuronas motoras simpáticas
SNA:	Sistema nervioso autónomo
SNP:	Sistema nervioso parasimpático
SNS:	Sistema nervioso simpático
TE:	Tamaño de efecto
VFC:	Variabilidad de la frecuencia cardíaca
VLM:	Médula ventrolateral rostral



Introducción



INTRODUCCIÓN

Las destrezas motrices tienen un rol determinante en el desarrollo y las manifestaciones de las experiencias humanas. Estas experiencias pueden variar desde la ejecución de secuencias motrices poco aprendidas en situaciones muy complejas, como volar un avión en turbulencias, hasta la ejecución de secuencias de movimiento consolidadas, como agarrar una taza y llevarla a la boca (Winstein, 1991).

Según Schmidt & Lee, (2014) una destreza debe ser concebida como las exigencias cognitivo-motrices que debe poner en marcha la persona para acometer con éxito una tarea en particular, y que en gran medida depende de rasgos heredados, estables y duraderos (i.e. habilidades motrices). Además, la destreza tiene la característica de ser desarrollada y fácilmente modificada con la práctica, y son esencialmente incontables en número.

Las destrezas motrices fundamentales (DMFs) son patrones básicos de movimiento observables y requisitos previos para el desempeño exitoso de otras destrezas fundamentales y deportivas específicas. Las DMFs tales como caminar, correr, sentarse y levantarse, y con ellas otras actividades básicas para el cuidado personal y el trabajo, pueden verse deterioradas por una enfermedad o accidente incapacitante (Macdonald, Lord, & Ulrich, 2013; Mcculloch, Buxton, Hackney, & Lowers, 2010) y como consecuencia del envejecimiento (Vanswearingen & Studenski, 2014). Estas destrezas se pueden clasificar como locomotrices (e.g. correr y saltar), de control de objetos (e.g. capturar y golpear) y de equilibrio postural (e.g. desplazar o transferir el peso corporal) (Gallahue & Ozmun, 2006), y el nivel de desempeño que se alcance en ellas está correlacionado con algunos factores biológicos, sociales y demográficos (Barnett et al 2016).

En la literatura se recoge que un importante número de actividades propias de la necesidad de movimiento de la persona requieren de la destreza de equilibrio postural dinámico (Hof, 2008; Fujimoto & Chou, 2012; Novacheck, 1998; Winter, 1995). Un correcto desempeño en esta destreza puede ser sinónimo de la optimización de parámetros temporales y espaciales de un conjunto de secuencias motrices para estabilizar el centro de masa corporal en respuesta a perturbaciones externas y a movimientos autoiniciados como el desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal. Estos movimientos de desplazamiento de la carga de peso corporal son críticos para ejecutar patrones locomotores, como caminar, correr y saltar, etc.

Un correcto desempeño es considerado como el grado de ejecución experto de un sujeto en una tarea en particular, y es el resultado de un complejo proceso de aprendizaje que se alcanza durante una práctica repetida, y que se manifiesta como un comportamiento motor planificado de antemano con elementos ampliamente refinados y organizados, realizado con más precisión, más rápidamente (i.e. exacto espacial y temporalmente) y con menos trabajo o energía (Milton, Small, & Solodkin, 2004). De modo, que si se estudian los elementos del proceso de aprendizaje (i.e. métodos, factores determinantes y moderadores, etc.) que intervienen en el grado de desempeño motor (DM) durante la ejecución del desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal, esta destreza en sí misma, así como todas las habilidades y destrezas de locomoción que dependen o se relacionan con ésta, podrían verse mejoradas (e.g. la movilidad, la participación en actividades físico-deportivas y de la vida diaria, y la ejecución de destrezas complejas).

Determinantes para la ejecución del desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal

A pesar de que en la literatura no se precisan los elementos determinantes para la ejecución de la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación, a continuación, se explican algunos factores que deben considerarse (figura 1).

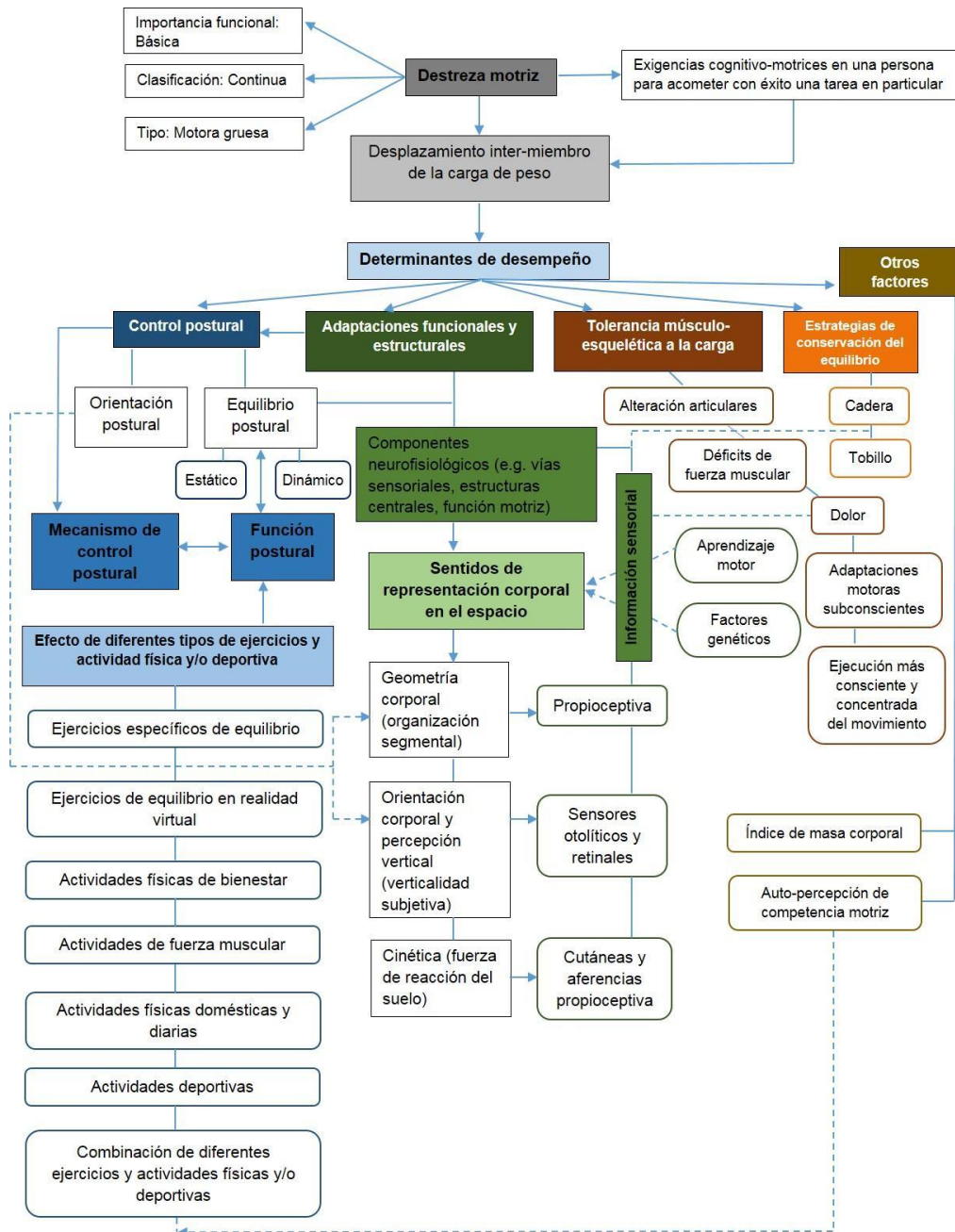


Figura 1. Diagrama de los factores que determinan el DM para el desplazamiento inter-miembros de la carga corporal. Fuente: Elaboración propia.

Control postural. Elementos que lo integran

La ejecución de un movimiento voluntario incluye dos componentes distintos: el movimiento en sí mismo y el mantenimiento de la postura vertical; es por ello que, en el campo del control motor, cualquier acción se ha visto con frecuencia como una combinación de componentes posturales y de movimiento. El primero se refiere a un estado caracterizado por una cierta posición o configuración de las partes del cuerpo (desde un solo músculo hasta múltiples músculos, sistemas multiarticulares, y de todo el cuerpo) con respecto a un marco de referencia; mientras que el movimiento son cambios de posición corporal variando en el tiempo. De aquí se desprende que el movimiento es una secuencia en el tiempo de las posturas y la postura a su vez es un componente inherente de cualquier movimiento (Latash & Zatsiorsky, 2016).

En este apartado se hará énfasis en los elementos posturales para el movimiento; los elementos para el movimiento voluntario en sí mismo se abordarán más adelante.

El **control postural** es considerado una destreza compleja basado en la interacción de procesos sensoriomotores dinámicos con objetivos funcionales claramente establecidos: **la orientación postural y el equilibrio postural** (Horak, 2006). La orientación postural, o simplemente postura, implica la alineación activa del tronco y la cabeza con respecto a la gravedad, las superficies de apoyo, el entorno visual y las referencias internas. El equilibrio postural implica la coordinación de estrategias de movimiento para estabilizar el centro de masa corporal durante las perturbaciones autoiniciadas y desencadenadas externamente (Horak, 2006). Ambos objetivos funcionales en la mayoría de los casos son mutuamente excluyentes, debido a que una mala orientación postural necesariamente no se relaciona con cambios en el equilibrio postural, es por ello que en ocasiones las terapias para la mala postura deben considerarse por separado de las medidas terapéuticas para mejorar las destrezas de equilibrio (Ludwig, 2017).

Para un correcto control postural la información de los sistemas somatosensorial (receptores cutáneos y propioceptores, estos últimos localizados en músculos, tendones articulaciones y en el aparato vestibular) y perceptivo (receptor visual) deben estar integradas (Fernández del Olmo, 2012; Latash & Zatsiorsky, 2016), y los pesos relativos colocados en cada una de estas aferencias dependen de los objetivos del movimiento y del contexto ambiental (**figura 2**).

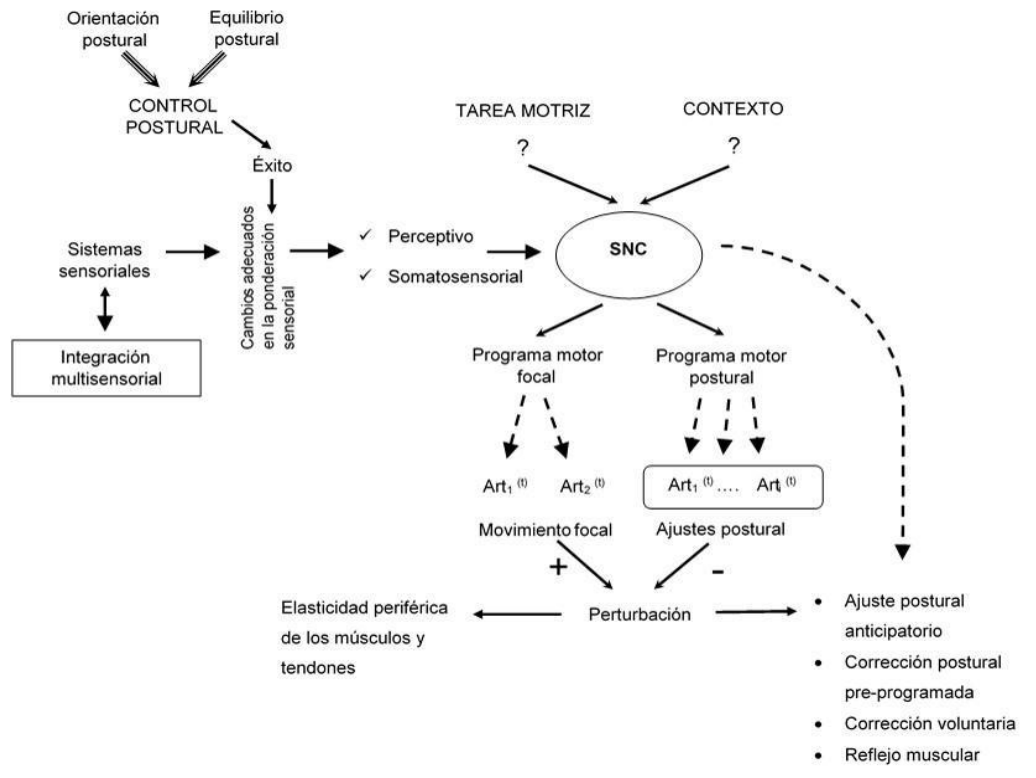


Figura 2. Mecanismos de control postural generado por el SNC y basado en las características de la tarea y el contexto. Nota: Las flechas indican la dirección de la información eferente, y los signos (+) y (-) indican mayor o menor perturbación, respectivamente. Fuente: Adaptado de Latash, (1998, p170).

En el contexto del mantenimiento del equilibrio postural vertical o en bipedestación, descrito como una acción realizada por una persona en el campo de la gravedad y típicamente relacionada con la capacidad de esa persona de no caerse (Latash & Zatsiorsky, 2016, p308), se requiere de la retroalimentación rápida y continua de los sistemas visuales, vestibulares y sensoriales para ejecutar acciones neuromusculares suaves y coordinadas, de una fina interacción entre los movimientos en las diferentes articulaciones a lo largo del cuerpo, además de que la proyección del centro de masa caiga dentro del área de soporte, en concreto entre los pies. Bajo estos requerimientos, así como también por la presencia de posibles perturbaciones externas y cambios de orientación respecto a la gravedad, para Latash (Latash, 1998, p163) el cuerpo humano puede ser modelado con un péndulo invertido muy inestable (**figura 3**).

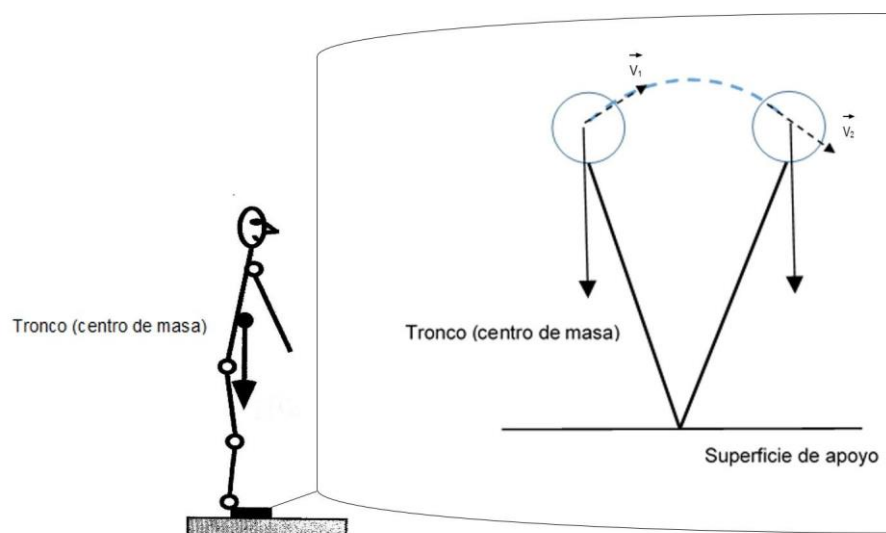


Figura 3. El mantenimiento del equilibrio en bipedestación depende de la integración multisensorial, de la interacción entre los movimientos en las diferentes articulaciones a lo largo del cuerpo, de la proyección del centro de masa dentro del área de soporte y de los cambios constantes de orientación del centro de masa que viaja a lo largo de la trayectoria del tronco (teoría del péndulo invertido). Fuente: Adaptado de Latash, (1998, p163).

El equilibrio postural del cuerpo en su conjunto y en respuesta a una perturbación postural predecible o presente, está asegurado por mecanismos centrales de control neuromuscular (que se explicarán más adelante) y por la combinación de señales de control para varios músculos y articulaciones (sinergias posturales y de movimiento). Estas sinergias forman un grupo separado de programas motores generalizados (PMG) que pueden mezclarse y combinarse como un comando motor disponible para un movimiento voluntario planeado (programa motor focal-sinergia de movimiento) y como un comando motor postural automático que contiene un conjunto de reacciones correctivas y anticipatorias apropiadas (programa motor postural-sinergia postural) (Latash, 1998, p170) (**figura 2**).

El control temporal de la acción, que permite una coordinación eficaz entre postura y movimiento, puede hacerse según un modo anticipado (ajuste postural anticipatorio), retroactivo (corrección pre-programada), voluntario (corrección postural voluntaria) o reflejo (Latash, 1998, p170; Olivier et al., 2013) (**figura 2**).

Específicamente, los ajustes posturales anticipatorios (APA) se describen comúnmente como actividades musculares inconscientes destinadas a contrarrestar la perturbación causada por el movimiento primario o autoiniciado, a fin de garantizar el equilibrio de todo el cuerpo. Estas actividades generalmente crean una o más cadenas de fijación que se extienden sobre varios músculos de diferentes extremidades y, por lo tanto, pueden denominarse APA entre miembros. Se ha informado, además, que otros

APA también preceden a los movimientos voluntarios que involucran masas pequeñas, como una flexión/extensión de la muñeca o durante movimientos de locomoción como, por ejemplo, el desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación. En particular, dichos movimientos van a estar precedidos por una cadena de APA intra-miembro, que involucra a los músculos que actúan sobre las articulaciones proximales (Cavallari et al 2016).

El equilibrio postural depende, además, de la representación corporal en el espacio (i.e. representación interna) que se desarrolla con insumos sensoriales y se basa en la geometría corporal (organización segmentaria), cinética (fuerza de reacción en el suelo), y señales de orientación corporal y de percepción vertical (verticalidad subjetiva). A su vez, dicha representación interna va a estar afectada por las experiencias motrices previas de aprendizaje, por factores genéticos (Paillard, 2017) y por la edad de la persona, donde la inestabilidad postural es más frecuente en la medida que avanza la edad (Ismail, El-salam & Fathi, 2017) sobre todo si no se tiene un nivel suficiente de actividad física crónica/regular y/o específica de equilibrio postural. En las personas ancianas son varios los factores neuropsicológicos que contribuyen a degradar el funcionamiento sensoriomotor y cognitivo responsable de la función postural. El cerebro envejece y las funciones ejecutivas, la memoria, los aprendizajes, el tiempo de tratamiento cortical de las informaciones, la capacidad de compartir los recursos atencionales y la concentración disminuyen (Lacour, 2016).

Recientemente, Boisgontier et al, (2017) al analizar los factores que influyen en el control del equilibrio postural vertical encontraron que la activación de regiones cerebrales corticosubcortical, la práctica, el índice de masa corporal más alto, la actividad física total más alta y un rango mayor de movimiento activo del tobillo fueron predictivos de una postura más estable.

Mecanismos de control de la función postural: Determinantes neurofisiológicos y sensoriales para el equilibrio postural vertical (estático y dinámico)

A continuación, se muestra una breve descripción de los componentes neurofisiológicos de la función postural con énfasis en los determinantes para el equilibrio postural y su relación con el efecto de la actividad física crónica/regular.

Los mecanismos de control postural cuyas aferencias son procesadas de manera muy compleja en diversas áreas del sistema nervioso central (SNC) y expresadas en una acción mecánica del sistema musculoesquelético, requieren de la información que emana

de los sistemas visuales, propioceptivos, vestibulares y cutáneos, y que se integran a nivel de los núcleos vestibulares (centro de integración en la **figura 4**) formando las principales conexiones vestibulo-oculares, vestibuloespinales y vestibulo-cerebelosas (Paillard, 2017). Por tanto, mantener el equilibrio requiere de una acción concertada entre los sistemas sensoriales, nerviosos y motores, por lo que la causa y el efecto se afectan mutuamente dentro de un circuito cerrado (**figura 4**). Los sistemas mencionados anteriormente y sus vías de conexión son propensos a los efectos de la edad cronológica y al deterioro relacionado con la enfermedad. La redundancia del circuito permite estrategias de compensación, por ejemplo, re-ponderación sensorial para mantener el equilibrio permanente a pesar del deterioro de los sistemas subyacentes (Pasma et al 2014).

El **comando motor voluntario** requiere la contribución coordinada de la función de los ganglios basales (selección del movimiento), el cerebelo (control del movimiento) y la corteza motora (activación del tracto corticoespinal) que constituyen el centro de control del equilibrio postural (**figura 4**).

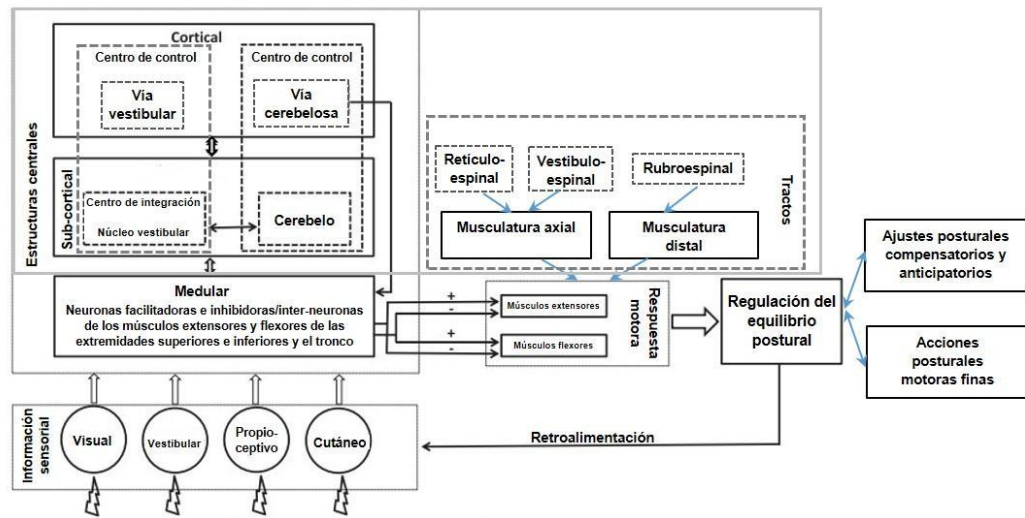
Boisgontier et al, (2017) recientemente investigó sobre las asociaciones entre el desempeño postural y las regiones cerebrales corticosubcortical en adultos jóvenes y adultos mayores utilizando imágenes estructurales múltiples y modelos lineales mixtos. Estos autores encontraron que, de las regiones involucradas en la postura, el tronco encefálico fue el predictor más fuerte de control y equilibrio postural, específicamente, un volumen más bajo del tronco encefálico predijo un mayor balanceo postural y mayores probabilidades de pérdida de equilibrio. Por el contrario, el volumen de los ganglios basales inferiores predijo un mejor desempeño postural, lo que sugiere una asociación entre mayores recursos neuronales en los ganglios basales y un mayor vigor del movimiento, que se explica por ajustes posturales exagerados.

La activación de los músculos extensores de la cabeza, tronco, muslo, pierna y pie (es decir, músculos antigravedad, fibras musculares tipo I, fibras profundas, musculatura proximal y/o axial) asegura la respuesta motora de la función postural, mientras sus antagonistas se inhiben mediante las neuronas inhibitoras y a través del reflejo de inhibición recíproco. La función de la **musculatura axial** depende de los tractos retículoespinal y vestibuloespinal (que controlan los ajustes posturales compensatorios y anticipatorios, respectivamente) y de una parte de la vía piramidal, mientras que la **musculatura distal** está activada y controlada por los núcleos rojo y el tracto rubroespinal en relación con las acciones posturales motoras finas y también por una parte de la vía piramidal (Paillard, 2017).

Aunque todavía se piensa que el papel del SNC en el control postural está más relacionado con las regiones subcorticales que con las corticales (Paillard, 2017), en atletas se ha demostrado que el entrenamiento de equilibrio dinámico mejora el control postural a través de mecanismos neuronales que involucran redes espinales y supraespinales (Taube, Gruber & Gollhofer, 2008). A nivel espinal, el entrenamiento de equilibrio parece inhibir la excitabilidad del reflejo espinal debido a un aumento en la inhibición presináptica. A nivel supraespinal (es decir, cortical motora), este entrenamiento puede reducir sustancialmente la excitabilidad corticoespinal y cortical, **por lo que la disminución de la regulación refleja inducida por el entrenamiento se asocia con mejoras en el desempeño del equilibrio** (Taube, 2007).

Otros estudios también subrayan la contribución cortical al control postural con una participación particular de las cortezas frontal y parietal (Hülzdünker et al. 2015; Van Impe et al. 2012). Recientemente, Beauchet et al (2016) demostró por primera vez que el hipocampo se asocia con mantener una postura vertical en adultos mayores sanos. La disminución en el balanceo postural en posición vertical se asoció con un menor volumen del hipocampo, y esta asociación fue mayor cuando los sujetos mantenían una posición erguida con los ojos cerrados en comparación con una condición menos desafiante, o sea con los ojos abiertos. En este estudio la inestabilidad postural se evaluó por una disminución en el balanceo postural mas no por un aumento, ya que, desde una perspectiva biomecánica, se necesita cierta variabilidad para mantener una postura erguida (Bruijn et al. 2013; Beauchet et al. 2011). Estos resultados sugieren que el hipocampo además de tener un importante papel en la memoria espacial y la orientación (Maguire et al 1998; Maguire et al, 2000) también contribuye al control postural, pero su activación es dependiente de la inhibición de la información visual. Por otra parte, también se han observado adaptaciones favorables en una tarea de equilibrio después de un entrenamiento específico de equilibrio asociadas con cambios estructurales en la materia gris y el volumen de materia blanca en el lóbulo prefrontal en individuos jóvenes no atléticos y sanos (Taube et al 2007).

Por lo tanto, las respuestas posturales automáticas están bastante controladas por las estructuras corticales y subcorticales (Paillard, 2017), y en conjunto con la integridad e integración de los sistemas sensoriales, se consideran imprescindibles para mantener el equilibrio postural vertical (Latash, 1998, p164) durante movimientos dinámicos complejos con gran sollicitación postural como los requeridos en el deporte, la danza, la acrobacia y la readaptación motriz, así como en los patrones básicos de movimiento de alcance de las extremidades superiores y de locomoción como caminar, correr, sentarse y levantarse, etc.



Movimiento auto-inciado/perturbación mecánica/deformación de la geometría corporal

Figura 4. Principales estructuras centrales para la función postural y su interacción. Nota: Las flechas indican la dirección de la información eferente, y los signos (+) y (-) indican activación e inhibición, respectivamente. Fuente: Adaptado de Paillard, (2017).

En mayor o menor magnitud la integración multisensorial estará arraigada en el PMG de destrezas específicas y en ocasiones el éxito del control postural dependerá del cambio en la ponderación sensorial de la información visual a la propioceptiva y/o visual a la vestibular, o viceversa (Golomer, & Dupui, 2000).

En personas jóvenes saludables el sistema visual es el sistema sensorial predominante para mantener un equilibrio postural óptimo (Gaerlan et al., 2012), lo mismo sucede en sujetos entrenados en destrezas de equilibrio dinámico en bipedestación (Muelas Pérez et al 2014). Sin embargo, también la complejidad de la tarea va a demandar una mayor o menor respuesta del sistema sensorial y esto parece ser dependiente del nivel de entrenamiento. Es en condiciones posturales más desafiantes, por ejemplo, con los ojos cerrados, parado sobre una sola pierna, o durante movimiento libres en una plataforma inestable, que la información somatosensorial se hace más confiable, y los sujetos sanos con ejercitada destreza exhiben un equilibrio superior en comparación con la respuesta de dicho sistema en tareas menos complejas (Simmons, 2005). En este sentido, cuando a los sujetos entrenados se les reduce solo la información somatosensorial proveniente de los miembros inferiores, el equilibrio se ve comprometido. Por ejemplo, los bailarines experimentan mayor inestabilidad postural cuando la información somatosensorial que se origina en los pies y la parte inferior de las piernas se hace intencionalmente menos confiable (Simmons, 2005) o cuando han sufrido una alteración en algunas las estructuras musculares o ligamentosas de esta región. En este

último sentido, Cheng-Feng et al (2011) encontraron que, en la ejecución de diferentes técnicas de ballet, los bailarines con esguince de tobillo no tienen la misma estabilidad postural (mayor desplazamiento antero-posterior y medial-lateral y de la trayectoria total del centro de presión) que bailarines sin lesión, y que su estabilidad es incluso inferior a la de los no bailarines. Se han observado disminuciones similares en el control postural en pacientes con trastornos propioceptivos severos y sujetos normales cuyos mecanorreceptores plantares fueron anestesiados mediante hipotermia (Stal et al., 2003; Yasuda et al., 1999).

Efecto postural de diferentes tipos de ejercicios y actividades físico-deportivas

Es conocido que la integración multisensorial para el movimiento bajo los mecanismos sensoriomotores y perceptivos (visión, audición, aceleración rotacional y lineal, movimiento y posición de las articulaciones), está condicionada cognitivamente como resultado de nuestra experiencia motriz, esto explica porque nuestro conocimiento previo de un fenómeno influye en la respuesta consciente necesaria para el movimiento (Fernández del Olmo, 2012, p156). En este sentido, se ha informado de mayor control postural resultante de los hábitos motrices y del nivel de actividad física regular de la persona.

Si bien la actividad física aguda puede alterar el equilibrio postural, al degradar la efectividad de las aferencias sensoriales y la respuesta motora de la función postural (Paillard, 2012), la actividad física crónica/regular mejora el equilibrio postural al inducir adaptaciones funcionales positivas al equilibrio postural (Lesinski et al., 2015 a,b; Behm et al., 2015). Esto se ha podido comprobar por la existencia de una relación positiva entre el desempeño postural y el rendimiento atlético en personas sanas que practican regularmente actividades físicas y/o deportivas (Kiers et al., 2013), y como en otras áreas del movimiento humano, la efectividad de la actividad física en la función postural es dependiente de la relación dosis-respuesta (Lesinski et al., 2015 a,b) y de la especificidad de la actividad física.

Diferentes tipos de actividades y la propia experiencia motriz de la persona (**figura 1**) producen plasticidad de la función postural, según se ha detallado recientemente por Paillard, (2017), sin embargo, no hay dudas que son los entrenamientos con ejercicios específicos de equilibrio o de fuerza los que producen grandes mejoras en el equilibrio postural (Behm et al., 2015; Lesinski et al., 2015 a,b; Kümmel et al., 2016). Por esta razón, a continuación, solo se profundiza en algunos estudios del efecto del entrenamiento sobre

equilibrio postural, que fueron abordados o no en la revisión de Paillard, (2017), lo cuales se consideran de utilidad para una mejor contextualización de este tema en el presente trabajo de investigación.

En clínica, la evidencia ha demostrado que la repetición (entrenamiento) de perturbaciones vestibulares se han utilizado con éxito para aliviar los efectos vestibulares desorientadores en el contexto del vértigo posicional paroxístico benigno (e.g. ejercicios de habituación vestibular) (Banfield, Wood & Knight, 2000). Los efectos que se obtienen de la práctica de actividades deportivas con importantes perturbaciones vestibulares también son beneficiosos para la función postural. Por ejemplo, un ensayo de laboratorio encontró que alterando de forma artificial las señales vestibulares aferentes mediante la estimulación vestibular galvánica, los sujetos que practicaban actividad física o deporte con regularidad (sujetos activos) cuando se sometieron a una mayor manipulación vestibular demostraron mejor control postural que los sujetos no activos, lo cual sugiere que **la exposición sistemática a la actividad física, específicamente la deportiva, desarrolla la capacidad para reducir la influencia de señales vestibulares imprecisas, debido a que la actividad deportiva implica movimientos de la cabeza y cambios súbitos de dirección (rotación-traslación, aceleración y desaceleración)** (Maitre, & Paillard, 2016).

Van Ooteghem et al, (2009) por su parte, evaluó si la edad afectaba la capacidad de aprendizaje motor postural con un entrenamiento de previsibilidad limitada (aprendizaje implícito) y perturbación continua. Este autor encontró en la prueba de retención (24 hrs después) que con dicho entrenamiento los adultos mayores mantuvieron la capacidad de aprender respuestas posturales adaptativas en forma de un mejor control temporal del centro de masa, y lograron minimizar la inestabilidad del tronco (mejor alineación vertical y reducción del movimiento general del tronco) a una tasa comparable a la de los adultos jóvenes.

Otra forma de actividad física con énfasis en el reclutamiento de receptores sensoriales musculares, tendinosos y articulares específicos de los miembros inferiores (i.e. entrenamiento propioceptivo), también ha demostrado ser efectiva para mejorar el control postural. El entrenamiento propioceptivo produce cambios positivos en la función postural tras períodos de lesión de miembros inferiores, específicamente, es la intervención propioceptiva de tobillo posiblemente la más importante (Han et al 2015). Yong y Lee, (2017) recientemente reportaron en sujetos jóvenes sanos mejoras en el equilibrio dinámico posterior al entrenamiento del sentido de posición del tobillo con cambios mínimos de 15 grados en la flexión plantar y la dorsiflexión.

En cuanto a las variables moderadoras del efecto del entrenamiento sobre el equilibrio, en niños y jóvenes se encontró que el entrenamiento es un medio eficaz para mejorar el equilibrio, pero es independientemente de la edad, el sexo, el estado de entrenamiento, el entorno y el método de evaluación. Mientras que un análisis de dosis-respuesta reveló que las modalidades de entrenamiento (e.g, período de entrenamiento, frecuencia de entrenamiento) tampoco tuvieron un efecto moderador en el desempeño del equilibrio y **solo se pudo considerar a la intensidad de entrenamiento como un potencial moderador** (Gebel et al 2018).

Capacidad y distribución de carga de peso corporal intermiembros

La distribución de carga entre los miembros inferiores generalmente se obtiene evaluando la fuerza de reacción vertical del suelo, recuperada separadamente para cada pie en el área total de los sensores activos de una plataforma de fuerza. Posteriormente se calculan las diferencias de fuerza entre extremidades para cada período de tiempo y se promedian durante la tarea motriz (Brauner et al 2014).

La capacidad de carga en los miembros inferiores durante la bipedestación **se puede ver afectada por alteración articulares** como la osteoartritis de rodilla (Duffell et al 2013) y el tobillo (Morasiewicz et al., 2018). El reemplazo parcial o total de cadera o rodilla también afecta ésta capacidad, y la carga asimétrica entre el miembro afectado y no afectado es más evidente en el movimiento de sentadilla hasta con un 16% mayor de descarga en el miembro afectado en 13 días posterior a la cirugía, que se reduce en tan solo a un 12,8% aproximadamente a los 27 días postcirugía (Brauner et al., 2014). Los motivos de estas alteraciones en la capacidad de carga pueden ser múltiples, incluidos los **déficits de la fuerza muscular, la respuesta al dolor, y las adaptaciones motoras subconscientes** (Horstmann et al., 2013; Judd et al., 2014), mientras que el restablecimiento de la simetría depende de **una ejecución más consciente y concentrada del movimiento** (Brauner et al., 2014). En este último sentido, el entrenamiento de la distribución de carga lateral del peso corporal sobre las extremidades inferiores parece tener un efecto positivo sobre esta capacidad. Así lo respalda el estudio de Krause et al., (2007) quien encontró que los sujetos sanos aprenden a distribuir la carga parcial de peso con muletas, y este aprendizaje es independiente del programa de práctica empleado. Este entrenamiento de carga parcial de peso parece ser más relevante tras periodos de descarga postcirugía o tras inmovilización, ya que le permite

al paciente en un corto período de tiempo usar la carga de peso parcial predefinida poco después de suspender el entrenamiento, y la falta de control motor en la carga parcial de peso, si no se entrena, es un problema que comúnmente se observa después de la cirugía (Vasarhelyi et al., 2006).

Estrategias motoras para la conservación del equilibrio postural

En respuesta a las perturbaciones externas o autoiniciadas, en la literatura se describen tres estrategias motoras principales para la conservación del equilibrio postural vertical (e.g. estrategia de tobillo, de cadera y de iniciación del paso). Estas estrategias motoras son adoptadas según las exigencias de la tarea, la intensidad del desequilibrio y las capacidades de la persona (e.g. habilidad, nivel de destreza y distribución de carga inter-miembros) (Duclos, Duclos & Mesure, 2017).

Para Daza Lesmes, (2007) la estrategia de tobillo o “cuello de pie” puede ser activada por un movimiento o estímulo antero-posterior del centro de gravedad desde las cinturas pélvicas y escapular, en la estrategia de cadera el estímulo es un movimiento de flexo-extensión de cadera en pequeña superficie de apoyo o menor a la longitud de los pies, mientras que en la estrategia de iniciación del paso la perturbación es una fuerza de desplazamiento súbita de gran magnitud (Daza Lesmes, 2007).

Las estrategias motoras de equilibrio se apoyan en dos principios funcionales de organización espacial. En primer lugar, la elección de una referencia estable que implica la estabilización de un segmento corporal, a partir del cual se organiza el control del equilibrio (Olivier et al., 2013), y en segundo lugar, a la activación de APA entre-miembros que crean una cadena de fijación que se extienden sobre varios músculos de los miembros (Cavallari et al., 2016), tal y como ya se explicó en el apartado 1.1 (**figura 2**). Por ejemplo, la estrategia de tobillo implica la fijación de esta articulación con la activación de los músculos plantiflexores y dorsiflexores, por su parte, en la estrategia de cadera la referencia estable se da en torno a esta articulación y la respuesta es una flexo-extensión del tronco y la cabeza, en el caso de la estrategia de iniciación del paso la fijación puede darse en el tronco en combinación con pasos rápidos en dirección de la perturbación (Daza Lesmes, 2007). En segundo lugar, ocurre un dominio progresivo de los grados de libertad de las articulaciones en función de la estrategia activada (Olivier et al., 2013), por ejemplo, en la estrategia de tobillo solo se liberan los grados de libertad de esta articulación, al tiempo que se obstruyen las posibilidades de movimiento de la rodilla, cadera y tronco.

La aplicación de los dos principios funcionales también implica un dominio de la organización temporal de las estrategias de equilibrio (**figura 5**). La organización temporal puede ser ascendente, desde los pies a la cabeza, o descendente, desde la cabeza a los pies, en función de la elección de la referencia estable (Olivier et al., 2013), de aquí que en la estrategia de tobillo la activación muscular sea de distal a proximal y en la estrategia de cadera los músculos se recluten de proximal a distal (Daza Lesmes, 2007). Si estas organizaciones temporales no garantizan el equilibrio, es necesaria una modificación del polígono de sustentación mediante la realización de un paso como resultado de una activación muscular periférica (Daza Lesmes, 2007).

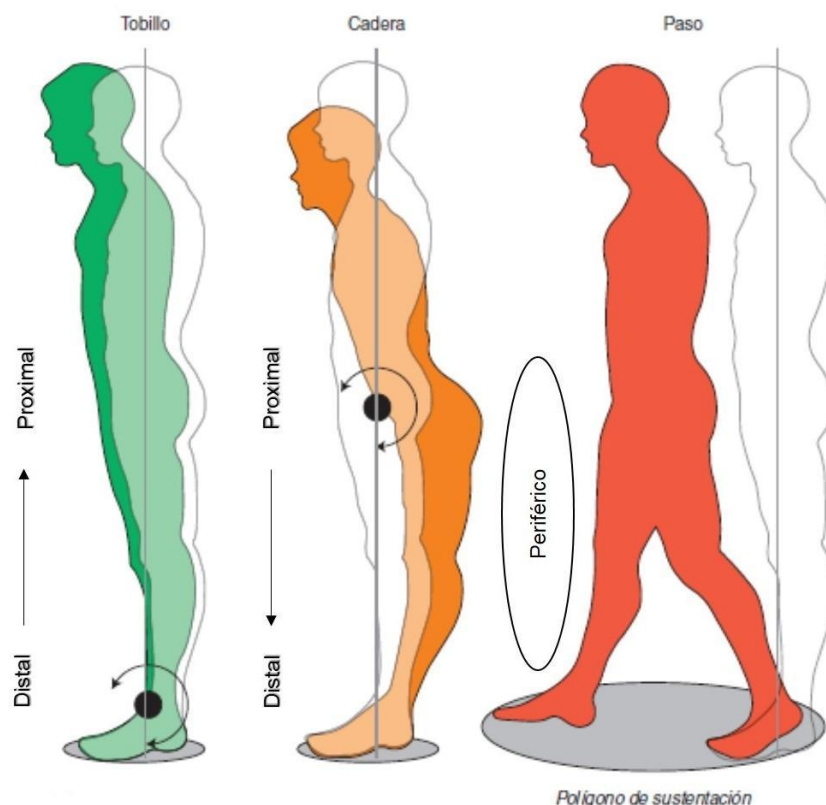


Figura 5. Estrategias motoras para controlar el equilibrio postural vertical. Nota: Las flechas indican la dirección de la activación muscular de acuerdo al principio funcional de la organización temporal. Fuente: Adaptado de Duclos, Duclos & Mesure, (2017).

De acuerdo con la literatura y desde un punto de vista mecánico, el control de equilibrio en la postura bípeda se enfoca en el nivel de la cadera, ya sea que la condición de equilibrio sea estática o dinámica (Lekheli et al., 1994; Deniskina et al., 2001), de aquí que la estabilidad postural en el plano frontal se controle mediante la activación de los abductores de la cadera (Winter et al., 1993). No obstante, cuando se analiza la organización temporal a medida que el balanceo o desplazamiento del cuerpo aumenta y el centro de gravedad se aproxima a los límites de la estabilidad (Nashner et al., 1982)

se requiere un cambio en el tipo de estrategia utilizada para mantener el equilibrio. Cuando las oscilaciones del centro de gravedad permanecen pequeñas y centradas sobre la base del soporte, las correcciones posturales lentas sobre el tobillo son suficientes para mantener el equilibrio. A medida que el balanceo del cuerpo aumenta, es entonces que las correcciones sobre la articulación de la cadera se vuelven prevalentes (Simmons, 2005). Esta mayor dependencia de una estrategia de cadera asociada a aumento en la perturbación postural se ha demostrado tanto en sujetos sanos (Horak, Nashner, & Diener, 1990) como en pacientes con alteraciones en el sistema nervioso central (Simmons et al., 1997) y periférico (Simmons et al., 1998).

La estrategia correctiva elegida puede modificarse en función del objetivo de movimiento y/o de la edad (Duclos, Duclos & Mesure, 2017). Para controlar su centro de masa los adultos mayores confían más en la estrategia de cadera, en comparación con los jóvenes que dependen más de la estrategia del tobillo durante la postura normal o sin importantes perturbaciones (Hsu, Chou, & Woollacott, 2013). Cuando el objetivo del movimiento es el aprendizaje postural motor, con un entrenamiento de equilibrio de previsibilidad limitada, los adultos mayores mantienen una estrategia de control más rígida y "fija en la plataforma" (de tobillo) que difiere de los adultos jóvenes que muestran un cambio de una estrategia de tobillo a una estrategia de control de gravedad fija multisegmento (estrategia "fijo en la gravedad") que minimizó el movimiento del centro de masa (Van Ooteghem et al., 2009). La estrategia denominada "fijo en la gravedad" implica que la persona estabilice su tronco en el espacio, lo cual permite que sus miembros inferiores se trasladen con el movimiento de perturbación de la plataforma sin modificación de la base de sustentación. Las estrategias de control que adoptan los adultos mayores en el entrenamiento se deben en parte a los esfuerzos persistentes de evitar la pérdida de equilibrio, principalmente, por los movimientos antero-posteriores de la plataforma (Van Ooteghem et al., 2009).

Por otra parte, parece ser que la presencia de retroalimentación y la estrategia motora de control postural interactúan para potenciar el efecto del entrenamiento. Jeon & Choi, (2015) se encargaron de evaluar esto en personas convalecientes de un accidente cerebrovascular. Estos autores encontraron que al realizar ejercicios de estrategia de tobillo durante 30 minutos, tres veces por semana durante seis semanas, la capacidad de equilibrio mejoró más en un grupo que recibió información visual en comparación con un grupo carente de dicha información; y esta diferencia probablemente ocurrió porque este tipo de información perceptiva permite un mejor control del centro de masa debido a una retroalimentación visual continua que activó de manera más efectiva las áreas motoras del cerebro responsables de la función postural (**figura 4**).

Otros factores que afectan el equilibrio postural

▪ Índice de masa corporal (IMC) elevado

El IMC es otro factor que parece afectar la estabilidad postural antero-posterior y medio-lateral en sujetos sin alteraciones sensoriales. Existen indicios de que en niños y adolescentes (Ludwig, 2017), y en adultos sanos, la estabilidad es peor a medida que aumenta el IMC (Gallego Gómez, et al 2011), y dicho fenómeno es más marcado en las mujeres (Iverson & Koehle, 2013). Parece ser que el exceso de tejido graso afecta a la selección de estrategias motoras para mantener la estabilidad (Kejonen, Kauranen, & Vanharanta, 2003), y esto puede deberse a que desde la adolescencia los jóvenes con sobrepeso u obesos no se involucran de manera efectiva en la realización de actividades físicas (Hills & Parker, 1991), limitando así el desarrollo de un conjunto de expresiones corporales y programas motores necesarios para la conservación del equilibrio postural.

▪ Auto-percepción de competencia motora

Por último, aun cuando no existen estudios que hayan relacionado el DM durante una destreza específica de equilibrio postural y la auto-percepción en dicha destreza, consideramos necesario analizar esta relación por su potencial importancia en la ejecución de otras destrezas propias de la locomoción.

Robinson et al., (2015) definen a la auto-percepción como la interpretación que cada persona tiene de sí misma de acuerdo con una característica específica. Las características pueden incluir la interpretación de la apariencia física, las capacidades físicas, o el nivel de destreza y competencia percibida en las actividades físico-deportivas (Messer & Harter, 2012).

Se debe entender la competencia motora como el grado de desempeño experto en un rango amplio de tareas motoras, así como la coordinación y el control del movimiento asociado a un resultado motor en particular (D'Hondt et al., 2013).

Jiménez-Díaz, Morera-Castro, María & Araya-Vargas, (2018a) al examinar la relación entre la auto-percepción y el desempeño de DMF en adultos, encontraron que los participantes con un desempeño eficiente en las destrezas locomotoras tenían una mayor competencia percibida en las habilidades atléticas. Además, descubrieron que la competencia motora percibida en las habilidades atléticas está más relacionada con las DMF que con las dimensiones de la apariencia física y la autoestima global, de aquí que esta relación más fuerte se considere el mecanismo primario que influye directamente en el nivel de actividad física de los niños y adolescentes (Holfelder & Schott, 2014; Stodden

et al., 2008), y ya sabemos que un nivel suficiente de práctica de actividad física regular que se mantenga hasta la vida adulta va a garantizar el DM en la ejecución de destrezas específicas del equilibrio postural en esta población (Lesinski et al., 2015a,b; Behm et al., 2015).

Aprendizaje motor

Como se expuso en el apartado anterior, se asume que la ejecución del desplazamiento inter-miembros del peso corporal está determinada, principalmente y entre otros factores, por el control y las adaptaciones de la función postural que operan de acuerdo a la naturaleza de las actividades físicas y nivel de experiencia motriz del individuo, o sea, del nivel de competencia motriz. Por una parte, la competencia motriz es el **resultado de prácticas de secuencia motrices no planificadas** que conllevan a un aprendizaje inconsciente (i.e. aprendizaje implícito), y por otra parte, de un **estructurado proceso de aprendizaje** que tiene objetivos preestablecidos y busca que el individuo alcance de manera consciente (i.e. aprendizaje explícito) un nivel de desempeño en destrezas específicas.

En ambos casos, el aprendizaje refiere al proceso mediante el cual elementos simples y estereotipados de movimiento vienen a ser realizados sin esfuerzo como una secuencia unitaria a través de la práctica repetida (Doyon et al., 2018).

Proceso de aprendizaje durante la práctica física de destrezas motrices

Para Schmidt & Lee, (2011, p429) existen varios autores que han conceptualizado el proceso de aprendizaje motor, sin embargo, todas las perspectivas teóricas tienen como objetivo básico comprender los cambios que ocurren en la destreza con la práctica, basado en la idea de que lo más común que sucede cuando una persona practica es que incrementa el DM en la tarea.

Como un proceso es un conjunto de eventos que tienen lugar juntos, la práctica y el aprendizaje pueden ser visto como procesos análogos que suceden al mismo tiempo y que conllevan a la adquisición de la capacidad para movernos habitualmente con destreza (Schmidt & Lee, 2011, p328).

El logro de las destrezas motoras depende de estos procesos (Newell, 1991) cuyos principios integran información de la psicología, la neurología, la educación física y la investigación en fisioterapia (Muratori et al., 2013), y de las teorías de control motor que

proporcionan el marco referencial para guiar la interpretación de cómo se produce el aprendizaje o reaprendizaje del movimiento (Schmidt & Lee, 2011, p429). En este contexto, la comprensión de las nociones para la construcción de nuevos programas motores, de los cambios en los requerimientos atencionales, del desarrollo de procesos de detección de errores, etc., tiene un rol muy importante (Schmidt & Lee, 2011, p429). Por lo tanto, el aprendizaje motor engloba la comprensión de los procesos internos que influyen en cómo las personas se desempeñan y aprenden destrezas motrices nuevas o marginadas (Locke, 1990).

A grandes rasgos, los procesos internos (e.g. neurofisiológicos, psicológicos, comportamentales) conllevan que las secuencias motoras que aprendemos se retengan o almacenen en el cerebro constituyendo la memoria motriz (Strap, 2007) que produce cambios relativamente permanentes en la capacidad de producir movimiento, y se expresa a través de una habilidad específica. Consecuentemente, no se considera aprendizaje las modificaciones o cambios en el DM a corto plazo (Schmidt & Lee, 2014, p198), de aquí que el aprendizaje se evalúe durante diferentes etapas (retención y transferencia), las cuales se explicarán más adelante.

Para Schmidt & Lee, (2011, p328) el aprendizaje motor no es directamente observable debido a que los procesos internos que cambian la capacidad para movernos habitualmente con destreza ocurren en el sistema nervioso central (e.g. cambios en la organización de las vías de información sensorial, y en los patrones de activación muscular) y estos son raramente observables, por lo que solo se puede inferir su existencia por cambios en el comportamiento motor; en otras palabras, es posible observar y medir los productos del proceso de aprendizaje por la medición en los cambios de la destreza. Sin embargo, pensamos que estos preceptos comenzarán a cambiar con los nuevos hallazgos de trabajos conductuales que han usado técnicas de neuroimagen funcional y neurofisiológica, y el reto de los nuevos estudios de aprendizaje motor consistirá en asociar los cambios en el comportamiento motor con cambios en la calidad y fortaleza de algunos estados internos.

Teorías sobre el aprendizaje motor

▪ Modelo de los tres estadios de Fitts y Posner

De acuerdo con Magill & Anderson, (2017) este paradigma plantea que el aprendizaje motor transita por tres etapas. La **etapa cognitiva** es predominante cuando se aprenden destrezas nuevas o reaprende una antigua. Se caracteriza por la secuencia de ensayo-error-corrección (para aprender es necesario cometer errores y saber corregirlos), y con

frecuencia la práctica debe ser bajo supervisión y guía externa. En la **etapa asociativa** el individuo consigue ejecutar el programa motor en contextos específicos, debido a que comienza a comprender cómo se interrelacionan los diferentes componentes del programa (i.e. parámetros de tiempo, distancia, velocidad, precisión, etc), por lo tanto, será capaz de disminuir el número de errores y logrará realizar con menor esfuerzo la ejecución de la tarea. Por último, en la **etapa autónoma** el individuo consigue desempeñarse en condiciones diferentes, manteniendo el control en todo el programa motor. La principal característica en esta etapa es que el aprendizaje tiene la capacidad de retener la destreza y generalizarla (transferirla) a diferentes contextos gracias a la consolidación de varias secuencias motrices. Es por ello, que las actividades en la vida cotidiana ocurren fundamentalmente en esta etapa, puesto que la práctica es generalmente aleatoria, o sea dentro de una variedad de ambientes.

▪ **Modelo de sistema de tres fases de Berstein**

Según esta teoría y para Cano-de-la-Cuerda et al., (2015) “el énfasis está en controlar los grados de libertad, es decir, el número independiente de movimientos necesarios para completar una secuencia, lo cual constituye el componente central del aprendizaje de una nueva destreza motora. Este modelo de aprendizaje plantea tres fases. En la **fase inicial**, el individuo simplifica el movimiento reduciendo los grados de libertad. En la **fase avanzada** el sujeto comienza a ganar ciertos grados de libertad, permitiendo el movimiento en mayor número de articulaciones incluidas en la tarea. Y, por último, la **fase experto** es aquella en la que el individuo posee todos los grados de libertad necesarios para llevar a cabo la tarea, con la mayor efectividad y de manera coordinada”.

▪ **Modelo de dos fases de Gentile**

Según Gentile, (1972) la **primera fase de aprendizaje o inicial** incluye dos objetivos: (1) aprender la secuencia básica de movimiento necesario para lograr la tarea gracias a la comprensión del objetivo de dicha tarea y al desarrollo de estrategias de movimiento apropiadas; y (2) identificar los componentes ambientales importantes para la tarea, gracias a la interpretación de las características críticas del entorno para la organización del movimiento. Para este último objetivo, Gentile también clasifica las características ambientales en características regulatorias y no regulatorias (Muratori et al., 2013). Las **características regulatorias** del entorno incluyen todos los aspectos necesarios para el desempeño exitoso de la tarea. Por ejemplo, al ejecutar una tarea de desplazamiento inter-miembros del peso corporal mientras se está de pie, el individuo debería considerar la distribución de carga entre miembros, la magnitud y dirección de aplicación de la carga,

el tiempo de soporte de la carga, la distancia entre los pies en el suelo, la firmeza y tipo de superficie del suelo, y la presencia o ausencia de retroalimentación. Las **características no regulatorias** son aquellos aspectos del entorno que están presentes e incluso pueden distraer y no son parte integral del desempeño de la tarea. En el ejemplo anterior (en un entorno natural), el color del calzado, la presencia cercana de un compañero y el sonido en el ambiente son características no regulatorias, es decir, aunque estas características pueden alterar la forma en que finalmente se produce el movimiento, no es necesario ir a estas características para desplazar el peso corporal.

Al igual que en el modelo Fitt y Posner, cuando el individuo se encuentra en la etapa inicial de aprendizaje, se le debe alentar a explorar el entorno a través de la prueba y el error. Esta etapa es un período en el que se experimentan las dinámicas básicas de los movimientos y se prueban nuevas estrategias dentro de los límites de seguridad. A menudo se considera una etapa cognitiva, ya que los practicantes deben resolver una serie de problemas (en nuestro ejemplo la verticalidad) al intentar varios movimientos (Muratori et al., 2013).

Una vez que se desarrolla un patrón de coordinación que permite cierto grado de éxito, y el practicante puede distinguir entre las características reguladoras y no reguladoras del medio ambiente, comienza la etapa posterior del aprendizaje. En la **segunda fase, denominada de fijación o fase de diversificación**, “el objetivo del individuo es redefinir el movimiento, lo cual incluye tanto el desarrollo de la capacidad de adaptar el movimiento a los cambios de la tarea y del entorno, como desarrollar la tarea consistente y eficientemente” (Cano-de-la-Cuerda et al., 2015). Durante esta fase de refinamiento, el enfoque pasa de "qué hacer" a "cómo hacer" el movimiento mejor. Por lo tanto, esta etapa posterior de aprendizaje se caracteriza por un proceso de consolidación menos cognitivo, con el fin de mejorar la eficiencia motriz y la flexibilidad de movimiento (e.g, la capacidad de realizar la tarea en diferentes condiciones) (Muratori et al., 2013).

Etapas del aprendizaje

Durante el proceso de aprendizaje es imprescindible conocer que la mejora en el DM se alcanza a través de diferentes etapas o momentos en los que además se pueden observar cambios en la progresión de la destreza (Schmidt & Lee, 2014, p198).

La etapa de **adquisición** refiere al período inicial de la práctica en el que el participante realiza una destreza nueva para ser más proficiente en ella, por lo tanto, implica que ocurran cambios en la capacidad de la persona para realizar la tarea motriz (Schmidt, & Lee, 2011, p325). La efectiva y eficiente adquisición de la destreza se

sustenta en un grupo de principios básicos de práctica. El principio que plantea que “la práctica es más que sólo repetición” hace referencia a que la práctica cuando se realiza correctamente, no consiste simplemente en repetir la solución de un problema motor una y otra vez, el foco más bien debe estar en el proceso de resolver este problema una y otra vez mediante estrategias que podemos cambiar y perfeccionar de repetición a repetición (Schmidt & Lee, 2014, p199). En otras palabras, la idea de repetir mecánicamente un movimiento, que se presume se inserta de una forma más duradera en la memoria, no garantiza el éxito en la búsqueda de soluciones motoras óptimas para los problemas apropiados. El principio de “especificidad de la práctica” hace referencia a que el aprendizaje motor depende de qué se practique. La retroalimentación sensorial que resulta de una práctica específica, se convierte en parte de la representación aprendida, de modo, que el desempeño posterior es más efectivo cuando la misma información sensorial está disponible, en comparación con situaciones en las que uno o varios de estos canales de retroalimentación se alteran (Schmidt & Lee, 2014, p200).

- Se considera que una destreza ha sido aprendida si esta puede ser retenida de manera relativamente permanente (i.e. por un año, un día o solo por unos minutos). La **retención** se define como el DM residual de una destreza después de un período sin la práctica, y cuando esto ocurre se considera que se tiene memoria de la destreza. La memoria es la capacidad para desempeñarse, no solo una simple localización del almacenamiento de la capacidad (Schmidt, & Lee, 2011, p461). En este contexto, el olvido (“forgetting”) es el opuesto del aprendizaje, este aprendizaje se refiere a la retención de la capacidad de movimiento mientras que el “forgetting” indica la pérdida de tal capacidad o de la memoria de la destreza.

El período sin práctica debe ser de suficiente duración como para que el efecto transitorio del método de práctica desaparezca. Aunque es difícil establecer cuán largo debe ser este intervalo, un período de 24 hrs o más es comúnmente usado antes de que los sujetos realicen la prueba de transferencia (Schmidt, & Lee, 2011, p336).

- Un importante objetivo de la práctica es facilitar la **transferencia**. La transferencia se refiere al efecto que una destreza previamente practicada tiene sobre el desempeño posterior de otras destrezas similares (Schmidt, & Lee, 2011, p461). Cuando la práctica de una tarea A mejora el subsecuente desempeño en una tarea B se considera que ocurrió una transferencia positiva de la tarea A a la tarea B. Por el contrario, cuando la experiencia en la tarea A interfiere con la capacidad de desempeño en la tarea B se presenta una transferencia negativa de la tarea A a la tarea B. Por otra parte, cuando la transferencia parece avanzar en el tiempo de la tarea A o Z a la tarea B se denomina

transferencia proactiva, mientras que la transferencia que funciona hacia atrás en el tiempo se considera transferencia retroactiva (Schmidt, & Lee, 2011, p465). En los experimentos más complejos pueden combinarse estas categorías, con el siguiente diseño: práctica inicial, tarea de transferencia y prueba de retención, en este mismo orden. Por ejemplo, si en una prueba de retención B, los participantes que realizaron previamente la tarea de transferencia Q muestran un mejor desempeño, ocurrió una transferencia retroactiva positiva de la tarea Q a la tarea B. Alternativamente, si el desempeño en la prueba B de retención es menos efectivo estaríamos en presencia de una transferencia retroactiva negativa de la tarea Q (Schmidt, & Lee, 2011, p465).

Por otra parte, la capacidad de desempeño en una tarea, por ejemplo, caminar, no se basa en un único movimiento de caminar en particular, de hecho, usamos un programa de caminar generalizado para una variedad de tareas de caminar (i.e., cuesta arriba o abajo, rápido o lento, etc.) pero con la selección apropiada de parámetros para alcanzar la distancia, velocidad y trayectoria deseada en esta destreza (e.g. mayor o menor desplazamiento lateral del centro de masa) (Schmidt, & Lee, 2011, p341). Podríamos entonces considerar la práctica de caminar con el objetivo de contribuir a la capacidad de locomoción general de cada persona. En este sentido, la efectividad de la sesión de práctica de caminar (adquisición) puede ser medida por sus posibilidades de transferencia a una destreza similar, por ejemplo, correr. La condición de práctica que produzca el desempeño más efectivo en la prueba de transferencia se juzgaría por tener la mayor generalizabilidad. De aquí que se debe entender a la generalizabilidad como un criterio de aprendizaje, más aún si este aprendizaje ocurre en diferentes contextos (Schmidt & Lee, 2011, p342).

Las medidas de estabilidad dinámica y simetría de carga inter-miembros inferiores durante la ejecución de sentadillas proporcionan información cuantitativa que se puede utilizar para comprobar el efecto que esta destreza previamente practicada tiene sobre el desempeño posterior de otras destrezas similares, y para monitorizar clínicamente la recuperación funcional temprana después de períodos de descarga de peso o inmovilización de los miembros inferiores (Brauner et al., 2014). De igual manera, podría esperarse que la generalizabilidad de la destreza de desplazamiento inter-miembros inferiores de la carga de peso va a presentarse por sus posibilidades de transferencia a la destreza de sentadilla.

Condiciones de práctica

Para Schmidt & Lee, (2011, p347) el aprendizaje de una destreza en particular está limitado temporalmente, así, por ejemplo, una compañía de seguros puede pagar un

máximo de 9 sesiones de fisioterapia o un neurocirujano va a necesitar un curso de dos días para aprender una nueva técnica antes de ejecutarla en sus pacientes. Por lo tanto, la práctica de la destreza debe ser organizada de forma consciente de manera que se maximice la cantidad de aprendizaje potencial.

La práctica deliberada puede incluir situaciones dentro de la tarea (“on-task”), también condiciones fuera de la tarea (“off task”) en la cual el practicante no interactúa físicamente con la misma (**figura 6**). La práctica “on-task” se refiere a los métodos que pueden alterar el compromiso físico de la práctica y cómo las alteraciones conseguidas afectan el desempeño y el aprendizaje (Schmidt & Lee, 2011, p351).



Figura 6. Métodos de práctica deliberada. Fuente: Adaptado de Schmidt & Lee, (2011, p351).

Entre las formas de práctica deliberada “on-task” (**figura 6**) la cantidad de variabilidad de la práctica es uno de los factores que afectan el aprendizaje. La **práctica variable** hace referencia a cuando se practica un número determinado de variaciones de la tarea bajo condiciones diferentes ya sea, en contexto, distancia, tiempo, espacio o duración, mientras que se denomina **práctica continua** la práctica de solo una variación de la tarea (i.e. siempre en una misma condición) ya sea, en contexto, distancia, tiempo, espacio o duración (Schmidt & Lee, 2014, p241). Se considera que en la vida cotidiana son más frecuentes las situaciones que ocurren cuando la tarea cambia un poco entre la práctica y el desempeño de la tarea; en este caso toda práctica motriz debe preparar al practicante para que sea altamente adaptable a los requerimientos de variabilidad de dicha tarea, para que pueda desempeñarse como nunca antes lo había hecho (Schmidt & Lee, 2014, p241).

La **programación de la práctica** se considera necesaria cuando **se realiza una práctica variable, en comparación con la práctica continua**. Por este motivo, en la siguiente sección nos enfocaremos en abordar la programación de la práctica y cómo esta puede influir en el aprendizaje cuando el practicante está físicamente comprometido.

De acuerdo a un modelo conceptual de desempeño humano, los patrones o secuencias de movimientos son gobernados por **PMGs cada uno con al menos una organización temporal o espacial inalterable de ciertos parámetros motores (e.g. distancia, velocidad)** (Schmidt & Lee, 2014, p203). Un PMG es aquel cuya expresión o manifestación puede variar dependiendo de la selección de estos parámetros motores (Schmidt & Lee, 2011, p179, 242).

La Teoría del Esquema (Schmidt, 1975) puede explicar cómo deberían ser seleccionados dichos parámetros y cómo el practicante aprende a resumirlos o generalizarlos. Dicha teoría plantea que el practicante conforme aprende una destreza motriz adquiere un conjunto de reglas o normas, llamadas esquemas, que relacionan las características de la destreza con los valores paramétricos necesarios para ejecutarla.

A partir del ejemplo de Schmidt & Lee, (2014, p242), con el ejercicio de la **figura 7** se intenta explicar cómo se manifestaría esta teoría, para el parámetro distancia, durante la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal.

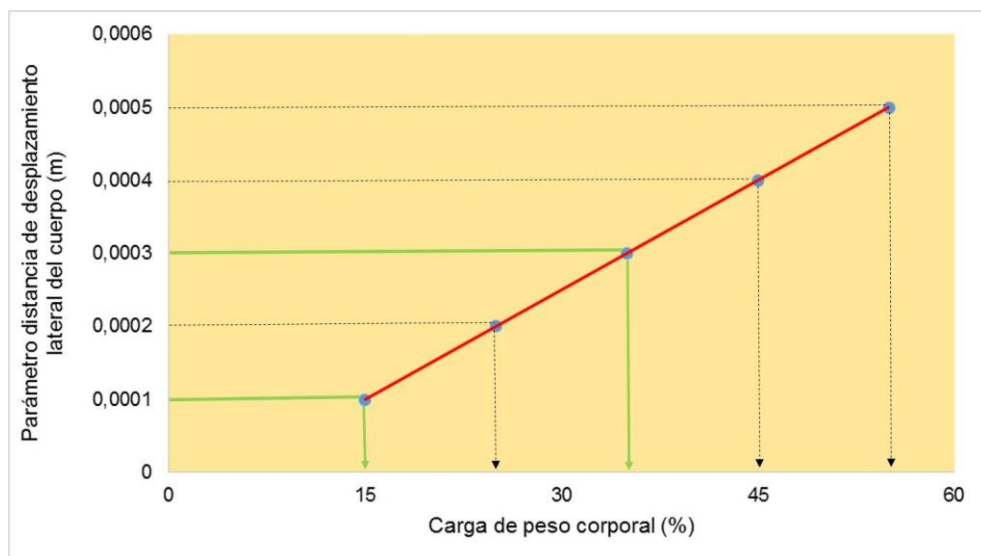


Figura 7. Diagrama que relaciona un valor paramétrico (distancia) con los resultados de la carga de peso corporal. Fuente: Adaptado de Schmidt & Lee, (2014, p242).

Sobre el eje horizontal los posibles valores porcentuales de carga durante el desplazamiento inter-miembros del peso corporal, con un máximo del 60% hacia el

miembro inferior con mayor carga. Cuando ocurre un desplazamiento del peso corporal hacia uno de los miembros inferiores, el practicante graba brevemente la carga transferida hacia ese miembro, así como el parámetro que se utilizó para el PMG del desplazamiento (en la [figura 7](#) en el eje vertical). En el tiempo, con muchos desplazamientos grabados, el practicante entonces resume la relación entre las cargas de peso previas y los parámetros que fueron usados para el PMG (e.g. distancia del desplazamiento lateral del cuerpo). El practicante almacena estos valores solo con una duración suficiente para actualizar el esquema después de cada desplazamiento, y entonces los valores paramétricos son descartados u olvidados.

De acuerdo con la Teoría del Esquema, este proceso es responsable del aprendizaje motor asociado con el aprendizaje de PMG. Por ejemplo, supongamos que el practicante inicia el proceso de aprendizaje generando un desplazamiento lateral de 0,0005 m, el cual conduce a transferir hacia uno de los miembros inferiores una carga de 55% del peso corporal. En el siguiente intento, el practicante selecciona un desplazamiento lateral de 0,0002 m que le permite transferir una carga de un 25% del peso corporal, y así continúa en cada intento. Con cada desplazamiento, el practicante asocia (resume) los valores paramétricos del PMG usados con el resultado de la magnitud de la carga (esta relación se representa en la [figura 7](#) con la línea de tendencia en color rojo para los datos individuales de un participante). En el futuro cuando la persona requiera cargar el 35% del peso corporal hacia uno de los miembros inferiores, seleccionará la carga de 35% sobre el eje horizontal, haciendo coincidir la línea verde para acceder al esquema (línea roja) que le permita usar el valor paramétrico igual a 0,0003 m de desplazamiento lateral el cuerpo.

De acuerdo también con Schmidt & Lee, (2014, p243), este proceso genera un movimiento con valores paramétricos basado en la experiencia pasada del practicante al usar un programa en particular, y mucho más importante permite que el practicante realice un movimiento que nunca antes había realizado, por ejemplo, cargar sobre uno de los miembros inferiores solo el 15% del peso corporal. En este caso, el practicante realiza la mejor estimación de los valores paramétricos requeridos del esquema y entonces ejecuta el PMG con estos valores (e.g. un desplazamiento lateral del cuerpo de apenas 0,0001 m) para producir el nuevo movimiento. El mismo proceso se podría aplicar para la dimensión tiempo, o sea, en los casos en que el objetivo de la tarea requiera desplazar hacia uno de los miembros un porcentaje determinado del peso corporal durante un tiempo específico.

Por lo tanto, la Teoría del Esquema predice que la práctica variable es más conveniente para el desempeño, que aplica parámetros de movimiento novedosos, en comparación con sólo una versión única de PMG (Schmidt & Lee, 2014, p243).

Otros autores son partidarios de que a medida que la práctica avanza y como parte del proceso de planificación motriz, el desempeño de la destreza motriz se logra mediante la adopción de un modo de fragmentación motriz (Wright et al., 2016). De acuerdo a este enfoque, el practicante durante la preparación de la respuesta construye fragmentos de secuencia motriz basados en los aspectos perceptivos o valores paramétricos de ejecución de la tarea, respectivamente, al igual que sucede en la Teoría del Esquema, lo cual indica que ambas perspectivas teóricas no son excluyentes. No obstante, Immink y Wright, (2001) propusieron una descripción detallada de la preparación de la respuesta motriz de acuerdo a la perspectiva de la fragmentación motriz, donde se identifican dos procesos distintos de planificación que son independientemente y responsables de: (1) recuperar los bloques de construcción de la tarea, denominados fragmentos motrices, (Verwey, 1999), y (2) organizar los fragmentos en el orden serial correcto para la respuesta motriz. Es importante destacar que la recuperación de los fragmentos de secuencia motriz necesarios, se pueden preprogramar mientras que la organización del orden de los fragmentos recuperados, debe ocurrir solo después de la presentación de una señal motriz imperativa (Wright et al., 2016).

Interferencia contextual

En muchos de los contextos de la vida real, el objetivo del practicante es adquirir más de una destreza o tarea en un periodo de tiempo limitado, incluso en una sola sesión de práctica. Sin embargo, la forma de programación de la práctica para maximizar el aprendizaje continúa siendo un problema que enfrentan tanto los practicantes como los instructores.

En las últimas tres décadas se ha generado un volumen importante de investigaciones que han tenido como objetivo establecer la forma de organización más eficaz para que la persona aprenda con la práctica una destreza motriz en concreto. La interferencia contextual (IC) como modelo de práctica basado en la representación en la memoria de los valores paramétricos motrices previos y en la reconstrucción del esquema motor (plan de acción) para cada nueva tarea (Brady, 1998), ha sido frecuentemente empleado para estructurar el aprendizaje de destrezas motrices fundamentales (DMF) (e.g. caminar, correr, saltar, lanzar) (Bortoli, Spagolla, & Robazza 2001; Vera & Montilla, 2003; Wegman, 1999) y de otras más complejas, como las destrezas deportivas (Broadbent, Causer, Ford

& Williams 2015; Geok, Lay, Grove, Medic, & Razman 2012; Porter, & Magill, 2010; Sadri, Mohommadzadeh & Khani, 2013; Vera, Álvarez & Medina, 2008).

El efecto de IC contempla que la forma de programación de la práctica de la destreza afecta el DM inmediato o a largo plazo (Brady, 1998; Magill & Hall, 1990). Las maneras en la cual la práctica física de una destreza se programa es mediante dos formas tradicionales, en particular, en la práctica aleatorizada los ensayos de la tarea se organizan y repiten en una secuencia alterna (e.g. 1, 2, 1, 3, 1, 3, 2, ...), mientras que en la práctica bloqueada los ensayos se organizan y repiten en una secuencia consecutiva (e.g. 1,1,1, ... 2, 2, 2,... 3, 3, 3,...) (Shea & Morgan, 1979). Por otra parte, y aunque menos usado, la práctica gradual implica la ejecución en bloqueada, más una secuencia serial y aleatoria, en este mismo orden (e.g. bloqueada: 1,1,1, ... 2, 2, 2,... 3, 3, 3,...; serie: 1, 2, 3,1, 2, 3,....1, 2, 3; aleatorio: 1, 2, 1, 3, 1, 3, 2,) (Porter & Magill, 2010).

Debido a que el origen del efecto de la IC está en los procesos cognitivos que se activan mientras se aprende bajo diferentes programas de práctica (Magill & Hall, 1990), el efecto de la IC ocurre, en un primer caso, cuando se presenta un mejor desempeño de la destreza motriz en la adquisición con un programa bloqueado (baja IC), pero conlleva a un pobre desempeño en las pruebas de retención y transferencia, y en un segundo caso, cuando el desempeño no es bueno durante la adquisición y mejora durante la retención al utilizar un programa de práctica aleatoria (alta IC) (Brady, 1998). Sin embargo, también se ha observado que el programa de práctica que presenta cantidades crecientes de interferencia contextual (gradual), estimula un mejor desempeño en la retención, debido a que ajusta la dificultad de la tarea a medida que cambia el nivel de desempeño del practicante (Porter & Magill, 2010).

En resumen, el efecto de IC ocurre cuando la práctica es organizada bajo diferentes niveles de IC y el DM inmediato o a largo plazo va a mejorar o empeorar. La práctica puede ser estructurada promoviendo diferentes niveles de IC, donde la práctica aleatoria y bloqueada son dos programas de aprendizaje motor que presentan características extremas de interferencia, mientras que la práctica que gradúa sistemáticamente la cantidad de IC es un programa que transita por ambos extremos y que podría incrementar el desempeño en la destreza a largo plazo.

Recientes estudios que han analizado el efecto de la IC han mostrado resultados controvertidos. Algunos confirman que, durante la adquisición de la destreza, la práctica en orden aleatorizado resulta en una disminución del desempeño motriz, aunque mejora la retención y la transferencia de la destreza. De manera inversa, cuando la tarea es practicada en un programa bloqueado, la adquisición de la destreza mejora, mientras que

el desempeño en la retención y transferencia disminuye (Bertollo, Berchicci, Carraro, Comani & Robazza, 2010; Rendell, Masters, Farrow & Morris, 2011). Sin embargo, los resultados de un metaanálisis indican que el EIC solo se observa en la adquisición (Jiménez-Díaz, Salazar-Rojas, & Morera, 2016a). Por otra parte, otros trabajos han encontrado que cuando los participantes practican con un programa serial o gradual se desempeñan mejor en pruebas de retención y transferencia comparado con los que practican una programación en bloqueada o al azar (Boyce, Coker & Bunker, 2006; Jefferys, 2006; Porter & Magill, 2010).

▪ **Bases teóricas sobre el efecto de interferencia contextual**

Shea y Morgan, (1979) fueron los primeros en demostrar el efecto de IC durante el aprendizaje de destrezas motrices, y poco después junto con otros autores (Lee & Magill, 1983; Shea & Zimny, 1983) fueron capaces de ofrecer una explicación teórica a este fenómeno mediante la construcción de dos hipótesis fundamentales:

- **Hipótesis de olvido-reconstrucción del plan de acción**

Se enfoca principalmente en procesos reconstructivos no especificados que ocurren más ampliamente como parte de la preparación de secuencias motoras en entornos de entrenamiento de alta IC (Lee & Magill, 1983).

Plantea que, durante la práctica aleatoria, el practicante debe lidiar con diferentes respuestas intermedias entre intentos sucesivos en cualquier tarea motora única. Se asume que dicha actividad de interferencia provoca un olvido significativo de la información específica de la tarea entre ensayos consecutivos que requieren la (re) construcción de un plan de acción para cada respuesta (Brady, 1998). Al hacerlo, el participante de la práctica aleatoria se vuelve relativamente más apto que su contraparte de práctica bloqueada (Wright et al., 2016) en el proceso de desarrollo e implementación de un plan de acción (Lee & Magill, 1983). Como resultado de estar expuesto a una mayor interferencia, en la práctica, el enfoque de esta hipótesis se centra en la mejora de la construcción efectiva del plan apropiado para cada próxima respuesta.

En resumen, esta hipótesis plantea que el practicante olvida el plan de acción (esquema motor) después de cada intento de ejecución de la destreza, debido a la alta interferencia ocasionada por las variantes de la tarea, por lo que debe reconstruir un plan de acción para cada nuevo intento (Magill & Anderson, 2013).

- **Hipótesis de elaboración**

La hipótesis de elaboración postula que en la práctica con elevada IC el participante utiliza muchos y diferentes esquemas de movimiento, y al comparar las variantes practicadas puede elaborar una mejor representación de la destreza en su memoria (Magill & Anderson, 2013). Aquí el procesamiento diferencial está obligado por diferentes esquemas durante la práctica, y además se van a presentar dos categorías cualitativamente únicas de la actividad de procesamiento de información que el participante puede experimentar durante la práctica (Shea & Zimny, 1983). El **procesamiento intra-tarea (dentro)** es el modo primario de operación durante la práctica bloqueada, y consiste en un análisis que excluye toda referencia o información de otras tareas motoras relacionadas a la que se adquiere en ese instante y/o cualquier otro conocimiento actual relacionado y disponible para el practicante (Shea, Hunt, & Zimny, 1985).

El **procesamiento inter-tarea (entre)** implica la extracción de relaciones o asociaciones entre las tareas que se están adquiriendo actualmente, así como con el conocimiento pertinente a largo plazo. El procesamiento entre tareas requiere que la información sobre múltiples secuencias motoras esté presente simultáneamente en la memoria de trabajo, lo que es más probable durante la práctica aleatoria (Shea, Hunt, & Zimny, 1985). Recientes trabajos sugieren que dicho procesamiento de tareas va a estar mediado por la edad. Lin et al., (2012) propusieron que, dada la mayor demanda cognitiva con la práctica aleatoria, los adultos mayores recurren a recuperar de la memoria a largo plazo información relevante para cada tarea, mientras que los adultos más jóvenes mantienen en la memoria de trabajo la información necesaria de prueba a prueba.

- **Hipótesis de reconstrucción del plan de acción y de elaboración combinadas**

Lee y Magill, (1983) y Shea y Zimny, (1983) también propusieron que la combinación de las hipótesis de reconstrucción del plan de acción y de elaboración podría contribuir al efecto de IC, y que no podían considerarse como mutuamente excluyentes porque ambas compartían características comunes. Primero, ambas requieren que los practicantes se involucren en un procesamiento activo o con esfuerzo (i.e. hacer comparaciones dentro y entre movimientos o generar un plan de movimiento). En segundo lugar, ambas enfatizan facilitar los procesos de recuperación de las características de la tarea, ya sea desarrollando rutas alternativas o generando una solución de respuesta (Young, Cohen & Husak, 1993).

- **Hallazgos neurofisiológicos que pudieran explicar el efecto de IC durante el aprendizaje de secuencias motoras**

Como se ha mencionado anteriormente, el aprendizaje de secuencias motoras con altos niveles de IC interrumpe el desempeño inicial (adquisición), pero estimula el desempeño de retención y transferencia, en comparación con el aprendizaje con baja IC. A pesar de algunos estudios contradictorios, en la comunidad científica la veracidad del efecto de IC es raramente cuestionada, ya que dicho efecto se ha demostrado de manera parcial (efecto solo en la adquisición o solo en la retención) o total (efecto en la adquisición y en la retención). Sin embargo, la base teórica subyacente para su aparición no se conoce bien, es por ello que recientes trabajos han enfocado sus esfuerzos para resolver esta deficiencia (ver Wright et al., 2016). En este sentido, las investigaciones que han incorporado medidas neurofisiológicas, en estudios conductuales y experimentales, han conducido a brindar nuevas explicaciones del papel de la IC durante el aprendizaje de secuencias motoras. Varios de estos estudios han planteado dos hallazgos fundamentales:

A. El aumento de la IC durante la práctica aumenta las demandas de atención asociadas con la planificación de una próxima secuencia motora.

En general se acepta que tanto la hipótesis de reconstrucción como la de elaboración ponen mucho énfasis en las operaciones cognitivas únicas de prueba a prueba (evaluación entre tareas) que se fomentan cuando hay mayor IC durante la práctica. Esto va a explicar porque **al ocurrir una mayor interrupción en la práctica, el esfuerzo o demanda es más exigente, debido a la necesidad de realizar un conjunto más amplio de operaciones cognitivas necesarias para ejecutar una acción** (Wright et al., 2016). Es por ello, que el aumento de la interferencia en la adquisición estimula una atención más activa que exige una intensa planificación motriz por parte del practicante, lo que a su vez impacta negativamente en el desempeño durante esta etapa (Li & Wright, 2000). Sin embargo, la información sobre múltiples secuencias motoras que se alcanza con una alta IC va a estar presente simultáneamente en la memoria de trabajo a largo plazo, es por ello que la tasa de mejora del DM con la práctica aleatoria se incrementa al evaluar la retención.

Por otra parte, los hallazgos de recientes estudios han descubierto diferencias en la naturaleza de los procesos cognitivos que ocurren durante la planificación de una secuencia motora en un entorno de práctica con baja y alta IC. Los datos revelan **patrones únicos de reclutamiento neuronal** adoptados como consecuencia de

diferentes programas de práctica, los cuales parecen tener una importancia crítica para determinar la capacidad de DM.

Parece ser que durante la práctica que induce una mayor IC (aleatoria) va a ocurrir un proceso preparatorio más extenso de planificación de una secuencia motora, y como se mencionó anteriormente se han identificado dos procesos distintos de planificación motriz que son independientes y responsables de (I) recuperar los fragmentos de acciones construidos, y (II) organizar los esquemas en el orden serial correcto para la acción (Immink & Wright, 2001). Se considera que tanto la práctica aleatoria como bloqueada fomentan la adopción temprana de este modo de fragmentación, **pero solo los individuos en la práctica aleatoria almacenan los esquemas motores construidos de manera que puedan recuperarse y usarse más adelante para apoyar la ejecución de nuevas secuencias.** Este almacenamiento puede implicar la migración continua del conocimiento de secuencias motoras a sitios neuronales alternativos que se han asociado con el almacenamiento a largo plazo, de modo que, durante la preparación de la respuesta, una práctica aleatoria más extensa facilita la recuperación más eficiente de los fragmentos motores pertinentes, así como una organización más eficiente de dichos fragmentos motores en el orden serial correcto antes de la ejecución (Wright et al., 2016).

Por lo tanto, la planificación de secuencias motoras depende del grado de IC inducido durante la práctica y, como se explicará en el siguiente punto, una planificación diferencial durante los programas de práctica con baja y alta IC se reflejará en un perfil específico de reclutamiento neuronal (Wright et al., 2016).

B. Se produce un amplio reclutamiento de regiones neuronales de secuencia específica durante un entorno de práctica de alta IC, en comparación con solo el proceso de planificación motriz.

Para una mejor comprensión de este tema a continuación se realiza una breve descripción de la organización jerárquica para la producción del movimiento y de las regiones neuronales implicadas en ello (**figura 8**).

Según estudios de mapas corticales de las áreas motora obtenidos con resonancia magnética cerebral funcional, la M1 o corteza motora primaria (área de Broadman 4) y el área premotora (área de Broadman 6) son las regiones más comprometidas en las acciones motrices (Rosales et al, 2006).

M1 es una región cerebral ubicada en la parte posterior del lóbulo frontal que funciona conjuntamente con las áreas premotoras para planificar y ejecutar los movimientos (**figura 8**). Los largos axones de sus neuronas de gran tamaño (células de Betz),

descienden hacia la médula espinal para establecer sinapsis con las motoneuronas alfa conectadas a los músculos que a su vez son los encargados de la respuesta motriz o de salida (Purves et al., 2016, p13). En la circunvolución precentral contralateral de M1, los mapas motores muestran disposición ordenada de las áreas de control para la cara, dedos, manos, brazo, tronco, pierna y pie a lo largo de la circunvolución (Rosales et al., 2006).

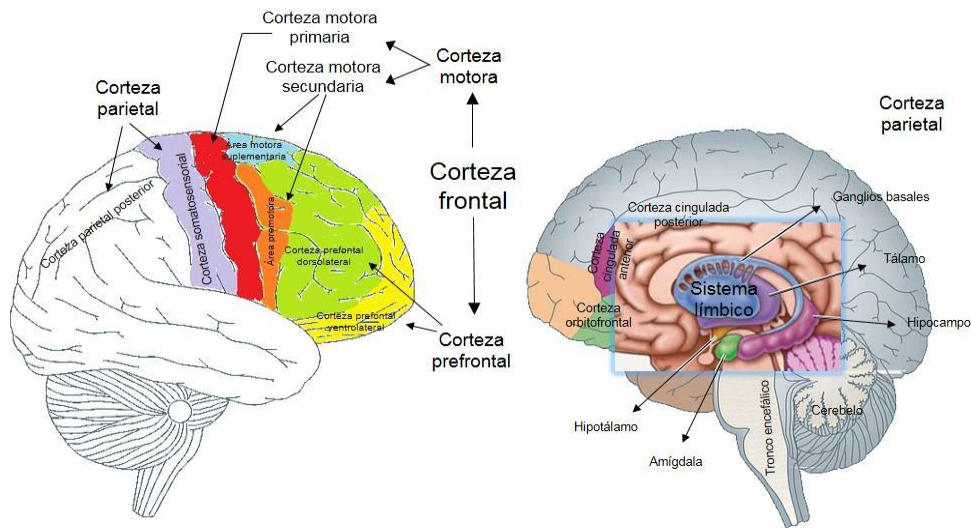


Figura 8. Síntesis de las regiones neuronales implicadas en la producción del movimiento. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el área premotora, ubicada en la región anterior a la circunvolución precentral en la superficie lateral y medial de la corteza motora secundaria, se estimula con movimientos más complejos en comparación con M1 (Rosales et al., 2006) (**figura 8**). Las áreas premotoras están implicadas en los procesos de planificación de acciones (junto con los ganglios basales), y de perfeccionamiento de los movimientos a partir de la información sensorial recibida del exterior, para lo que se requiere la intervención del cerebelo (Fernández del Olmo, 2012, p32) (**figura 9**).

Existen 4 áreas premotoras (Fernández del Olmo, 2012, p152):

- 2 en la parte lateral de la convexidad, denominadas área premotora ventral y área premotora lateral dorsal
- 2 en la parte medial, denominadas área motora suplementaria (SMA: tiene relación con la coordinación de los dos hemisferios) y área motora supracallosa.

premotoras lateral (dorsal y ventral), medial (área motora pre suplementaria “pSMA”) y el SMA propiamente dicha, exhiben una señal dependiente del nivel de oxígeno en la sangre que es al menos 50% mayor durante la práctica aleatoria que antes de la práctica, lo que implica una significativa activación de estas áreas vinculadas a la preparación de la acción durante la etapa de adquisición (**figura 10**).

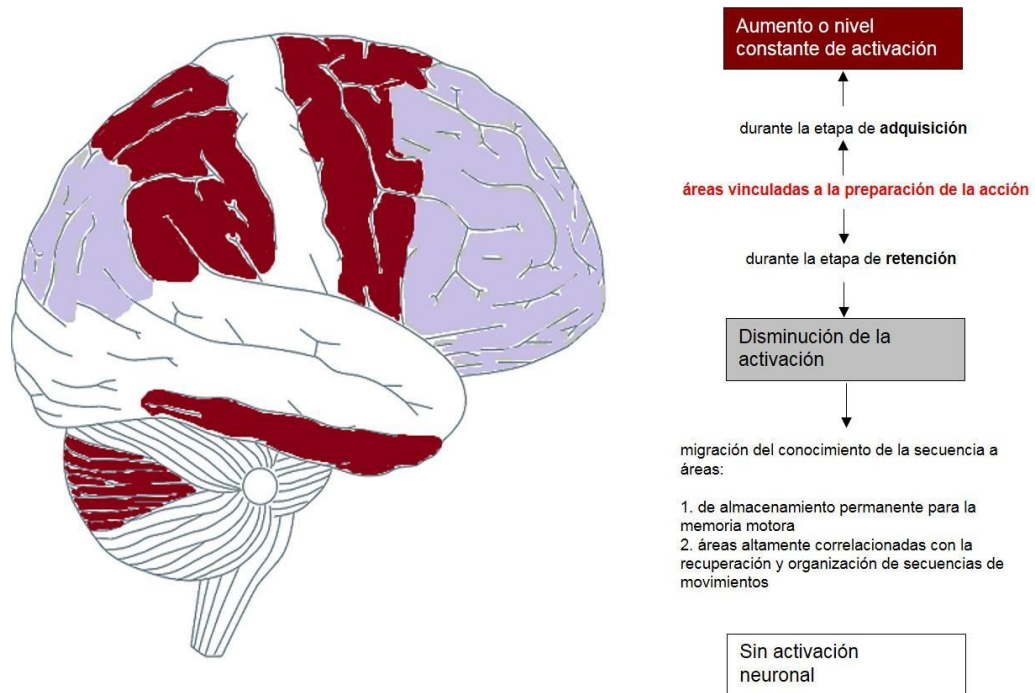


Figura 10. Perfil de reclutamiento neuronal de regiones de planificación motriz durante diferentes momentos de práctica aleatoria. La dirección de las flechas indica la forma de activación neuronal (aumento o disminución). Fuente: Elaboración propia.

También se ha reportado una disminución del reclutamiento de las regiones premotora, prefrontal y parietal inferior con la práctica aleatoria durante los ensayos de retención (Lin et al., 2011), lo que parece apoyar una consolidación del conocimiento de la secuencia motora durante y después de las interrupciones de la práctica, debido a una mayor migración del conocimiento de la secuencia a los sitios de almacenamiento permanente para la memoria motora, como M1 (corteza motora primaria) (Penhune & Steele, 2012) y a áreas altamente correlacionadas con la recuperación y organización de secuencias de movimientos, como SMA (Lin et al., 2012).

Las áreas premotoras laterales han sido reconocidas por el desarrollo de asociaciones entre estímulos y acciones sensoriales arbitrarios y/o el aprendizaje de reglas de respuesta arbitrarias, lo que sin duda sería un desafío temprano cuando se aprende un nuevo conjunto de secuencias motoras. Las áreas premotoras medial, incluyendo pSMA

y SMA propiamente dichas, se han asociado con la selección, recuperación y organización de subconjuntos o completos esquemas de movimiento durante la adquisición de destrezas (Nachev, Kennard, & Husain, 2008) (figura 9). El mayor reclutamiento del área premotora medial es consistente con la afirmación de que la práctica con mayor IC alienta el uso del modo de fragmentación motriz (Abrahamse et al., 2013). Wymbs y Grafton, (2009) también informaron una activación significativa en la porción lateral posterior del cerebelo (es decir, Crus II) durante el régimen de alta IC. Esta región del cerebelo tiene conectividad tanto con la corteza prefrontal dorsolateral como con el lóbulo parietal inferior (O'Reilly et al., 2010). Además, se ha propuesto que los circuitos cortico-cerebelosos son importantes al principio del aprendizaje de la secuencia motora, pero desempeñan un papel más pequeño en etapas posteriores durante las cuales son más predominantes los circuitos cortico-estriatales (Doyon & Benali, 2005).

En resumen, parece claro que asociada a una mayor demanda cognitiva, la práctica aleatoria instiga el reclutamiento de una red más amplia de regiones neuronales que han sido identificadas como críticas para establecer la memoria de trabajo motor durante la planificación de secuencia motoras (Hardwick et al., 2013).

- **Demanda cognitiva y desempeño motor con la práctica de alta IC**

Con una variada evidencia empírica de apoyo, en décadas anteriores se generaron algunas explicaciones teóricas rivales sobre el efecto de la IC para mejorar el desempeño durante los procesos de aprendizaje motor (Magill & Hall, 1990). Según algunos investigadores, estas explicaciones no son mutuamente excluyentes (i.e combinación de hipótesis de reconstrucción del plan de acción y de elaboración), pues entre ellas existe un denominador común relacionado, “la carga mental” (Li & Wright, 2000; Sherwood & Lee, 2003). La carga de trabajo mental se ha conceptualizado como “el costo de procesamiento incurrido para lograr un nivel de rendimiento aceptable frente a requisitos variables de tareas” (Jorna, 1992).

Para Brady, (1998) el incremento de la carga mental por un mayor esfuerzo de procesamiento de la información generado por la práctica aleatoria, y el deficiente o disminuido procesamiento que resulta de la práctica bloqueada, son elementos que están presentes en cada uno de los supuestos teóricos que explican el fenómeno de IC. De aquí, que cuando la práctica requiere un mayor esfuerzo cognitivo (alta IC) se prevé que sea más eficaz el aprendizaje motor en comparación con la práctica que requiere un menor esfuerzo cognitivo (baja IC) (Sherwood & Lee, 2003).

Según Lee, Swinnen & Serrien, (1994) el esfuerzo cognitivo es un constructo que refiere el “esfuerzo mental relacionado con la toma de decisión”. En referencia al aprendizaje de destrezas motrices, el esfuerzo cognitivo está implícito en aquellas decisiones que son el resultado de procesos internos perceptuales y motores implicados en el control del movimiento. La toma de decisión considera la anticipación, planificación, regulación e interpretación del esquema motor (Sherwood & Lee, 2003). Por ejemplo, un boxeador al dar un golpe específico en una determinada situación del combate, debe elegir el PMG con su secuencia motriz en particular (e.g. golpes al torso del oponente, a la cabeza, etc.), así como determinados valores paramétricos de dicho programa (dirección, potencia, distancia del ataque). Por su parte, un paciente que como consecuencia de un accidente cerebro-vascular presenta una hemiparesia espástica, al ascender por una escalera debe decidir (como planificación motriz) si subir apoyando la pierna afectada o la indemne, así como también, la dirección, sentido, velocidad y magnitud del desplazamiento de la pierna. Así, para conocer la forma más eficaz de desempeñarse en tareas motrices parece ser interesante evaluar el esfuerzo cognitivo.

Mecanismos neurofisiológicos y de control neural del sistema autónomo implicados en el desempeño de secuencias motoras

Como se mencionó anteriormente, un amplio estudio de revisión realizado por Wright et al., (2016) constató la activación de importantes áreas rostrales del cerebro durante los procesos de planificación motriz con elevada IC, las cuales también están implicadas en los procesos psicológicos y conductuales de control autónomo asociados a un mayor esfuerzo cognitivo.

Estos hallazgos conducen a deducir que la actividad cognitiva diferencial provocada por los distintos niveles de IC, es responsable del reclutamiento de sitios corticales claves para la planificación motriz que coinciden con áreas involucradas en el control autónomo cardíaco en tareas con alta demanda cognitiva (**figuras 10 y 11**), tal y como se explicará a continuación.

Sistemas de control neural central del flujo autónomo cardíaco

El sistema cardiovascular está bajo el control de las ramas simpáticas y parasimpáticas del SNA. Un sistema de órganos dado es a menudo invadido por ambas ramas autónomas, que típicamente ejercen acciones opuestas. Las neuronas centrales que dan lugar a los axones preganglionares del sistema nervioso autónomo se distribuyen a través

de los niveles de la médula espinal y el tronco cerebral (**figura 11**). Las fibras preganglionares del sistema simpático surgen de las columnas de células intermediolaterales de los segmentos medulares torácicos y lumbares superiores (sistema toracolumbar). En contraste, el sistema parasimpático periférico surge de núcleos del tronco cerebral, como el núcleo motor dorsal y el núcleo ambiguo, y de los segmentos de la médula sacra (sistema craneosacro). Los axones preganglionares terminan en ganglios autónomos periféricos, donde las neuronas posganglionares a su vez emiten proyecciones a los órganos diana como el corazón. En el sistema simpático, estos ganglios pertenecen a la cadena simpática que se encuentran a lo largo de las vértebras (también denominados ganglios paravertebrales). En contraste, los ganglios del sistema parasimpático están más distribuidos, ya que se encuentran dentro o alrededor del órgano inervado. En consecuencia, los axones posganglionares del sistema parasimpático son bastante cortos y las fibras preganglionares son largas, mientras que la relación opuesta es válida para el sistema simpático (**figura 11**) (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191).

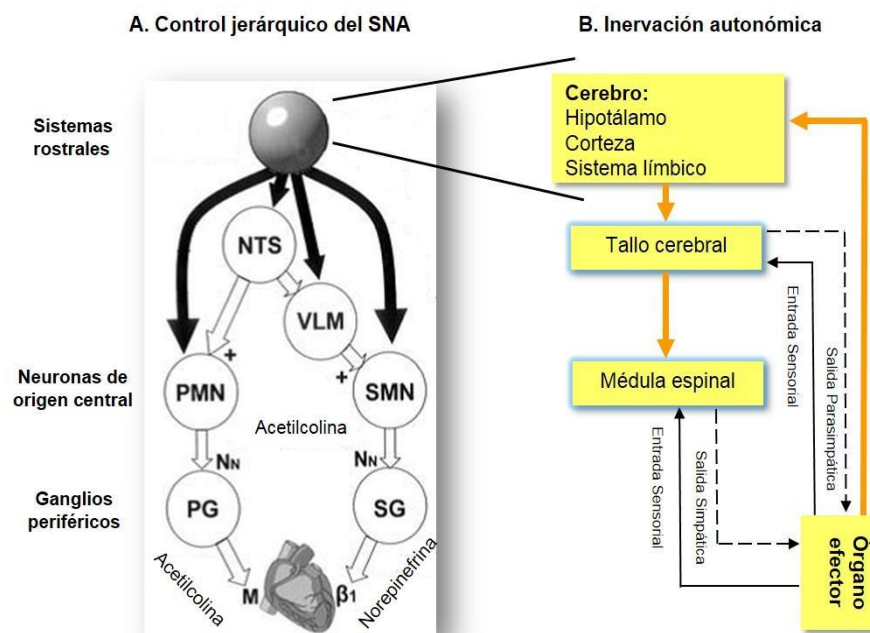


Figura 11. Control jerárquico y proyecciones del SNA hacia el corazón. El núcleo del tracto solitario (NTS) excita (símbolo +) las neuronas motoras parasimpáticas (PMN) y simpáticas (SMN), en este último caso a través de una vía indirecta, como lo médula ventrolateral rostral (VLM). Las neuronas preganglionares de ambas ramas emplean acetilcolina como el neurotransmisor primario, que se une a un subtipo de receptor nicotínico (N_N). Las fibras parasimpáticas posganglionares (PGf) también emplean acetilcolina como neurotransmisor primario, y los subtipos de receptores en el órgano diana son comúnmente muscarínicos (M); mientras que las neuronas posganglionares del sistema simpático (SG) emplean norepinefrina como neurotransmisor primario, que puede actuar sobre los receptores beta adrenérgicos. Fuente: Adaptado de Berntson, Quigley & Lozano, (2007, p191).

En comparación con el sistema motor somático (voluntario, encargado de conducir los impulsos desde el SNC hasta los músculos), los nervios autónomos periféricos están interrumpidos por una sinapsis ganglionar para retrasar la transmisión eferente autónoma. Por lo que se considera que los ganglios autónomos pueden no solo transmitir pasivamente la información entrante de los axones preganglionares, sino que más bien pueden representar un sistema regulador de primer nivel (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191). Los ganglios cardíacos parasimpáticos, por ejemplo, se han denominado el “cerebro del corazón”, que se caracteriza por conjuntos anatómicos y neuroquímicos de neuronas que interactúan y que sirven para regular aspectos de la función cardíaca (e.g. frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca) (figura 11) (Gray et al., 2004).

Ambos conjuntos de neuronas preganglionares emplean acetilcolina como el neurotransmisor primario, que se une a un subtipo de receptor nicotínico (N_N) y a varios subtipos muscarínicos (M) en las neuronas posganglionares de los ganglios autónomos periféricos de ambas ramas. Las fibras parasimpáticas posganglionares también emplean acetilcolina como neurotransmisor primario, aunque los subtipos de receptores en el órgano diana son comúnmente muscarínicos. En contraste, las neuronas posganglionares del sistema simpático emplean norepinefrina como neurotransmisor primario, que puede actuar sobre los receptores alfa adrenérgicos (por ejemplo, α_1 en las arteriolas) o beta adrenérgicos (por ejemplo, β_1 en el corazón) (figura 11) (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191).

Las proyecciones preganglionares parasimpáticas que surgen del núcleo ambiguo y del núcleo motor dorsal son proyectadas a los ganglios sinoauriculares y atriales posteriores, para la regulación de la frecuencia cardíaca (control cronotrópico), al ganglio atrioventricular para el control de la conducción eléctrica (control dromotrópico) y al ganglio interventrículo-septal para la regulación de la contractilidad miocárdica (control inotrópico, aunque esto es mínimo para el sistema parasimpático) (Gray et al, 2004). De aquí que el **sistema parasimpático tenga un rango dinámico mucho más amplio de control sobre la cronotropía cardíaca que el sistema simpático, mientras que el sistema simpático va a tener un efecto más predominante en el estado inotrópico** (figura 11) (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191).

El sistema cardiovascular está regulado por mecanismos centrales complejos, incluidos los sistemas reflejos de nivel inferior (i.e. reflejos del tronco encefálico) y los mecanismos neuroconductuales superiores.

Entre los reflejos cardiovasculares se encuentran los reflejos barorreceptores, que incluyen el reflejo barorreceptor de la frecuencia cardíaca y el reflejo barorreceptor

vascular (Dampney, Polson, Potts, Hirooka y Horiuchi, 2003). Aunque es difícil realizar un análisis por separado de los reflejos, debido al objetivo del presente estudio se abordarán los aspectos que caracterizan los reflejos relacionados con el control de la frecuencia cardíaca y su modulación, dejando al margen los implicados en el control de la tensión arterial.

El circuito reflejo barorreceptor de la frecuencia cardíaca está compuesto por receptores aferentes de estiramiento desde la carótida y otras grandes arterias hasta el NTS en el tronco cerebral. Las proyecciones NTS pueden excitar la actividad en los núcleos de fuente parasimpática, y a través de una vía indirecta, pueden inhibir la VLM, que es una fuente descendente importante de impulso tónico en las neuronas de eferencia simpática. A través de este circuito, el aumento del tráfico aferente barorreceptor aumenta el control parasimpático y disminuye el flujo simpático. El aumento de la capacidad parasimpática y la disminución del control cronotrópico cardíaco simpático conducen a una disminución de la frecuencia cardíaca. Esto, junto con la contractilidad ventricular reducida debido a la retirada del control inotrópico simpático, conduce a una disminución del gasto cardíaco. Por el contrario, la descarga de barorreceptores durante el supuesto de una postura erguida (estrés ortostático) produce un patrón opuesto de control autónomo: un aumento simpático y una disminución en el flujo parasimpático (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191).

Además de los barorreceptores arteriales, hay una variedad de mecanorreceptores cardiopulmonares que contribuyen a la regulación refleja del sistema cardiaco. Uno de estos reflejos se origina en los receptores de estiramiento pulmonar durante la respiración (Berntson, Cacioppo y Quigley, 1993). La inspiración resulta en la activación de estos receptores de estiramiento y sus aferentes, que se proyectan al NTS. La entrada de aferencias del receptor de estiramiento produce una inhibición refleja del flujo cardíaco parasimpático y una excitación del sistema simpático. Como resultado, en las diferentes fases de la respiración se regulan los ritmos respiratorios con los nervios simpáticos y parasimpáticos, así como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Debido a que las sinapsis cardíacas simpáticas no pueden seguir las frecuencias respiratorias típicas, los ritmos respiratorios y la frecuencia cardíaca asociada son manejados por el sistema parasimpático (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191). En consecuencia, esta arritmia sinusal respiratoria (i.e. ralentización fisiológica de la frecuencia cardíaca durante la espiración) se emplea comúnmente como un índice del control vagal del corazón.

Por último, los reflejos quimiorreceptores, otra categoría de reflejo cardíaco que se asocia con cambios en la presión parcial de O₂ y CO₂, y con el pH sanguíneo, producen

respuestas locales adaptativas de tipo simpática o parasimpática (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p190).

Integración neurovisceral y comportamental

Thayer, & Lane, (2000) propusieron un modelo de integración neurovisceral que describe cómo un conjunto de estructuras neuronales involucradas en la regulación cognitiva, afectiva y autonómica se relacionan con la VFC y el rendimiento cognitivo. En este modelo, se describen los detalles anatómicos de una red autónoma central que vinculan al NTS en el tronco cerebral con las estructuras rostrales del cerebro (giro cingulado anterior, la corteza prefrontal ventromedial, la amígdala y el hipotálamo) a través de bucles de retroalimentación. Esta red es un sistema integrado para la regulación del sistema interno mediante el cual el cerebro controla las respuestas visceromotoras, neuroendocrinas y de comportamiento que son fundamentales para el comportamiento, la adaptabilidad y la salud.

En esta red autónoma central, Berntson y colegas mencionan que, **los niveles más altos de neuraxis, incluidos los sustratos neuroconductuales del sistema límbico (figura 12), y de algunas áreas rostrales de cerebro (figura 11), pueden controlar, inhibir o incluso evitar los mecanismos reflejos inferiores en la regulación del flujo autónomo, sobre todo en contextos psicofisiológicos** (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191).

Existen algunas rutas por las cuales los sustratos conductuales más altos de la organización jerárquica del cerebro pueden afectar la regulación cardiovascular autónoma. Por ejemplo, se han descrito proyecciones directas monosinápticas a centros reflejos del tronco encefálico e incluso a núcleos autónomos a partir de áreas rostrales de la corteza frontal y de estructuras implicadas en procesos psicológicos y conductuales (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p192), estos incluyen el hipotálamo, la amígdala y la corteza prefrontal (figura 12).

Estudios neuroanatómicos y neurofisiológicos por una parte, y de neuroimagen funcional del control autónomo cardíaco (tomografía, resonancia magnética funcional) por otra, han constatado que tareas con alta demanda cognitiva (e.g. cálculo aritmético, stroop test) involucran a varias áreas rostrales del cerebro que han sido implicadas en procesos afectivos, cognitivos y del control autónomo (figura 12), incluyendo la corteza cingulada, orbitofrontal, corteza prefrontal (medial y dorsolateral), así como áreas relacionadas, tales como el hipotálamo, la amígdala y el cerebelo (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p192). Otros estudios han encontrado que la magnitud de las respuestas

cardíacas (frecuencia cardíaca y VFC) está significativamente relacionada con la magnitud de la activación en estas regiones del cerebro (Chritchley et al., 2005; Gianaros, May, Siegle, & Jennings, 2005).

En resumen, los sistemas neuro-comportamentales rostrales que participan en la regulación de la respuesta autonómica cardíaca también se activan en tareas con elevada demanda cognitiva, como sucede en el proceso de planificación de secuencias motoras con elevada IC. Por lo tanto, la magnitud de las respuestas cardíacas va a estar relacionada con la magnitud de la activación en las diferentes áreas del cerebro (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p. 192), que a su vez también son reclutadas durante la planificación motriz con un mayor esfuerzo cognitivo (alta IC) (figura 12). A continuación, se presenta el cuerpo de evidencias que relacionan el esfuerzo cognitivo y la respuesta del sistema nervioso autónomo (SNA), específicamente de la VFC, durante la ejecución de secuencias motoras.

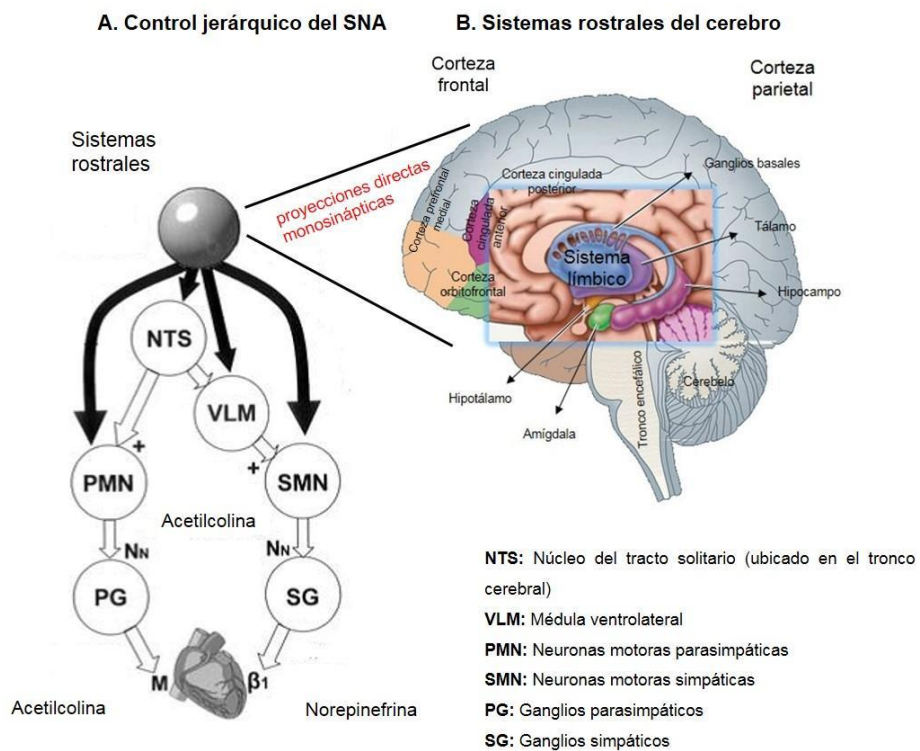


Figura 12. Relación entre las áreas implicadas en la planificación de secuencias motoras y el control central cardíaco del sistema autónomo. El NTS excita (símbolo +) las neuronas motoras parasimpáticas (PMN) y simpáticas (SMN). Fuente: Adaptado de Berntson, Quigley & Lozano, (2007, p. 191).

Una aproximación teórica a la utilidad de la VFC para evaluar el esfuerzo cognitivo durante la ejecución de secuencias motoras

Como se ha mencionado en el apartado anterior, un importante centro cardiovascular ubicado en la médula del tronco encefálico integra información sensorial de propioceptores (posición de las extremidades), quimiorreceptores (química de la sangre) y mecanorreceptores (también llamados barorreceptores) del corazón, así como información de la corteza cerebral y el sistema límbico. Este centro cardiovascular, por lo tanto, responde a la aferencia sensorial y a estructuras rostrales del cerebro implicadas en procesos psicológicos y conductuales (el hipotálamo, la amígdala y la corteza prefrontal, etc.) ajustando la frecuencia cardíaca a través de los cambios en el equilibrio relativo entre el SNS y el SNP (Shaffer, & Venner, 2013).

La VFC es el resultado de las interacciones entre el SNA y el sistema cardiovascular. El SNA es el responsable de que los latidos del corazón se produzcan con una frecuencia variable, pudiéndose determinar en períodos de tiempo (milisegundos, ms) entre latido y latido (Rodas, Carballido, Ramos & Capdevila, 2008). La actividad del SNA se basa en un equilibrio entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). En un estado de reposo predomina la estimulación vagal (i.e., SNP), mientras que en estados de ansiedad, estrés y ejercicio físico predomina la estimulación del SNS (Thayer, Yamamoto & Brosschot, 2010).

El SNP se encarga de realizar una rápida disminución de la FC por impulsos eléctricos vagales en el espectro de alta frecuencia o “high frequency = 0.15-0.40 Hz” (HF, por sus siglas en inglés) y este proceso viene dado, como ya se mencionó, por la liberación de acetilcolina por parte del nervio vago. En consecuencia, el SNP tiene una corta latencia de acción, un tiempo de elevación más rápido y una capacidad de alta frecuencia, de modo que existe una contribución selectiva del control vagal para la alta frecuencia de la VFC sobre todo de la arritmia sinusal respiratoria (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p. 189).

Por su parte, el SNS aumenta la FC mediante impulsos lentos en el espectro de baja frecuencia o “low frequency = 0.04-0.15 Hz” (LF, por sus siglas en inglés). La respuesta es más lenta que la del SNP (necesita 20-30 latidos para producirse). Este proceso está basado en la liberación de adrenalina y de noradrenalina (Rodas et al., 2008). El SNS es el responsable de la contractibilidad cardíaca (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p. 189)

y de los cambios en la FC debidos a estrés físico (Cancino, 2011) y a la carga mental (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p196).

La interpretación fisiológica de las bandas de frecuencia se puede resumir de acuerdo a como lo plantea Cancino, (2011):

- LF: refleja la estimulación o tono simpático, con modulación del parasimpático y en menor medida por el sistema renina-angiotensina, vasopresina y óxido nítrico.
- HF: refleja la modulación del sistema parasimpático (tono vagal) sobre la VFC.
- Proporción o razón LF/HF: es la relación de la variabilidad de alta frecuencia y la variabilidad de baja frecuencia. Es un indicador bastante fiable del balance autónomo en reposo o actividad ligera.

La interacción dinámica del SNS y SNP requiere del funcionamiento adecuado de la corteza prefrontal que se cree está involucrada en la inhibición del SNS (Friedman, 2007; Thayer & Lane, 2009) y en la activación del SNP, específicamente del componente HF (Lane et al., 2009).

Los estudios que han intentado asociar la respuesta del SNA y la actividad de la corteza frontal, se pueden dividir en dos grupos: 1) los que han evaluado el desempeño cognitivo en función de la respuesta de la VFC (Hansen et al., 2004; Di Bernardi Luft, Takase, & Darby, 2009), y 2) otro grupo de trabajos que han centrado sus esfuerzos en conocer cómo es la respuesta de la VFC en función de tareas con diferente esfuerzo cognitivo producto de la carga mental.

Los resultados de estos estudios sugieren que una elevada actividad cognitiva o esfuerzo mental por sí solo (Luque-Casado et al., 2016), o relacionado con la toma de decisiones, pueden ser la causa de una modulación deteriorada del sistema cardiovascular autónomo (Ramírez, Ortega, & Del Paso, 2015), respuesta ésta asociada al estrés y al desequilibrio interno. Por ello, períodos cortos de intenso esfuerzo mental resultan en una reducción en la modulación autonómica que puede ser evaluada mediante la VFC (Mackersie, Macphee, & Heldt, 2015), y estos cambios son independientes de la edad (Wood, Maraj, Lee, & Reyes, 2002).

Aunque con menos evidencias de respaldo, se conoce que el esfuerzo cognitivo producto de la planificación y ejecución de secuencias motoras también se relaciona con la respuesta de la VFC, quizás porque ambos fenómenos son regulados por áreas similares del cerebro, como se mencionó antes.

En el año 2009, Thayer, Hansen, Saus-Rose, y Johnsen aportaban datos sobre una importante relación entre la respuesta de la VFC y el desempeño durante la ejecución de tareas motrices con elevada carga mental (atencional, perceptual) o física (Thayer, Hansen, Saus-Rose, & Johnsen, 2009). En esta misma línea Di Bernardi Luft, Takase, & Darby, (2009) encontraron que en los deportistas de campo y pista la exacerbación de la VFC estaba relacionada con una mayor demanda cognitiva, y que la correlación entre estas variables parecía ser más fuerte después del ejercicio físico y no durante el mismo. Esto puede explicarse porque a medida que aumenta la intensidad del ejercicio, la extensa activación neuronal necesaria para ejecutar esquemas motores, asimilar las entradas sensoriales y coordinar la regulación autonómica (**figura 11**) produce, al parecer, una disminución transitoria de la activación de otras estructuras cerebrales responsables de funciones ejecutivas (Dietrich, 2006).

Por su parte, Thompson, Swain, Branch, Spina, & Grieco, (2015), en otro reciente estudio que evaluó los cambios en la función autonómica durante una competición táctica de tiro deportivo, también encontraron resultados muy interesantes. Estos autores observaron que los participantes con una mayor frecuencia cardíaca tuvieron un mejor DM (exactitud en los disparos) durante la realización del match más rápido; mientras que los participantes con **menos cambios en las medidas de la VFC en reposo obtuvieron mejores desempeños en el match de precisión**. En un intento por explicar estos hallazgos, los autores infieren que los cambios en la frecuencia cardíaca fueron el resultado del incremento de la demanda física relacionado con una mayor velocidad para completar la tarea, y que **un menor cambio del perfil de la VFC en reposo pudo ser el resultado de un aumento en la activación parasimpática atribuible a factores psicofisiológicos, como la automatización cognitiva, superior eficiencia de la función ejecutiva bajo coacción, y a otros mecanismos de respuesta selectiva al estrés**.

En los trastornos motores, en los que hasta la fecha no está bien estudiado el esfuerzo cognitivo requerido para la planificación y ejecución de movimientos, también se ha observado (en niños) una pobre respuesta de la VFC asociada con un aumento del riesgo de trastornos en el desarrollo de la coordinación, y a un déficit en la vinculación entre las percepciones y las acciones motrices (Chen, Tsai, Biltz, Stoffregen, & Wade, 2015).

Por último, Cowley, Ravaja, & Heikura, (2013) encontraron que la VFC es un buen indicador de la carga de trabajo mental, capaz de predecir el aprendizaje motor en un videojuego con diferentes niveles de dificultad.



Problemas de investigación

PROBLEMAS

A pesar de que el equilibrio postural o simplemente estabilidad, es el tercer constructo más importante de las DMF (Gallahue & Ozmun, 2006), las investigaciones han encontrado una preocupante prevalencia de niños y adolescentes con baja competencia en un amplio rango de destrezas (Hardy et al 2013; Spessato et al., 2013) y de destrezas propias de la estabilidad (Hardy et al 2012). El hecho de que los niños y adolescentes no alcancen su potencial de desarrollo en DMF, compromete la calidad de la competencia motriz en la adultez (Jiménez-Díaz, et al 2015).

En ambas poblaciones, es la suficiente práctica física la que estimula un buen desempeño de las destrezas fundamentales en general y/o relacionadas con la estabilidad (Kiers et al., 2013; Kümmel et al., 2016; Maitre & Paillard, 2016; O'Connor et al., 2018), y es el entrenamiento específico de estabilidad el que produce los mayores beneficios (Paillard, 2017; Orofino et al., 2015).

Parece ser que el efecto de un entrenamiento específico para una destreza se puede incrementar cuando se considera la interferencia en la práctica, al menos así sucede con las **destrezas deportivas o complejas** (con elevada solicitud de velocidad, precisión y coordinación en la secuencia de movimientos). Los resultados de trabajos de revisión confirman que, el efecto de IC predice un mejor desempeño con la PB respecto a la PA en la adquisición (Jiménez-Díaz, et al., 2016a; Mazzardo, 2004), pero en la retención los resultados son contradictorios. Por ejemplo, Jiménez-Díaz, et al., (2016a) no encontró diferencias entre grupos, mientras que Brady (2004) y Mazzardo, (2004) reportan que el grupo de PA tiende a presentar un desempeño mejor en comparación al grupo de PB después de un período sin práctica. **Según nuestro conocimiento, hasta la fecha ningún estudio se ha interesado en evaluar si este efecto también ocurre en la práctica de destrezas fundamentales relacionadas con la estabilidad.**

Por otra parte, de acuerdo a un análisis de variables predictoras del efecto de la IC en el aprendizaje de destrezas deportivas o complejas, Jiménez-Díaz, et al., (2016a) encontró que las diferencias en el DM entre grupos sólo durante la adquisición, se ve afectada principalmente por la edad de los participantes, donde la PA favorece el desempeño en edades tempranas (menor a 10 años), mientras que conforme avanza la edad de los participantes (mayor a 10 años) es la PB la que favorece el desempeño. Al considerar si la edad también se relaciona con las formas de programación en el aprendizaje de **destrezas fundamentales en general**, cuando se ha evaluado solo a

niños, es fuerte el cuerpo de evidencias (de acuerdo a un resultado meta-analítico) sobre el efecto de la IC (Logan, et al, 2012). En los adultos la evidencia es muy limitada, y los resultados no respaldan el efecto de interferencia contextual (EIC). Jiménez-Díaz, et al., (2018b) al examinar en esta población el efecto de la práctica aleatoria y bloqueada en el desempeño de destrezas fundamentales (i.e. salto y lanzamiento), no encontró diferencias entre los grupos de práctica en la adquisición y tampoco en la retención. Estos resultados sugieren que la edad no interactúa con el programa de práctica para mejorar el desempeño de destrezas fundamentales, en adultos. De acuerdo a nuestro conocimiento, a esto debemos agregar, que la capacidad de transferencia de este tipo de destrezas nunca ha sido evaluada previamente.

Las investigaciones recientes que han incorporado medidas neuroanatómicas, neurofisiológicas y de neuroimagen funcional, en estudios conductuales y experimentales para brindar nuevas explicaciones al papel del efecto de IC durante el aprendizaje de secuencias motoras (Wright et al., 2016), han obtenido con estas técnicas avanzadas, información objetiva y confiable, pero tienen como desventaja su elevado costo y la difícil interpretación de sus resultados, lo cual limita su democratización y utilización fuera de las condiciones de laboratorio.

En resumen, estos antecedentes sugieren 1) que cuando se evalúan destrezas complejas o deportivas, el aprendizaje parece estar afectado parcialmente por la forma de organización de la práctica de acuerdo al efecto de IC, 2) que existe la necesidad de investigar más a fondo si las hipótesis del efecto de IC que han demostrado explicar parcialmente el aprendizaje de destrezas complejas, también tienen implicaciones en la respuesta de aprendizaje de DMF, 3) que es necesario verificar si dichas hipótesis que al parecer sustentan el aprendizaje de DMF en general de niños, también tienen potenciales implicaciones en la respuesta de aprendizaje de DMF en adultos, particularmente, del constructo estabilidad, y 4) que las respuestas neurofisiológicas, producto de la carga mental que se genera por la interrupción de la práctica, deben ser validadas con medidas objetivas y de bajo costo, para apoyarlas particularidades del proceso de aprendizaje motor.

Al mismo tiempo estos antecedentes indican que existen brechas en la comprensión de la metodología más efectiva para mejorar el desempeño de los adultos en DMF, de aquí que nos hayamos planteado los siguientes interrogantes para el aprendizaje práctico de la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación, en esta población:

Para comprobar el efecto de IC:

1. ¿Existen diferencias en el DM y el equilibrio autónomo cardiaco entre diferentes programas de práctica en la adquisición, retención y transferencia de la destreza?
2. ¿Existen diferencias en el DM y el equilibrio autónomo cardiaco entre la adquisición, la retención y la transferencia según el programa de práctica ejecutado?

Para establecer si la respuesta autónoma cardiaca se relaciona con el desempeño motor:

3. ¿Cómo es la relación entre la respuesta del equilibrio autónomo cardiaco y el DM en la adquisición, retención y transferencia de la destreza en los diferentes programas de práctica?
4. ¿Cuál es la capacidad del balance autónomo cardiaco para predecir el DM en la adquisición, retención y transferencia de la destreza con diferentes programas de práctica?

Para determinar si la habilidad para sentarse y levantarse predice la capacidad de transferencia de la destreza de acuerdo con la condición de práctica ejecutada:

5. ¿Cómo es la relación entre la variación inter-miembros (ms) del peso corporal en una prueba simple de sentarse y levantarse y el DM durante la transferencia de la destreza de acuerdo con el programa de práctica?
6. ¿Cuál es la capacidad de la variación inter-miembros (ms) del peso corporal en una prueba simple de sentarse y levantarse para predecir el DM durante la transferencia de la destreza de acuerdo con el programa de práctica?



Justificación del estudio

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se sustenta en algunos aspectos clínicos, científicos y de factibilidad que justifican la necesidad de conocer la metodología más efectiva para desempeñarse en una destreza relacionada con el equilibrio dinámico en bipedestación.

En primer lugar, se debe considerar que las investigaciones que han empleado la IC como forma de programación y composición del aprendizaje motor, se han centrado principalmente en individuos sanos que aprenden nuevas destrezas motrices complejas o relacionadas con el desempeño deportivo, quedando relegada su aplicación en la práctica de destrezas locomotrices fundamentales. En particular, la ejecución asimétrica de desplazamiento inter-miembros de la carga-peso corporal en bipedestación se considera clínicamente importante porque puede conducir a un mal desempeño en otras tareas funcionales (e.g. movimientos de alcance de la extremidad superior, vestirse, subir escaleras), a la incorrecta ejecución de patrones básicos de movimiento (e.g. caminar, correr, sentarse y levantarse, saltar), así como, y de acuerdo con Shakoor et al., (2011) a la sobrecarga de uno de los miembros inferiores con la consecuente degeneración articular y la osteoartritis de inicio temprano.

En segundo lugar, desde la adultez y a medida que avanza la edad, existe una importante prevalencia de baja competencia en las DMF en general (Jiménez-Díaz et al., 2015), y de las destrezas relacionadas con el equilibrio dinámico en bipedestación (Liaw et al., 2009; Iverson & Koehle, 2013). Sumado a esto, como en adultos saludables la competencia motora y el nivel de actividad física (Kiers et al., 2013) y el fitness físico (Cattuzzo, et al., 2016; Holfelder & Schott, 2014; Stodden et al., 2008) están asociados de manera positiva, surge la necesidad de conocer la metodología (de organización de la práctica) más efectiva para incrementar el DM de destrezas locomotrices fundamentales, con la intención de garantizar que esta población alcance y mantenga una conducta activa que le permita la participación regular en actividades domésticas, actividades físicas de ocio y de ejercicio y deporte.

Por otra parte, también se sabe que, a cualquier edad, la habilidad para prevenir una caída mejora de manera significativa cuando la competencia motora es óptima (Granacher et al., 2011), lo cual refuerza la necesidad de entrenar las destrezas motrices relacionadas con el control del equilibrio postural dinámico.

Por último, algunos autores consideran que se deben realizar más estudios que evalúen la influencia sobre el aprendizaje de otros factores que determinan y regulan el control del movimiento (Jiménez-Díaz, Salazar-Rojas, & Morera, 2014). Es por ello, que la evaluación de algunos parámetros de respuesta de la VFC, podría ser un método objetivo, robusto, barato y no invasivo para monitorear el DM y las respuestas neurofisiológicas que determinan el aprendizaje de DMF. Hoy en día existen varios dispositivos portátiles que tienen incorporada la medición de la VFC (e.g. Fitbit Charge 3^{®1}, Garmin Vivosmart 3^{®2}; Apple Watch^{®3} integrado a aplicaciones de salud de iPhone[®]; Clue Medical^{®4}, Polar M430^{®5}), y con un relativo bajo costo, buena precisión y manejable interpretación, pueden brindar información de la respuesta autónoma, pudiéndose convertir dicha medición en una herramienta de retroalimentación de gran utilidad para entrenadores, kinesiólogos, fisioterapeutas, educadores físicos y médicos en el momento de planificar y monitorizar el aprendizaje de secuencias motrices de equilibrio postural en personas sanas.

Considerando estos antecedentes son necesarias investigaciones que exploren la forma más efectiva de practicar y desempeñarse en una destreza locomotriz fundamental, así como sus posibles determinantes.

¹ <https://www.fitbit.com/charge3>

² <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/567813>

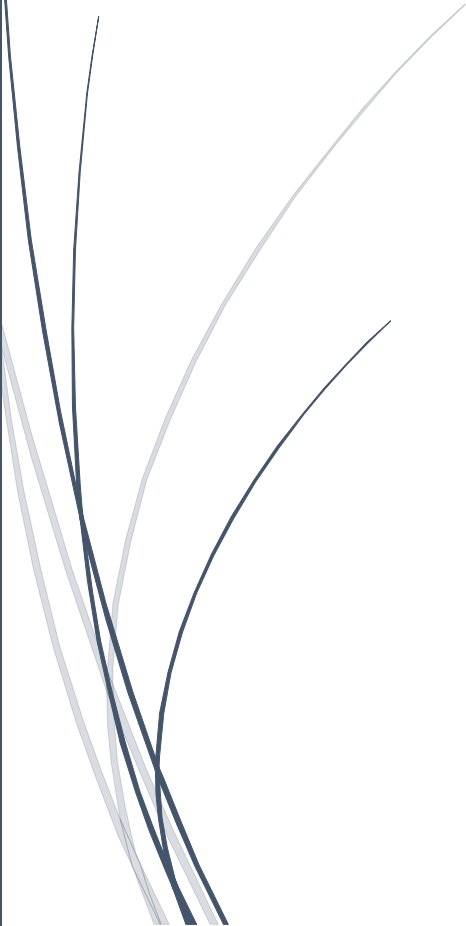
³ <https://www.apple.com/la/apple-watch-series-4/>

⁴ <http://www.clue-medical.at/en/>

⁵ <https://www.polar.com/us-en/products/sport/M430-gps-running-watch>



Hipótesis



HIPÓTESIS

Hipótesis específicas

La numeración de las hipótesis específicas emana de la numeración de los problemas de investigación planteados.

1. Hi. Al comparar los diferentes programas de práctica, estos no beneficiarán de igual manera el DM y la respuesta del equilibrio autónomo cardíaco en la adquisición, retención y transferencia de la destreza.

2. Hi. El DM y el equilibrio autónomo cardíaco dentro de los distintos programas de práctica serán diferentes y dependientes del programa ejecutado.

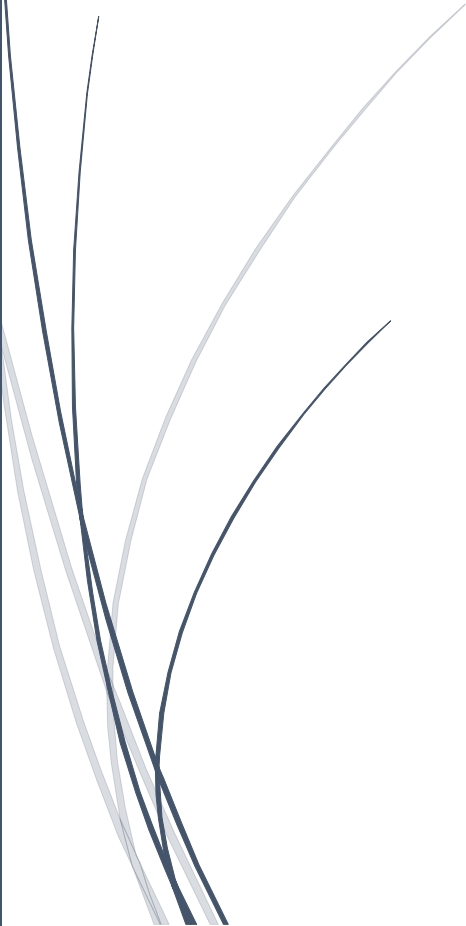
3. Hi. La relación entre la respuesta del equilibrio autónomo cardíaco y el DM será negativa en la adquisición, retención y transferencia de la destreza con la práctica aleatoria.

4. Hi. El equilibrio autónomo cardíaco tendrá una moderada capacidad para predecir el DM en la adquisición, retención y transferencia de la destreza con la práctica aleatoria.

Para los problemas de investigación 5 y 6 no se plantean hipótesis debido a que no se cuenta con suficiente fundamento teórico para plantear una relación tentativa entre las variables de estudio de dichos problemas.



Objetivos



OBJETIVOS

Objetivo General

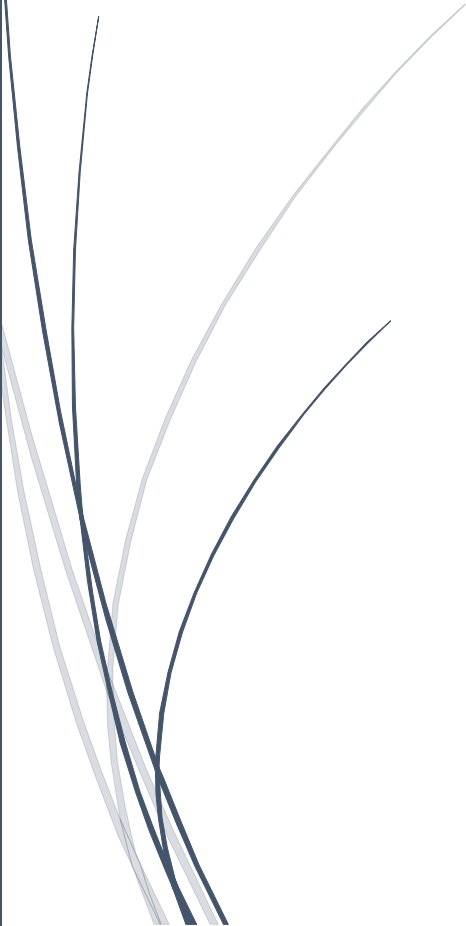
Concretar la metodología más efectiva para mejorar el DM en la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación, de acuerdo con sus posibles determinantes.

Objetivos específicos

1. Delimitar el flujo de los participantes por las fases del estudio.
2. Precisar las características generales de los participantes.
3. Comprobar qué programa de práctica (i.e. bloqueada, aleatorio o gradual) beneficia más el DM y la respuesta del equilibrio autónomo cardiaco durante la adquisición, retención y transferencia de la destreza.
4. Determinar si existen diferencias en el DM y equilibrio autónomo cardiaco dentro de cada uno de los programas de práctica.
5. Establecer cómo es la relación y el valor predictivo entre la respuesta del equilibrio autónomo cardiaco y el DM en la adquisición, retención y transferencia de la destreza en los diferentes programas de práctica.
6. Determinar, en cada programa de práctica, cómo es la relación y el valor predictivo entre la variación inter-miembros (ms) del peso corporal en una prueba simple de sentarse y levantarse y el DM durante una tarea de transferencia de la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal.



Metodología



METODOLOGÍA

Participantes

Para este estudio se seleccionó aleatoriamente una muestra de 63 participantes de la población de estudiantes potencialmente elegibles de la Universidad de las Américas en Quito, Ecuador, y de estos, 51 fueron mujeres y 12 fueron hombres.

Criterios de inclusión y exclusión

Formaron parte del estudio los estudiantes que cumplieron con los siguientes criterios de inclusión:

1. Firmaron un asentimiento voluntario de participación (**anexo 1**).
2. No haber estado involucrado en el último año en programas de entrenamiento de coordinación, equilibrio o propiocepción de miembros inferiores, o que no habían recibido instrucción formal en este tipo de destrezas (por ejemplo: *Cheerleader*, malabarismo, entrenamiento funcional, *Parkour*, o similares).
3. Tener una audición normal y visión normal o corregida.

No fueron admitidos en el estudio:

4. Con algún trastorno articular, muscular u óseo que le impida realizar actividad física ligera.
5. Estudiantes de tercer semestre en adelante de la carrera de fisioterapia (por su conocimiento previo del uso y utilidad de la plataforma COBS).
6. Los estudiantes con deficiencias marcadas en la capacidad para conservar el equilibrio estático en bipedestación. Dicha capacidad fue evaluada mediante la prueba de Romberg simple y en la plataforma de fuerza con la evaluación del promedio de variación de carga de las piernas en el tiempo. Se asumió una prueba Romberg positiva con la pérdida abrupta del equilibrio en cualquier dirección inmediatamente al cerrar los ojos (García-Pastor & Álvarez-Solís, 2014).
7. Fumadores (consumo de tabaco de manera regular u ocasional, o ha abandonado el consumo en los últimos 6 meses).
8. Con una enfermedad cardiovascular conocida, o antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular (padre, hermano o hijo, y madre, hermana o hija con muerte súbita, infarto o revascularización coronaria antes de los 45 años en el caso del familiar masculino y de los 55 años para el familiar femenino).

9. Consumo de medicamentos que afecte a los sistemas cardiovascular o sistema nervioso central / periférico.
10. Con enfermedad o estado mental diagnosticado (desorden de estrés postraumático, síndrome bipolar, estado ansioso-depresivo).
11. En período de gestación, para el caso de la mujer.

Los criterios del 2 al 10 se evaluaron mediante una encuesta que se diseñó para seleccionar a los potenciales participantes (**anexo 2**). Se tuvieron en cuenta los criterios del 2 al 6 y del 7 al 11 con el objetivo de lograr una muestra homogénea en cuanto a la capacidad de aprendizaje motriz y a la normalidad de la respuesta de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, respectivamente.

Tipo de estudio

Se realizó un estudio cuasi-experimental con un componente correlacional, donde los participantes fueron asignados aleatoriamente a tres condiciones de práctica:

- grupo de práctica bloqueada (n=22)
- grupo de práctica gradual (n=21)
- grupo de práctica aleatoria (n=20)

Supuestos del estudio

Se asume que: a) la muestra seleccionada sigue una distribución normal con respecto a la capacidad de aprendizaje motriz (equiprobabilidad); b) los participantes entienden las instrucciones; c) el número de ensayos planificados por programa de práctica produce beneficios en el DM; d) la medida de la variabilidad de la frecuencia cardíaca es un método válido y fiable para medir la carga cognitiva durante la práctica asociada a la dificultad de la destreza motriz; e) los participantes presentan rasgos de reactividad cardíaca asociados a la carga cognitiva.

Delimitación y limitación

Tamaño mínimo de muestra:

El tamaño mínimo de la muestra se estimó como recomiendan Bono y Arnau, (1995) empleando la relación entre el tamaño de la muestra, potencia (probabilidad de tomar una decisión correcta) y las curvas del tamaño de efecto (TE) de previos estudios. Se tomó como valor referencial el tamaño de efecto agrupado para la adquisición de la destreza (TE = 0,70) de 25 estudios del meta-análisis de Jiménez-Díaz, Salazar-Rojas & Morera, (2014), el cual permitió estimar con un 100% de potencia estadística y un valor de $\alpha =$

0,05, que la muestra podía estar conformada por un mínimo de 15 sujetos por grupo de comparación. Una potencia igual o superior al 80%, es un valor a menudo recomendado como óptimo en investigación del comportamiento (Thomas & Nelson, 2007).

Al calcular el número de participantes ajustado a las pérdidas y abandonos durante el estudio, se estimó que 56 era el número de participantes que debían iniciar el estudio. La fórmula empleada fue: $N_a = N [1/(1-R)]$, donde N representa el número de participantes teórico (i.e., 45); N_a el número de participantes ajustado; y R, la proporción esperada de pérdidas (i.e., 20%) (Argimon-Pallás, & Jiménez-Villa, 2013, p153).

Limitaciones del planteamiento metodológico del estudio:

A continuación, se plantean las limitaciones identificadas en la metodología del estudio, considerando que en la discusión pueden surgir otras limitaciones.

- Los resultados solo podrán ser generalizados a una población con iguales características a la estudiada.
- Incapacidad para controlar las posibles influencias sobre la respuesta de la variabilidad de la frecuencia cardíaca de otras fuentes de esfuerzo cognitivo (e. g. el estrés académico, uso de estrategias de enfrentamiento a situaciones de estrés).
- Como los participantes reciben un beneficio como incentivo de participación, no se puede controlar el nivel de compromiso en el estudio y su posible influencia en el desempeño motriz durante cada tarea.

Variables

Variables Independientes

A continuación, se definen las variables independientes o manipuladas a lo largo del estudio.

- Programa de práctica consistente en el desplazamiento lateral del peso corporal: a) práctica bloqueada; b) práctica aleatoria; c) práctica gradual.
- Etapas del aprendizaje: a) adquisición; b) retención; c) transferencia).

Variables Dependientes

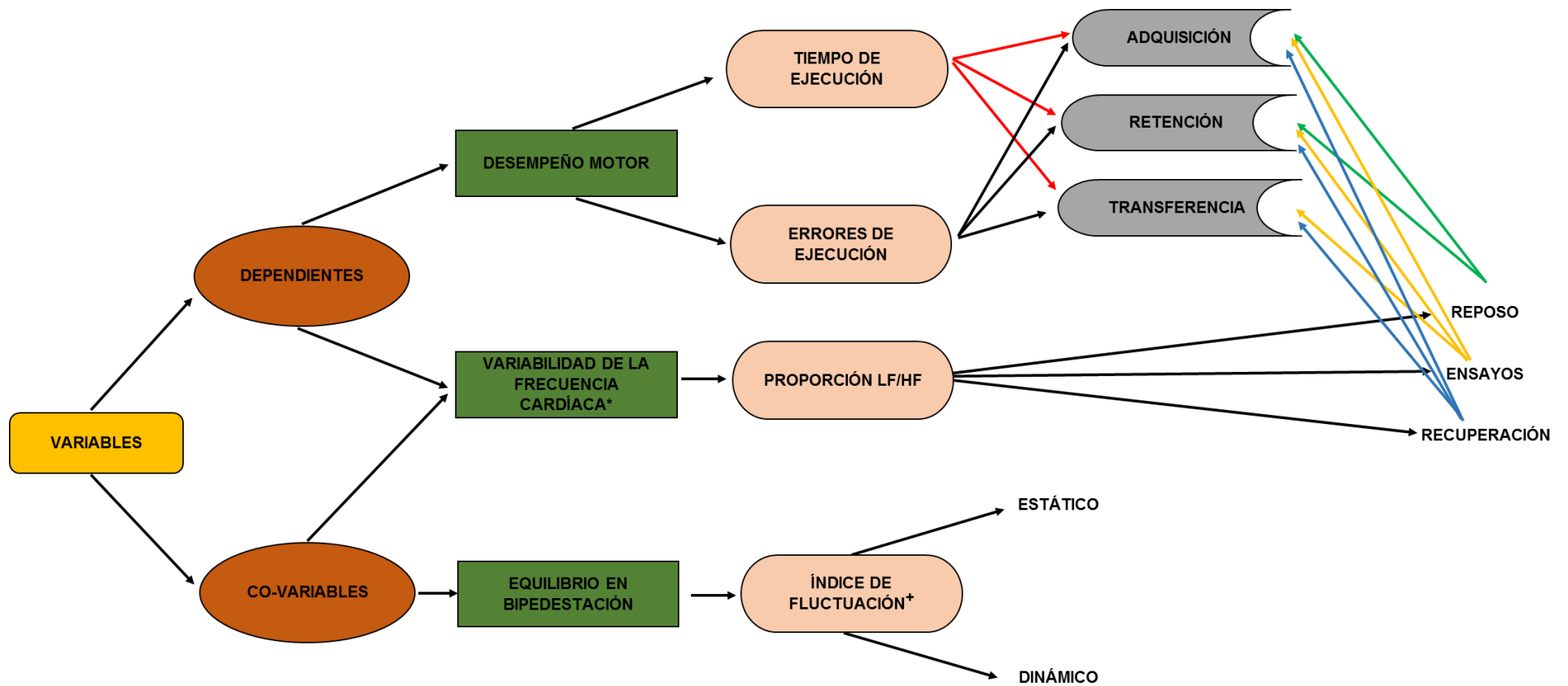
A continuación, se describen las variables dependientes que fueron medidas y evaluadas en el estudio (**figura 13**).

- Desempeño motor: a) tiempo de ejecución; b) errores promedios de ejecución
- Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Proporción LF/HF a) reposo; b) ensayos; c) recuperación

Co-variables

Otras variables dependientes consideradas como variables de control o predictoras (**figura 13**).

- Equilibrio en bipedestación: Índice de fluctuación estático y dinámico.
- Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Proporción LF/HF a) reposo; b) ensayos; c) recuperación



Nota:* el índice de fluctuación en la prueba de equilibrio estático fue evaluado como una variable de caracterización de la muestra, y en la prueba de equilibrio dinámico como un posible predictor del desempeño motor en la transferencia. * la VFC fue considerada como un posible predictor del desempeño motor durante la adquisición, retención y la transferencia de la destreza

Figura 13. Diagrama resumen de las variables y subvariables analizadas en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Definición operacional de las variables

Variables	Operacionalización
<p>Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Marcador que refleja la actividad de los componentes simpático (i. e., LF) y vagal (i. e., HF) del sistema nervioso autónomo en el nodo sinusal del corazón. Expresa la cantidad total de variaciones de la frecuencia cardíaca instantánea y los intervalos RR (intervalos entre los complejos QRS de las despolarizaciones sinusales normales) (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).</p>	<p>Proporción LF/HF en reposo: Valor de las diferencias entre los componentes espectrales de alta frecuencia y baja frecuencia 5 minutos antes del inicio de la práctica de la destreza (pre-práctica). Un valor entre 1.5 – 2.0 ha sido considerado normal para un registro de corta duración. Valores por sobre 2.0 sugieren una mayor dominancia simpática y por el contrario, bajo 1.5 la dominancia se inclina hacia lo vagal (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). Una proporción elevada indicó un alto esfuerzo cognitivo de anticipación previo a la práctica motriz.</p>
	<p>Proporción LF/HF promedio en los ensayos: Valor de las diferencias entre los componentes espectrales de alta frecuencia y baja frecuencia durante un estresor discreto (i.e., la práctica de la destreza) (Schwartz et al., 2003; Kamarck & Lovallo, 2003). No existen valores de referencia en pruebas de aprendizaje motor. Una mayor proporción indicó un elevado esfuerzo cognitivo durante la práctica motriz.</p>

Proporción LF/HF en la recuperación: Magnitud de cambio de los componentes espectrales entre el pico máximo del estrés y posterior a la presentación del estresor discreto (Linden, Earle, Gerin & Christenfeld, 1997). **No existen valores de referencia en pruebas de aprendizaje motor. Una proporción elevada indicó un esfuerzo cognitivo residual con el cese de la práctica motriz.**

Índice de fluctuación: Promedio de la variación porcentual de carga (PVC) de las piernas en el tiempo. **Un mayor índice indicó una elevada variación en la habilidad para mantener el equilibrio estático o dinámico.**

La fórmula matemática sería:

$$\mu\text{PVC}_i = (\% \text{CPI} / \% \text{CPD}) * 1$$

Equilibrio estático y dinámico en bipedestación: Magnitud de cambio en la capacidad porcentual promedio de carga de las piernas (derecha/izquierda) durante el tiempo en una destreza específica (Instruction measurements manual, 1995).

, donde %CPI es el porciento de la capacidad de carga de la pierna izquierda, %CPD es el porciento de la capacidad de carga de la pierna derecha, y 1 representa una unidad de tiempo (ms).

- Para una prueba de equilibrio estático los **valores de referencia son 0,0 a 0,3% (figura 14).**
- Para una destreza de sentarse y levantarse los **valores de referencia son 0,0 a 1,0% (figura 15).**

-
- Para una prueba que combina la destreza de flexión y extensión de rodilla con la destreza de desplazar lateralmente el peso corporal **no existen valores de referencia (figura 16)**.
-

Desempeño motor: Es el resultado del movimiento (Thomas & French, 1985). Es un término usado para definir las características o la calidad del movimiento de las destrezas motrices de cada persona (Stodden et al., 2008).

Promedio del total de errores entre las piernas cometidos durante la práctica: Se consideró un error cuando hubo un cambio mayor o menor al porcentaje de desplazamiento del peso corporal establecido durante cada ensayo de práctica (figura 17). **Un mayor número de errores indicó un peor DM o pobre consistencia de la precisión.**

La fórmula matemática sería:

$$\mu\text{Err}_i = (\sum\text{ErrPI}_1 + \sum\text{ErrPI}_2 + \sum\text{ErrPI}_3 + \dots + \sum\text{ErrPI}_n) / (\sum\text{ErrPD}_1 + \sum\text{ErrPD}_2 + \sum\text{ErrPD}_3 + \dots + \sum\text{ErrPD}_n)$$

, donde ErrPI representa los errores de la pierna izquierda en cada ensayo y ErrPD los errores de la pierna derecha en cada ensayo.

Tiempo total de ejecución durante la práctica: Periodo total transcurrido desde el primero hasta el último ensayo. Cada error cometido detenía el tiempo de ejecución de la práctica. **Un mayor tiempo indicó un peor DM o pobre optimización del tiempo para el control del movimiento.**

La fórmula matemática sería:

$$\sum_{i=1}^n t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

Etapas del aprendizaje: Momento en que se puede observar cambios en la progresión de la destreza (Schmidt & Lee, 2014, p 198).

Adquisición: Se refiere al período inicial de la práctica en el que el participante realiza una destreza nueva para ser más proficiente en ella. (Schmidt, & Lee, 2011, p325). **La adquisición fue evaluada con la ejecución de una prueba de 18 ensayos de desplazamiento lateral del peso corporal durante diferentes programas de práctica.**

Retención: Se refiere al DM residual de una destreza después de un período sin la práctica (Schmidt, & Lee, 2011, p461). **La retención fue evaluada con la ejecución de una prueba de 18 ensayos de desplazamiento lateral del peso corporal durante un programa de práctica bloqueada.**

Transferencia: Se refiere al efecto que una destreza previamente practicada tiene sobre el desempeño posterior de otras destrezas similares (Schmidt, & Lee, 2011, p461). **La transferencia fue evaluada durante un programa de práctica bloqueada con la ejecución de una prueba de 4 ensayos que combina la destreza desplazamiento lateral del peso con la destreza de flexión y extensión lenta de rodillas (figura 15).**

Programa de práctica: Modelo de enseñanza o forma de organización útil para estructurar el aprendizaje de destrezas motrices (Schmidt, & Lee, 2011, p347).

Práctica bloqueada: Forma de programación del aprendizaje en el que todos los ensayos de una tarea son completados antes de avanzar a los ensayos de la próxima tarea. Los ensayos se organizan en una secuencia consecutiva (e.g. 1,1,1, ... 2, 2, 2,... 3, 3, 3,...). En la práctica bloqueada se introduce una variación a la tarea cuando se asume que cambia el nivel de desempeño del practicante (Schmidt, & Lee, 2014, p245).

Práctica aleatoria: Forma de programación del aprendizaje donde el orden de presentación de la tarea es aleatorio o se mezcla a lo largo del periodo de práctica. Nunca o rara vez se practica la misma tarea en dos ensayos consecutivos. Los ensayos de la tarea se organizan en una secuencia alterna (e.g. 1, 2, 1, 3, 1, 3, 2, ...). En la práctica aleatoria se introducen variaciones a la tarea sin considerar un cambio en el nivel de desempeño del practicante (Schmidt, & Lee, 2014, p245).

Práctica gradual: Forma de programación del aprendizaje donde a lo largo del periodo de aprendizaje se presentan en este orden, una secuencia de ensayos bloqueado, una secuencia de ensayos serial (e.g. 1, 2, 3,1, 2, 3,....1, 2, 3...) y una secuencia de ensayos aleatoria (Porter & Magill, 2010).

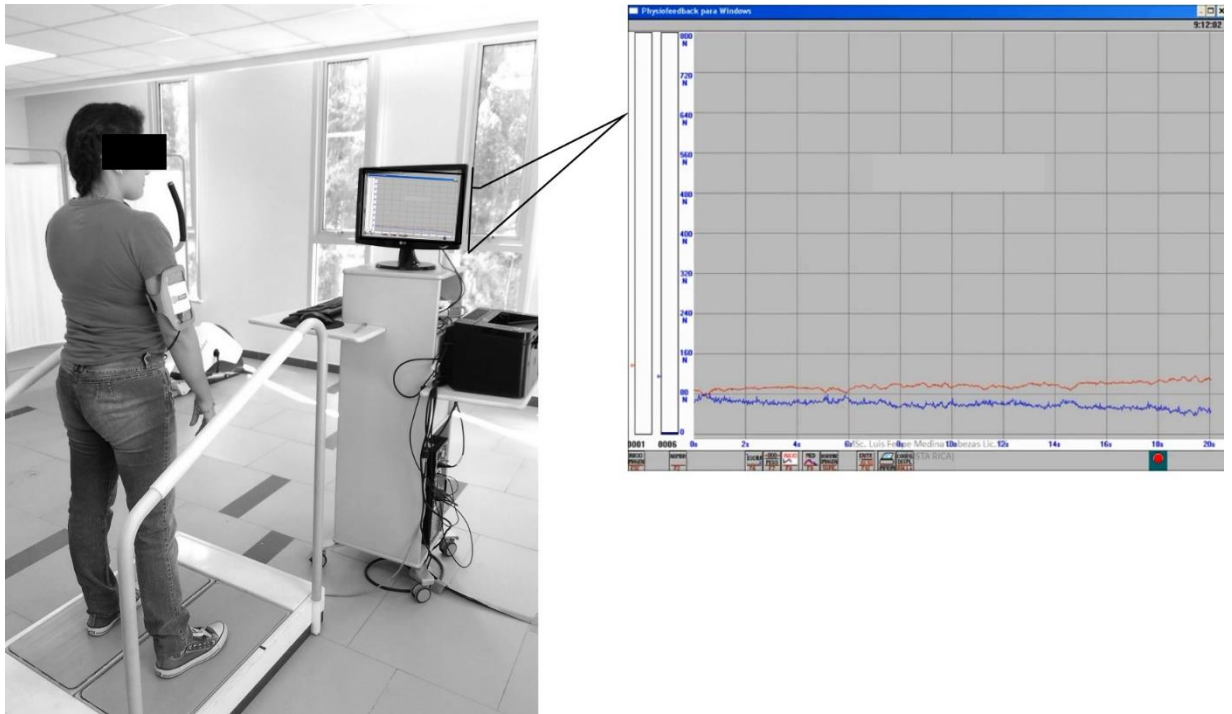


Figura 14. Prueba de equilibrio estático. Fuente: Elaboración propia.

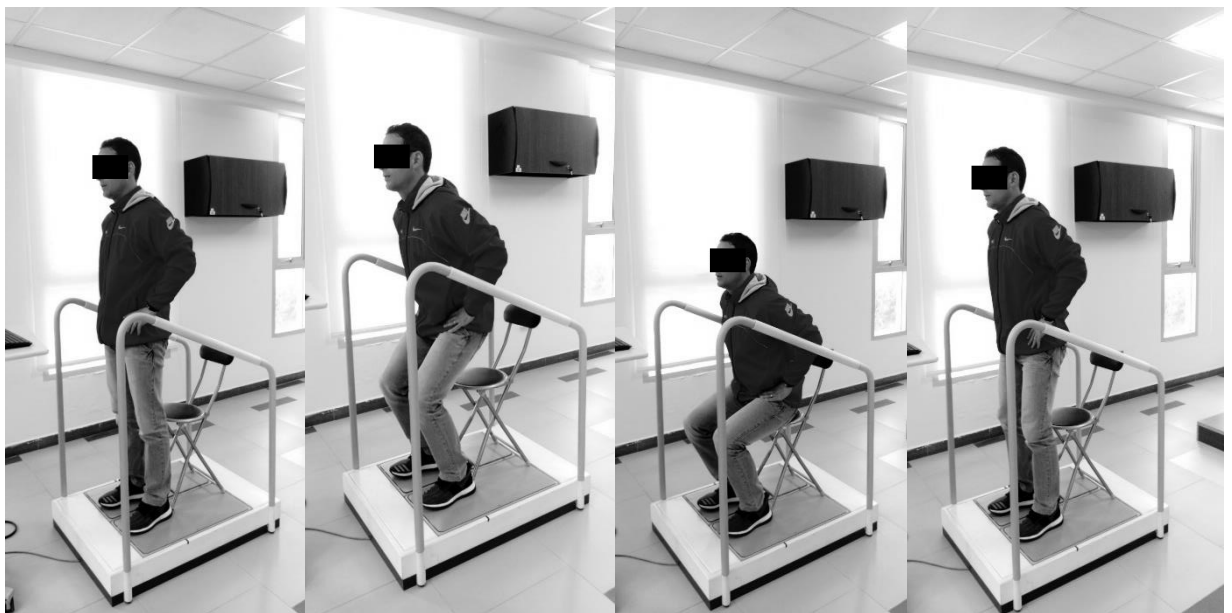


Figura 15. Evaluación de la destreza de sentarse y levantarse. Fuente: Elaboración propia.

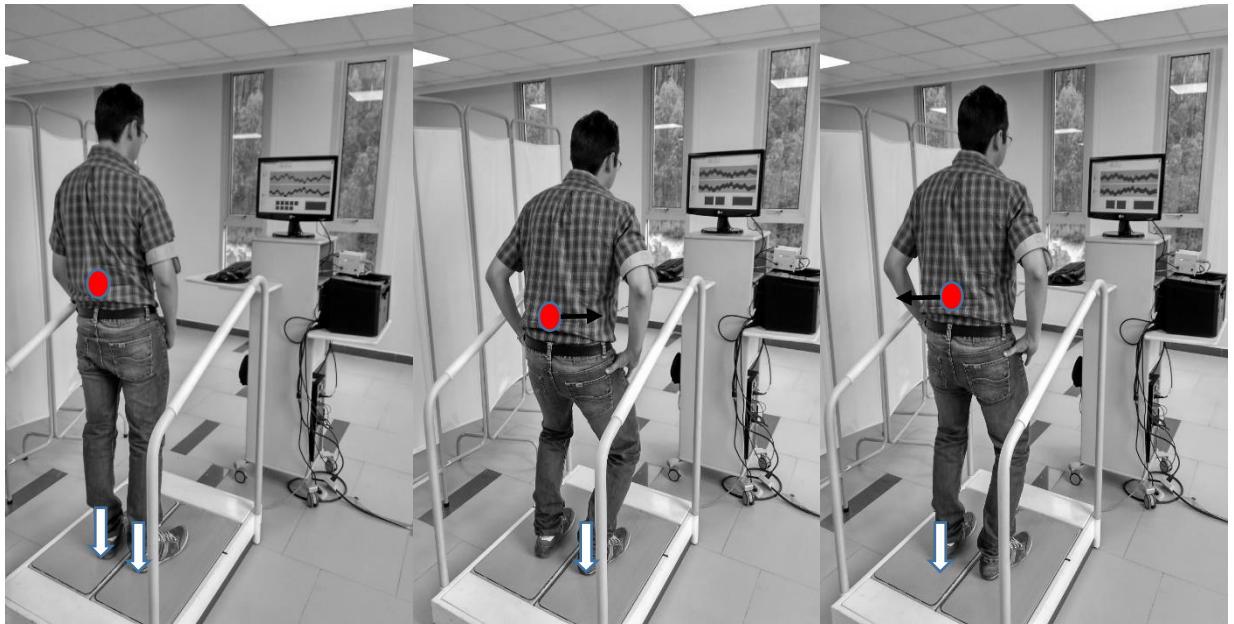


Figura 16. Prueba de transferencia donde se combina la destreza de flexión y extensión lenta de rodilla con la destreza de desplazar lateralmente el peso corporal. Fuente: Elaboración propia.

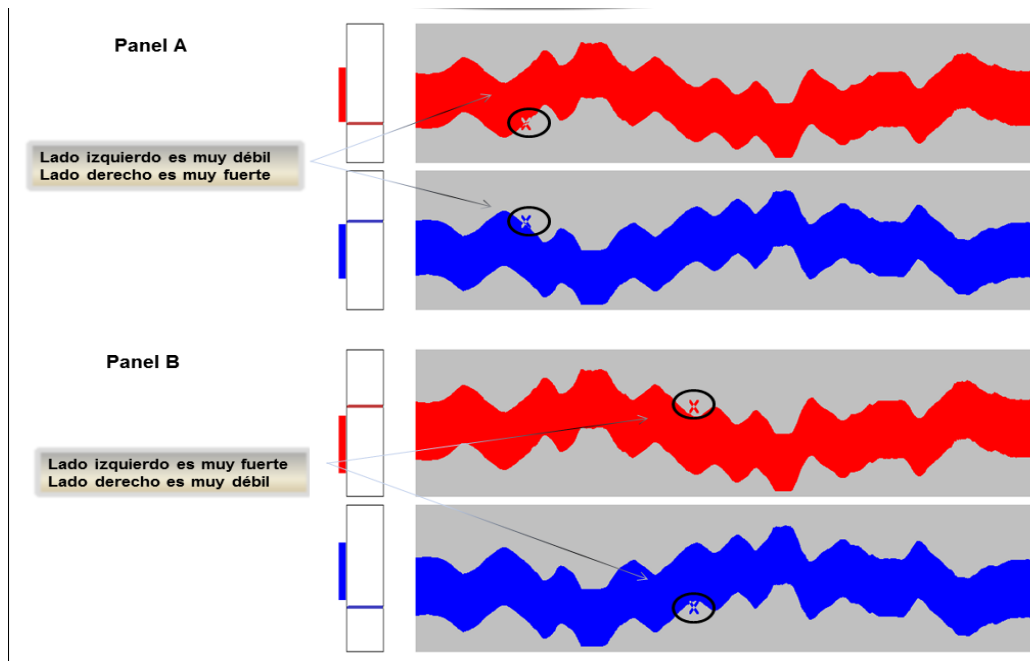


Figura 17. Representación de un error de ejecución como consecuencia del cambio en el porcentaje de peso corporal desplazado. Nota. Panel A: Desplazamiento incrementado del peso hacia el lado derecho. Panel B: Desplazamiento incrementado del peso hacia el lado izquierdo. Fuente: Elaboración propia.

Instrumentos

▪ Evaluación y práctica de la destreza

Las pruebas de evaluación y la práctica de la destreza se realizaron sobre una plataforma doble de fuerza, modelo COBS (Coordination, Balance and Strength por su acrónimo en inglés) marca PHYSIOMED® (figura 18). Dicha plataforma permite ejecutar terapia y entrenamiento personalizado de las funciones locomotoras, a la vez que brinda al paciente una respuesta informativa gráfica y/o acústica sencilla (Sánchez Castillo et al., 2018). El software ofrece opciones de ejercicios en condiciones de las actividades de la vida diaria, que garantizan un aprovechamiento sencillo de las habilidades y destrezas (Physiomed, 2016). Este instrumento se ha utilizado para evaluar el desempeño de la destreza de carga lateral de peso de pacientes con artritis reumatoide en miembros inferiores y parálisis cerebral (Orlova, Karateev & Amirdjanova, 2012) y su validez fue recientemente evaluada para medir el desempeño durante la destreza para el salto vertical en condiciones de laboratorio (Aladro-Gonzalvo, et al., 2017). Con este instrumento se realizaron las evaluaciones del equilibrio estático y dinámico en bipedestación, así como las pruebas de adquisición, retención y transferencia de la destreza.



Figura 18. Plataforma COBS Feedback. Fuente: <http://www.physiomed.de/>

▪ Variabilidad de la frecuencia cardíaca

Otra variable de interés que se evaluó fue la VFC como un indicador de la carga cognitiva y de trabajo, y posible factor predictor del EIC. Esta variable se midió con un analizador móvil del ritmo cardíaco tipo CLUE Medical, marca PHYSIOMED® (Telozo

GmbH, Austria) (figura 19). El dispositivo CLUE Medical realiza un procesamiento inteligente de señales, especialmente, registro y evaluación altamente precisos de los intervalos R-R (latido a latido) teniendo en cuenta los requisitos de estacionalidad. Este dispositivo proporciona una evaluación cuantitativa no invasiva de la función autonómica cardíaca derivada de la transferencia telemétrica de datos y 2 minutos de registros continuos de la grabación de secciones electrocardiográficas mediante un canal de tres electrodos adhesivos y con radio de exploración de 1 KHz (Kastner & Krau, 2009). Con este tipo de dispositivo es posible la grabación de los componentes de alta frecuencia (HF) de la VFC en aproximadamente 1 minuto, mientras que se necesitan aproximadamente 2 minutos para abordar el componente de baja frecuencia (LF) (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

En cuanto a la validez y confiabilidad de este tipo de instrumento, Rao, Lomax, Ramsdale, & Ramsdale, (2007) en un artículo de revisión justifican el uso de los dispositivos móviles para la investigación de los pacientes con sospecha de arritmias cardíacas, así como para la evaluación de la respuesta cardíaca bajo diferentes condiciones de prueba. Pese a que no se conocen estudios de validación del dispositivo CLUE Medical, su utilidad para la investigación no ha sido cuestionada, según se demuestra en un reciente estudio (Aladro-Gonzalvo et al., 2019).

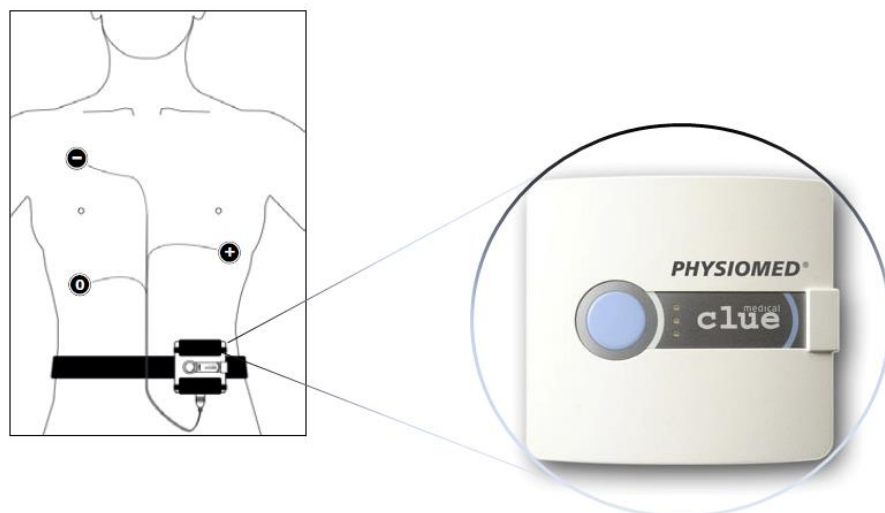


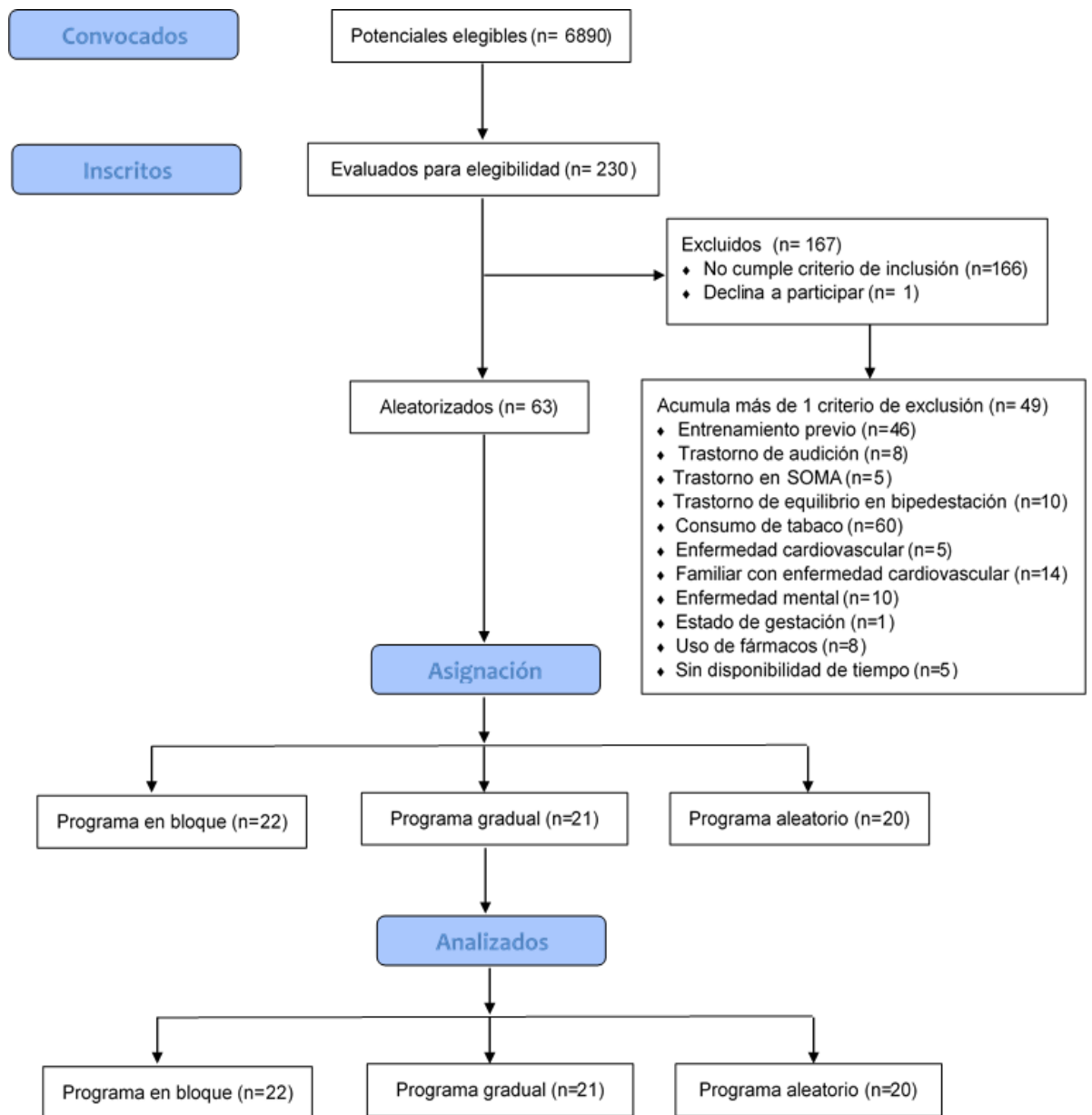
Figura 19. Analizador móvil cardíaco CLUE Medical, marca PHYSIOMED®. Adaptado de: <http://www.physiomed.de/>

Procedimientos

▪ Procedimiento de reclutamiento

Se envió por correo electrónico institucional una convocatoria de participación a los estudiantes de pregrado inscritos en modalidad diurna y que se encontraban matriculados en la Universidad de las Américas en el período académico 2016-2017 (septiembre a febrero) (**anexo 3**). La convocatoria incluyó una explicación de los objetivos del estudio y beneficios de participación. Los estudiantes que brindaron su consentimiento de participación y cumplieron con los criterios de inclusión, recibieron una calificación adicional en la asignatura de Investigación. El procedimiento de selección fue mediante un muestreo no probabilístico consecutivo, el mismo que permitió evaluar a los participantes que cumplieran con los criterios de inclusión especificados, a medida que respondían a la convocatoria de participación (Argimon-Pallás, & Jiménez-Villa, 2013, p159).

En la **figura 20** que muestra el flujo de los participantes por el estudio, se describe la fase de reclutamiento y el número definitivo de participantes analizados por cada grupo de práctica. Del total de estudiantes potencialmente elegibles, solo el 3,33% respondió a la convocatoria de participación, lo cuales fueron posteriormente evaluados según los criterios de elegibilidad. De estos, 63 estudiantes cumplieron con todos los criterios de inclusión, el resto fueron excluidos por diversos factores que podían comprometer la validez del estudio (**figura 20**).



SOMA: Sistema osteo-mio-articular

Figura 20. Diagrama de flujo de los participantes a través del estudio. Fuente: Elaboración propia.

▪ Procedimiento de asignación a las condiciones de práctica

Para efectos del diseño experimental, se aplicó un procedimiento de asignación aleatoria simple de los participantes a los programas de práctica (i.e. bloqueada, aleatorio y gradual). Esto aseguraría, al menos probabilísticamente, que la distribución de los participantes fuera bastante similar en todos los grupos de comparación, de modo, que la influencia de otras variables que no fueran las independientes (i.e. programa de práctica

y etapa del aprendizaje) se mantuvieran constante y no pudieran ejercer ninguna influencia diferencial en las variables dependientes (i.e. VFC, errores de ejecución, tiempo de ejecución de la tarea (Thomas & Nelson, 2007). Para ello, se generó una lista de números aleatorios empleando el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS® por sus siglas en inglés) versión 20.0, asignando el valor de 1 a la condición de práctica bloqueada, un valor de 2 a la práctica gradual y un valor de 3 a la práctica aleatoria.

▪ Procedimiento de medición

1) Medición de la masa corporal: Se le pidió al participante que se retirara el calzado y la mayor cantidad de ropa posible. Se empleó una báscula electrónica Omron® HBF-400 (Bannockburn, IL) con una precisión de 0.1 kg. El valor obtenido se registró para transformarlo a Newton mediante la siguiente fórmula:

$$PC = a * m$$

, donde PC es el peso corporal, a la aceleración de la gravedad (9.81 m*s^{-2}) y m la masa corporal (kg).

Una vez obtenido dicho valor, para cada participante se calculó el 35%, 25% y 15% del peso corporal para ingresarlos a la plataforma COBS y programar las sesiones de práctica de aprendizaje motor.

2) Medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo: El participante permaneció acostado y tranquilo por 5 minutos antes de iniciar la grabación de la VFC (VFC pre-tarea). Para controlar el posible efecto que podían ejercer algunas variables sobre la modificación de la VFC (Agelink, et al. 2001), a los sujetos se les solicitó que cumplieran con las siguientes indicaciones:

- Al menos 10 horas antes de la medición, abstenerse de comer, ingerir medicación y bebidas con alcohol o cafeína, y de realizar actividad física moderada o vigorosa el día del experimento.
- Mantener un ciclo regular de sueño durante al menos un día antes de la prueba (esto comprendió al menos de 6–10 h de sueño en concordancia con previos estudios (Luque-Casado, Perales, Cárdenas, & Sanabria, 2016).
- Durante la medición mantener una respiración regular y calmada, así como no hablar y moverse lo menos posible.

Para la grabación de la VFC se colocaron 3 electrodos adhesivos en los siguientes puntos de registro eléctrico: electrodo con polaridad positiva (+) sobre el quinto espacio

intercostal izquierdo en la línea medio-clavicular (baja desde el punto medio de la clavícula), electrodo con polaridad positiva (-) ubicado sobre el segundo espacio intercostal derecho en la línea mamaria (baja desde el punto medio entre el centro de la clavícula y su extremo lateral) y electrodo con polaridad cero (0) en la misma línea longitudinal que el electrodo (-) pero sobre el séptimo espacio intercostal. El dispositivo Clue Medical permaneció ajustado al brazo del participante con una cinta tirante.

Cuando se requirió realizar la medición de la VFC, el experimentador oprimió el botón de operación del dispositivo (se muestra en color azul en la [figura 19](#)) y con ello inició el proceso de grabación. Cada registro del dispositivo fue descargado a un ordenador en formato de documento PDF (Portable Document Format, por sus siglas en inglés) y en dicho documento se asentaron los resultados de la VFC de una única grabación ([figura 21](#)).

3) Medición del equilibrio estático en bipedestación: Se evaluó el balance estático en bipedestación mediante dos pruebas. En la prueba de Romberg simple se solicitó al participante que se pusiera de pie con ambos pies juntos y luego se le pidió que cerrara los ojos. **La pérdida abrupta del equilibrio al cerrar los ojos fue una prueba positiva y sugerente de dificultad para conservar el equilibrio estático.** Una segunda prueba se realizó en la plataforma COBS, y se evaluó la magnitud de cambio en el tiempo de la capacidad porcentual promedio de carga de las piernas (derecha/izquierda), donde el participante debía levantarse en una posición habitual sobre las dos placas dinamométricas por un período de 10 s.

4) Medición del equilibrio dinámico en bipedestación: La magnitud de cambio en el tiempo de la capacidad porcentual promedio de carga de las piernas (derecha/izquierda) durante en una tarea dinámica, también se evaluó con la prueba simple de sentarse y levantarse (sit-to-stand test) sobre la plataforma COBS. Antes de iniciar la medición se colocó una silla con las patas delanteras sobre la plataforma y se le orientó al participante que debía pararse sobre la misma en una posición habitual cómoda. En un único intento de 10s la tarea del participante consistió en sentarse y levantarse realizando un movimiento controlado, mantenido la posición de sentado durante unos 2-3s antes de levantarse ([figura 15](#)). El participante realizó un intento de familiarización antes del inicio de la medición.

5) Medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante los ensayos: El procedimiento de grabación es igual a descrito en el punto 2 de este apartado, con la diferencia que en este caso los participantes se encontraban en bipedestación realizando la práctica de la destreza y la VFC fue grabada en los ensayos 1, 7 y 13 durante la adquisición y la retención, mientras que en la transferencia se grabó en el ensayo 2.

6) Medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en recuperación: El procedimiento de grabación fue igual al descrito en el punto 2 de este apartado, o sea con el participante acostado y tranquilo. Es conocido que los valores a corto plazo de la VFC vuelven rápidamente a la línea base después de perturbaciones transitorias inducidas por manipulaciones, como por ejemplo, la administración de vasodilatadores de acción corta, la oclusión coronaria transitoria y el ejercicio leve (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996), es por ello, que una vez el participante terminó la tarea motriz se realizó la grabación inmediata de la VFC (VFC pos-tarea) respetando las mismas condiciones de medición que durante la grabación pre-tarea.

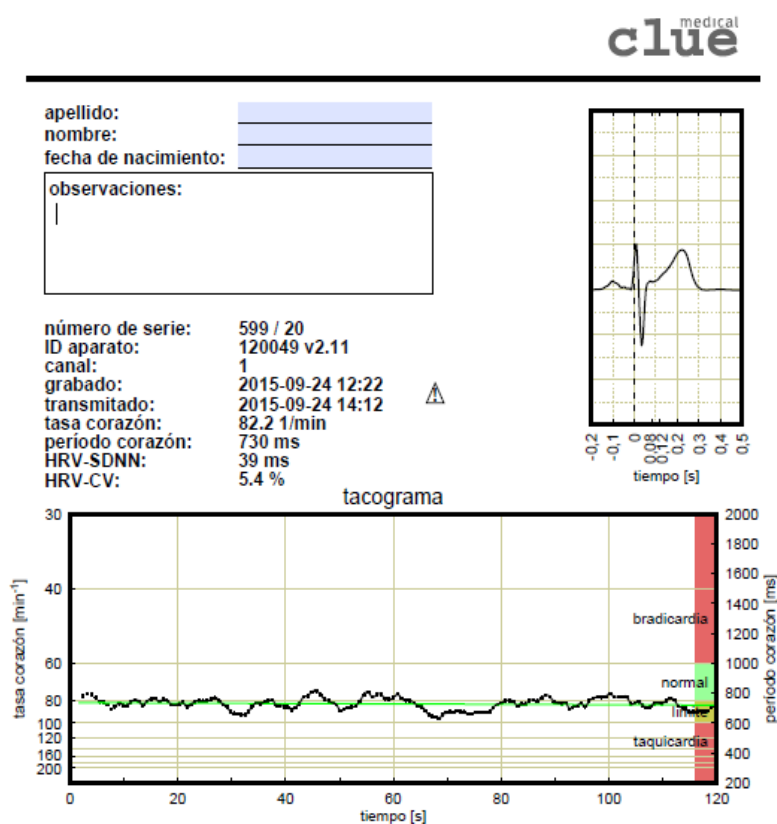


Figura 21. Documento de registro de los resultados del Clue Medical. Fuente: Elaboración propia.

7) Medición del desempeño durante la tarea: Antes de iniciar el proceso de medición, el evaluador registró en el software del sistema COBS feedback los datos de identificación del participante, así como el programa de práctica según los parámetros de carga para el desplazamiento del peso corporal. La grabación del número de errores y el tiempo de ejecución para cada ensayo se inició al comenzar la práctica sobre la plataforma, y una vez completada el registro fue descargado desde el ordenador en formato de documento PDF (figura 22).

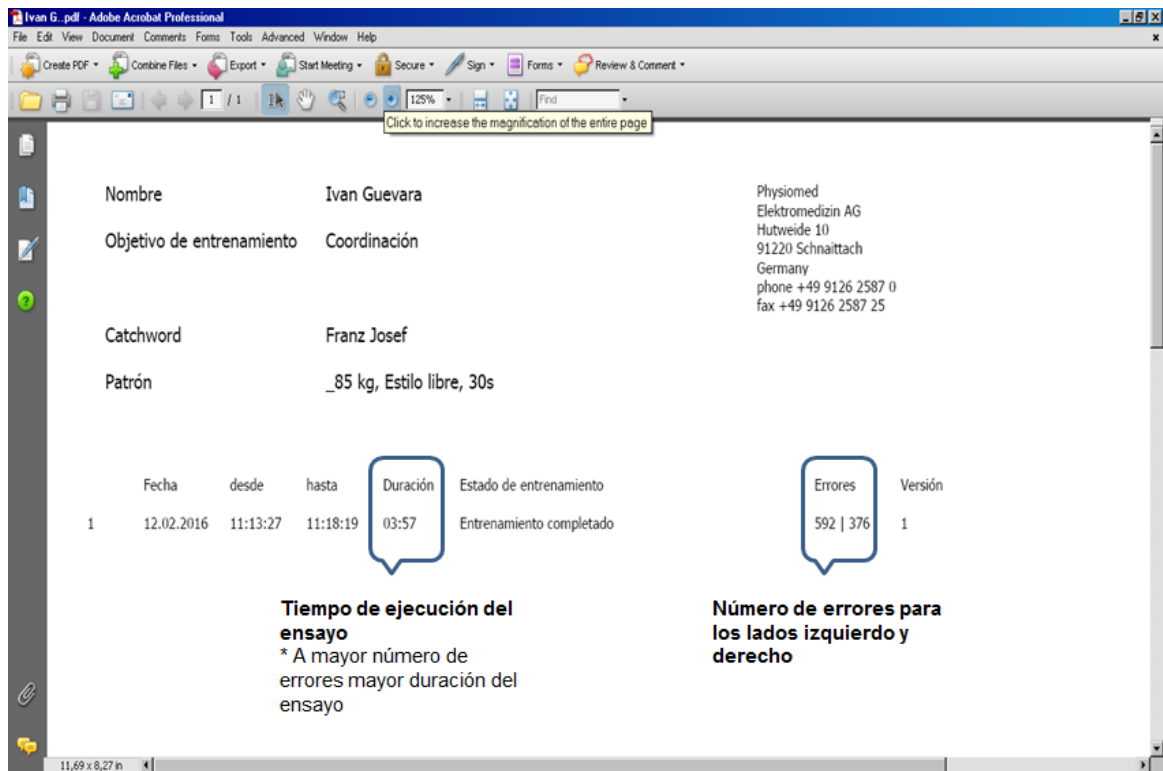


Figura 22. Hoja de resultados del número de errores y tiempo total de ejecución para cada ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de las condiciones experimentales de práctica y prueba

Empleando la información visual que ofrece el interfaz usuario del sistema COBS feedback en su ambiente virtual, el participante debió desplazar el peso corporal de izquierda a derecha o viceversa (**figura 23**). El objetivo de cada ensayo fue el de llevar de un extremo a otro de la pista sinusal (mediante el desplazamiento del peso corporal) el cursor que se mostraba en la pantalla del ordenador (**figura 24**).

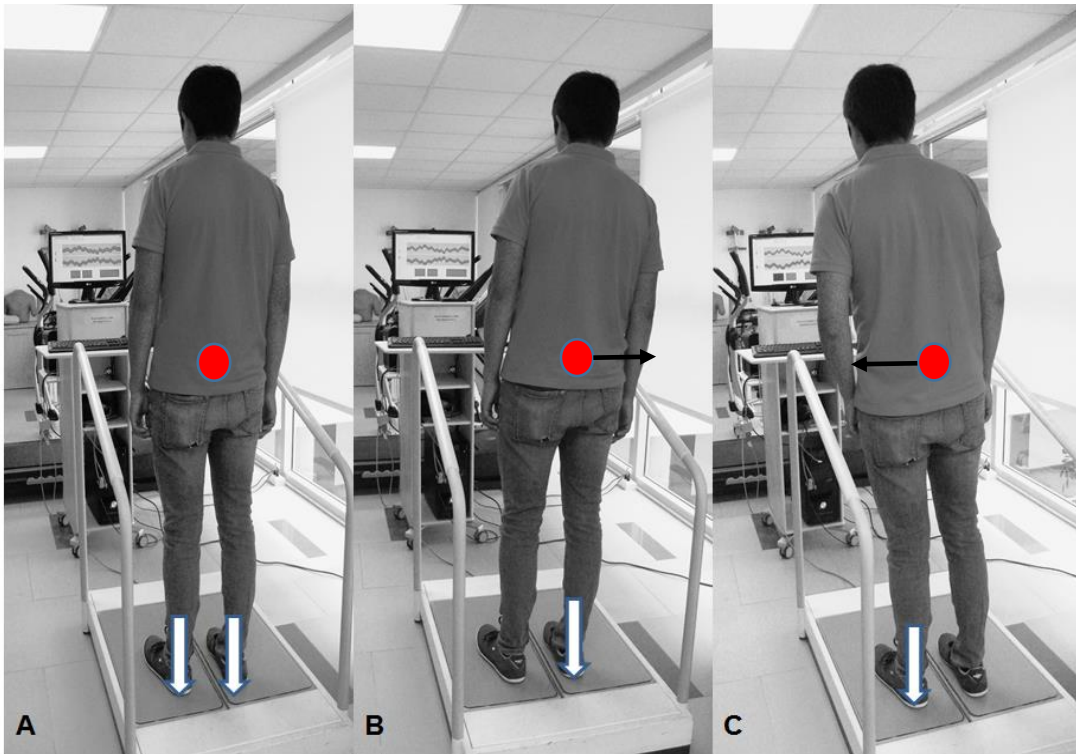


Figura 23. Desplazamiento del peso corporal o carga. Nota. Panel A: Posición habitual; Panel B: Desplazamiento de la carga hacia el lado derecho; Panel C: Desplazamiento de la carga hacia el lado izquierdo. Fuente: Elaboración propia.

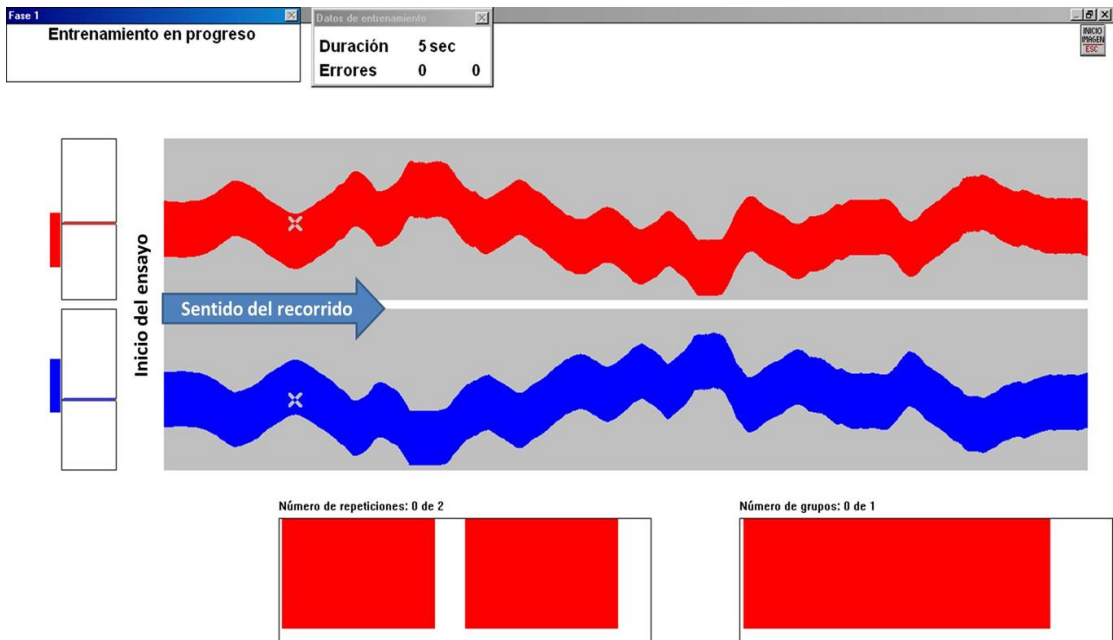


Figura 24. Sentido del recorrido del cursor con el desplazamiento del peso corporal. Nota. X representa el cursor del computador. Fuente: Elaboración propia.

Para conseguir variabilidad en la práctica se diseñaron tres variantes de la misma destreza, las cuales consistieron en la ejecución de ensayos desplazando el 35%, 25% y 15% del peso corporal. Dichas variaciones se controlaron en los parámetros de carga y períodos de pausa del software COBS *feedback*. Para cualquier programa de práctica, el período de pausa fue de 5s entre ensayos y de 10s entre cambio de variantes.

En la **figura 25** se muestra un ejemplo de un participante con un peso corporal de 700N realizando un total de 6 ensayos, de los cuales 2 ensayos fueron en la **variante (fase) 1** desplazando un 35% del peso corporal (245N), 2 ensayos en la **variante (fase) 2** desplazando un 25% del peso corporal (175N) y otros 2 ensayos en la **variante (fase) 3** con un 15% del peso corporal (105N).

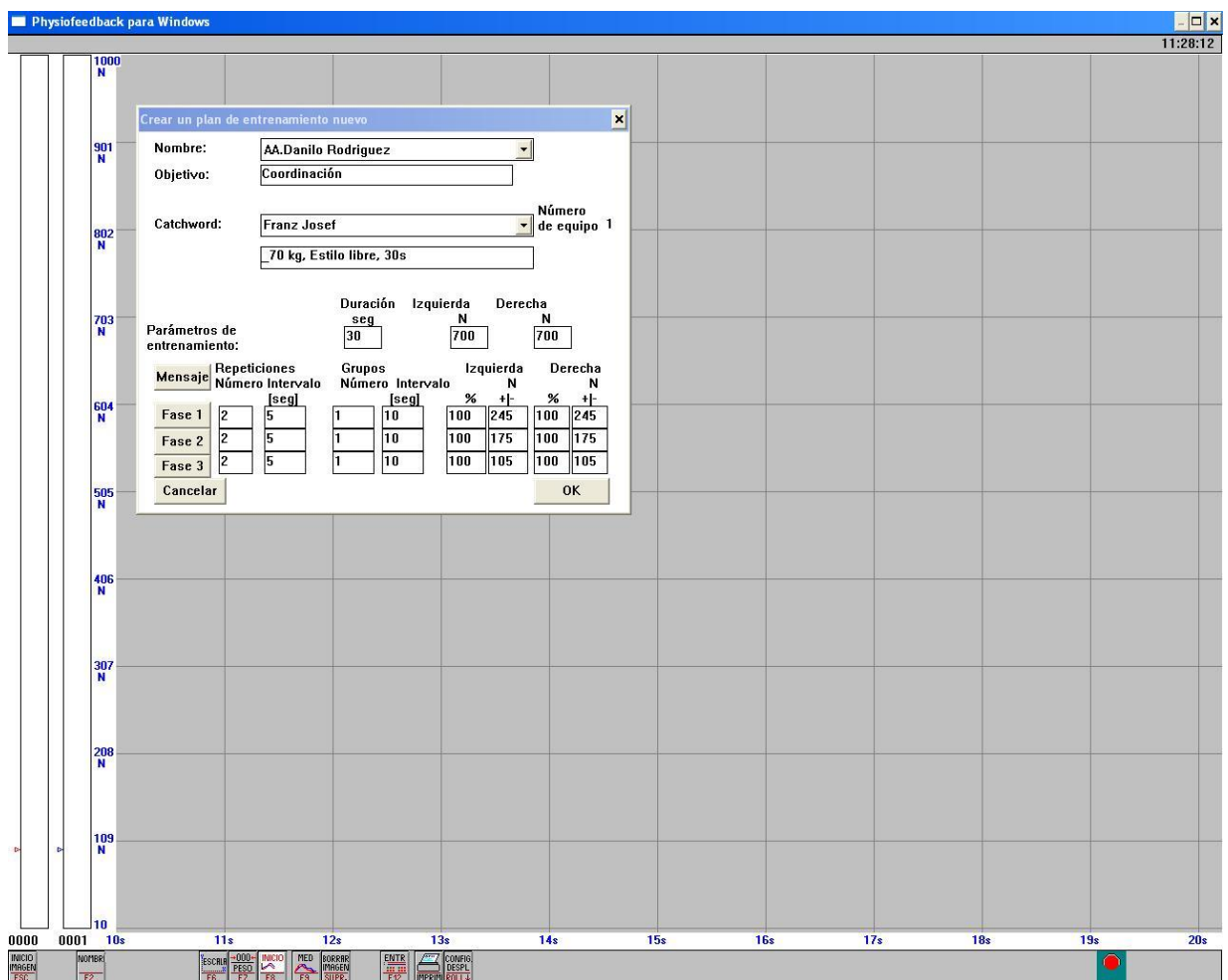


Figura 25. Ajuste de los parámetros de la plataforma (% peso corporal, períodos de pausa entre ensayos y variantes). Nota. Repeticiones: corresponde con el número de ensayos; Intervalo: Tiempo de pausa. Fuente: Elaboración propia.

Para lograr el efecto de IC, a continuación, se describe la manipulación de la secuencia de 18 ensayos durante la adquisición para cada programa de práctica.

El grupo con un programa de práctica bloqueada (baja interferencia contextual) realizó 6 ensayos consecutivos de desplazamiento del peso corporal con el 35% de la carga, seguido por 6 ensayos con el 25%, y otros 6 ensayos con el 15% de la carga en este orden (figura 26).

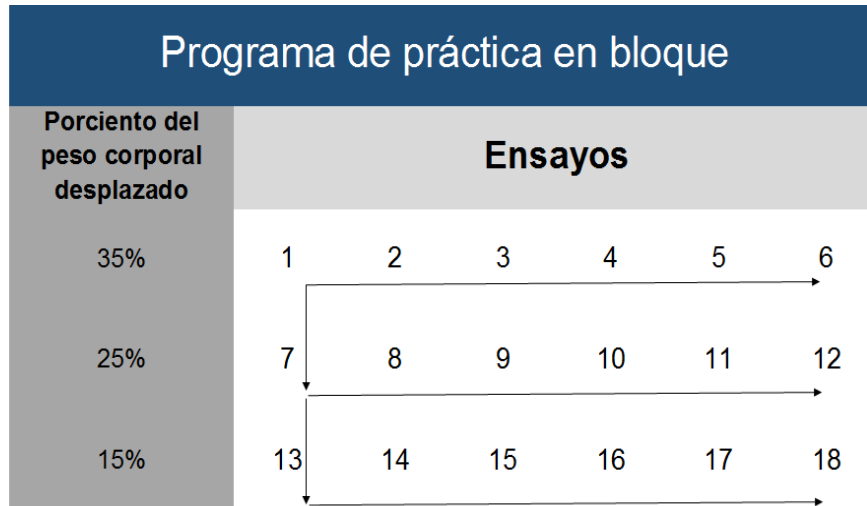


Figura 26. Secuencia de ensayos para el grupo que practicará un programa bloqueada. Fuente: Elaboración propia.

En el grupo con un programa de práctica aleatoria (alta interferencia contextual) los participantes ejecutaron aleatoriamente todos los ensayos con el 35%, 25% y 15% del peso corporal, con la restricción de no realizar más de dos ensayos consecutivos en la misma variante (figura 27).

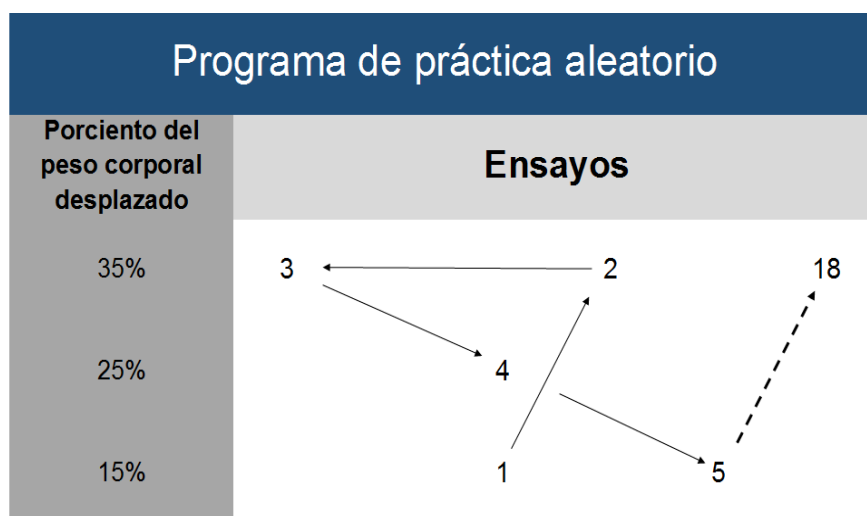


Figura 27. Secuencia de ensayos para el grupo que practicará un programa aleatorio. Fuente: Elaboración propia.

El grupo con un programa gradual (incremento sistemático de interferencia contextual) siguió primero un programa bloqueado para los ensayos del 1 al 6, o sea, realizando 2 ensayos consecutivos con cada peso corporal. Seguidamente realizaron consecutivamente los ensayos del 7 al 12 donde ejecutaron en un programa serial (i.e. las series con el 35%, 25% y 15% del peso corporal se repitieron 2 veces). Por último, la ejecución de los ensayos 13 al 18 siguió un orden aleatorio, con la restricción de no realizar más de dos ensayos consecutivos con el mismo peso (**figura 28**).

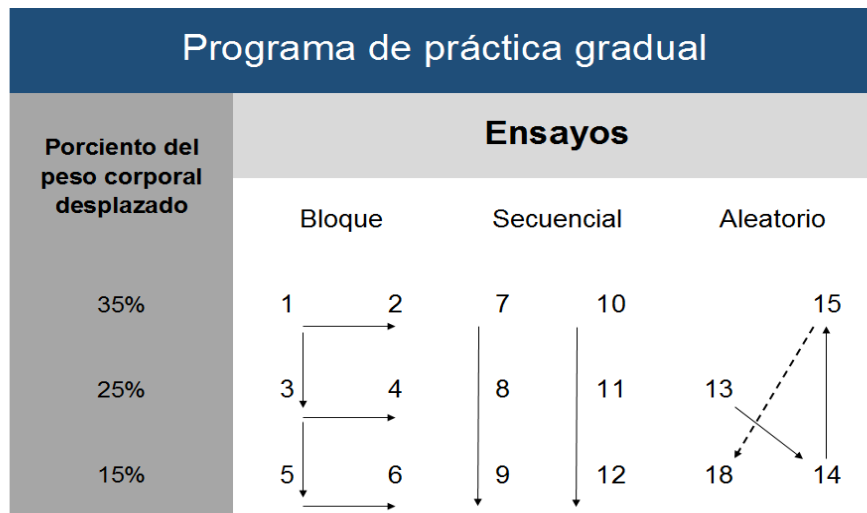


Figura 28. Secuencia de ensayos para el grupo que practicará un programa gradual. Fuente: Elaboración propia.

Para completar la **prueba de retención** los participantes de todos los grupos realizaron 9 ensayos consecutivos con el 35% del peso corporal y otros 9 ensayos consecutivos con el 15% del peso, en este orden (total 18 ensayos) (**figura 29**).

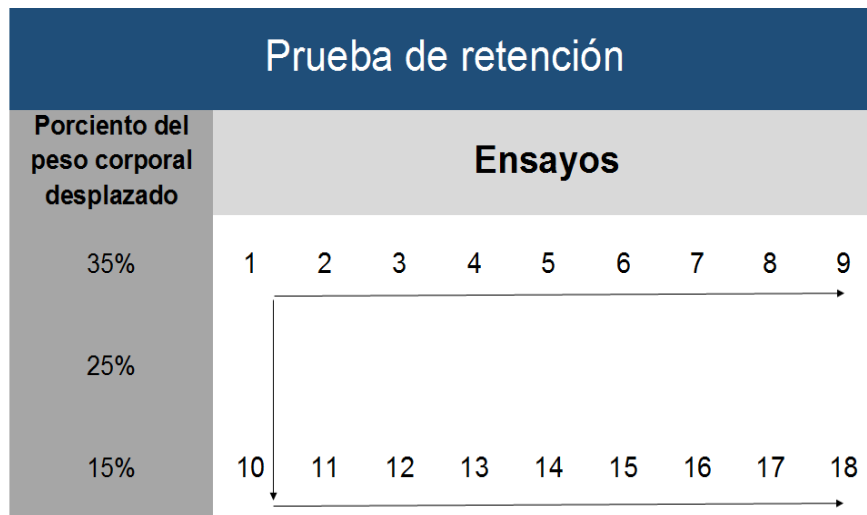


Figura 29. Secuencia de ensayos para la prueba de retención. Fuente: Elaboración propia.

Por último, para completar la **prueba de transferencia** los participantes ejecutaron la destreza de desplazamiento lateral del peso corporal combinado con la destreza de la flexión y extensión lenta de rodilla (**figura 16**). Se realizaron 4 ensayos consecutivos desplazando el 25% del peso corporal, sin limitar el número de repeticiones en la tarea de sentarse y levantarse (**figura 30**).

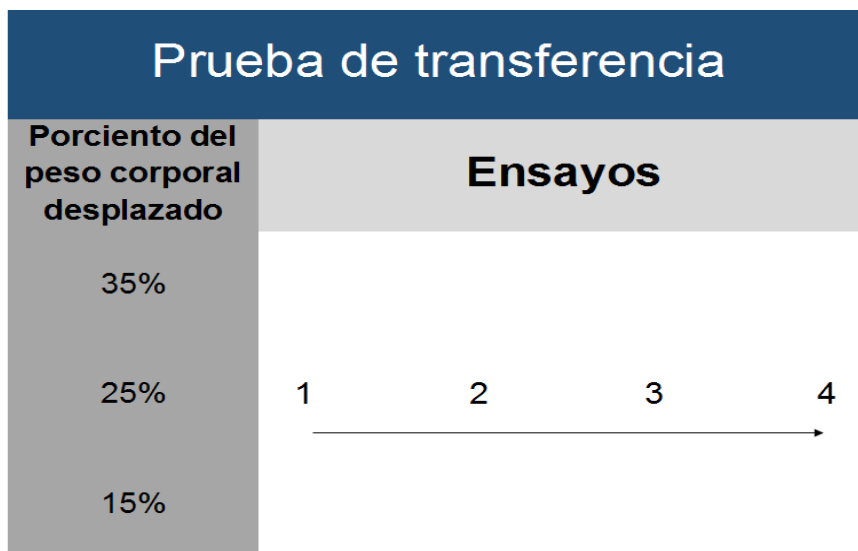


Figura 30. Secuencia de ensayos para la prueba de transferencia. Fuente: Elaboración propia.

La secuencia de los programas de práctica que se implementó en esta investigación fue tomada del protocolo de Porter & Magill, (2010). Solo se realizaron algunas modificaciones en concordancia con las características y objetivos propios de nuestro estudio.

Protocolo general

A continuación, se detallan las actividades del protocolo por orden de ejecución (**figura 31**). Todos los participantes fueron convocados al laboratorio entre las 7.00am y 9.00am. Durante la práctica de la destreza no se brindó ninguna retroalimentación adicional a la que ofrecía el sistema COBS Feedback.

- **Día 1-Adquisición:** 1) Evaluación del peso corporal, 2) Evaluación de la VFC (VFC pre-práctica) luego de un reposo acostado por 5 minutos en una posición confortable, 3) Evaluación del equilibrio estático y 4) dinámico. 5) Explicación y demostración detallada de los objetivos de la práctica, (i.e., se le orientó al participante que debía realizar y mantener movimientos coordinados de desplazamiento lateral del peso corporal sobre la plataforma, para que el cursor recorriera la pista irregular que se mostraba en la pantalla del computador). 6), Familiarización con la tarea ejecutando 3 ensayos consecutivos con un 45% de desplazamiento de la carga, con el objetivo de corregir los errores técnicos y de los movimientos globales. 7) Ejecución de la práctica de acuerdo al programa al que fueron aleatoriamente asignados (**figuras 26, 27 y 28**). 8) Evaluación de la VFC durante la práctica (i.e. medición práctica). 9) Evaluación inmediata de la VFC al terminar la práctica (i.e. medición pos-práctica) con el participante acostado en una posición confortable.

Veinticuatro horas después de realizar el programa de práctica, los participantes regresaron al laboratorio para completar una prueba de retención de la destreza.

- **Día 2-Retención:** 1) Evaluación de la VFC (VFC pre-práctica) luego de un reposo acostado por 5 minutos en una posición confortable. 2) Ejecución de la práctica de retención. 3) Evaluación de la VFC durante la práctica (i.e. medición práctica). 4) Evaluación inmediata de la VFC al terminar la práctica (i.e. medición pos-práctica) con el participante acostado en una posición confortable.
- **Día 2-Transferencia:** 1) Explicación y demostración detallada de los objetivos de la práctica, (i.e., se le orientó al participante que debía realizar y mantener movimientos coordinados de desplazamiento lateral del peso corporal combinando con la tarea de flexión y extensión de rodilla, para que el cursor recorriera la pista irregular que se mostraba en la pantalla del computador. 2) Familiarización con la tarea ejecutando 1 ensayo con un 45% de desplazamiento de la carga, con el objetivo de corregir los errores técnicos y de los movimientos globales. 3) Ejecución de la práctica de transferencia. 4) Evaluación de la VFC

durante la práctica (i.e. medición práctica). 4) Evaluación inmediata de la VFC al terminar la práctica (i.e. medición pos-práctica) con el participante acostado en una posición confortable.

Este protocolo fue ensayado en una prueba piloto con el objetivo de comprobar las facilidades de implementación, así como ajustar los procedimientos y actividades previstas en la investigación.

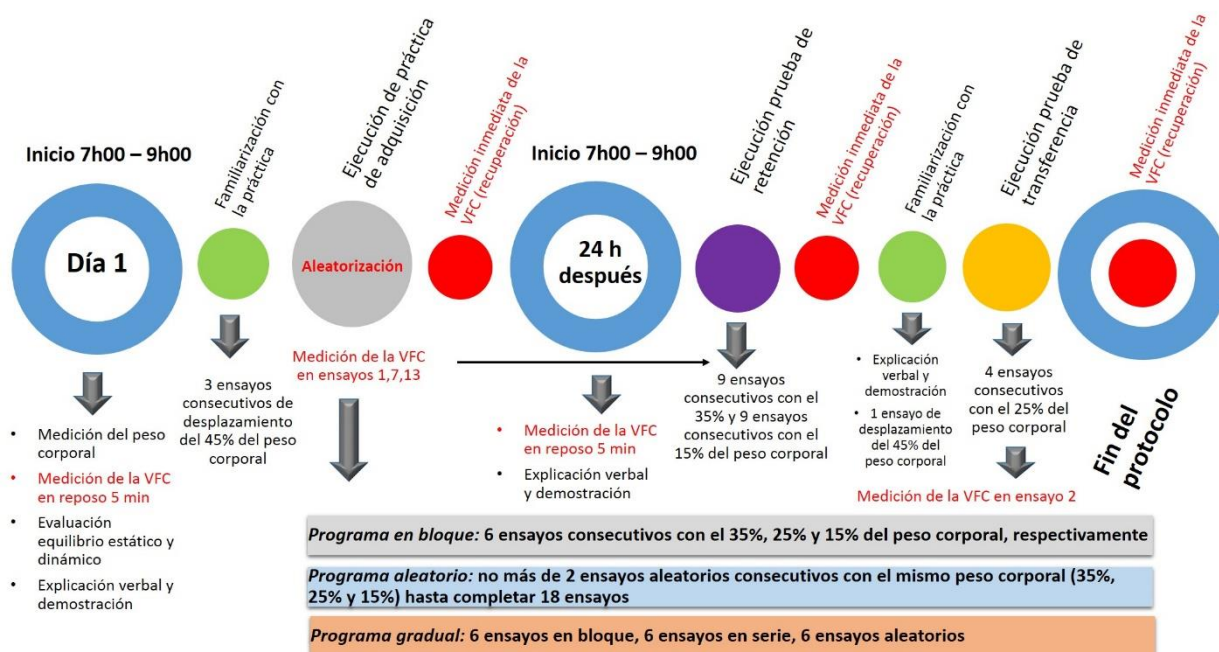


Figura 31. Diagrama del protocolo y procedimientos del estudio. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos éticos

Todos los procedimientos seguidos en el estudio fueron aprobados en la resolución 2016-0306 por el Comité de Ética y Bioética de la Universidad de las Américas (anexo 4).

Análisis de los datos

Los datos fueron procesados en el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales, SPSS® 22.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Según sea el caso, en cada nivel de análisis se reporta la media con su respectiva desviación estándar o la mediana con el 95% de intervalo de confianza.

Estadística descriptiva

Valores promedio que se obtuvieron

- Los valores de los errores de ejecución se presentan como el promedio de los errores cometidos entre la pierna derecha e izquierda durante los ensayos en cada programa de práctica.
- Los valores de la proporción LF/HF durante la adquisición y la retención se presentan como el promedio de los valores obtenidos en los ensayos 1, 7 y 13.

Estadística inferencial

Comprobación de supuestos

La selección de las pruebas estadísticas para el análisis de los datos estuvo determinada por el cumplimiento de los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas para cada variable de interés.

Se empleó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la distribución normal de los datos y para las comparaciones entre grupos el estadístico de Levene para comprobar que la varianza de una muestra fuera similar a la varianza de la otra muestra (homogeneidad de varianzas). Se aceptó que un conjunto de datos tenía una distribución normal o sus varianzas eran homogéneas cuando $p > 0.05$.

Debido a que los datos no estuvieron distribuidos normalmente, se decidió transformarlos a puntajes Z y en cada variable de estudio se eliminaron los valores extremos superiores o iguales a 2.50 unidades (Aguinis, Gottfredson & Joo, 2013). Posteriormente, se comprobó una vez más la distribución, y al no alcanzarse la normalidad en todo el conjunto de datos, en las pruebas de correlación se realizó estadística no paramétrica y paramétrica según fuera el caso. En las pruebas de comparación, cuando un conjunto de datos no tuvo una distribución normal o las varianzas no eran homogéneas, se realizó estadística no paramétrica y solo se realizaron pruebas paramétricas cuando se cumplía con ambos supuestos.

Para proporcionar mejores datos de fiabilidad, así como para facilitar la interpretación y comparación de los resultados en relación con los resultados de otros estudios de aprendizaje motor, se calcularon los Tamaños de Efecto (TE) para las comparaciones intragrupo y entregrupos. El índice del TE empleado analizó las diferencias de medias estandarizadas, el cual se basa en la distancia que separa dos distribuciones

poblacionales, es decir, cuántas desviaciones típicas separan a ambas medias que se comparan (Grissom & Kim, 2012).

En los análisis de regresión se realizó la prueba de rachas para comprobar el supuesto de independencia de los residuos, considerando que los puntajes analizados provenían de diferentes sujetos. Se aceptó el cumplimiento de este supuesto cuando $p > 0,05$ (Visauta-Vinacua, 2002).

Pruebas de las medidas de tendencia central para las comparaciones

Diferencias dentro del grupo:

- Aprendizaje de la destreza. Para comprobar el aprendizaje de la destreza para cada variable del DM (ej. errores y tiempo de ejecución), en cada grupo de práctica se analizó las diferencias entre la adquisición y la retención de la destreza. Para ello, se realizaron separados análisis de datos pareados empleando la prueba de Friedman. Para cada comparación se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.05$.
- Variabilidad de frecuencia cardiaca durante el aprendizaje de la destreza: Para analizar el cambio de la respuesta de la proporción LF/HF entre la adquisición y la retención, entre la retención y la transferencia en cada grupo de práctica, se realizaron separados análisis de datos pareados empleando la prueba de Friedman. A continuación, se realizó el análisis post-hoc de Wilcoxon ajustando los errores según el número de comparaciones, por lo que se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.003$ para las comparaciones entre la adquisición y la retención (e.j. tasa de error: $0.05/\text{número de contrastes: } 15$) y de $p < 0.008$ para las comparaciones entre la retención y la transferencia (e.j. tasa de error: $0.05/\text{número de contrastes: } 6$).

Diferencias entre grupos:

- Características generales de los grupos. Para determinar las diferencias en la edad, peso corporal, índice de masa corporal (IMC) e índice de fluctuación estático y dinámico de los participantes previo a la práctica, se realizaron separados análisis de Kruskal-Wallis H para la comparación entre cada programa de práctica (bloqueada, aleatorio y gradual).
- Adquisición, retención y transferencia de la destreza. Las diferencias en los errores de ejecución, tiempo de ejecución y proporción LF/HF entre cada

programa de práctica (bloqueada, aleatorio y gradual) durante los diferentes momentos de medición, se determinaron igualmente con separados análisis con la prueba de Kruskal-Wallis H para la comparación de datos no pareados seguido de un análisis de *post-hoc* de U de Mann-Whitney ajustando los errores según el número de comparaciones (e.j. tasa de error: 0.05/número de contrastes: 3), por lo que para cada variable en estudio se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$.

- Al cumplirse el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza para los valores de la proporción LF/HF únicamente en los ensayos durante la transferencia, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para grupos independientes seguido de un análisis de *post-hoc* de Tukey para determinar las diferencias en los promedios entre los programas de práctica. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.05$.

Pruebas de la magnitud de las diferencias observadas

Diferencias dentro del grupo:

A continuación, se describe el procedimiento para el cálculo del TE de las diferencias dentro del grupo en cada condición de práctica (análisis intragrupo). El cálculo de los TE se realizó utilizando la fórmula de delta (Δ) propuesta por Glass (Thomas & French, 1986). Este TE indica el cambio en el desempeño de cada grupo a lo largo de las mediciones, en donde para determinar el TE entre la medición de la adquisición y la retención, M_1 es el promedio de la retención, M_2 el promedio de la adquisición y DE_2 es la desviación estándar de la adquisición. Para cada TE se calculó su respectiva varianza, en este caso, n_1 y n_2 se sustituyen por el tamaño de la muestra (n) de cada medición. Debido a que los grupos con un menor tamaño de muestra pueden tener un TE sesgado, posterior a este cálculo cada TE y la varianza fueron entonces multiplicados por un factor de corrección (c) diseñado para producir una estimación sin sesgo de acuerdo al tamaño de la muestra en cada comparación (Borenstein et al., 2009; Hedges y Olkin, 1985). Además, se calcularon los intervalos de confianza (al 95 %) para cada TE con el objetivo de verificar con un 95% de certeza dentro de qué rango se encontraba la media poblacional para la magnitud del cambio entre mediciones y grupos. Cabe resaltar que se decidió utilizar esta prueba estadística como se recomienda en la literatura, debido a su capacidad de detectar un efecto trivial (poder estadístico suficiente debido al gran tamaño de la muestra), o no detectar un efecto significativo u obvio (falta de poder estadístico debido al tamaño pequeño de la muestra) (Thompson, 2007).

El signo de los TE se ajustó para ser coherente con la lógica y que un TE positivo indicara beneficio de la práctica realizada. Por lo tanto, para la interpretación de los resultados se consideró que un TE positivo indicaba una mejoría en el desempeño, mientras que un TE negativo indicaba una disminución en el desempeño. El cálculo del TE para las diferencias dentro del grupo fue el mismo que se utilizó en los estudios de Jiménez-Díaz, et al. (2014) y Jiménez-Díaz, et al. (2016a).

Diferencias entre grupos:

A continuación, se describe el procedimiento para el cálculo del TE para las diferencias entre grupos (análisis entregrupos). Para obtener el TE se utilizó la fórmula propuesta por Hedges en 1981 (Marín & Sánchez, 1996; Thomas & French, 1986), donde se asume que M_1 es el promedio del grupo de práctica que alcanza un desempeño mejor y M_2 es el promedio del grupo de práctica que alcanza un desempeño peor, y $S_{combinada}$ se obtiene de las desviaciones estándar de los dos grupos que se comparan (figura 32). Debido a que el conjunto de datos que se iban a analizar no tenían varianzas homogéneas, y como las diferencias brutas entre los promedios de los grupos de comparación son afectados por ligeras diferencias en la variabilidad entre estos, se corría el riesgo de generar un sesgo en la estimación del TE, es por esto que se ejecuta la propuesta de Hedges de utilizar para el cálculo del TE una desviación estándar unificada ($S_{combinada}$) como una medida basada en la variabilidad de ambos grupos (Ledesma, Macbeth, & Cortada de Kohan, 2009) (figura 32). Posterior a esto, al igual que en el procedimiento de las diferencias dentro del grupo, a los TE y a su respectiva varianza se les aplicó el factor de corrección c y también se calculó el intervalo de confianza de cada TE (figura 32).

Se calcularon los TE para los siguientes promedios: 1) M_1 es el promedio del grupo de práctica gradual y M_2 es el promedio del grupo de práctica bloqueada. 2) M_1 es el promedio del grupo de práctica gradual y M_2 es el promedio del grupo de práctica aleatoria. 3) M_1 es el promedio del grupo de práctica aleatorio y M_2 es el promedio del grupo de práctica bloqueada.

Para este análisis se presentan tres interpretaciones por tipos de comparación: 1) un TE negativo indica que el grupo de PG presenta un desempeño mejor, en comparación al grupo de PB; mientras que un TE positivo indica que el grupo de PB presenta un desempeño mejor, en comparación al grupo de PG. 2) un TE negativo indica que el grupo de PA presenta un desempeño mejor, en comparación al grupo de PB; mientras que un TE positivo indica que el grupo de PB presenta un desempeño mejor, en comparación al grupo de PA. 3) un TE negativo indica que el grupo de PG presenta un desempeño mejor, en comparación al grupo de PA; mientras que un TE positivo indica que el grupo de PA

presenta un desempeño mejor, en comparación al grupo de PG. El cálculo del TE para las diferencias entre grupos fue el mismo que se utilizó en Jiménez-Díaz, et al., (2016a).

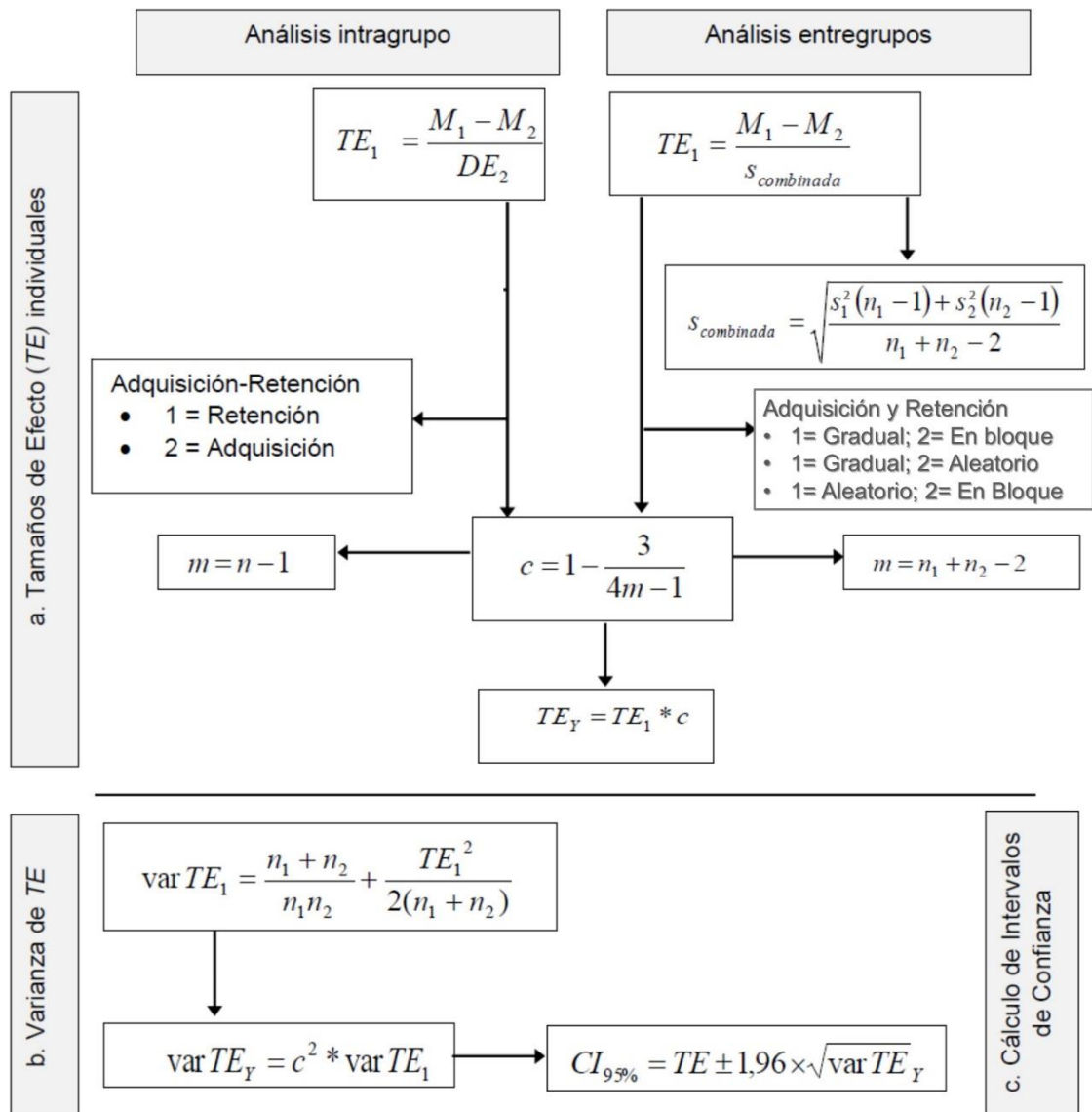


Figura 32. Diagrama de flujo para el cálculo de los tamaños de efecto. a) Cálculo de los TE intragrupo y entregrupos con su factor de corrección. b) Cálculo de la varianza de cada TE con su factor de corrección. c) Cálculo del intervalo de confianza para cada TE corregido. Fuente: Modificado de Jiménez-Díaz, J., Salazar Rojas, W., & Morera Castro, M. (2016a).

Correlaciones y regresiones

- Un análisis de correlación de Pearson o Spearman, según fuera el caso, se aplicó en cada grupo de práctica para determinar la existencia de relación entre los valores del DM (tiempo y errores de ejecución) y la proporción LF/HF durante la adquisición, retención y transferencia de la destreza, así como también entre

el DM durante la transferencia y el índice de fluctuación del equilibrio dinámico evaluado previo al entrenamiento de la destreza. Para cada nivel de análisis se aceptó una correlación significativa cuando $p < 0.05$.

- En las correlaciones significativas se ejecutaron separados análisis de regresión lineal simple o múltiple según fuera el caso. Específicamente, para determinar el valor predictivo que el DM (i.e., errores y tiempo) durante la adquisición tuvo sobre la proporción LF/HF en reposo durante la retención se realizó un análisis de regresión múltiple con el método de entrada “Pasos sucesivos”. Se realizó un análisis de regresión simple con el método de entrada “Enter” para determinar el valor predictivo que la proporción LF/HF en reposo durante la retención tuvo sobre los errores de ejecución también durante la retención. Se aceptó que un modelo de regresión tuvo una buena capacidad predictiva cuando $p < 0.05$.

En la **figura 33** se muestra un diagrama resumen de los análisis estadísticos realizados en el estudio.

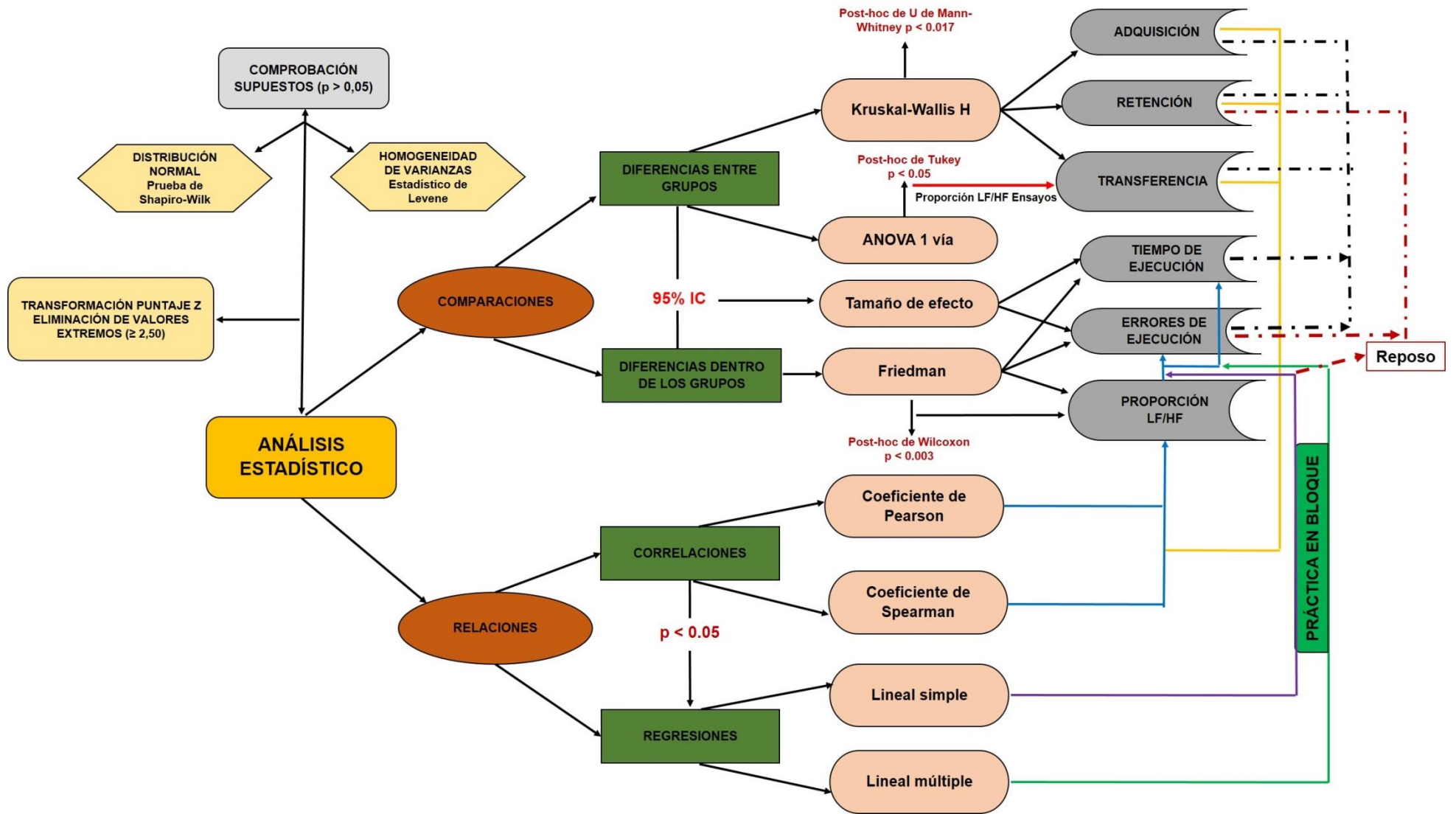
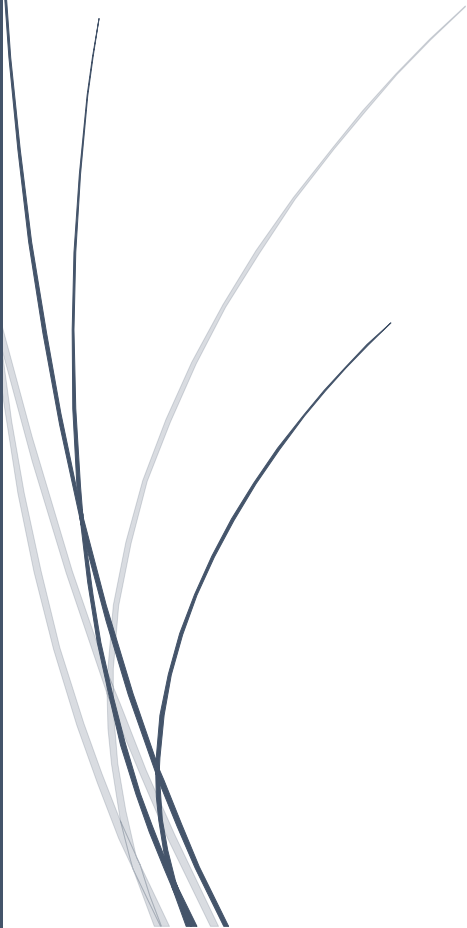


Figura 33. Diagrama resumen de los análisis estadísticos. Nota. IC: Intervalo de confianza. Fuente: Elaboración propia.



Resultados



RESULTADOS

Características generales de los participantes

La **tabla 2** muestra los valores promedio de la edad, el peso corporal, IMC y el índice de fluctuación en la prueba de equilibrio estático en bipedestación y el equilibrio dinámico en la prueba de flexión y extensión de rodillas para cada grupo de comparación. El análisis estadístico no paramétrico para muestras independientes indicó que los grupos fueron homogéneos en cuanto a estas características ($p>0,05$).

Al precisar el promedio general de la muestra estudiada, se obtuvo una edad de $20,63\pm 2,58$ años, un peso corporal igual a $58,34\pm 10,09$ kg y un IMC de $24,12\pm 2,88$ kg/m², mientras que el equilibrio postural estático y dinámico en bipedestación fue de $0,59\pm 0,49$ y $2,23\pm 0,71$, respectivamente.

Tabla 2. Características generales de los grupos de comparación.

	Bloqueado (n=22)		Gradual (n=21)		Aleatorio (n=20)		p
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	
Edad (años)	20,77	3,22	20,81	2,27	20,30	2,25	0,681
Peso corporal (kg)	58,44	9,62	57,76	10,20	58,82	10,45	0,866
Índice de masa corporal (kg/m ²)*	23,36	1,99	23,94	2,78	25,05	3,86	0,782
Índice de fluctuación (%) equilibrio estático	0,43	0,35	0,72	0,63	0,61	0,48	0,252
Índice de fluctuación (%) equilibrio dinámico	2,30	0,78	2,23	0,71	2,15	0,64	0,924

Nota: * el cálculo del IMC se obtuvo *a posteriori*, por lo que se presentan datos de algunos de los participantes de los grupos de comparación, quedando la muestra para esta variable de la siguiente forma: bloqueado = 8, gradual = 14, aleatorio = 9.

La **tabla 3** muestra la media con la respectiva desviación estándar de los errores y tiempo de ejecución, así como de la proporción LF/HF de la VFC evaluadas en las distintas etapas del aprendizaje.

Tabla 3. Resultados descriptivos para las variables de interés evaluadas en cada programa de práctica durante las diferentes etapas del aprendizaje.

	Prop LF/HF en el reposo				Prop LF/HF en los ensayos				Prop LF/HF en la recuperación				Prop LF/HF en la transferencia				Tiempo de ejecución (ms)						Errores de ejecución					
	Adq		Ret		Adq		Ret		Adq		Ret		Ens		Recup		Adq		Ret		Transf		Adq		Ret		Transf	
	n= 59	n= 61	n= 61	n= 61	n= 61	n= 61	n= 61	n= 61	n= 55	n= 59	n= 59	n= 61	n= 58	n= 59	n= 61	n= 58	n= 59	n= 61	n= 58	n= 59	n= 60	n= 59	n= 59	n= 60	n= 59			
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
Bloqueado	0,65	0,62	1,17	0,96	2,63	1,87	3,42	2,49	0,71	0,42	0,72	0,52	7,24	4,77	0,54	0,53	10,63	0,72	10,14	0,68	2,42	0,34	259,39	77,66	227,21	71,71	49,97	18,78
Gradual	0,83	0,53	1,13	1,21	3,88	1,70	3,39	1,34	0,75	0,52	1,07	0,82	8,70	3,98	0,92	0,76	10,47	1,53	10,60	0,95	2,40	0,26	339,63	92,47	376,90	242,28	63,50	26,08
Aleatorio	0,51	0,30	1,05	1,24	1,89	1,53	1,54	1,30	0,48	0,31	0,80	0,60	3,31	1,39	0,55	0,51	11,47	2,50	10,57	1,00	2,66	0,63	405,89	329,74	302,31	199,75	59,67	21,48
Total	0,62	0,45	1,03	1,02	3,06	2,11	3,42	2,53	0,69	0,51	0,89	0,72	6,09	3,95	0,74	0,64	10,57	1,25	10,42	0,89	2,56	0,48	310,68	129,32	316,15	223,75	60,46	29,08

Nota. Adq: adquisición. Ret: retención. Transf: transferencia. Prop: proporción. Ens: ensayo. Recup: recuperación.

El resto de resultados de este estudio se presenta en siete apartados:

- Comparaciones para las diferencias entre grupos.
- Pruebas de la magnitud de las diferencias observadas entre grupos.
- Comparaciones de las diferencias dentro de los grupos.
- Pruebas de la magnitud de las diferencias observadas dentro de los grupos.
- Correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el DM.

- Correlaciones entre el porcentaje de variación del peso corporal en la prueba simple de sentarse y levantarse y el DM.
- Regresiones lineales para las correlaciones significativas.

Resultados de las comparaciones para las diferencias entre grupos

- Comparaciones para las diferencias entre grupos en la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la adquisición (**tablas 4-7**).
- Comparaciones para las diferencias entre grupos en la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la retención (**tablas 8-11**).
- Comparaciones para las diferencias entre grupos en la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la transferencia (**tablas 12-15**).
- Gráfico de tallos y hojas del tamaño de efecto para la comparación del tiempo y errores de ejecución entre grupos durante la adquisición y la retención de la destreza (**figura 40, 41**).

Resultados de las comparaciones para las diferencias dentro de los grupos

- Comparaciones de las diferencias dentro de los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF en el programa de práctica bloqueada (**tablas 16-20; figuras 42-45**).
- Comparaciones de las diferencias dentro de los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF en el programa de práctica gradual (**tablas 21-25; figuras 46-49**).
- Comparaciones de las diferencias dentro de los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF en el programa de práctica aleatorio (**tablas 26-30; figuras 50-53**).
- Resumen de las diferencias dentro de los grupos (**figura 54**).
- Gráfico de tallos y hojas del tamaño de efecto para la comparación del desempeño motor dentro de los grupos (**figura 55**).

Resultados de las correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el desempeño motor

- Correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el desempeño motor en la adquisición (**tablas 31, 32; figuras 56, 57**).
- Correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el desempeño motor en la retención (**tablas 33, 34; figura 58**).
- Correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el desempeño motor en la transferencia (**tablas 35, 36**).

Resultados de las correlaciones entre el porcentaje de variación del peso corporal en la prueba simple de sentarse y levantarse y el desempeño motor

- Correlaciones entre el índice de fluctuación en la prueba simple de sentarse y levantarse y el desempeño motor durante la transferencia (**tabla 37**).

Resultados de las regresiones lineales para las correlaciones significativas

- Regresiones lineales para las correlaciones significativas en el grupo de práctica bloqueada durante la adquisición (**tabla 38**).
- Regresión lineal para las correlaciones significativas en el grupo de práctica bloqueada durante la retención (**tabla 39**).

Resultados de las comparaciones para las diferencias entre grupos

Comparaciones para las diferencias entre grupos en la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF

Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis H para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF entre cada programa de práctica (bloqueada, aleatorio y gradual) **durante la adquisición.**

	Proporción LF/HF reposo	Tiempo de ejecución	Errores promedio de ejecución	Proporción LF/HF promedio en los ensayos	Proporción LF/HF recuperación
Chi-cuadrado	1,949	2,085	6,172	2,550	6,544
gl	2	2	2	2	2
Sig. asintótica	0,377	0,352	0,046	,279	0,038

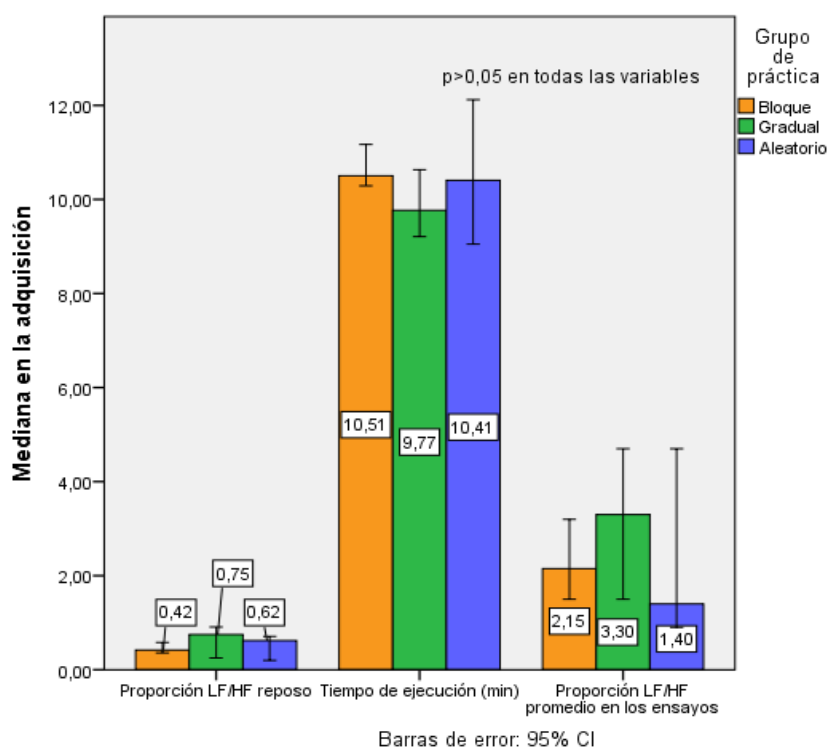


Figura 34. Diferencias en la mediana entre los grupos de comparación durante la adquisición

Tabla 5. Post-hoc de U de Mann-Whitney para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución y la proporción LF/HF entre **los grupos de práctica bloqueada y gradual** durante la adquisición.

	N	Errores promedio de ejecución	N	Proporción LF/HF en la recuperación
Bloqueada	22		22	
Gradual	19		21	
Z		-2,655		-1,021
Sig. asintótica (bilateral)		0,008		0,307
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]				

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/3)

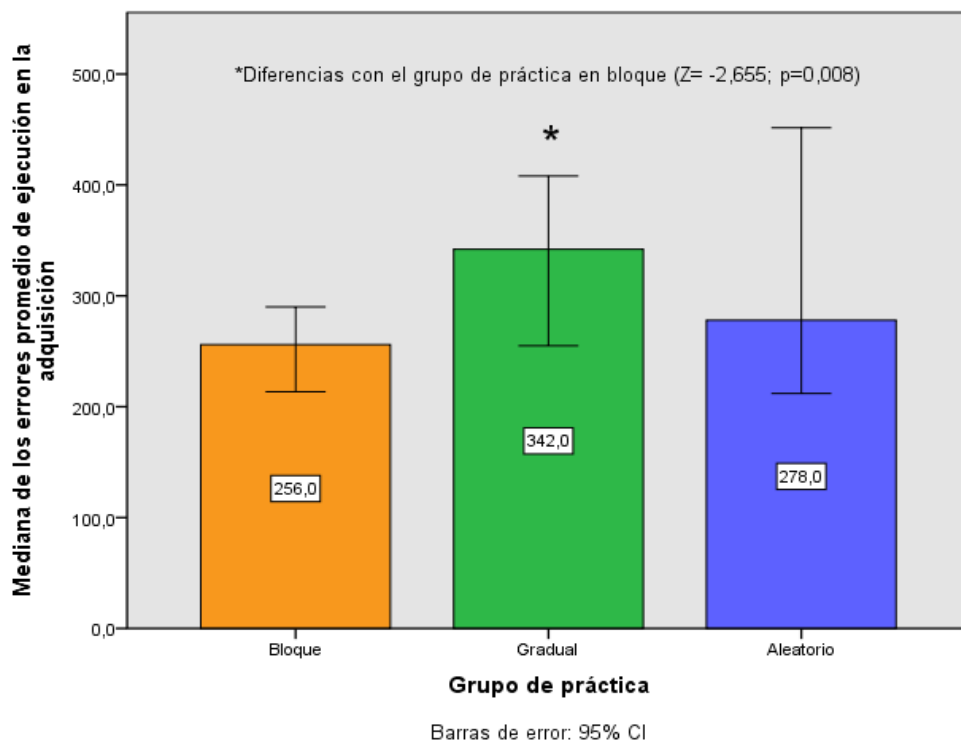


Figura 35. Diferencias en la mediana de los errores de ejecución entre los grupos de comparación durante la adquisición.

Tabla 6. Post-hoc de U de Mann-Whitney para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución y la proporción LF/HF entre **los grupos de práctica bloqueada y aleatorio** durante la adquisición.

	N	Errores promedio de ejecución	N	Proporción LF/HF en la recuperación
Bloqueada	22		22	
Aleatorio	18		18	
Z		-1,101		-2,570
Sig. asintótica (bilateral)		0,271		0,010
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]		0,274 ^b		0,009 ^b

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/3)

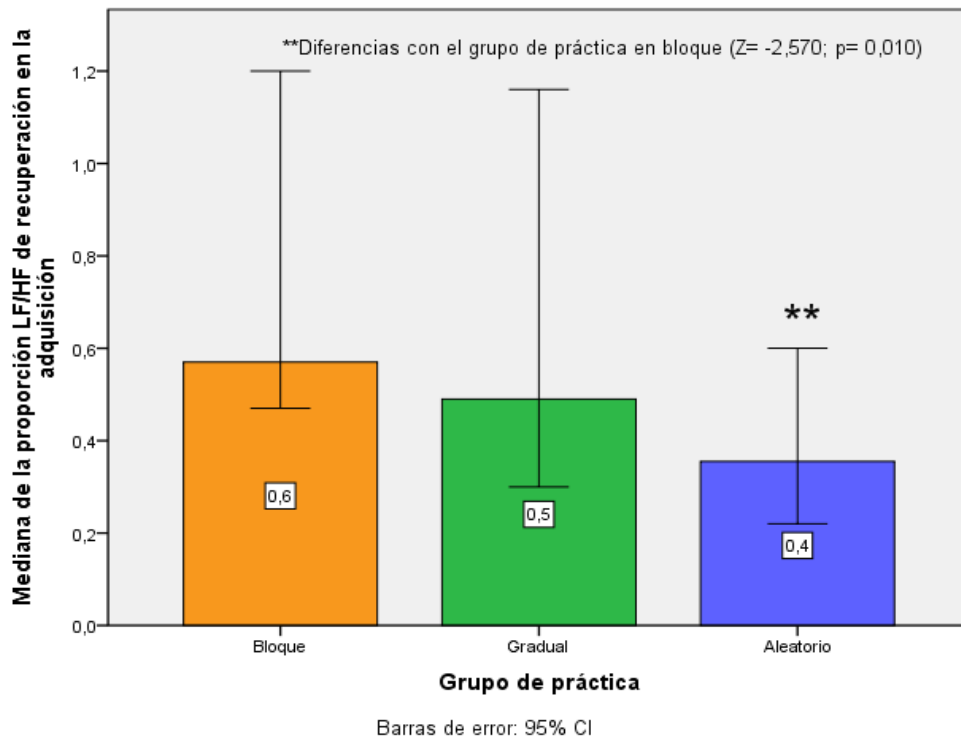


Figura 36. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF en recuperación entre los grupos de comparación durante la adquisición

Tabla 7. Post-hoc de U de Mann-Whitney para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución y la proporción LF/HF entre **los grupos de práctica en gradual y aleatorio** durante la adquisición.

	N	Errores promedio de ejecución	N	Proporción LF/HF en la recuperación
Gradual	19		21	
Aleatorio	18		18	
Z		-0,881		-1,493
Sig. asintótica (bilateral)		0,378		0,135
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]		0,391 ^b		0,140 ^p

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e., tasa de error de 0.05/3)

El análisis de las comparaciones de la mediana entre grupos no encontró diferencias en la proporción LF/HF en reposo y en el tiempo de ejecución **durante la adquisición** (tabla 4). Estos resultados indican que la respuesta del sistema cardíaco autónomo previo a la práctica va a ser la similar entre los participantes que practicaron con diferente programa de aprendizaje, y lo mismo va a suceder con el tiempo dedicado para completar los ensayos de adquisición de la destreza. Tampoco se encontraron diferencia entre grupos en la proporción LF/HF promedio en los ensayos, pero hubo cierta tendencia a que en la práctica gradual el valor de la proporción LF/HF fuera mayor (no estadísticamente significativo) en comparación con la practica bloqueada (diferencias de medianas= 1,15; $p > 0,05$) y aleatorio (diferencias de medianas= 1,90; $p > 0,05$) (figura 34). Esto sugiere que con un programa de aprendizaje gradual, se intensifica el esfuerzo cognitivo al parecer para garantizar la adquisición de la destreza.

Las diferencias significativas se localizaron en los errores de ejecución y la proporción LF/HF en la recuperación (tabla 4). El análisis *post hoc* mostró que comparado con el grupo de práctica gradual, la práctica bloqueada disminuyó los errores de ejecución, o sea, que a juzgar por el número de errores cometidos, se va a presentar una mayor precisión en la ejecución de la destreza cuando se completan varios ensayos de una misma tarea (i.e., práctica bloqueada), en comparación a cuando se ajusta la dificultad de la tarea a medida que se asume un cambio en el nivel de desempeño del practicante (i.e., práctica gradual) (tabla 5; figura 35). Por otra parte, no se encontró diferencias entre la práctica bloqueada y aleatoria, y ni entre la gradual y aleatoria (tabla 4).

En cuanto a la recuperación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca posterior a los ensayos de adquisición de la destreza, no hubo diferencias entre la práctica bloqueada y gradual, tampoco entre la práctica gradual y aleatoria. Las diferencias se dieron entre los participantes que practicaron bloqueados en comparación con los que ejecutaron los ensayos en un orden aleatorio, donde al parecer la práctica bloqueada retarda la recuperación de la proporción LF/HF inmediatamente de terminada la práctica (**tabla 6; figura 36**).

Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis H para las diferencias en la mediana de los errores, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF entre cada programa de práctica (bloqueada, aleatorio y gradual) **durante la retención.**

	Proporción LF/HF reposo	Tiempo de ejecución	Errores promedio de ejecución	Proporción LF/HF promedio en los ensayos	Proporción LF/HF recuperación
Chi-cuadrado	0,376	2,584	6,990	2,510	0,427
gl	2	2	2	2	2
Sig. asintótica	0,829	0,275	0,030	0,285	0,808

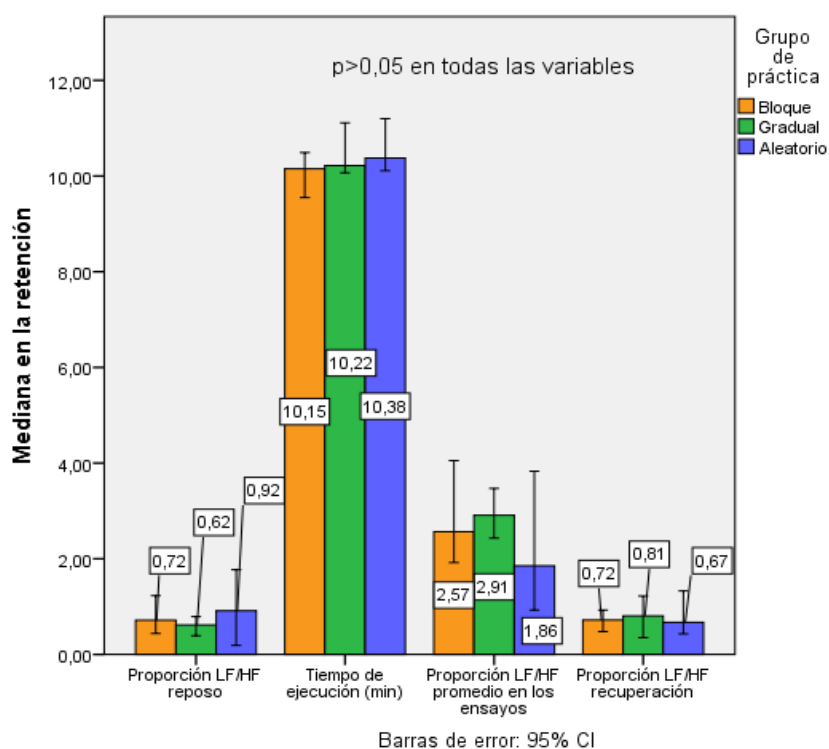


Figura 37. Diferencias en la mediana entre los grupos de comparación durante la retención

Tabla 9. Post-hoc de U de Mann-Whitney para las diferencias significativas entre la mediana de los errores de ejecución **entre los grupos de práctica bloqueada y gradual** durante la retención.

	N	Errores promedio de ejecución
Bloqueada	22	
Gradual	20	
Z		-2,569
Sig. asintótica (bilateral)		0,010
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]		

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/3)

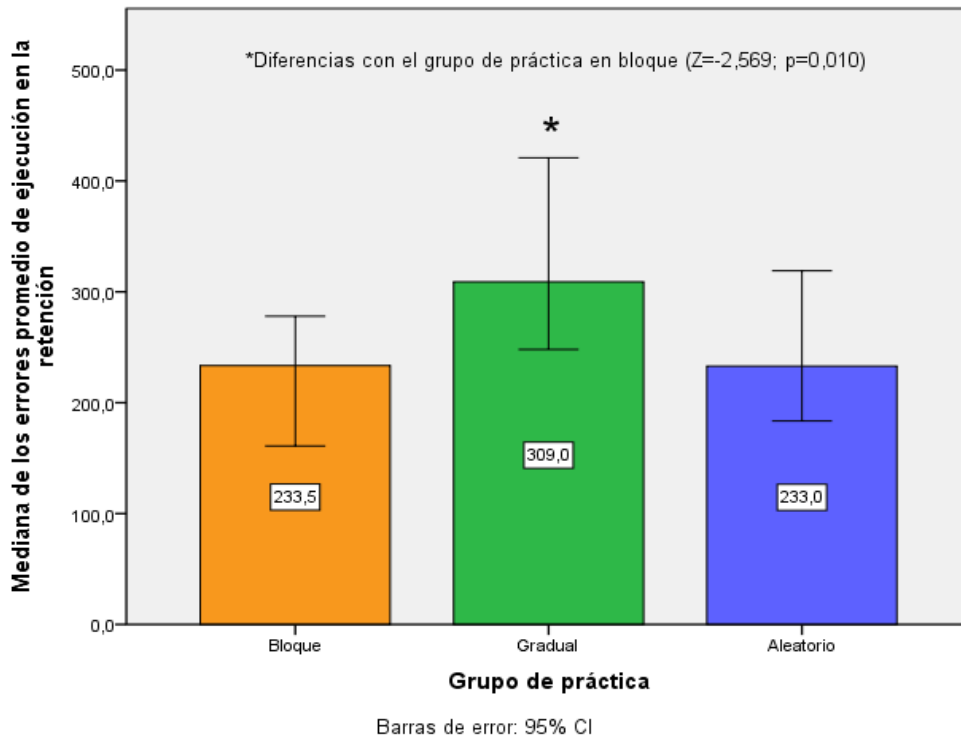


Figura 38. Diferencias en la mediana de los errores de ejecución entre los grupos de comparación durante la retención

Tabla 10. Post-hoc de U de Mann-Whitney para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución entre **los grupos de práctica bloqueada y aleatoria** durante la retención.

	N	Errores promedio de ejecución
Bloqueada	22	
Aleatorio	18	
Z		-0,775
Sig. asintótica (bilateral)		0,438
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]		0,443 ^b

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/3)

Tabla 11. Post-hoc de U de Mann-Whitney para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución entre **los grupos de práctica en gradual y aleatorio** durante la retención.

	N	Errores promedio de ejecución
Gradual	20	
Aleatorio	18	
Z		-1,740
Sig. asintótica (bilateral)		0,082
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]		0,082 ^b

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.017$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/3)

Tabla 12. Prueba de Kruskal-Wallis H para las diferencias en la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF durante la recuperación entre cada programa de práctica (bloqueada, aleatorio y gradual) **durante la transferencia.**

	Tiempo de ejecución	Errores promedio de ejecución	Proporción LF/HF recuperación
Chi-cuadrado	4,471	1,969	1,225
gl	2	2	2
Sig. asintótica	0,107	0,374	0,542

Durante **la fase de retención** de la destreza, solo hubo diferencias significativas entre grupos en la mediana de los errores de ejecución (**tabla 8**). Dichas diferencias se presentaron una vez más entre el programa de práctica bloqueada y gradual, de modo que los participantes que practicaron bloqueados fueron los más precisos en la ejecución del movimiento con un menor número de errores de ejecución (**tabla 9**). Al igual que en la adquisición, el valor de la proporción LF/HF con la práctica gradual de ensayos tiende a ser superior a la práctica bloqueada (diferencias de medianas= 0,34; $p>0,05$) y aleatoria (diferencias de medianas= 1,05; $p>0,05$) (**figura 38**). Esto sugiere que con un programa de aprendizaje gradual, los participantes intensifican el esfuerzo cognitivo al parecer para garantizar la retención del aprendizaje. Al comparar con el grupo de práctica gradual o con el grupo de práctica bloqueada, los participantes con un programa aleatorio presentaron los menores valores en la proporción LF/HF, tanto en los ensayos de adquisición como en la retención de la destreza (**figura 37**). Contrario a lo que se pensaba, estos resultados indican que la práctica efectuada con elevada interferencia contextual al parecer no produce un elevado esfuerzo cognitivo en ninguna de las fases del aprendizaje.

Durante **la transferencia** tampoco hubo diferencias en la mediana del DM entre los grupos de práctica (**tabla 12**).

En cuanto a la variabilidad de la frecuencia cardiaca en reposo y durante la recuperación posterior a la práctica tanto **durante la retención y como en la transferencia**, no hubo diferencias entre los programas de aprendizaje (**tablas 8 y 12**). Las diferencias se mostraron en la proporción LF/HF durante los ensayos en la fase de transferencia (**tablas 13-15**).

Tabla 13. Media de la proporción LF/HF para cada programa de práctica **durante los ensayos de transferencia**.

		N	Media	Desviación estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
Proporción LF/HF durante el ensayo en la transferencia	Bloqueada	21	6,5510	4,21774	4,6311	8,4708
	Gradual	16	7,5125	4,12655	5,3136	9,7114
	Aleatorio	18	4,2872	2,84463	2,8726	5,7018
Total		55	6,0898	3,95370	5,0210	7,1587

Tabla 14. Prueba de ANOVA de una vía para las diferencias en la media de la proporción LF/HF entre cada programa de práctica **durante los ensayos de transferencia.**

		Suma de cuadrados	gl	F	Sig.
Proporción LF/HF durante el ensayo en la transferencia	Entre grupos	95,338	2	3,310	0,044

Tabla 15. Post-hoc para las diferencias en la media de la proporción LF/HF entre cada programa de práctica **durante los ensayos de transferencia.**

Variable dependiente	(I) Grupo de práctica	(J) Grupo de práctica	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Proporción LF/HF durante ensayo en la transferencia	Bloqueada	Gradual	-0,96155	1,25923	0,727	-3,9996	2,0765
		Aleatorio	2,26373	1,21888	0,161	-,6769	5,2044
	Gradual	Bloqueada	0,96155	1,25923	0,727	-2,0765	3,9996
		Aleatorio	3,22528*	1,30382	0,043	,0797	6,3709
	Aleatorio	Bloqueada	-2,26373	1,21888	0,161	-5,2044	0,6769
		Gradual	-3,22528*	1,30382	0,043	-6,3709	-0,0797

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

El ANOVA de un factor arrojó que la proporción LF/HF promedio en los ensayos de **transferencia** no fue diferente entre la práctica bloqueada y gradual, y tampoco entre la práctica bloqueada comparado con la aleatoria; sin embargo, al comparar la práctica gradual y aleatoria hubo diferencias significativas, donde la respuesta del sistema cardíaco autónomo fue menor en aquellos participantes que ejecutaron los ensayos de transferencia en un orden aleatorio (tablas 13 y 15).

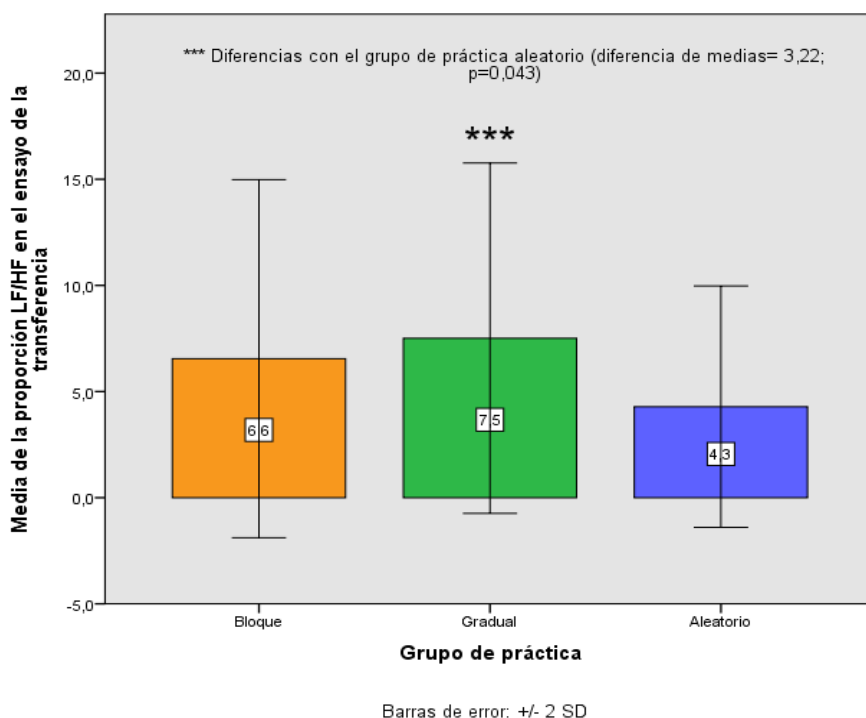


Figura 39. Diferencias en la media de la proporción LF/HF entre cada programa de práctica durante los ensayos de transferencia

Resultados de la magnitud de las diferencias observadas entre grupos

Al realizar el análisis para determinar en qué magnitud la condición de práctica efectuada beneficiaba el tiempo de ejecución en las mediciones específicas, tanto en la adquisición como en la retención, la condición de práctica previa no afectó de manera diferente el tiempo total que invirtió el participante para completar los ensayos, debido a que no se obtuvieron TE significativos en estas mediciones (**figura 40**). Estos resultados confirman que en el período inicial de la práctica y en la fase de comprobación del aprendizaje, el programa de práctica aplicado no perjudica el componente temporal del DM para ejecutar la destreza de desplazamiento de la carga lateral del peso corporal.

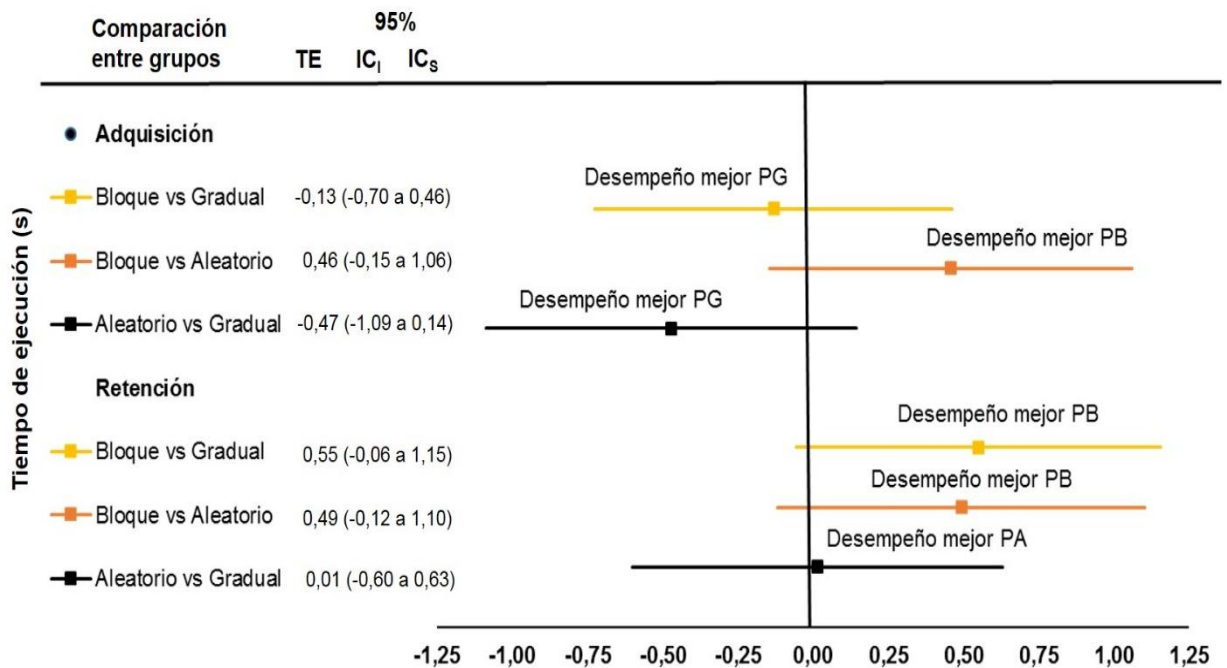


Figura 40. Gráfico de tallos y hojas del tamaño de efecto para la comparación del tiempo de ejecución entre grupos durante la adquisición y la retención de la destreza. Los valores que se presentan son tamaños de efectos (con factor de corrección) y un 95% de intervalo de confianza para cada comparación.

En el caso de las comparaciones para los errores de ejecución, se pudo determinar que tanto en la adquisición como en la retención, la práctica bloqueada fue significativamente superior a la práctica gradual, mostrando tamaños de efectos altos, que indican un beneficio robusto del aprendizaje bloqueado sobre la precisión del movimiento (**figura 41**). Es importante resaltar, que según Cohen, (1988) un TE igual a 0,20 representa un tamaño pequeño, 0,50 representa un tamaño medio, mientras que 0,80 representa un tamaño de efecto grande.

También durante la adquisición de la destreza, aunque no se alcanzó un TE significativo para las diferencias entre grupos, hubo cierta tendencia a que los participantes cometieran menos errores de ejecución con la práctica bloqueada en comparación con la práctica aleatoria, y esta tendencia fue menos marcada a favor de la práctica bloqueada después de un período sin la práctica (retención) (**figura 41**).

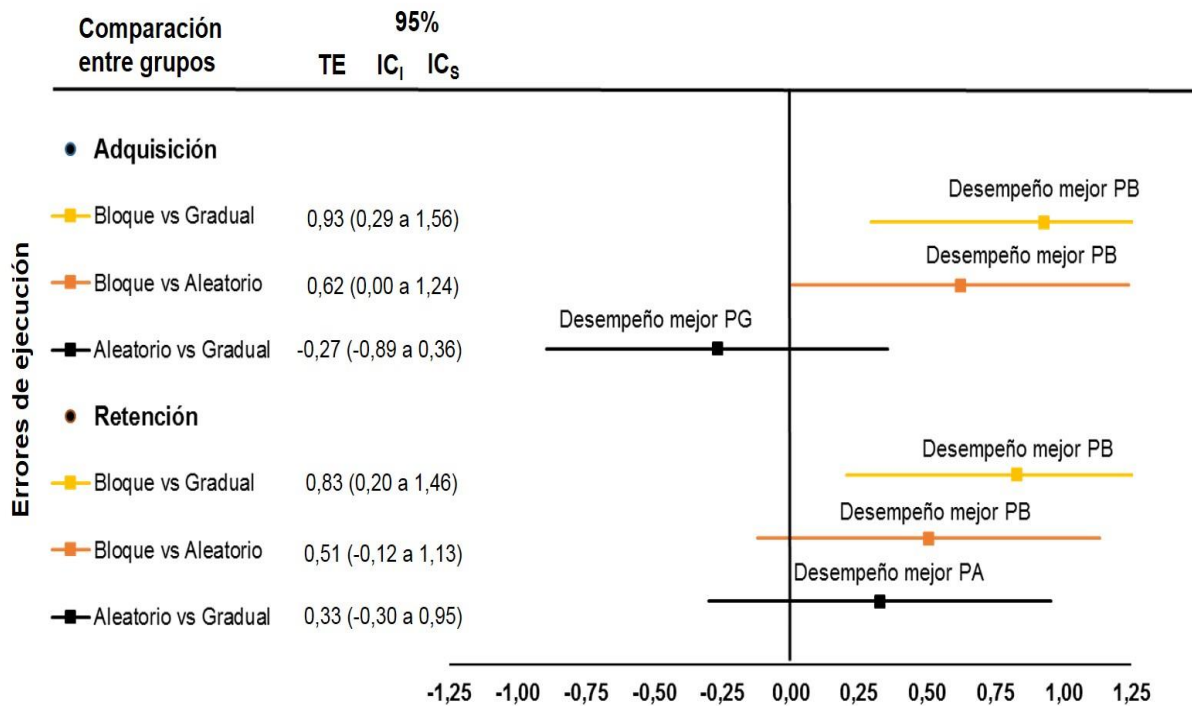


Figura 41. Gráfico de tallos y hojas del tamaño de efecto para la comparación de los errores de ejecución entre grupos durante la adquisición y la retención de la destreza. Los valores que se presentan son tamaños de efectos (con factor de corrección) y un 95% de intervalo de confianza para cada comparación.

Resultados de las comparaciones para las diferencias dentro de los grupos

Comparaciones de las diferencias dentro de los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF

Tabla 16. Prueba de Wilcoxon para las diferencias en la mediana de los errores y tiempo de ejecución entre cada medición en el programa de práctica bloqueada.

	Tiempo de ejecución durante la retención - Tiempo de ejecución durante la adquisición	Errores promedio de ejecución durante la retención - Errores promedio de ejecución durante la adquisición
Z	-3,555°	-2,728°
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,006

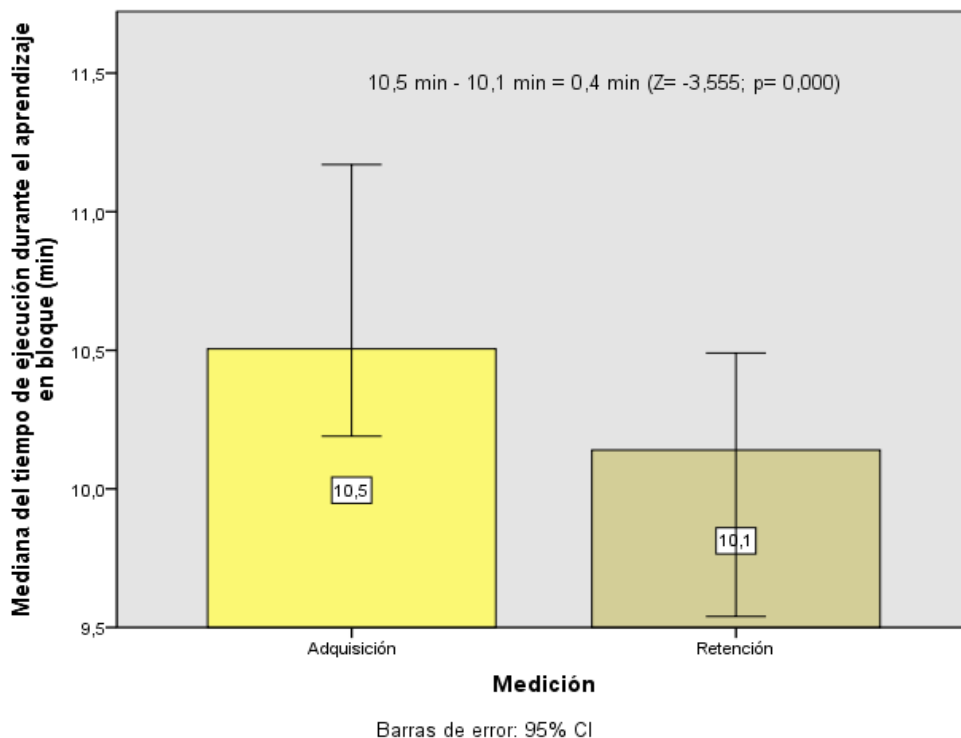


Figura 42. Diferencias en la mediana del tiempo de ejecución durante el aprendizaje bloqueado

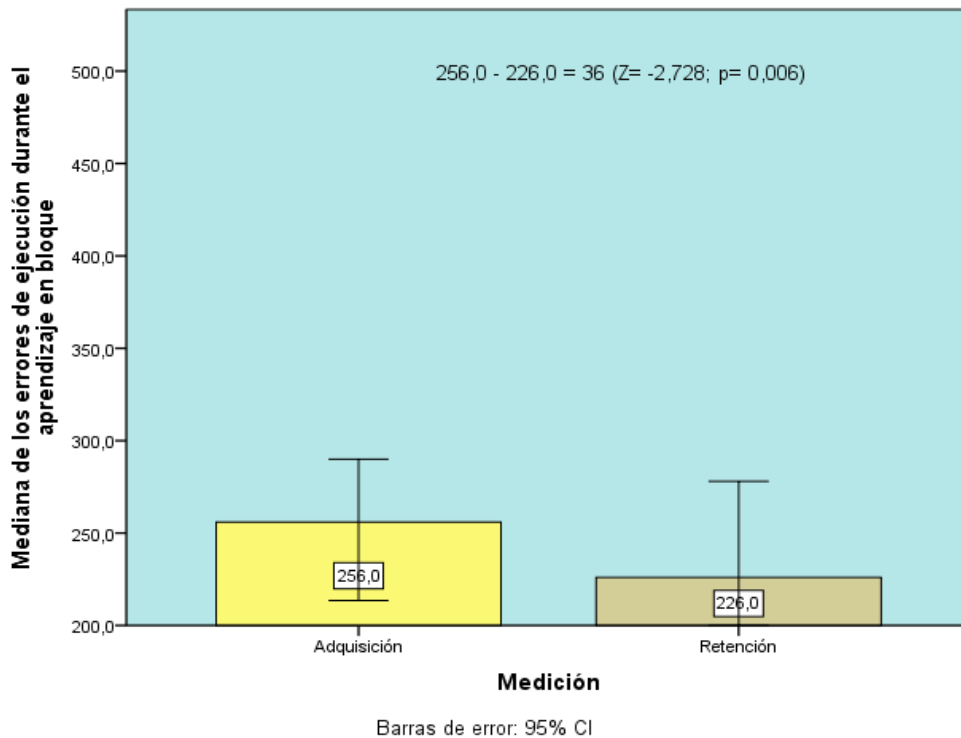


Figura 43. Diferencias en la mediana de los errores de ejecución durante el aprendizaje bloqueado.

En cuanto a los resultados de las diferencias en el DM entre la adquisición y retención de la destreza durante la práctica bloqueada, se encontró que el tiempo (diferencia de medianas = -0,4 min; $p < 0,05$) y los errores de ejecución (diferencia de medianas = -36; $p < 0,05$) disminuyeron de manera significativa al evaluar el DM residual de la destreza después de 24h sin la práctica (i.e., retención) (**tabla 16; figuras 42 y 43**), lo cual sugiere que la práctica bloqueada estimula el aprendizaje, mejorado la precisión de la ejecución y optimizando el tiempo para el control del movimiento.

Tabla 17. Prueba de Friedman para las diferencias en la mediana de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica bloqueada.

				Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
	N	Media	Desviación estándar	44,236	5	0,000
Proporción LF/HF en reposo en la adquisición	16	0,6563	0,60160			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la adquisición	16	2,8288	1,79775			
Proporción LF/HF en recuperación en la adquisición	16	0,7106	0,42820			
Proporción LF/HF en reposo en la retención	16	0,9125	0,75713			
Proporción LF/HF en el ensayo en la retención	16	3,5437	2,49400			
Proporción LF/HF en la recuperación en la retención	16	0,7006	0,50995			

Tabla 18. Prueba de Friedman para las diferencias en la mediana de la proporción LF/HF entre la **retención y la transferencia** en el programa de práctica bloqueada.

				Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
	N	Media	Desviación estándar	51,183	4	0,000
Proporción LF/HF en reposo en la retención	17	0,9488	0,7152			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la retención	17	3,5452	2,5502			
Proporción LF/HF en recuperación en la retención	17	0,7000	0,4936			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la transferencia	17	6,5541	4,6770			
Proporción LF/HF en la recuperación en la transferencia	17	0,5741	0,5169			

Tabla 19. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las medianas de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica bloqueada.

Proporción LF/HF	Ensayo en la adquisición - Reposo en la adquisición	Recuperación en la adquisición - Reposo en la adquisición	Reposo en la retención - Reposo en la adquisición	Ensayo en la retención - Reposo en la adquisición	Recuperación en la retención - Reposo en la adquisición	Recuperación en la adquisición - Ensayo en la adquisición	Reposo en la retención - Ensayo en la adquisición	Ensayo en la retención - Ensayo en la adquisición
Z	-3,920 ^b	-1,530 ^b	-1,792 ^b	-3,920 ^b	-1,711 ^b	-3,920 ^c	-3,380 ^c	-1,176 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,126	0,073	0,000	0,087	0,000	0,001	0,240

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,003$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/15).

Tabla 19. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las medianas de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica bloqueada (cont).

Proporción LF/HF	Recuperación en la retención - Ensayo en la adquisición	Reposo en la retención - Recuperación en la adquisición	Ensayo en la retención - Recuperación en la adquisición	Recuperación en la retención - Recuperación en la adquisición	Ensayo en la retención - Reposo en la retención	Recuperación en la retención - Reposo en la retención	Recuperación en la retención - Ensayo en la retención
Z	-3,696 ^c	-,747 ^b	-3,920 ^b	-0,728 ^c	-3,845 ^b	-0,644 ^c	-3,771 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,455	0,000	0,467	0,000	0,520	0,000

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,003$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/15).

Tabla 20. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las medianas de la proporción LF/HF entre la **retención y la transferencia** en el programa de práctica bloqueada.

Proporción LF/HF	Ensayo en la transferencia - Reposo en la retención	Recuperación en la transferencia - Reposo en la retención	Ensayo en la transferencia - Ensayo en la retención	Recuperación en la transferencia - Ensayo en la retención	Ensayo en la transferencia - Recuperación en la retención	Recuperación en la transferencia - Recuperación en la retención
Z	-3,920	-1,661	-2,725	-3,920	-3,920	-0,501
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,097	0,006	0,000	0,000	0,616

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,008$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/6).

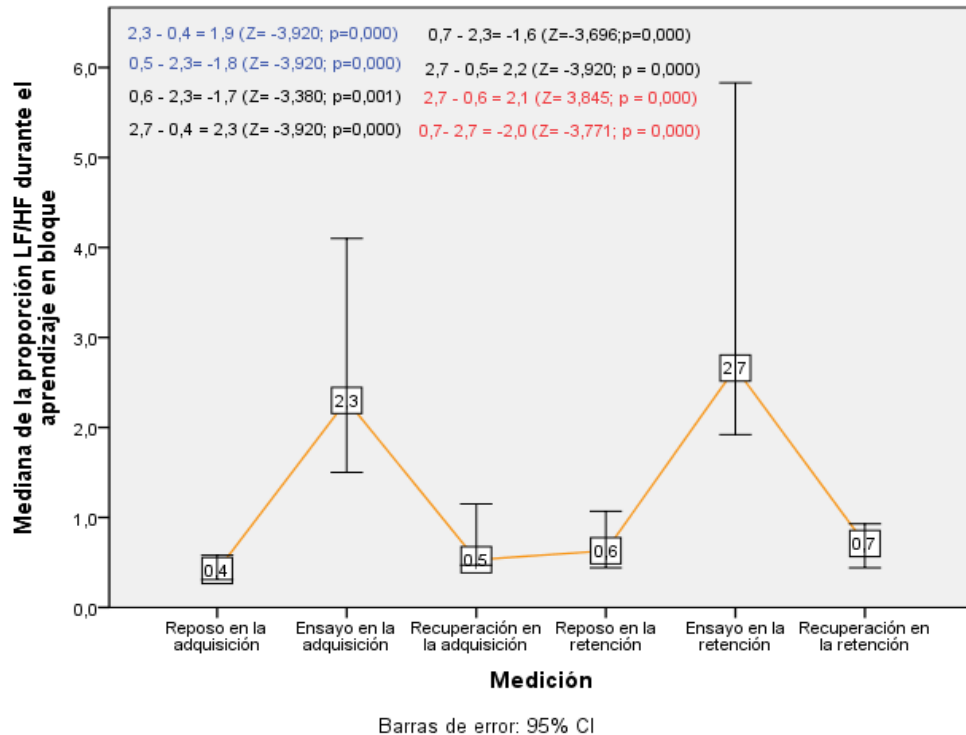


Figura 44. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF durante la **adquisición** y la **retención** en la práctica bloqueada.

La comparación de la proporción LF/HF entre mediciones fue estadísticamente significativa, y las diferencias principales o de interés se presentaron de la siguiente manera:

1) en comparación con los valores en estado de reposo, hubo un aumento de la proporción LF/HF en la ejecución de los ensayos, tanto durante la adquisición como en la retención y transferencia de la destreza (**tablas 19 y 20**), y

2) en comparación con los valores en la ejecución de los ensayos, la proporción LF/HF disminuyó en la recuperación posterior a la práctica durante la adquisición, retención y la transferencia (**tablas 19 y 20**).

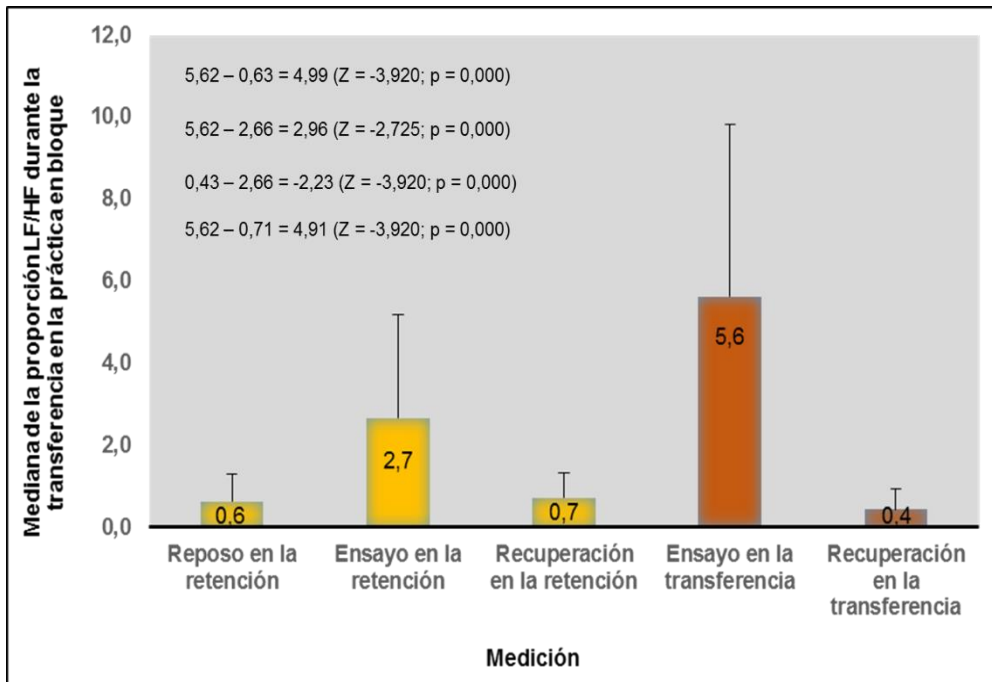


Figura 45. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF durante la **retención** y la **transferencia** en la práctica bloqueada.

Estos resultados indican que la puesta en marcha o cese de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos para el óptimo control del movimiento del centro de masa del cuerpo, influye en la respuesta de la VFC durante el proceso de aprendizaje motor bloqueado.

Por otra parte, la proporción LF/HF fue similar entre los ensayos de adquisición y retención, aunque la tendencia fue al aumento en la retención (diferencias de medianas= 0,5; $p > 0,003$) (figura 44), sugiriendo que con la práctica bloqueada el DM podría depender de la estabilidad o ligero incremento de la actividad cardíaca autonómica en la fase de confirmación del aprendizaje. Al comparar la proporción LF/HF entre los ensayos de retención y los ensayos de transferencia, se presentaron valores significativamente más altos durante la transferencia de la destreza (diferencias de medianas= 2,96; $p < 0,008$), lo cual puede deberse a un incremento en el esfuerzo fisiológico en esta última prueba (figura 45).

Tabla 21. Prueba de Wilcoxon para las diferencias en la mediana de los errores y tiempo de ejecución entre cada medición en el programa de práctica gradual.

	Tiempo de ejecución durante la retención - Tiempo de ejecución durante la adquisición	Errores promedio de ejecución durante la retención - Errores promedio de ejecución durante la adquisición
Z	-1,547 ^b	-1,023 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,122	0,306

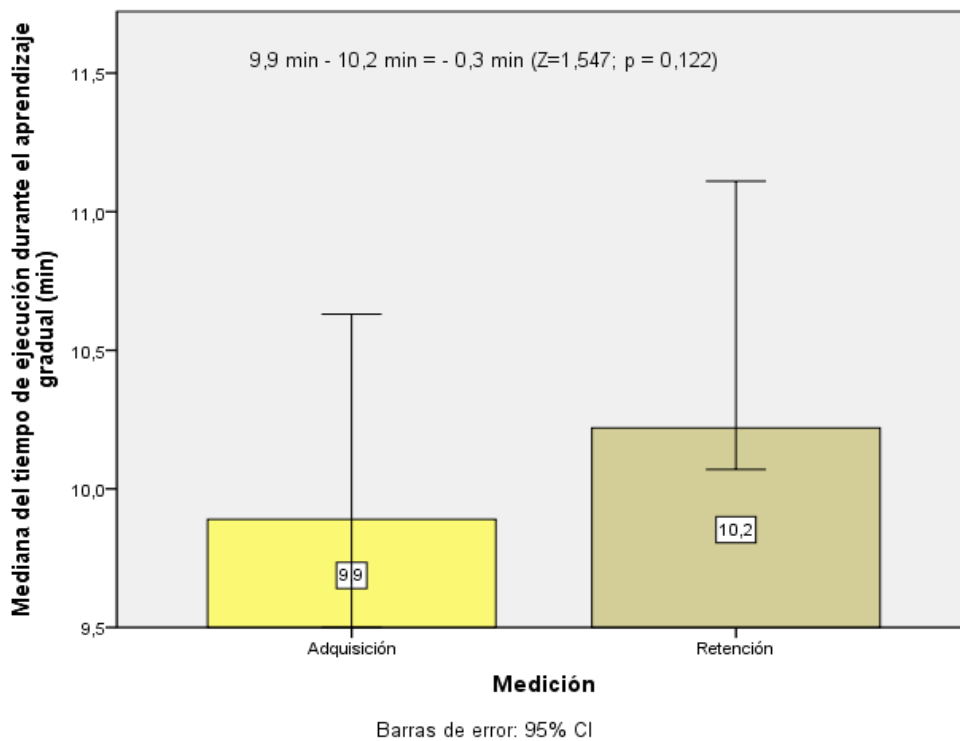


Figura 46. Diferencias en la mediana del tiempo de ejecución durante el aprendizaje gradual.

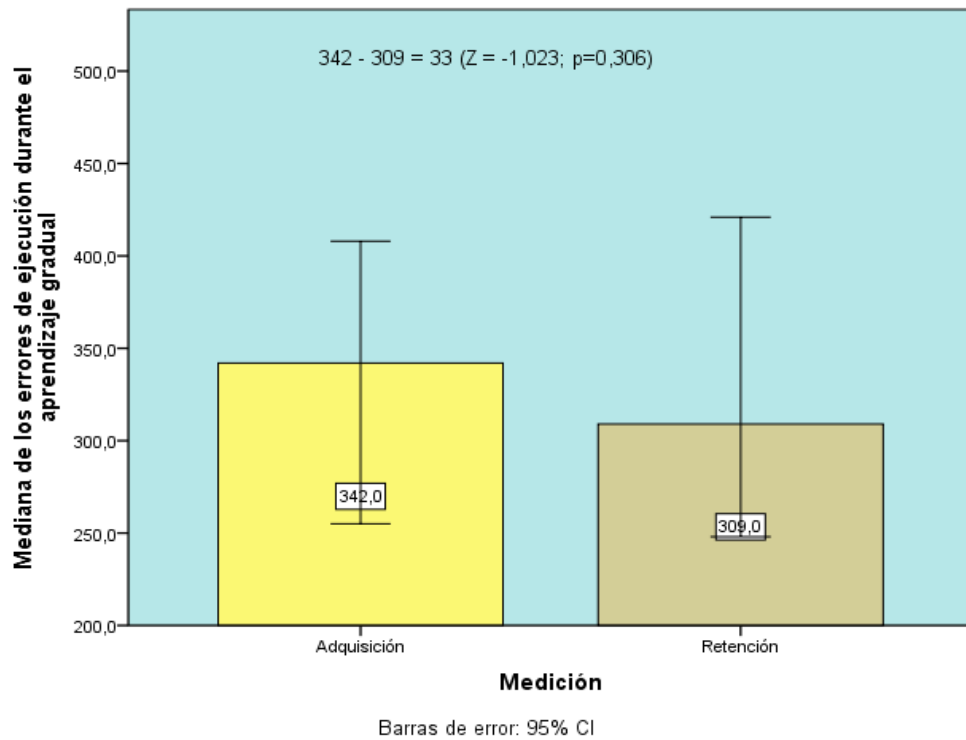


Figura 47. Diferencias en la mediana de los errores de ejecución durante el aprendizaje gradual.

Durante **la práctica gradual** no se encontraron diferencias en el DM entre la adquisición y retención de la destreza (**tabla 21**), aunque hubo cierta tendencia a que disminuyeran los errores de ejecución (diferencia de medianas = - 33; $p > 0,05$) en la retención (**figura 47**). Estos resultados confirman que con ésta programación también se retiene el aprendizaje con una cierta tendencia a mejorar la precisión del movimiento.

Tabla 22. Prueba de Friedman para las diferencias en la mediana de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica gradual.

				Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
	N	Media	Desviación estándar	51,314	5	0,000
Proporción LF/HF en reposo en la adquisición	18	0,6767	0,45146			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la adquisición	18	3,4278	1,74113			
Proporción LF/HF en recuperación en la adquisición	18	0,6511	0,44673			
Proporción LF/HF en reposo en la retención	18	0,8033	0,68552			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la retención	18	3,5539	2,39879			
Proporción LF/HF en recuperación en la retención	18	0,9811	0,76934			

Tabla 23. Prueba de Friedman para las diferencias en la mediana de la proporción LF/HF entre la **retención y la transferencia** en el programa de práctica gradual.

				Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
	N	Media	Desviación estándar	41,431	4	0,000
Proporción LF/HF en reposo en la retención	15	0,7607	0,6496			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la retención	15	3,0607	1,3958			
Proporción LF/HF en recuperación en la retención	15	0,9040	0,8032			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la transferencia	15	6,9747	3,6449			
Proporción LF/HF en la recuperación en la transferencia	15	0,8260	0,7131			

Tabla 24. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las mediana de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica gradual.

Proporción LF/HF	Ensayo en la adquisición - Reposo en la adquisición	Recuperación en la adquisición - Reposo en la adquisición	Reposo en la retención - Reposo en la adquisición	Ensayo en la retención - Reposo en la adquisición	Recuperación en la retención - Reposo en la adquisición	Recuperación en la adquisición - Ensayo en la adquisición	Reposo en la retención - Ensayo en la adquisición	Ensayo en la retención - Ensayo en la adquisición
Z	-3,883 ^b	-0,729 ^c	-0,261 ^b	-3,823 ^b	-1,328 ^b	-3,920 ^c	-3,702 ^c	-0,261 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,466	0,794	0,000	0,184	0,000	0,000	0,794

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,003$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/15).

Tabla 24. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las medianas de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica gradual (cont).

Proporción LF/HF	Recuperación en la retención - Ensayo en la adquisición	Reposo en la retención - Recuperación en la adquisición	Ensayo en la retención - Recuperación en la adquisición	Recuperación en la retención - Recuperación en la adquisición	Ensayo en la retención - Reposo en la retención	Recuperación en la retención - Reposo en la retención	Recuperación en la retención - Ensayo en la retención
Z	-3,827 ^c	-0,958 ^b	-3,783 ^b	-1,982 ^b	-3,501 ^b	-0,483 ^b	-3,808 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,338	0,000	0,048	0,000	0,629	0,000

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,003$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/15).

Tabla 25. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las medianas de la proporción LF/HF entre la **retención y la transferencia** en el programa de práctica gradual.

Proporción LF/HF	Ensayo en la transferencia - Reposo en la retención	Recuperación en la transferencia - Reposo en la retención	Ensayo en la transferencia - Ensayo en la retención	Recuperación en la transferencia - Ensayo en la retención	Ensayo en la transferencia - Recuperación en la retención	Recuperación en la transferencia - Recuperación en la retención
Z	-3,408	-0,497	-3,413	-3,419	-3,516	-0,568
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,619	0,001	0,001	0,000	0,570

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,008$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/6).

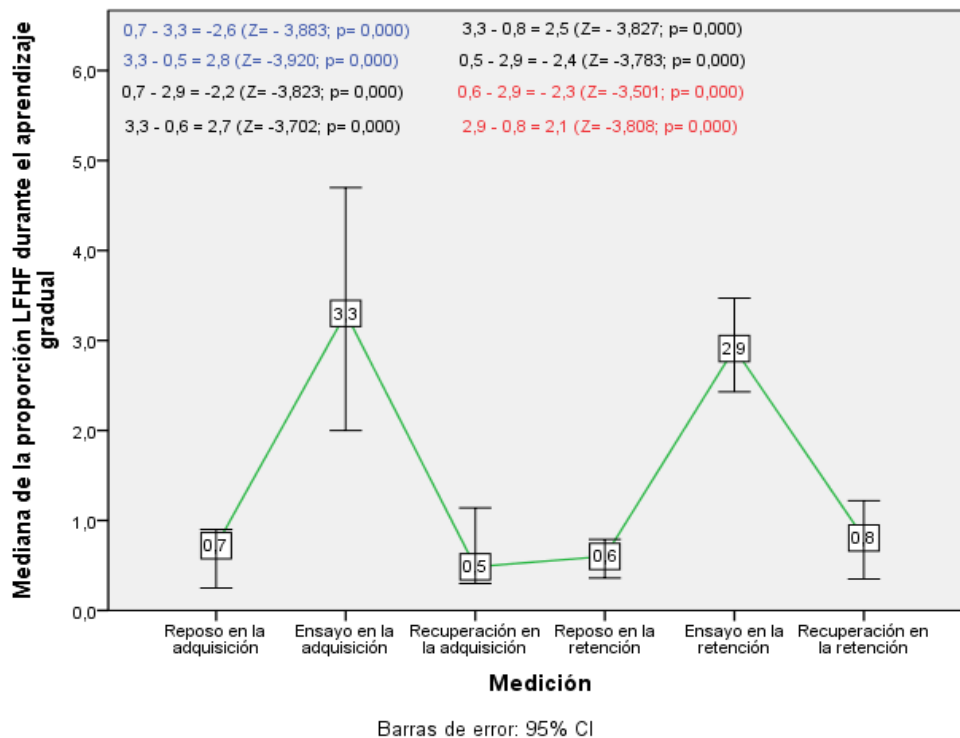


Figura 48. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF durante **adquisición y la retención** en la práctica gradual.

Al interior del grupo de práctica gradual se encontraron las mismas diferencias significativas que con lo práctica bloqueada para algunas de las comparaciones de la proporción LF/HF entre mediciones:

1) en comparación con los valores en estado de reposo, hubo un aumento de la proporción LF/HF en la ejecución de los ensayos, tanto durante la adquisición como en la retención y transferencia de la destreza (**tablas 24 y 25**), y

2) en comparación con los valores en la ejecución de los ensayos, la proporción LF/HF disminuyó en la recuperación posterior a la práctica durante la adquisición, retención y la transferencia (**tablas 24 y 25**).

Por tanto, estos resultados indican que durante un programa gradual de aprendizaje motor, la respuesta de la VFC se modifica con la activación y cese de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos para el óptimo control del movimiento, comportamiento igual al encontrado con la práctica bloqueada.

3) el valor de la proporción LF/HF durante los ensayos mostró una reducción no significativa en la retención (diferencias de mediana= -0,4; $p>0,003$) (figura 48), la cual no parece afectar el DM.

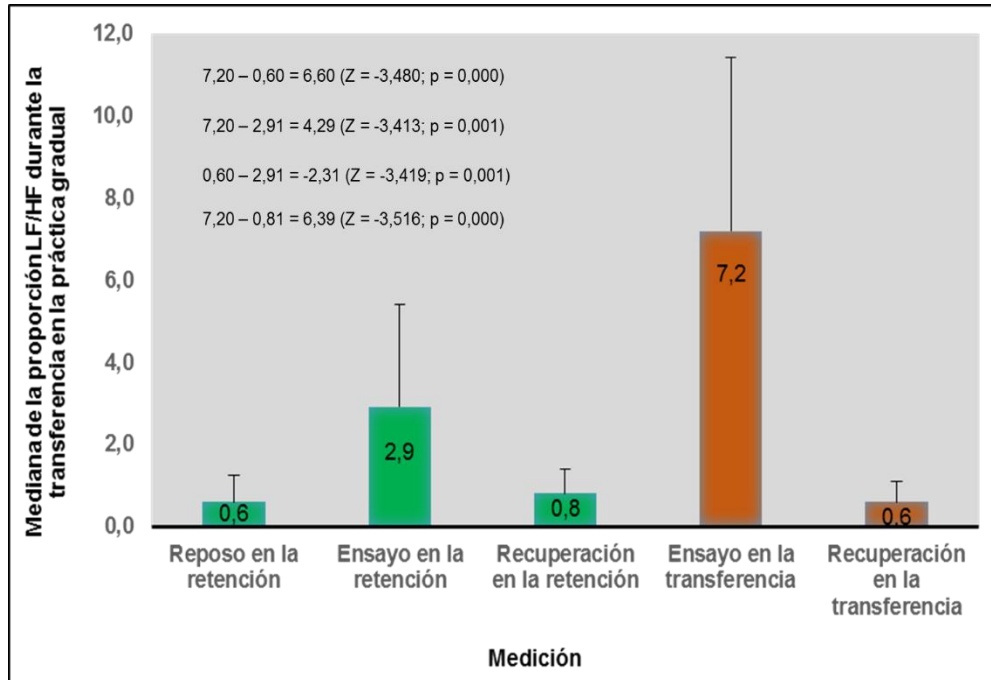


Figura 49. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF durante la **retención y la transferencia** en la práctica gradual.

Al igual que en la práctica bloqueada, al comparar la proporción LF/HF entre los ensayos de retención y los ensayos de transferencia, se presentaron valores significativamente más altos durante los ensayos de transferencia de la destreza (diferencias de medianas= 4,29; $p<0,008$) (figura 49).

Tabla 26. Prueba de Wilcoxon para las diferencias en la mediana de los errores y tiempo de ejecución entre cada medición en el programa de práctica aleatorio.

	Tiempo de ejecución durante la retención - Tiempo de ejecución durante la adquisición	Errores promedio de ejecución durante la retención - Errores promedio durante la adquisición
Z	-0,966 ^c	-1,677 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,334	0,094

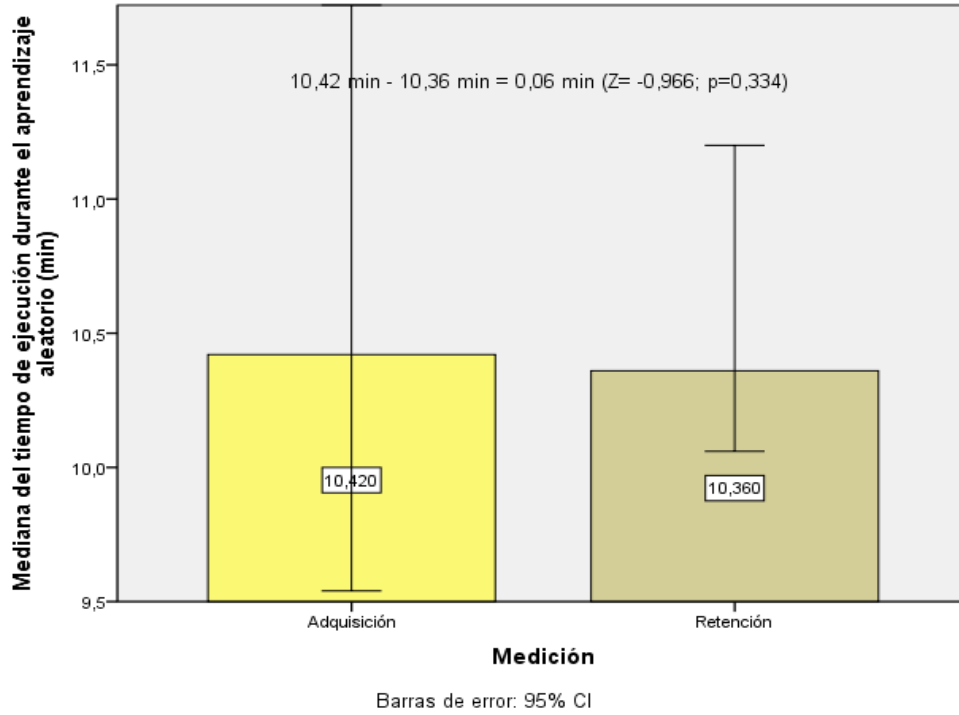


Figura 50. Diferencias en la mediana del tiempo de ejecución durante el aprendizaje aleatorio.

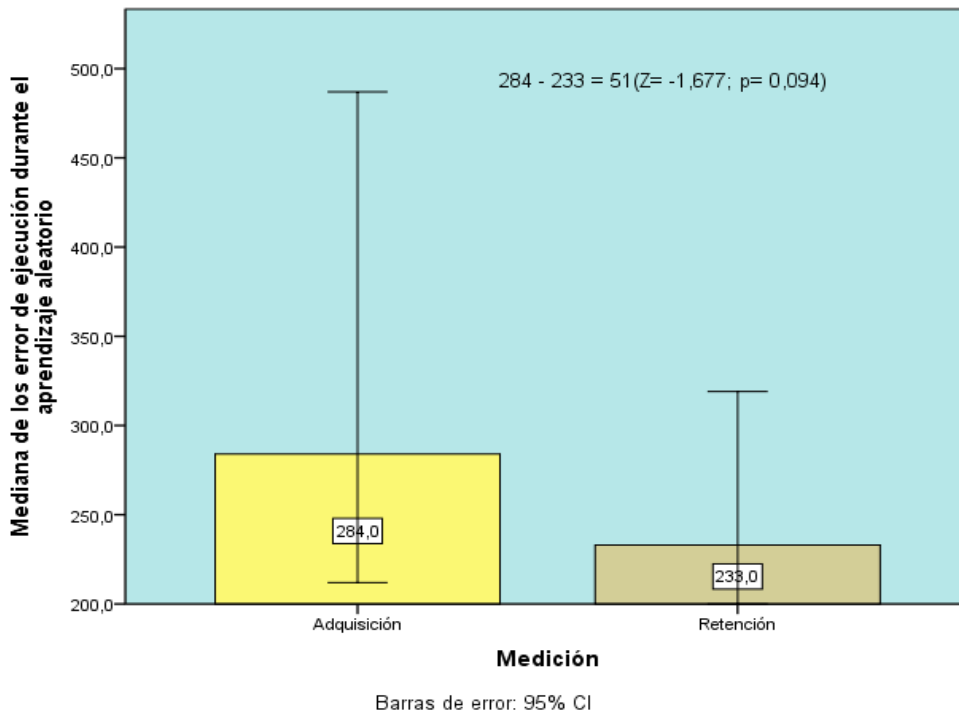


Figura 51. Diferencias en la mediana de los errores de ejecución durante el aprendizaje aleatorio.

Tabla 27. Prueba de Friedman para las diferencias en la mediana de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica aleatorio.

				Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
	N	Media	Desviación estándar	36,551	5	0,000
Proporción LF/HF en reposo en la adquisición	17	,8188	1,12673			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la adquisición	17	2,6294	2,15168			
Proporción LF/HF en la recuperación en la adquisición	17	0,4576	0,28687			
Proporción LF/HF en reposo en la retención	17	1,2047	1,28141			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la retención	17	2,3818	2,07659			
Proporción LF/HF en la recuperación en la retención	17	0,9576	0,75389			

Tabla 28. Prueba de Friedman para las diferencias en la mediana de la proporción LF/HF entre la **retención y la transferencia** en el programa de práctica aleatoria.

				Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
	N	Media	Desviación estándar	39,718	4	0,000
Proporción LF/HF en reposo en la retención	17	1,1941	1,2889			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la retención	17	2,4753	2,3476			
Proporción LF/HF en recuperación en la retención	17	0,8994	0,7552			
Proporción LF/HF promedio durante el ensayo en la transferencia	17	4,0335	2,7141			
Proporción LF/HF en la recuperación en la transferencia	17	0,7694	0,8024			

Tabla 29. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las mediana de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica aleatorio.

Proporción LF/HF	Ensayo en la adquisición - Reposo en la adquisición	Recuperación en la adquisición - Reposo en la adquisición	Reposo en la retención - Reposo en la adquisición	Ensayo en la retención - Reposo en la adquisición	Recuperación en la retención - Reposo en la adquisición	Recuperación en la adquisición - Ensayo en la adquisición	Reposo en la retención - Ensayo en la adquisición	Ensayo en la retención - Ensayo en la adquisición
Z	-3,114 ^b	-1,590 ^c	-1,006 ^b	-3,743 ^b	-1,187 ^b	-3,622 ^c	-2,243 ^c	-0,282 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,002	0,112	0,314	0,000	0,235	0,000	0,025	0,778

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.003$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/15).

Tabla 29. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las mediana de la proporción LF/HF entre la **adquisición y la retención** en el programa de práctica aleatorio (cont).

Proporción LF/HF	Recuperación en la retención - Ensayo en la adquisición	Reposo en la retención - Recuperación en la adquisición	Ensayo en la retención - Recuperación en la adquisición	Recuperación en la retención - Recuperación en la adquisición	Ensayo en la retención - Reposo en la retención	Recuperación en la retención - Reposo en la retención	Recuperación en la retención- Ensayo en la retención
Z	-3,381 ^c	-2,172 ^b	-3,680 ^b	-2,788 ^b	-2,495 ^b	-,604 ^c	-3,547 ^c
Sig. asintótica (bilateral)	0,001	0,030	0,000	0,005	0,013	0,546	0,000

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0.003$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0.05/15).

Tabla 30. Post-hoc de Wilcoxon para las diferencias entre las medianas de la proporción LF/HF entre la **retención y la transferencia** en el programa de práctica aleatoria.

Proporción LF/HF	Ensayo en la transferencia - Reposo en la retención	Recuperación en la transferencia - Reposo en la retención	Ensayo en la transferencia - Ensayo en la retención	Recuperación en la transferencia - Ensayo en la retención	Ensayo en la transferencia - Recuperación en la retención	Recuperación en la transferencia - Recuperación en la retención
Z	-3,574	-0,543	-2,591	-3,547	-3,724	-1,307
Sig. asintótica (bilateral)	0,000	0,587	0,010	0,000	0,000	0,191

Nota. Se aceptó una diferencia significativa cuando $p < 0,008$, según los errores ajustados por los niveles de comparación (i.e, tasa de error de 0,05/6).

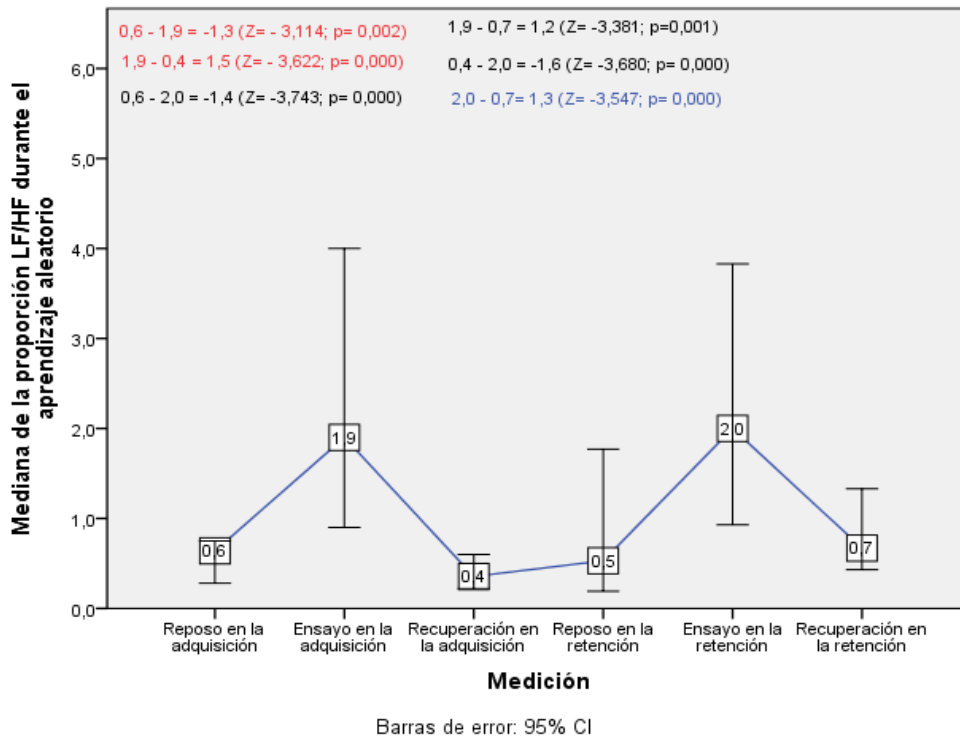


Figura 52. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF durante la **adquisición y la retención** en la práctica aleatoria.

Con la **práctica aleatoria** tampoco hubo diferencias significativas en el DM entre la adquisición y retención de la destreza (**tabla 26**). Hubo cierta tendencia a que disminuyeran los errores de ejecución (diferencia de medianas = - 51; $p > 0,05$) y el tiempo de ejecución (diferencia de medianas = - 0,06 min; $p > 0,05$) en la retención (**figuras 50 y 51**), lo cual confirma la preservación y ligera mejora del DM cuando el programa tiene una elevada interferencia contextual.

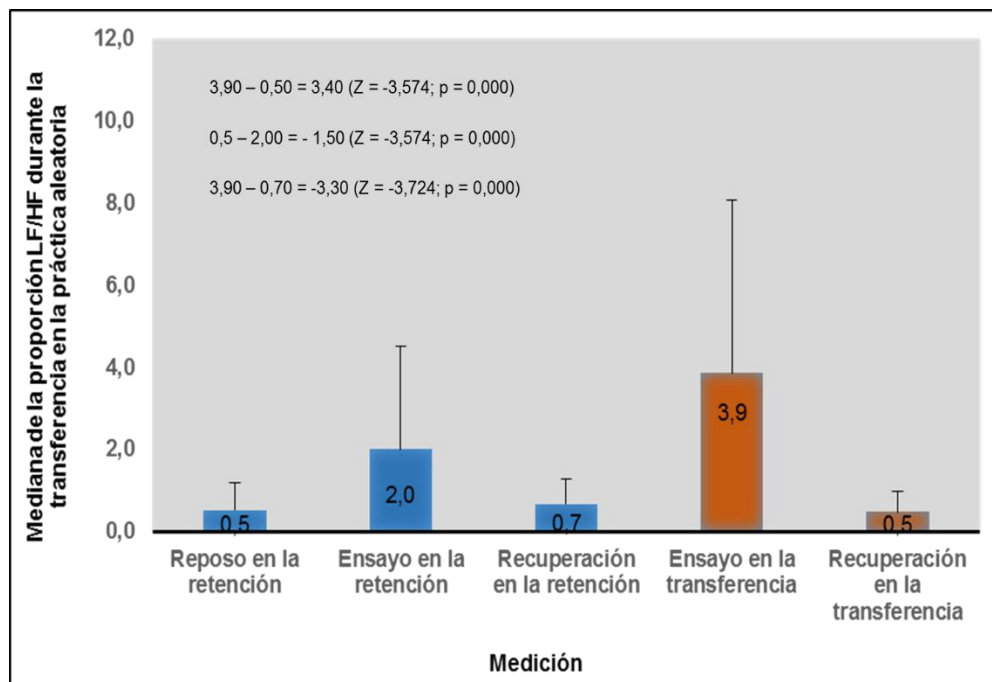


Figura 53. Diferencias en la mediana de la proporción LF/HF durante la **retención y la transferencia** en la práctica aleatoria.

Al comparar los cambios de la variabilidad de la frecuencia cardíaca dentro del grupo de práctica aleatoria, se encontró:

1) diferencias significativas entre los valores de la proporción LF/HF en estado de reposo y en la ejecución de los ensayos **durante la adquisición y la transferencia, pero no así en la retención** de la destreza (**tablas 29 y 30**), y

2) en comparación con el valor promedio en los ensayos durante la adquisición, retención y durante la transferencia, como en los demás grupos la proporción LF/HF disminuyó en la recuperación de manera significativa (**tablas 29 y 30**).

La proporción LF/HF no cambió de manera significativa entre los ensayos de adquisición y retención de la destreza con esta programación del aprendizaje (**figura 52**).

Al comparar la proporción LF/HF entre los ensayos de retención y los ensayos de transferencia, contrario a los demás grupos, no hubo diferencias significativas entre estos valores (diferencias de medianas= 1,90; $p > 0,008$), pero se presentó un mayor valor en la prueba de transferencia coincidiendo con el incremento en el esfuerzo fisiológico durante esta última tarea (**figura 53**).

Por último, cabe mencionar que en ninguno de los grupos hubo diferencias significativas entre la adquisición y la retención en la proporción LF/HF en reposo o en recuperación, así como tampoco entre el reposo y la recuperación en ninguno de estos momentos del aprendizaje (**figuras 44, 48 y 52**). Esto confirma que la VFC se mantiene estable durante el proceso de aprendizaje cuando no existe la presencia de importantes estímulos perceptivo-cinéticos, y que los participantes tuvieron una correcta recuperación cardíaca autónoma que correspondió con el cese de la demanda cognitiva relacionada con la disipación de dichos estímulos.

	Adquisición			Retención					
	Proporción LF/HF reposo	Proporción LF/HF ensayo	Proporción LF/HF recuperación	Tiempo de ejecución	Errores de ejecución	Proporción LF/HF reposo	Proporción LF/HF ensayo	Proporción LF/HF recuperación	
Bloqueada	↑ ≠(p<0.003) Inicio de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos		↓ ≠(p<0.003) Cese de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos	↓ ≠(p<0.05) Retención con mejora de la optimización y precisión del movimiento	↓ ≠(p<0.05) Estado estable previo a la práctica	→ =(p>0.003)	↑ ≠(p<0.05) tendencia (p>0.003)	↑ ≠(p<0.003)	↑ Recuperación óptima y estable =(p>0.003)
Gradual	↑ ≠(p<0.003) Inicio de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos		↓ ≠(p<0.003) Cese de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos	↑ tendencia=(p>0.05) Retención del desempeño motor	↓ tendencia=(p>0.05) Estado estable previo a la práctica	→ =(p>0.003)	↓ tendencia (p>0.003)	↓ ≠(p<0.003)	↓ Recuperación óptima y estable =(p>0.003)
Aleatorio	↑ ≠(p<0.003) Inicio de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos		↓ ≠(p<0.003) Cese de los requerimientos perceptivo-cinéticos y cognitivos	↓ =(p>0.05) Retención del desempeño motor	↓ tendencia=(p>0.05) Estado estable previo a la práctica	→ =(p>0.003)	↑ tendencia=(p>0.05) =(p>0.003)	↓ ≠(p<0.003)	↓ Recuperación óptima y estable =(p>0.003)

Nota. Las celdas en color verde indican las diferencias antes o después de los ensayos. Las celdas sin color indican las diferencias entre la adquisición y la retención. Donde ↑ significa aumento y ↓ disminución; = sin diferencias; ≠ con diferencias.

Figura 54. Diagrama resumen de las diferencia dentro de los grupos.

Resultados de la magnitud de las diferencias observadas dentro de los grupos

Al analizar cómo y en qué magnitud cambia el DM entre la adquisición y la retención de la destreza según el tipo de práctica efectuada, no se encontraron TE significativos para la práctica gradual y aleatoria, ratificando que aunque el DM no mejora, se logra retener el aprendizaje con estas condiciones de práctica. Sin embargo, los participantes que practicaron con ensayos aleatorios muestran cierta tendencia a aumentar el desempeño, a diferencia de quienes ejecutaron ensayos graduales que tienden a disminuirlo (**figura 55**).

Con la práctica bloqueada el TE para el tiempo de ejecución fue significativo con un sentido positivo, indicando un moderado beneficio de este programa sobre el control temporal del movimiento. El análisis del TE de los errores de ejecución con este mismo programa de práctica no detectó diferencias significativas entre mediciones, pero hubo una marcada tendencia hacia el aumento del desempeño en esta variable específica (**figura 55**). De acuerdo con estos datos, con la prueba no paramétrica no es sensible en detectar los errores cometidos con la práctica bloqueada (**figura 55**).

El resto de los resultados de las comparaciones no paramétrica en cada grupo son concordantes con los resultados del TE (**figura 55**).

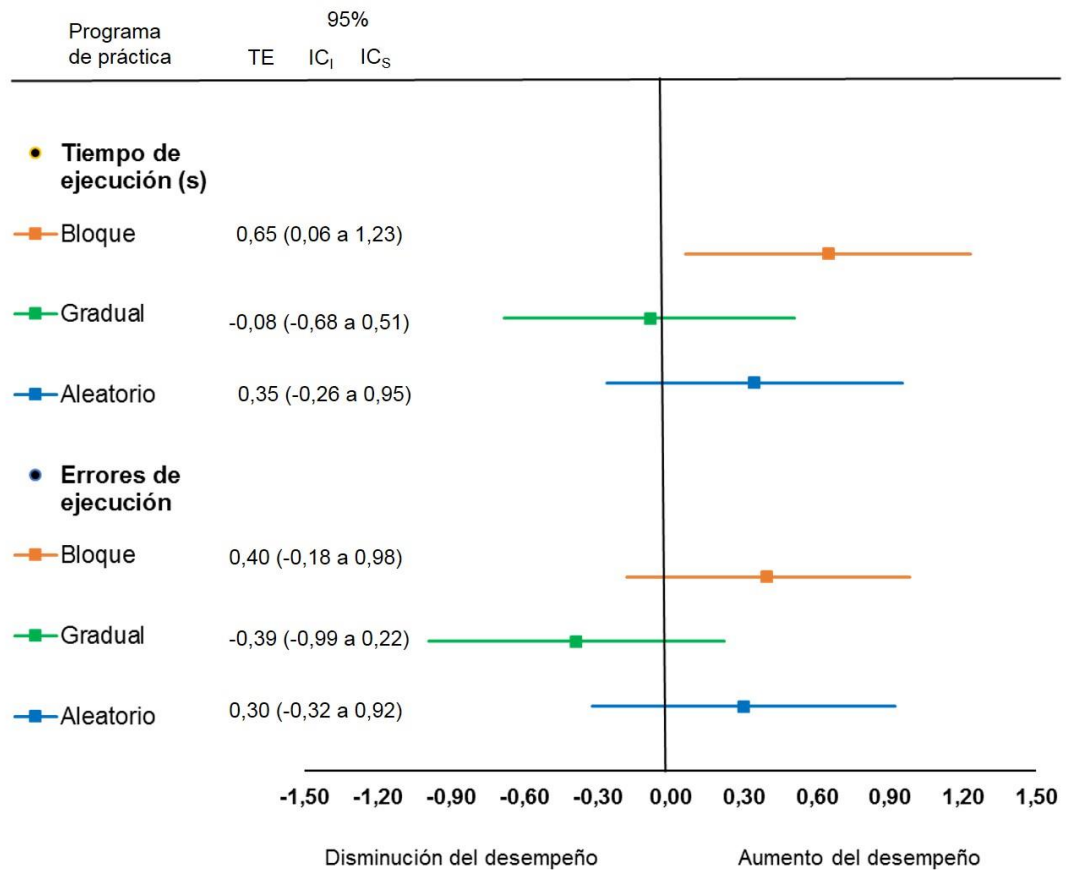


Figura 55. Gráfico de tallos y hojas del tamaño de efecto para la comparación del desempeño motor entre mediciones. Los valores que se presentan son tamaños de efectos (con factor de corrección) y un 95% de intervalo de confianza para cada programa de práctica.

Resultados de las correlaciones entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el desempeño motor

Correlaciones entre la proporción LF/HF y el desempeño motor para cada programa de práctica

Tabla 31. Análisis de correlación entre la proporción LF/HF durante la adquisición y el tiempo de ejecución.

	Tiempo de ejecución durante la adquisición	Tiempo de ejecución durante la retención	Tiempo de ejecución durante la transferencia
Proporción LF/HF durante el reposo	Práctica bloqueada		
	Rho = -0,042; p=0,856	Rho = 0,029; p=0,901	Rho = 0,066; p=0,781
	Práctica aleatoria		
	r= -0,249; p=0,304	r= -0,250; p=0,922	Rho = -0,046; p=0,853
	Práctica gradual		
	r= -0,199; p=0,415	r= -0,215; p=0,376	Rho = -0,006; p=0,983
Proporción LF/HF durante el ensayo	Práctica bloqueada		
	Rho = 0,001; p=0,996	Rho = 0,033; p=0,887	Rho = 0,038; p=0,875
	Práctica aleatoria		
	Rho = 0,011; p=0,996	Rho = 0,102; p=0,687	Rho = -0,186; p=0,445
	Práctica gradual		
	r= -0,420; p=0,065	r= 0,001; p=0,996	Rho = -0,049; p=0,852
Proporción LF/HF durante la recuperación	Práctica bloqueada		
	Rho = 0,096; p=0,678	Rho = -0,091; p=0,695	Rho = 0,171; p=0,471
	Práctica aleatoria		
	Rho = -0,327; p=0,185	Rho = -0,084; p=0,741	Rho = -0,115; p=0,651
	Práctica gradual		
	r= -0,329; p=0,169	r= -0,126; p=0,606	Rho = 0,004; p=0,987

Tabla 32. Análisis de correlación entre la proporción LF/HF durante la adquisición y los errores de ejecución.

	Errores de ejecución durante la adquisición	Errores de ejecución durante la retención	Errores de ejecución durante la transferencia
Proporción LF/HF durante el reposo		Práctica bloqueada	
	Rho = -0,062; p=0,790	Rho = -0,081; p=0,734	Rho = -0,178; p=0,453
		Práctica aleatoria	
	r = -0,121; p=0,632	r = -0,048; p=0,854	Rho = -0,074; p=0,771
		Práctica gradual	
	r = -0,198; p=0,431	Rho = -0,293; p=0,223	r = -0,177; p=0,481
Proporción LF/HF durante el ensayo		Práctica bloqueada	
	Rho = -0,005; p=0,984	Rho = 0,055; p=0,819	Rho = -0,081; p=0,735
		Práctica aleatoria	
	Rho = 0,247; p=0,323	Rho = 0,036; p=0,892	Rho = -0,103; p=0,685
		Práctica gradual	
	r = -0,281; p=0,243	Rho = -0,226; p=0,339	r = 0,169; p=0,489
Proporción LF/HF durante la recuperación		Práctica bloqueada	
	Rho = 0,092; p=0,691	Rho = 0,047; p=0,845	Rho = 0,153; p=0,518
		Práctica aleatoria	
	Rho = -0,157; p=0,548	Rho = 0,147; p=0,587	Rho = -0,098; p=0,708
		Práctica gradual	
	r = -0,352; p=0,152	Rho = -0,288; p=0,232	r = -0,238; p=0,341

Tabla 33. Análisis de correlación entre la proporción LF/HF durante **la retención** y el tiempo de ejecución.

	Tiempo de ejecución durante la adquisición	Tiempo de ejecución durante la retención	Tiempo de ejecución durante la transferencia
Proporción LF/HF durante el reposo		Práctica bloqueada	
	$r = 0,574; p=0,007$	Rho = 0,047; p=0,839	Rho = 0,383; p=0,096
		Práctica aleatoria	
	Rho = 0,016; p=0,949	Rho = 0,433; p=0,073	Rho = 0,247; p=0,309
		Práctica gradual	
	Rho = -0,270; p=0,279	Rho = -0,350; p=0,142	Rho = -0,006; p=0,983
Proporción LF/HF durante el ensayo		Práctica bloqueada	
	Rho = 0,129; p=0,577	Rho = 0,276; p=0,226	Rho = 0,093; p=0,696
		Práctica aleatoria	
	Rho = 0,046; p=0,848	Rho = 0,071; p=0,772	Rho = 0,061; p=0,799
		Práctica gradual	
	$r = -0,251; p=0,301$	$r = -0,126; p=0,595$	Rho = -0,049; p=0,852
Proporción LF/HF durante la recuperación		Práctica bloqueada	
	$r = 0,380; p=0,090$	Rho = 0,136; p=0,555	Rho = 0,131; p=0,582
		Práctica aleatoria	
	$r = -0,287; p=0,221$	$r = 0,232; p=0,340$	Rho = 0,139; p=0,558
		Práctica gradual	
	$r = -0,385; p=0,104$	$r = -0,230; p=0,330$	Rho = -0,017; p=0,948

Tabla 34. Análisis de correlación entre la proporción LF/HF durante **la retención** y los errores de ejecución.

	Errores de ejecución durante la adquisición	Errores de ejecución durante la retención	Errores de ejecución durante la transferencia
	Práctica bloqueada		
	r = 0,585; p=0,005	r = 0,471; p=0,036	r = 0,273; p=0,244
	Práctica aleatoria		
Proporción LF/HF durante el reposo	Rho = 0,063; p=0,804	Rho = -0,188; p=0,471	Rho = 0,212; p=0,399
	Práctica gradual		
	Rho = -0,163; p=0,532	Rho = -0,432; p=0,074	Rho = -0,159; p=0,541
	Práctica bloqueada		
	Rho = 0,019; p=0,933	Rho = 0,260; p=0,268	Rho = -0,241; p=0,306
	Práctica aleatoria		
Proporción LF/HF durante el ensayo	Rho = 0,129; p=0,599	Rho = 0,138; p=0,584	Rho = 0,209; p=0,390
	Práctica gradual		
	r = 0,073; p=0,774	Rho = -0,030; p = 0,904	r = -0,344; p=0,162
	Práctica bloqueada		
	r = 0,226; p=0,324	r = 0,054; p=0,820	r = 0,323; p=0,165
	Práctica aleatoria		
Proporción LF/HF durante la recuperación	r = 0,263; p=0,277	r = -0,060; p=0,814	Rho = 0,339; p = 0,156
	Práctica gradual		
	r = -0,077; p=0,763	Rho = -0,149; p = 0,542	r = -0,460; p=0,055

Tabla 35. Análisis de correlación entre la proporción LF/HF durante la transferencia y el tiempo de ejecución.

	Tiempo de ejecución durante la adquisición	Tiempo de ejecución durante la retención	Tiempo de ejecución durante la transferencia
Proporción LF/HF durante el ensayo		Práctica bloqueada	
	$r = 0,171; p=0,459$	$Rho = 0,103; p=0,658$	$Rho = 0,229; p=0,332$
		Práctica aleatoria	
	$r = -0,272; p=0,275$	$r = -0,015; p=0,954$	$Rho = -0,390; p=0,109$
		Práctica gradual	
	$r = -0,163; p=0,561$	$r = -0,375; p=0,152$	$Rho = -0,236; p=0,398$
Proporción LF/HF durante la recuperación		Práctica bloqueada	
	$Rho = 0,044; p=0,849$	$Rho = -0,129; p=0,576$	$Rho = 0,112; p=0,638$
		Práctica aleatoria	
	$Rho = -0,084; p=0,724$	$Rho = 0,309; p=0,198$	$Rho = 0,010; p=0,967$
		Práctica gradual	
	$r = -0,006; p=0,981$	$r = -0,021; p = 0,935$	$Rho = 0,085; p=0,747$

Tabla 36. Análisis de correlación entre la proporción LF/HF durante **la transferencia** y los errores de ejecución.

	Errores de ejecución durante la adquisición	Errores de ejecución durante la retención	Errores de ejecución durante la transferencia
Proporción LF/HF durante el ensayo		Práctica bloqueada	
	r= 0,138; p=0,550	r= 0,260; p=0,267	r= -0,183; p=0,440
		Práctica aleatoria	
	r= 0,281;p=0,275	r= -0,302;p=0,255	Rho= -0,448; p=0,071
		Práctica gradual	
	r= -0,422; p=0,133	Rho= -0,325; p=0,237	r= -0,264; p=0,343
Proporción LF/HF durante la recuperación		Práctica bloqueada	
	Rho = -0,012; p=0,960	Rho= -0,77; p=0,747	Rho = 0,291; p=0,213
		Práctica aleatoria	
	Rho= -0,117; p=0,468	Rho= 0,185; p=0,463	Rho= 0,258; p=0,286
		Práctica gradual	
	r= -0,090; p=0,739	Rho= -0,023; p=0,929	r= -0,362; p=0,154

En cuanto a las correlaciones entre la respuesta de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y los errores o tiempo de ejecución **durante la adquisición** de la destreza, no se encontró correlación significativa en ninguno de los tres programas (i.e. bloqueado, aleatorio y gradual) (**tablas 31 y 32**), lo cual sugiere que en este período inicial de la práctica en el que el participante entrena la destreza para ser más proficiente en ella, el DM fue independiente de la respuesta del sistema cardíaco autónomo antes, durante e instantes después de la práctica en dicho período.

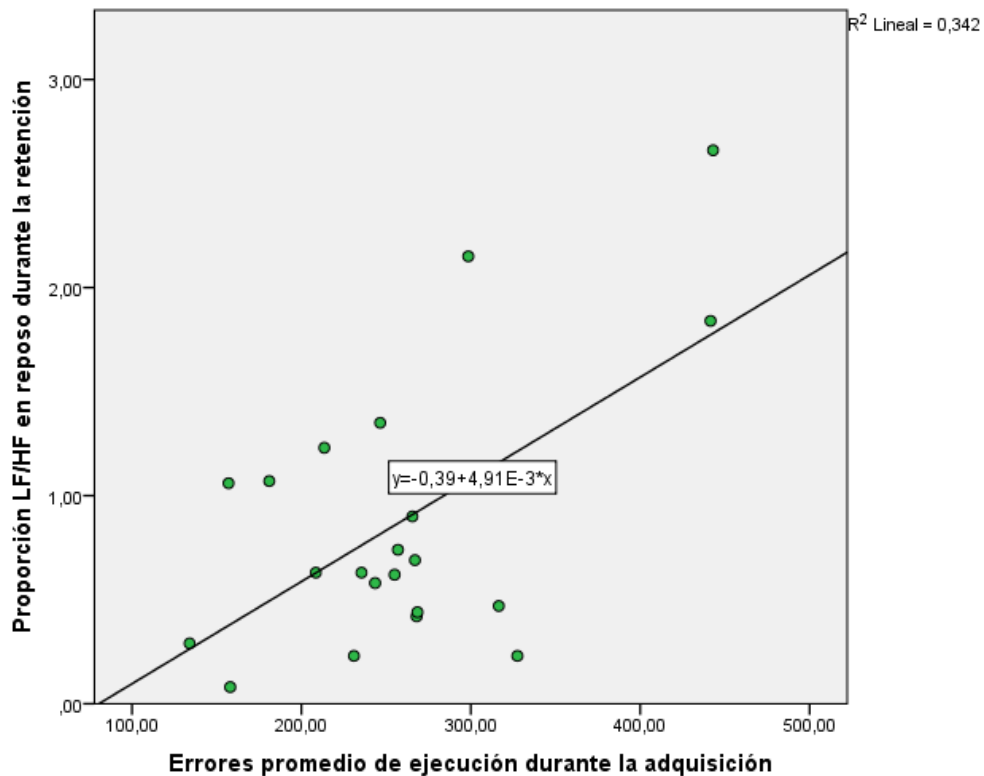


Figura 56. Correlación entre los errores promedio de ejecución (pierna izquierda y derecha) durante la adquisición y la proporción LF/HF en reposo durante la retención con la práctica bloqueada. $p < 0.05$.

Sin embargo, **durante la retención** se observaron correlaciones relevantes solo en el **programa de práctica bloqueada**, específicamente, más tiempo ($r = 0.574$; $p < 0.01$) y errores ($r = 0.585$; $p < 0.01$) de ejecución durante la adquisición, se correlacionaron moderadamente con aumentos de la proporción LF/HF en reposo durante la retención de la destreza; mientras que mayores valores de la proporción LF/HF en reposo durante la retención se correlacionaron con más errores de ejecución también en la retención ($r = 0.471$; $p < 0.05$) (tablas 33 y 34; figuras 56-58). Estos hallazgos demuestran a que en personas sanas que entrenan el control del movimiento para el desplazamiento del centro de masa del cuerpo con una programación bloqueada, una pobre adquisición de esta destreza puede perturbar la función cardíaca en reposo en la etapa de validación del aprendizaje (i.e., retención). A su vez, en esta etapa de retención, elevados valores en la función cardíaca en reposo previo a la práctica, se asocian con más errores de ejecución, indicando que cuando se inicia la práctica de una destreza motriz con una aumentada actividad simpática, la precisión en el control del movimiento será deficiente.

Por otra parte, el DM **durante la adquisición y retención** no se correlacionó con la proporción LF/HF **durante la transferencia** (tablas 35 y 36), indicando que los cambios en la respuesta cardíaca autónoma durante y posterior a los ensayos de transferencia,

no fueron dependientes de las variaciones en los errores o tiempo de ejecución en las fases previas de práctica o aprendizaje. Esta falta de correlación también se observó entre el DM y la proporción LF/HF en la propia fase de transferencia de la destreza.

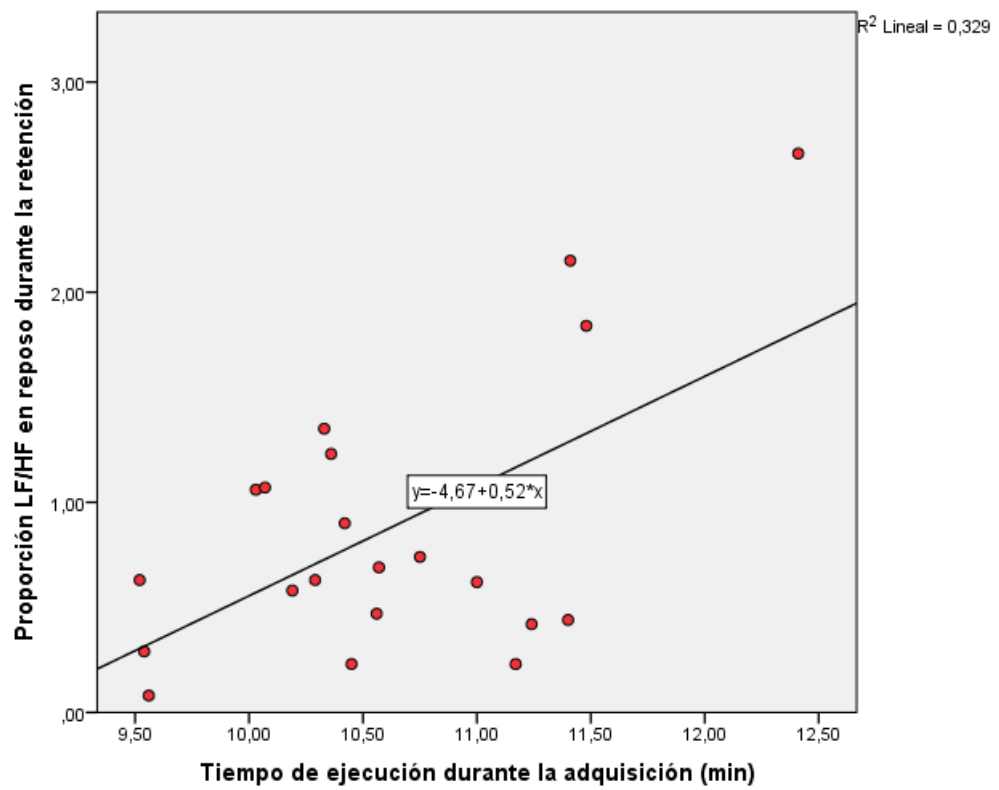


Figura 57. Correlación entre el tiempo de ejecución durante la adquisición y la proporción LF/HF en reposo durante la retención con la práctica bloqueada. $p < 0.05$

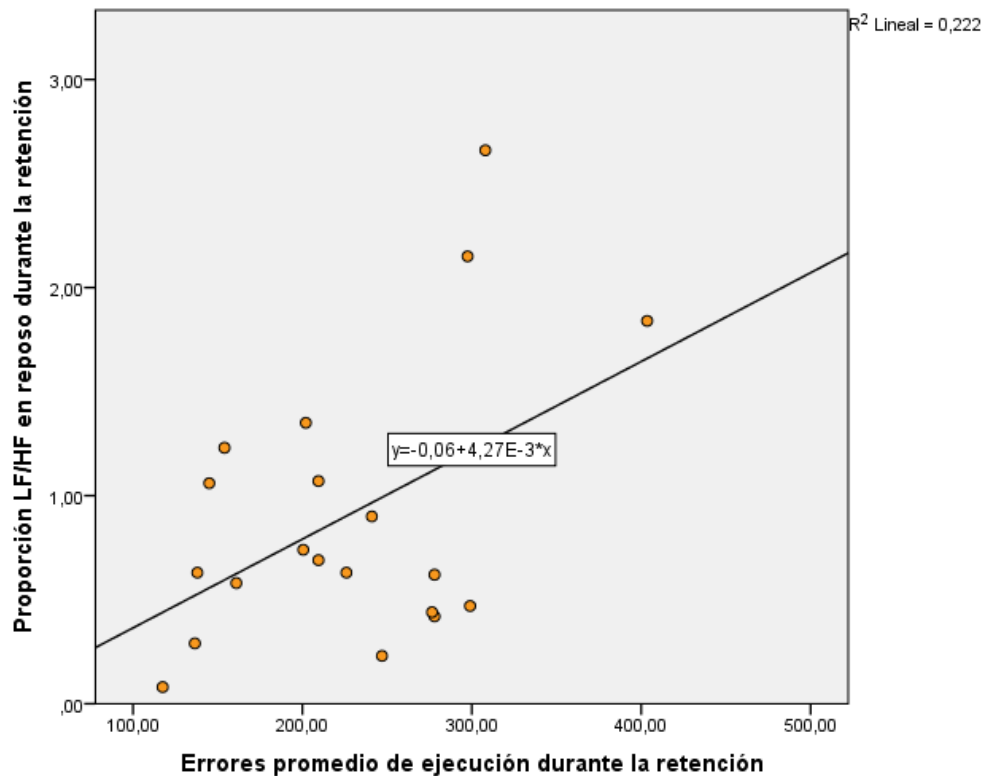


Figura 58. Correlación entre la proporción LF/HF en reposo durante la retención y los errores promedio de ejecución (pierna izquierda y derecha) durante la retención con la práctica bloqueada. $p < 0.05$

Resultados de las correlaciones entre el porcentaje de variación del peso corporal en la prueba simple de sentarse y levantarse y el desempeño motor

Correlaciones entre el porcentaje de variación del peso corporal en la prueba simple de sentarse y levantarse y el desempeño motor en la transferencia para cada programa de práctica

Al analizar las correlaciones entre el DM **durante la transferencia** y el porcentaje de variación lateral (ms) del peso corporal en una prueba simple de sentarse y levantarse evaluada previo al entrenamiento de la destreza, en ninguno de los programas de práctica (i.e. bloqueada, aleatorio y gradual) hubo correlación estadísticamente significativa (**tabla 37**), lo cual sugiere que la pro-eficiencia en la transferencia es independiente del equilibrio dinámico del participante.

Tabla 37. Análisis de correlación entre el porcentaje de variación del peso corporal en la prueba de sentarse y levantarse y el desempeño motor en la transferencia.

	Tiempo de ejecución durante la transferencia	Errores de ejecución durante la transferencia
Porcentaje de variación lateral por milisegundo del peso corporal en la prueba simple de sentarse y levantarse	Práctica bloqueada	
	Rho = 0,086; p=0,703	Rho = 0,294; p=0,184
	Práctica aleatoria	
	Rho = 0,277; p=0,250	Rho = 0,135; p=0,582
	Práctica gradual	
	Rho = 0,112; p=0,679	r = 0,348; p=0,157

Resultados de las regresiones lineales para las correlaciones significativas

Regresiones lineales para las correlaciones significativas en el grupo de práctica bloqueada

Tabla 38. Resumen del modelo de la regresión lineal múltiple para la predicción de la proporción LF/HF en reposo durante la retención, y los errores y tiempo de ejecución durante la adquisición como variables predictoras.

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson	F	Sig.
1	0,585 ^a	0,342	0,553	2,048	9,881	0,005

a. Predictores: (Constante), Errores promedio de ejecución durante la adquisición

b. Variable dependiente: Proporción LF/HF en reposo durante la retención

Variable excluida: Tiempo de ejecución (min) durante la adquisición (t= 0,738; p = 0,470)

Al analizar el valor predictivo que el DM durante la adquisición tuvo sobre la proporción LF/HF en reposo al inicio de la prueba de retención, el único modelo de regresión encontró que solo los errores promedio de ejecución pueden explicar aproximadamente un 35% de los cambios en esta variable, mientras que el modelo eliminó el tiempo de ejecución por su débil valor predictivo (tabla 38).

Tabla 39. Resumen del modelo de la regresión lineal simple para la predicción de los errores promedio de ejecución durante la retención y la proporción LF/HF en reposo durante la retención como variable predictora.

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson	F	Sig.
1	0,471 ^a	0,222	66,594	2,004	5,126	0,036

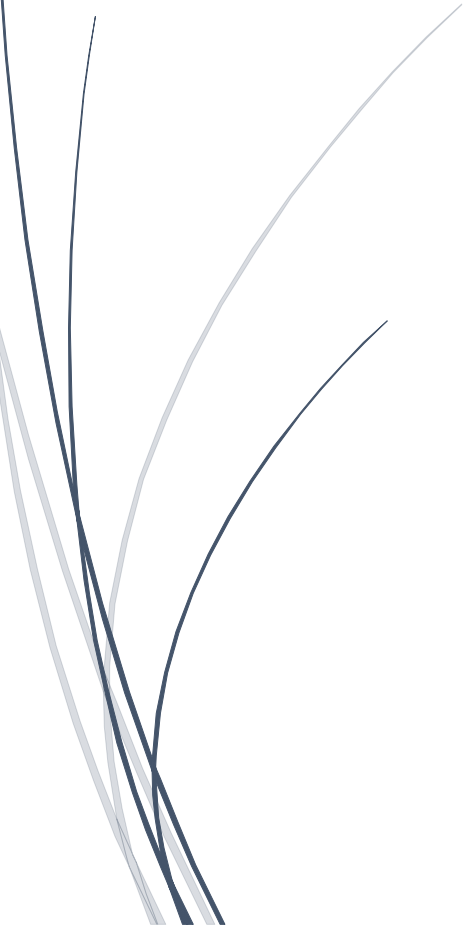
a. Predictores: (Constante), Proporción LF/HF en reposo durante la retención

b. Variable dependiente: Errores promedio de ejecución durante la retención

Un menor peso arrojó el modelo de regresión lineal simple para la predicción de la precisión del movimiento en la retención. Aproximadamente un 20% de los errores de ejecución pudieron ser explicados por los cambios en la proporción LF/HF en reposo (tablas 39).



Discusión



DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como principal objetivo concretar la metodología más efectiva para mejorar el DM en la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación, de acuerdo con sus posibles determinantes.

Características generales de los participantes

Al precisar las características generales de los participantes en cuanto a la edad, el peso corporal, el IMC, y el equilibrio postural estático y dinámico en bipedestación, se encontró que los grupos de comparación fueron homogéneos en cuanto a dichas características ($p > 0,05$) (**tabla 2**). Estos resultados confirman que el procedimiento de asignación aleatoria de los participantes a los programas de práctica, como técnica de control experimental (Kerlinger & Lee, 2000), fue efectivo ayudando a controlar el efecto que estas fuentes externas de varianza pudieron tener sobre la adquisición, retención y transferencia de una destreza fundamental de equilibrio postural, como el desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación.

En cuanto a la edad, Iverson & Koehle, (2013) reportaron que el equilibrio postural no difiere en personas sanas con edades entre los 20 y 49 años, ya que el equilibrio postural es una destreza que permanece estable a lo largo de estas décadas de vida. De hecho, en el presente estudio no se observó una diferencia significativa entre los participantes al comparar el índice de fluctuación como un indicador de la habilidad para mantener el equilibrio postural durante una prueba estática simple en bipedestación, así como en una prueba dinámica de sentarse y levantarse ($p > 0,05$) (**tabla 2**), lo cual permite confirmar que los grupos fueron homogéneos desde el inicio en esta característica, por lo tanto, las posibles diferencias encontradas entre los grupos en el desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal en bipedestación no se deberían atribuir a la edad y a la habilidad de mantener el equilibrio postural de los participantes.

Cuando se comparan los valores obtenidos por los participantes del estudio, con los valores de referencia del índice de fluctuación sugeridos por los fabricantes de la plataforma COBS Feedback (Instruction Measurements Manual, 1995) para las pruebas de equilibrio (**figuras 14 y 15**), se encontró que estos difirieron tanto para la prueba de equilibrio estático (valores de referencia = 0,0 a 0,3% vs encontrado en el estudio = 0,43 a 0,72%) como para la prueba de sentarse y levantarse (valores de referencia = 0,0 a 1,0% vs encontrado en el estudio = 2,15 a 2,30%). Pese a que estas diferencias no serán objeto de un análisis profundo porque se desconoce la veracidad de los valores de

referencia, es posible que las mismas se deban al nivel de habilidad de los participantes evaluados (experto o novato). Recuérdese que, en el presente estudio, se establecieron rigurosos criterios de exclusión según la experiencia previa del participante en programas de entrenamiento de coordinación, equilibrio o propiocepción de miembros inferiores, o en la instrucción formal en este tipo de destrezas. No obstante, para efectos de este estudio, estos valores deben interpretarse de la siguiente manera: un mayor índice de fluctuación, o sea, un elevado promedio de la variación porcentual de carga de las piernas en el tiempo, es indicativo de una menor habilidad para mantener el equilibrio estático o dinámico. Por lo tanto, era de suponer que éste índice fuera superior en la prueba dinámica de equilibrio postural, donde aumenta la variación de la carga entre miembros y la puesta en marcha de estrategias de control postural para estabilizar el centro de masa, debido a la perturbación autoiniciada generada por la propia acción de sentarse y levantarse (Horak, 2006).

Como se mencionó en el capítulo 1, el IMC es otro factor que parece afectar el equilibrio postural en sujetos sin alteraciones sensoriales (Gallego Gómez, et al 2011; Iverson & Koehle, 2013; Ludwig, 2017), debido a que el exceso de peso afecta a largo plazo a la selección de estrategias motoras para mantener el equilibrio (Kejonen, Kauranen, & Vanharanta, 2003). En el presente estudio, al comparar los grupos de práctica no se hallaron diferencias en el IMC de los participantes ([tabla 2](#)), lo que sugiere que dichos grupos estuvieron expuestos de manera similar a este factor durante la realización del estudio, y que las posibles diferencias en el DM entre los participantes de los distintos grupos de práctica, no estarán influenciadas por esta variable.

A continuación, se discuten los resultados de las comparaciones entre grupos y al interior de cada grupo. En síntesis, los resultados encontrados se explican de acuerdo a los **hallazgos de estudios comportamentales** que consideran 1) la influencia de variables moderadoras sobre el efecto de IC, así como también, por **hallazgos neurofisiológicos** que incluyen 2) la mejora de la conectividad neural, 3) el reclutamiento y 4) patrones de reclutamiento de regiones del cerebro involucradas en la toma de decisiones para la planificación de la secuencia motriz, así como por, 5) el tiempo de tratamiento cortical de la información y por 6) la capacidad para utilizar los recursos atencionales y la memoria de trabajo.

Comprobación de la hipótesis 1

Hipótesis 1. Al comparar los diferentes programas de práctica, estos no beneficiarán de igual manera el DM y la respuesta del equilibrio autónomo cardíaco en la adquisición, retención y transferencia de la destreza.

Practicar bajo diferentes programas no produjo un igual beneficio en:

- los errores de ejecución y la recuperación de la respuesta del control autónomo cardíaco durante la adquisición,
- los errores de ejecución durante la retención,
- la respuesta cardíaca durante los ensayos de transferencia.

Por lo tanto, **esta hipótesis se comprobó parcialmente**.

Comparaciones de las diferencias entre los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF **durante la adquisición**.

Los resultados de las comparaciones en la mediana entre grupos mostraron diferencias significativas únicamente en los errores de ejecución y la proporción LF/HF en la recuperación.

▪ **Análisis del desempeño motor**

El **tiempo total** requerido para completar los ensayos fue similar entre todos los programas de práctica ($p > 0,05$) (**figura 34**), pero al analizar el número de **errores promedio** cometidos, se presentó una mayor precisión con la práctica bloqueada en comparación con la práctica gradual con una diferencia grande de acuerdo al tamaño de efecto ($TE = 0,93$; $IC_{95\%}: 0,29$ a $1,56$; $p < 0,05$) (Cohen, 1988) (**figura 41**); mientras que no hubo diferencias entre la práctica gradual y aleatoria ($p > 0,05$) (**figura 35**).

El hecho de que el desempeño con la práctica gradual no sea superior a otros programas, es contrario a lo reportado por Porter & Magill, (2010) y Porter, & Saemi, (2010). Estos autores encontraron que se alcanza un nivel de DM superior cuando se ajusta gradualmente la dificultad de la tarea comparado a cuando se practica un programa tradicional (bloqueado o aleatorio), basado en que, para propiciar un entorno de práctica óptimo, se requiere fijar la cantidad de práctica a las necesidades del practicante, lo cual consiste en aplicar la perspectiva de "dificultades deseables" y la "hipótesis del punto de desafío". Estas perspectivas consideran que a medida que el practicante se vuelve más hábil durante la práctica, se reduce la dificultad funcional de la tarea practicada, y esto implica que para desafiar apropiadamente al practicante en un nivel "deseable" de dificultad de la tarea funcional, el ambiente de práctica debería cambiar a medida que cambia el nivel de desempeño del practicante. Por lo tanto, una forma de lograr este tipo de cambio es variar gradualmente la cantidad de IC en el programa de práctica (Porter & Magill, 2010). Es posible que estas perspectivas resulten útiles para programar la práctica de destrezas discretas que se caracterizan por ser relativamente cortas en duración, y tienen un principio y final bien definidos (Schmidt &

Lee, 2014, p8), sin embargo, y de acuerdo a los resultados del presente estudio, la práctica de destrezas continuas (donde el movimiento o comportamiento motor fluye durante algunos minutos, Schmidt & Lee, 2014, p8) no parece ser susceptible a dichas perspectivas, al menos cuando se busca mejorar con pocos ensayos la precisión en este tipo de destreza.

Por otra parte, no se encontró diferencias en la mediana del tiempo y los errores de ejecución entre la práctica bloqueada y aleatoria ($p > 0.05$) (figura 35). De modo, que este estudio no respalda el efecto de IC durante la adquisición. Para repasar dicho efecto, este se presenta cuando la práctica en orden aleatorizado disminuye el DM, mientras que la práctica bloqueada lo mejora (Wright et al., 2016). No obstante, hubo una clara tendencia a que se presentara una mejor precisión con la práctica bloqueada, ya que a juzgar por el TE obtenido (TE = 0,62; IC95%: 0,00 a 1,24), hubo una diferencia moderada y no significativa a favor de dicha práctica en comparación con la práctica aleatoria, en donde hubo un mayor número de errores de ejecución (figura 41), lo que parece aproximar dichos resultados a lo reportado en la literatura (Wright et al., 2016).

A pesar de que a finales del siglo pasado ya se había encontrado que la proficiencia de equilibrio medio-lateral sobre un estabilómetro mejoraba en la medida que se aumentaban los bloques de ensayos o existiera información disponible para el practicante (ya sea en forma de retroalimentación producida por la respuesta o conocimiento de los resultados) (Wade, & Newell, 1972), un reciente estudio demuestra, quizás por primera ocasión durante una tarea de seguimiento óculo-motriz (similar a la utilizada en el presente estudio), que la diferencia a corto plazo (adquisición) en el DM entre la práctica bloqueada y aleatoria se reduce en la medida que aumentan los ensayos de adquisición (Chalavi et al., 2018). Este hallazgo sugiere en primer lugar, que en este estudio se ejecutó un número suficiente de ensayos para que las diferencias entre la práctica bloqueada y aleatoria no fuera pronunciada, y en segundo lugar, que la veracidad del efecto de IC en la fase de adquisición se ve comprometido, sobretodo, cuando la tarea que se practica requiere del uso de las presentaciones cinéticas de retroalimentación del movimiento (carga de peso en cada extremidad) y de un amplio procesamiento de los estímulos visuales (e.g. un punto objetivo en movimiento, y dirección y sentido del movimiento). Cuando la tarea motriz a ejecutar presenta tales procesamientos de los estímulos visuales, la respuesta en la corteza occipital de un importante neurotransmisor de inhibición de la actividad cerebral (ácido gamma-aminobútrico, GABA por sus siglas en inglés), es similar entre el régimen de práctica aleatorio y bloqueada (Chalavi et al., 2018), lo cual contribuye a explicar los resultados del presente estudio, y desvela una nueva hipótesis que postula que el efecto de IC

también estaría mediado por la magnitud del procesamiento de la información visomotriz.

Por otra parte, la contabilización de la demanda atencional durante el ambiente de práctica de baja y alta IC, es otro factor que podría explicar porque en este estudio no se observó el efecto de IC en la adquisición. Es conocido que el aumento de IC en la práctica de adquisición fomenta una programación motriz más activa que requiere una mayor demanda atención por parte del practicante, lo que a su vez impacta negativamente en la tasa de mejora del desempeño durante esta fase. Li y Wright, (2000) fueron unos de los primeros autores en reportar actividad en regiones implicadas en la orientación de la atención (e.g. vía cortico-cerebelosa y cortico-estriatal) durante la práctica de adquisición con alta IC. Los practicantes expuestos a la práctica aleatoria mantienen un nivel constante de activación dentro de algunas regiones de planificación motriz, mientras incrementan la actividad en otras regiones (corteza motora secundaria: áreas premotoras lateral (dorsal y ventral), medial (área motora pre suplementaria “pSMA”) y el SMA) que son importantes para mejorar el desempeño de la secuencia motriz a lo largo de la práctica (Hardwick et al., 2013; Penhune & Steele, 2012).

En el caso de la práctica bloqueada, Wymbs & Grafton, (2009) informaron que los patrones de reclutamiento durante la adquisición involucraron un subconjunto más restringido de regiones neuronales durante un tiempo significativamente menor, lo que implica que ocurre una menor actividad preparatoria para el almacenamiento y la recuperación exitosa de los fragmentos de secuencia motriz (menor demanda cognitiva), lo que parece explicar el mejor DM en la adquisición durante el contexto de práctica de baja IC.

De acuerdo a las perspectivas teóricas de elaboración y olvido-reconstrucción (Lee & Magill, 1983; Shea, Hunt, & Zimny, 1985), durante la práctica con alta IC se produce una demanda extra de atención debido a las operaciones cognitivas únicas de prueba a prueba que debe realizar el practicante durante el proceso de programación de la próxima secuencia motriz, lo cual convierte a la práctica aleatoria en un entorno muy exigente debido a la necesidad de ejecutar un amplio grupo de operaciones cognitivas necesarias para ejecutar la tarea. Estas operaciones cognitivas son el resultado de dos procesos distintos de programación motriz: 1) recuperar de forma eficiente los fragmentos de secuencia motriz basado en los aspectos perceptivos o valores paramétricos de ejecución de la próxima secuencia motriz, y 2) organizar estos fragmentos en el orden serial correcto antes de la ejecución.

Sumado a esto, es posible que **el grado de dificultad en la programación de la práctica aleatoria, no provocó un nivel suficientemente alto de interferencia, dejando como resultado una pobre demanda atencional que no afectó negativamente el DM en la adquisición.** Se cree que esta forma de programación no estimuló el modo primario de procesamiento de la información que se ha observado durante la práctica de alta IC, de hecho, es posible que la actividad de procesamiento de la información que los participantes experimentaron durante la práctica aleatoria fuera similar al modo primario de operación durante la práctica bloqueada, donde se excluye toda información de otras tareas motoras relacionadas a la que se adquiere en ese instante (Shea, Hunt, & Zimny, 1985) y se reduce el número de fragmentos de secuencia motriz, lo cual se traduce en una menor demanda de atención porque el practicante no tiene la necesidad de realizar extracciones de relaciones o asociaciones entre los parámetros motores de las tareas. En este estudio, para incrementar la demanda de atención en la práctica aleatoria (aumentar la potencia de la interferencia), una buena estrategia pudo consistir en aumentar el grado de dificultad de la tarea, por ejemplo, manipulando el peso corporal a desplazar desde un 15% a tan solo un 5%. Bajo estas condiciones de prueba, es posible que el participante prestara una mayor atención a las variantes o parámetros motores de la tarea que le condujeran a elaborar una mejor representación de la destreza en la memoria a largo plazo (de acuerdo a la hipótesis de elaboración del efecto de IC) (Brady, 1998), con el consiguiente reclutamiento de regiones de planificación motora que están asociadas al desarrollo de memorias motoras resilientes (Wright et al, 2016).

Son varios los estudios de comportamiento motor que han confirmado el efecto de IC en la adquisición (Bertollo, Berchicci, Carraro, Comani & Robazza, 2010; Jiménez-Díaz, Salazar-Rojas, & Morera, 2016a; Rendell, Masters, Farrow & Morris, 2011). Sin embargo, la divergencia con los resultados del presente estudio, puede deberse a la influencia de un grupo de variables moderadoras que afecta la generalización del efecto de IC (Brady, 1998; Jiménez-Díaz et al, 2016a; Schmidt, & Lee, 2011, p374).

Por ejemplo, Jiménez-Díaz et al., (2016a) encontró que la edad de los participantes predice el desempeño en una destreza (sin especificar) según el programa de práctica que se realice, donde en la adquisición, la práctica aleatoria es el programa que favorece el desempeño a edades tempranas (menor a 10 años), mientras que conforme avanza la edad de los participantes (mayor a 10 años), la práctica bloqueada es más efectiva. En el presente estudio, la muestra tuvo una edad promedio de $20,64 \pm 2,60$ años, de modo, que pudo esperarse un mejor DM en la adquisición con el grupo de práctica bloqueada, algo que no fue observado con consistencia (**figuras 34 y 35**). Tal situación

también puede explicarse por las características de la destreza, incluyendo: 1) el tipo de destreza practicada según la complejidad de sus movimientos y especificidad (complejas o fundamentales); y 2) el tipo de destreza según la cantidad de movimiento (discreta, continua o en serie). De acuerdo al tipo de destreza según la complejidad de sus movimientos y especificidad, es posible que la predicción del DM en la adquisición, solo se muestre cuando se analizan destrezas motrices en general (como las evaluadas en el estudio de Brady, 1998 y Jiménez-Díaz et al., 2016a), no así cuando se practica una DMF específica, por ejemplo, de equilibrio. En el caso del tipo de destreza según la cantidad de movimiento, Jiménez-Díaz et al, (2016a) en un estudio de meta-análisis sí encontró diferencias en la adquisición entre los grupos de práctica ($p= 0,017$), donde el grupo de PB presenta un mejor desempeño cuando se practican destrezas en serie ($TE= -0,89$; $IC95\%= -1,45$ a $- 0,33$; $n= 2$), pero no encontró diferencias entre grupos en las destrezas discretas ($TE= -0,11$; $IC95\%= -0,25$ a $0,02$; $n= 29$); y no se analizaron las destrezas continuas ($n= 0$) por falta de estudios. Estos resultados muestran que hasta el momento es imposible realizar una comparación con previos estudios debido a la falta de información en destrezas continuas; sin embargo, existe cierta tendencia a que durante la adquisición no se presenten diferencias en el DM entre grupos de práctica en la medida que aumenta la cantidad de movimiento de una destreza.

▪ Análisis de la VFC

No se observaron diferencias entre grupos en el reposo, tampoco durante la ejecución de los ensayos ($p>0.05$) (figura 34), pero en la recuperación se mostró una diferencia en la mediana entre el grupo en bloque y aleatorio. Estos resultados se discuten a continuación.

La similitud en la mediana de la proporción LF/HF previo a la práctica indica que los grupos de comparación fueron homogéneos en esta variable y que la forma de organización no afecta la respuesta autónoma **durante el reposo**. Además, los valores obtenidos en cada grupo de práctica, así como del promedio total (proporción LF/HF $=0,62\pm0,45$) (tabla 3) se ubicaron próximo al rango normal de valores para esta población. Según una posición de consenso, un valor entre 1,5 y 2,0 ha sido considerado normal para un registro de corta duración (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing, 1996), aunque una revisión de literatura encontró que este valor puede llegar a alcanzar $2,8\pm2,6$ unidades (Nunan, Sandercock & Brodie, 2010). La desviación estándar de esta variable tiende a ser grande, lo cual puede explicarse por una muy elevada variación entre individuos, y/o por discrepancias metodológicas entre los estudios que han recopilado las medidas de

referencia de la proporción LF/HF en registros a corto plazo en individuos normalmente sanos (Nunan, Sandercock & Brodie, 2010).

Valores por encima de 2,0 sugieren una mayor dominancia simpática, y por el contrario, en valores por debajo de 1,5 la dominancia se inclina hacia lo vagal (Cancino, 2011). La proporción o razón LF/HF es un indicador fiable del balance autonómico en reposo, y en personas sanas nos aporta información acerca de la adaptación de la persona tanto al estrés físico (Kaikkonen et al., 2012) como psíquico (Li et al., 2009). Considerando los valores obtenidos en el presente estudio, es evidente que la práctica no fue percibida por los participantes como un estresor importante en esta primera fase del aprendizaje.

Como se mencionó anteriormente, la respuesta de la proporción LF/HF **durante los ensayos** tampoco difirió entre grupos, lo cual podría respaldar porque no se presentó el efecto de IC en esta fase del aprendizaje. Si se analizan los valores de esta variable en el grupo de práctica bloqueada y aleatoria, dichos valores se mantuvieron dentro de los rangos normales, siendo posible que, en esta fase de la práctica, la forma de organización no provocó una suficiente y diferente carga cognitiva asociada a la planificación de la secuencia de movimientos. Esto probablemente se reflejó en una pobre activación de las áreas rostrales del cerebro (e.g. corteza cingulada, orbitofrontal, corteza prefrontal) así como de áreas relacionadas (e.g. hipotálamo, la amígdala y el cerebelo), dejando como resultado una justa modificación de la regulación autonómica cardíaca (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p192) que derivó en un similar DM entre estos grupos de comparación. Estos resultados parecen confirmar, que la demanda cognitiva asociada a la planificación del movimiento, juega un papel ponderante en el DM durante la ejecución de una DMF de equilibrio postural, al mismo tiempo sugiere, que el procesamiento diferencial de la información entre la práctica en bloque y aleatoria para la planificación de la secuencia de movimientos para esta destreza (Shea & Zimny, 1983) no afecta a corto plazo el resultado de la práctica.

Al comparar la proporción LF/HF **durante la recuperación** se encontró que los participantes expuesto al programa de práctica bloqueada mostraron valores más elevados que los participantes que ejecutaron el programa aleatorio ($p < 0,05$), de modo que, en la adquisición, la práctica bloqueada retarda la recuperación del control autónomo cardíaco. Esto puede explicarse porque en la práctica aleatoria cesa el procesamiento activo de la información o esfuerzo cognitivo para la reconstrucción de un nuevo plan de acción una vez que ha terminado la tarea (Magill & Anderson, 2013), mientras que, al parecer, persiste una carga cognitiva de procesamiento de la información una vez terminada la práctica cuando se realizan ensayos continuos de una

misma tarea (práctica en bloque). Esta explicación se fundamenta en la hipótesis de olvido-reconstrucción del plan de acción contenido en las bases teóricas sobre el efecto de IC. Como ya se ha comentado, esta hipótesis postula que, durante la práctica aleatoria, el practicante debe lidiar con diferentes respuestas intermedias entre intentos sucesivos, y esta actividad de interferencia provoca un olvido significativo de la información específica de la tarea entre ensayos consecutivos, que requiere la (re) construcción de un plan de acción para cada nueva tarea (Brady, 1998). Es posible que esta actividad de procesamiento de información con la práctica aleatoria, cese inmediatamente una vez terminada la práctica, de aquí que la respuesta de la proporción LF/HF, como una medida de valoración de las demandas cognitivas asociadas con la planificación de una próxima secuencia motora (Wright et al., 2016), sea menor a la mostrada por los participantes del programa de práctica bloqueada.

Comparaciones de las diferencias entre los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF **durante la retención**.

Los resultados de las comparaciones de la mediana entre grupos mostraron diferencias significativas únicamente en los errores de ejecución.

▪ **Análisis del desempeño motor**

Es posible que no se obtuvieron diferencias en el tiempo de ejecución entre grupos, porque todos los programas estimulan similar control temporal de la acción a largo plazo, permitiendo una coordinación eficaz entre postura y movimiento (Latash, 1998, p170; Olivier et al., 2013).

Las diferencias en el número de **errores promedio** cometidos, una vez más se presentaron entre el programa de práctica en bloque y gradual, de modo que los participantes que practicaron bloqueados fueron los más precisos en la ejecución de la destreza cometiendo el menor número de errores. Estos resultados muestran que la programación bloqueada es mucho más efectiva que la programación gradual cuando lo que se pretende es mejorar a largo plazo la precisión de una destreza de equilibrio dinámico. Tal precisión se relaciona con el grado de desempeño experto alcanzado por el practicante en esta destreza, al controlar de una manera más efectiva los parámetros cinéticos (carga de peso aplicada inter-miembros), las señales de orientación corporal espacial y la percepción vertical (verticalidad subjetiva) (Paillard, 2017).

Cuando los participantes practicaron con aumentos graduales de IC tampoco se desempeñaron mejor que los participantes que practicaron una programación aleatoria. Estos resultados indican que la perspectiva de "dificultades deseables" y la "hipótesis del

punto de desafío” planteada por Porter & Magill, (2010), tampoco avalan un superior DM en una destreza de equilibrio después de un período sin la práctica gradual.

Una vez más no hubo diferencias en el DM entre la práctica bloqueada y aleatoria. Estos resultados confirman que el programa de práctica aleatorio y bloqueado y el momento de medición no interactúan para modificar el desempeño, y por lo tanto no se comprueba el efecto de IC. Este comportamiento similar entre grupos puede explicarse por varias razones.

De acuerdo a un enfoque neurofisiológico, y como ya se mencionó antes, tal diferencia no se presentó porque quizás **la práctica aleatoria no fue lo suficientemente intensa para conseguir elevar de manera importante la demanda cognitiva en la fase de adquisición**, con la subsecuente activación neuronal de regiones específicas del cerebro (e.g. ganglios basales y corteza motora secundaria: áreas premotoras) y con adaptaciones relativamente permanentes en circuitos motores importantes que se han asociado a un incremento de la memoria motriz y del DM a largo plazo (Wright et al, 2016).

En particular, estas adaptaciones se relacionan con el proceso de preparación de la respuesta para la ejecución de la tarea. Recuérdese, que el practicante en este momento preparatorio construye bloques o fragmentos de secuencia motriz basados en los aspectos perceptivos o valores paramétricos de ejecución de la tarea, y las adaptaciones se presentan cuando mediante la práctica con elevada IC ocurre una rápida consolidación de este conocimiento de la secuencia motora, mediante la migración rápida a sitios permanentes de almacenamiento, con menos dependencia del uso de otros sitios críticos de planificación motora (ganglios basales y áreas premotoras: ventral, lateral dorsal y área motora suplementaria), permitiendo así en la fase de retención un rápido acceso al nuevo conocimiento adquirido. La evidencia indica que la práctica aleatoria mejora la accesibilidad al conocimiento de la secuencia motora almacenada, al inducir un aumento de la excitabilidad a largo plazo en M1 e influir en la conectividad funcional y estructural de esta región (Wright et al, 2016). Por lo tanto, una práctica aleatoria más intensa en la adquisición debió facilitar en la fase de retención: 1) una recuperación más eficiente de los fragmentos de secuencia motriz y 2) una organización más eficiente de estos fragmentos en el orden serial correcto antes de la ejecución. El papel de la intensidad de la práctica en el desempeño de destrezas de equilibrio estático y dinámico, quedó reflejado en un reciente meta-análisis de dosis-respuesta. Este estudio sugiere que la intensidad puede ser un agente probable del efecto de la práctica (Gebel et al, 2018).

Esta explicación se puede reforzar con una razón teórica complementaria. Es posible que durante la práctica aleatoria de la destreza de equilibrio (al menos en la forma que fue programada), según la hipótesis de elaboración del efecto de IC, no hubo una correcta preparación de la respuesta para la ejecución de la tarea, debido a un inefectivo procesamiento de la información relacionado con la selección de parámetros motrices durante la fase de adquisición. De acuerdo con dicha hipótesis, es más probable que durante la práctica con elevada IC ocurra un mayor procesamiento de información entre tareas, lo cual significa que el practicante debe extraer en forma de fragmentos o bloques las relaciones entre los parámetros motrices de las tareas que se están adquiriendo (Shea, Hunt, & Zimny, 1985); de modo que la información necesaria (valores paramétricos) de tarea a tarea sobre múltiples secuencias motoras va a estar presente simultáneamente en la memoria de trabajo, y esto parece estimular un mejor DM en la retención (Lin et al., 2012). En este sentido, Schmidt & Lee, (2014, p250) al analizar las limitaciones de la práctica aleatoria, plantean que los beneficios de esta práctica solo pueden ocurrir si existe un considerable período de preparación pre-ensayo. Sumado a esto, es posible que la recuperación de la secuencia motriz en la propia fase de retención también fuera ineficiente. Por ejemplo, Wright y sus colegas plantean que los individuos expuestos a prácticas bloqueadas también mejoran la ejecución de la secuencia durante la adquisición al reducir el número de fragmentos motrices. Sin embargo, después de solo 24 horas de un período de retención, los participantes de la práctica bloqueada volvieron a preparar sus respuestas organizando y utilizando un número mayor de bloques (fragmentos) motrices, mientras que los participantes de la práctica aleatoria continuaron usando la organización de bloques motrices establecida al final de la práctica de adquisición (Wright et al, 2016).

No obstante, los resultados de este estudio coinciden a los encontrados por Jiménez-Díaz, Salazar-Rojas, & Morera, (2016a) en su revisión meta-analítica, donde no hubo diferencias entre grupos, mientras que son contrarios a los resultados reportados por Brady (2004) y Mazzardo, (2004), donde estos autores encontraron que el grupo de PA tiende a presentar un DM mejor en comparación al grupo de PB después de un período sin práctica.

Estas similitudes y diferencias entre estudios en el efecto de IC en la retención, también se puede atribuir a las influencias de algunas variables moderadoras de dicho efecto. Aunque los estudios no han encontrado que el tipo de destreza que se practique, según la complejidad de sus movimientos y especificidad (complejas o fundamentales), tenga una influencia sobre el efecto de IC en la retención, los resultados respaldan el efecto de IC en adultos cuando se ha evaluado destrezas complejas, no así DMF. Por

ejemplo, Jiménez-Díaz y colegas al examinar en esta población el efecto de la práctica aleatoria y bloqueada en el desempeño de dos DMF (e.g. salto y/o lanzamiento), no encontraron diferencias entre los grupos de práctica en la adquisición (Jiménez-Díaz, et al., (2016b) y tampoco en la retención (Jiménez-Díaz, et al., 2018b). Por lo tanto, cabe pensar que el efecto de IC en la retención, que en estudios previos ha demostrado explicar el aprendizaje de destrezas complejas, no tiene implicaciones en la respuesta de aprendizaje de DMF en adultos, específicamente, tampoco del constructo estabilidad.

Por otra parte, cuando se analizan otros aspectos de las características de la tarea, en particular, el tipo de destreza según la participación muscular (motora fina o motora gruesa), el grupo de PA presenta un mayor desempeño en la retención en comparación con el grupo de PB solo en destrezas motoras finas; mientras que no se han encontrado diferencias en el desempeño entre los grupos (PA y PB) en destrezas donde estuvieron implicados más grupos musculares (i.e. motora gruesa) (TE= - 0,09; IC95%= -0,22 a 0,04; n= 32) (Jiménez-Díaz et al, 2016a), lo cual es consistente con la destreza practicada en el presente estudio. En cuanto a la cantidad de intentos de práctica, en la retención se encontró que, al realizar menos de 200 ensayos, la PB favorece el desempeño, mientras que solo con más de 200 ensayos la PA estimula un desempeño mejor en comparación con el grupo de PB (Jiménez-Díaz et al, 2016a). Aunque estos resultados son consistentes con los del presente estudio, estos deben interpretarse con precaución porque no se derivan de destrezas exclusivas de equilibrio.

▪ Análisis de la VFC

En cuanto a la variabilidad de la frecuencia cardiaca los resultados de las comparaciones de la mediana entre grupos no mostraron diferencias significativas en ninguna de las mediciones de la proporción LF/HF (i.e. reposo, ensayos y recuperación) (**figura 37**). Una vez más hubo similitud en la respuesta autónoma cardiaca previo a la práctica con valores ubicados dentro de la normalidad (proporción LF/HF =1,03±1,02) (**tabla 3**) (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing, 1996), que indica que los grupos de comparación fueron homogéneos en esta variable y que la forma variable de organización de la práctica no afectó la respuesta autónoma **durante el reposo**.

La respuesta de la proporción LF/HF **durante los ensayos** tampoco difirió entre grupos (**tabla 8**), y la explicación a este resultado coincide con la ofrecida en la fase de adquisición. En particular, parece ser que la práctica aleatoria no estimula una suficiente carga cognitiva con la consiguiente activación de las áreas rostrales del cerebro asociada a la planificación de la secuencia de movimientos y al control autónomo del corazón,

dejando como resultado un similar DM entre este grupo y el grupo de práctica bloqueada. Al analizar la respuesta de la proporción LF/HF entre los grupos de PB y PG no hubo diferencias significativas en esta variable (**figura 37**), pero interesantemente, al analizar el DM se encontró que con la práctica bloqueada se logra conseguir una mejor precisión de la destreza.

Al analizar estos valores **durante la recuperación** esta vez no se encontró diferencias significativas entre grupos (**figura 37**), esto puede explicarse porque quizás durante esta fase en todos los grupos de práctica existe similar actividad cognitiva de procesamiento de la información (asociada a la reconstrucción del plan de acción) una vez que ha terminado la tarea motriz. En particular, este fenómeno parece más relevante en el grupo de PA, ya que, en la adquisición, la proporción LF/HF fue significativamente inferior al grupo de PB, lo cual se explicó por un posible cese inmediato del procesamiento activo de la información al finalizar la tarea durante la práctica aleatoria. Por lo tanto, en la retención la práctica aleatoria también consigue mantener en el practicante niveles constantes de carga cognitiva, de acuerdo a la respuesta autónoma del corazón una vez terminada la práctica.

En la siguiente sección se discute si esta similar carga cognitiva entre grupos (dependiente de la planificación de la secuencia de movimientos) después de ejecutar la prueba de retención, puede explicar el DM en la prueba de transferencia, y si el incremento en la carga cognitiva con la práctica aleatoria, puede explicar el mejor desempeño que teóricamente se alcanzaría en pruebas de transferencia con elevada IC.

Comparaciones de las diferencias entre los grupos para la mediana de los errores de ejecución, el tiempo de ejecución y la proporción LF/HF **durante la transferencia**.

Los resultados de las comparaciones de la mediana entre grupos no mostraron diferencias en el DM. Las diferencias se presentaron en la proporción LF/HF durante los ensayos.

▪ **Análisis del desempeño motor**

Durante la transferencia tampoco hubo diferencias en la mediana del DM entre los grupos de práctica (**tabla 12**). Esto puede explicarse porque a pesar que la destreza de desplazamiento inter-miembro de la carga de peso es necesaria para la destreza de sentadillas, el DM en estas destrezas no se correlaciona, y porque no se presenta el efecto de IC. En relación al primer punto, Schmidt & Lee, (2014, p 157) mencionan que las destrezas de un mismo constructo motor en ocasiones no se relacionan, y en los casos de correlación estas son numéricamente bajas. En segundo lugar, la tarea de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso combinada con la tarea de sentadilla

(prueba de transferencia), debe ser considerada como una nueva destreza que responde a la hipótesis de “especificidad”, la cual postula que un buen desempeño en una destreza A no necesariamente se relaciona con el mismo desempeño en una destreza B, y que el DM en una nueva destreza depende del aprendizaje específico (Schmidt & Lee, 2014, p 157), y según los resultados de este estudio, más no de la forma de programación de la práctica de acuerdo al efecto de IC.

Por otra parte, algunos estudios han reportado que el DM de las extremidades inferiores es mejor evaluado cuando se imponen demandas atencionales adicionales por la ejecución de una doble tarea (Almonroeder et al., 2018; Dai et al., 2018). En el presente estudio, la prueba de transferencia cuyo objetivo era que el participante realizara la doble tarea motriz (desplazamiento inter-miembro del peso corporal y ejecución de sentadilla) guiada por información visual, pudo incrementar por igual las demandas cognitivas en los grupos de práctica, al imponer una mayor exigencia a los procesos de control postural y de desempeño de las extremidades inferiores. En este sentido, y como ya se mencionó anteriormente, Sirois-Leclerc et al (2017) encontraron que el DM de equilibrio postural en individuos entrenados y no entrenados, no es óptimo cuando se ejecuta una doble tarea que implicaba una demanda de atención compartida, y mientras más desafiante es la doble tarea, más deteriorado puede ser el DM. Sin embargo, se esperaba que la práctica aleatoria produjera un mayor beneficio de transferencia de la destreza previamente aprendida, por la facilidad que tendrían los participantes para recuperar de forma eficiente los bloques de secuencia motriz. Esto no ocurrió porque al parecer la práctica con elevada IC es más sensible al efecto del aumento en la carga cognitiva por la presencia de una tarea compartida (viso-motriz) y una doble tarea motriz (mayor dificultad). Como parte de las limitaciones de los beneficios de la práctica aleatoria planteada por (Schmidt & Lee, 2014, p250), es probable que la práctica aleatoria sea menos efectiva cuando las exigencias de la tarea son muy altas.

Esta interferencia de doble tarea pudo reflejar una sobrecarga de los recursos de atención, de acuerdo con la teoría de la “capacidad limitada de la atención” (Wickens, 1989 en Sirois-Leclerc et al, 2017). Alternativamente, de acuerdo con la teoría del "cuello de botella" (Pashler, 1994), esto también puede sugerir que tanto la tarea compartida (viso-motriz) y la doble tarea motriz no podrían procesarse al mismo tiempo y no se pudo reflejar el beneficio sobre la transferencia de la práctica aleatoria.

▪ **Análisis de la VFC**

En cuanto a la variabilidad de la frecuencia cardiaca las diferencias se mostraron en la proporción LF/HF **durante los ensayos**. Al comparar la práctica gradual y aleatoria

hubo diferencias significativas (diferencia de medias = 3,22; $p = 0,043$), donde la respuesta del sistema cardíaco autónomo fue menor en aquellos participantes que ejecutaron los ensayos de transferencia en un orden aleatorio (**figura 39**). No hubo diferencias entre la práctica bloqueada y gradual, y tampoco entre la práctica bloqueada comparado con la aleatoria. **Durante la recuperación** no hubo diferencias entre los programas de aprendizaje (**tablas 13-15**).

Al intentar explicar la diferencia entre la práctica gradual y aleatoria, esta pudo deberse a que los participantes expuestos a la práctica gradual presentaron una mayor sensibilidad en la respuesta de la VFC por la carga de atención debido a la doble tarea. En otras palabras, la práctica gradual favorece que la estimulación del SNS del control autónomo del corazón sea más permisiva al efecto de la demanda de atención compartida que se presenta en la tarea de transferencia. Al mismo tiempo, como el contexto de práctica de alta IC, le permite a los practicantes elaborar la mejor representación de la destreza en la memoria a largo plazo, es posible que ocurra una menor estimulación simpática o un mayor predominio parasimpático cuando el practicante tiene la capacidad para recuperar de manera exitosa las secuencias motrices como sucede en la práctica aleatoria (Brady, 1998).

Comprobación de la hipótesis 2

Hipótesis 2. El DM y el equilibrio autónomo cardíaco dentro de los distintos programas de práctica serán diferentes y dependientes del programa ejecutado.

El desempeño motor:

- se mejora con el programa de práctica bloqueada (**tabla 16**),
- se retiene con el programa de práctica gradual (**tabla 21**),
- se retiene con el programa de práctica aleatoria (**tabla 26**).

El equilibrio autónomo cardíaco:

- se incrementa (desde el reposo) de manera similar en la práctica de adquisición y retención, se recupera de manera similar después de ambas prácticas con el programa bloqueado y gradual (**tablas 19 y 24**),
 - se incrementa (desde el reposo) en la práctica de adquisición y no en la retención, se recupera de manera similar después de ambas prácticas con el programa aleatorio (**tabla 29**),
 - se mantienen valores similares entre los ensayos de adquisición y de retención con el programa bloqueado, gradual y aleatorio (**tablas 19, 24 y 29**),

- se incrementa (desde la recuperación de la retención) en la prueba de transferencia con el programa bloqueado, gradual y aleatorio, se recupera de manera similar en cada programa después de los ensayos de transferencia (tablas 20, 25 y 30).

Por lo tanto, **esta hipótesis se comprobó completamente.**

▪ **Análisis del desempeño motor entre la adquisición y la retención**

Se encontró que en los tres programas de práctica se consiguió un buen desempeño en la prueba de retención. Estos resultados sugieren que con pocos ensayos se consigue mantener el DM residual de la destreza de equilibrio después de 24h sin la práctica (i.e., retención) y esto es independiente de la forma de organización de la práctica. En este sentido, Valle et al., (2015) en una muestra de estudiantes universitarios varones sanos, encontraron que con solo 16 ensayos de práctica (sin especificar), la destreza para mantener el equilibrio postural se adquiere rápidamente y se mantiene durante mucho tiempo, y la mejora en ésta destreza podría asociarse con nuevas estrategias posturales desarrolladas posteriormente durante la consolidación de la memoria motora (retención). Al parecer no existen dudas que la utilización de estrategias posturales es uno de los principales factores que determinan la mejora del equilibrio postural en personas entrenadas en esta destreza. Se ha demostrado que el equilibrio experto producido por la práctica, es probablemente debido a una mayor confianza y agudeza en las señales vestibulares y somatosensoriales, y una menor ponderación sensorial de la retroalimentación visual, mientras que la utilización de estas estrategias de control postural se hace más evidente en aquellas actividades en las que la base de apoyo se mueve en respuesta a las fuerzas aplicadas a la superficie (tabla de surf o de snowboard) o en superficies con capacidad de respuesta variable (agua, hielo, ruedas) (Williams, Murray, & Powell, 2016).

Por otra parte, son varios los resultados de experimentos (tareas de seguimiento de objetos) y de la vida real en destrezas continuas (montar en bicicleta, nadar, etc.) que demuestran que poco tiempo después de la práctica e incluso después de muchos años sin intervenir en ésta, el DM es extremadamente bien retenido, a diferencia de la caída progresiva en el DM que se observa en destrezas discretas en la medida que se extiende el intervalo de retención (Schmidt, & Lee, 2011, p467). Las diferencias en la retención entre estas destrezas se deben principalmente a la cantidad de práctica ejecutada, donde en un ensayo de practica de una destreza continua se requiere mayor permanencia en comparación con el tiempo requerido para completar un ensayo de una destreza discreta

(Schmidt, & Lee, 2011, p470). La clasificación de la destreza es otro aspecto a tener en cuenta al explicar por qué independiente de la forma de organización de la práctica los tres grupos lograran retener el aprendizaje.

Un hallazgo relevante en el presente estudio, fue que, en los participantes expuesto al programa de **práctica bloqueado**, el tiempo ($p < 0.05$) y los errores de ejecución ($p < 0.05$) disminuyeron de manera significativa al evaluar el DM residual de la destreza (**figuras 42 y 43**), lo cual sugiere que esta forma de programación **estimula un mayor aprendizaje, optimizando el control temporal del movimiento y mejorado la precisión de la ejecución.**

Son varios los factores que se podrían considerar para explicar la mejora en el DM, sin embargo, nos centraremos en algunos de los descritos por Schmidt & Lee, (2014, p 178) para discutir las mejoras alcanzadas con la práctica en bloque. Estos autores mencionan que el incremento en el DM puede ser explicado por cambios que ocurren en los procesos de desempeño humano (PDH) al ser influenciados por la práctica. Por ejemplo, algunos de los cambios en estos procesos son:

- a) incremento de la velocidad y precisión en el análisis de la información del entorno y de retroalimentación (durante la identificación del estímulo para el movimiento),
- b) mejoras en la manera en que son seleccionadas las acciones (durante la selección de la respuesta) y los parámetros motrices (en la programación del movimiento),
- c) construcción más efectiva de los programas motores generalizados y de los procesos efectores,
- d) proporcionando varias formas seguras y precisas de retroalimentación, y
- e) estableciendo referencias más precisas de corrección de los errores.

Por lo general, estos cambios en los PDH son considerados alteraciones que ocurren en el SNC y refieren la plasticidad cerebral que se alcanza con la práctica y conlleva a cambios relativamente permanentes en la capacidad de movimiento (Mawase et al., 2017) y de control postural en una persona (Paillard, 2017).

La optimización de la dinámica temporal para la ejecución de la tarea (menor tiempo de ejecución) (**figura 42**) se explica porque al parecer la práctica bloqueada favorece la puesta en marcha de APA, así como de la corrección postural pre-programada y/o voluntaria (lo cuales tienen que ver con los PDH: c) (Latash, 1998, p170; Olivier et al., 2013). Específicamente, los APA, descritos como actividades musculares inconscientes

destinadas a contrarrestar la perturbación causada, en este caso, por movimientos autoiniciados, al parecer se hacen más eficientes cuando existe una baja interferencia en la práctica, y ésta eficiencia se traduce en una rápida respuesta neuromuscular (en forma de APA entre e intra miembro) según las demandas de la tarea. Recuérdese que en personas sin alteración del equilibrio (Cavallari et al 2016) y cuando se ha alcanzado un buen dominio de la destreza (según los resultados de este estudio), los APA actúan rápidamente precediendo a los movimiento voluntarios que perturban el equilibrio, en particular, en los APA entre miembros se crean una o más cadenas de fijación que se extienden sobre los músculos de las extremidades, mientras que en los APA intra-miembro participan los músculos que actúan sobre las articulaciones proximales.

Sumado a esto, es posible que la velocidad en la toma de decisiones también fuera la responsable de la mejora del tiempo de ejecución cuando hay baja interferencia en la práctica. Schmidt & Lee, (2011, p 340) reportaron que los individuos en la fase temprana del aprendizaje (adquisición) utilizan mucho más tiempo y más esfuerzo para generar la respuesta correcta, sin embargo, en la fase tardía del aprendizaje (retención), se vuelven más rápidos, exactos y eficientes para seleccionar la respuesta correcta (PDH: b), y esto se produce por una reducción del período de latencia para la respuesta. Pese a que en la retención los participantes de la práctica bloqueada son menos eficientes en la preparación de la respuesta porque deben volver a organizar los fragmentos motrices con los valores paramétricos adecuados, a diferencia de los participantes de la práctica aleatoria que continúan usando la organización de fragmentos motrices establecida al final de la práctica de adquisición y estos son recuperados rápidamente de la memoria de trabajo (Wright et al, 2016), la práctica bloqueada quizás hace a los participantes más efectivos en la generación de la respuesta por una reducción del período de latencia al momento de tomar una decisión en la selección de un fragmento motriz u otro.

Por otra parte, pudo ocurrir un mejor control espacial (menores errores de ejecución) con la práctica bloqueada (**figura 43**) debido a que este programa favorece un comportamiento positivo de algunos de los aspectos de la representación corporal en el espacio (optimización de la organización segmentaria, mejor control de la fuerza de reacción en el suelo y de la señales de orientación corporal y de percepción vertical) necesarios para desempeñarse bien en tareas de equilibrio postural (PDH: e) (Paillard, 2017).

Al mismo tiempo, la destreza de equilibrio depende de las características de la tarea, por ejemplo, la dualidad de la ejecución. En este sentido, cuando se entrena o aprende una destreza específica de equilibrio dinámico en posición vertical que se combina con una tarea visual precisa, el sistema nervioso central debe dividir su atención para realizar

esta "tarea dual" debido a los limitados recursos de atención (mantener el equilibrio y realizar la tarea visual precisa) (Bonnet & Baudry, 2016). El problema con el concepto de dualidad es que los individuos necesitan tener éxito en la tarea visual que requiere precisión y no deben ser más inestables e ineficientes debido a una división de atención en estas tareas (Bonnet & Baudry, 2016). El concepto de dualidad también podría aplicarse cuando las tareas tienen sentido inverso, o sea, cuando una tarea visual se combina con una tarea de equilibrio que debe ser ejecutada con precisión (coincidiendo con la práctica en el presente estudio). Es posible que, en los dos casos, el sistema nervioso central funcione de forma adaptativa de manera que permita el éxito en ambas tareas (Bonnet & Baudry, 2016). En el presente estudio, el objetivo de la práctica consistía en que el participante ejecutará un desplazamiento inter-miembros de la carga de peso guiado por información visual y al parecer una menor interrupción en la práctica, estimuló una mayor "sinergia" (o unificación) entre los procesos visuales y posturales que determinaron el éxito en la tarea motriz (PDH: a). En otras palabras, los participantes fueron capaces de reducir la influencia visual, para facilitar sinergias exitosas que conllevaron a mejorar la precisión en la destreza motora practicada.

- **Resultados de la magnitud de las diferencias en el desempeño motor observadas dentro de los grupos entre la adquisición y la retención**

Al analizar la magnitud de cambio en el DM entre la adquisición y la retención de la destreza según el tipo de práctica efectuada, se confirmó que la práctica bloqueada beneficia el DM mejorando moderadamente la optimización del tiempo para la ejecución del movimiento (TE = 0.65; IC95%: 0.06 a 1.23), mientras que este análisis arroja que no se mejora, pero se retiene la precisión de la ejecución (TE = 0.40; IC95%: -0.18 a 0.98) (**figura 55**). Interesantemente, con la práctica bloqueada, en la fase de evaluación del DM residual de la destreza, el practicante sacrifica la precisión en la tarea a expensas de mejorar el tiempo de ejecución. Este fenómeno puede explicarse mediante una de las teorías del control motor que plantea, que es posible predecir el tiempo de movimiento según la dificultad de la tarea (de acuerdo a la distancia entre objetivos y el tamaño/ancho de los objetivos) (Fitts, 1954). Específicamente, la Ley de Fitts plantea que en una tarea motriz al intentar mejorar la velocidad de ejecución (i.e., disminuir el tiempo de ejecución) se sacrifica la precisión del movimiento o viceversa.

Por otra parte, la práctica de ensayos aleatorios favorece la retención la destreza, pero no la mejora; mientras que los participantes que practicaron con ensayos graduales de

interferencia también retienen la destreza, pero se observa una importante tendencia a disminuir el DM (**figura 55**).

En este sentido, Sirois-Leclerc et al (2017) reportaron que tanto en personas muy entrenadas en equilibrio (e.g. bailarines) como en personas no entrenadas, la práctica de la destreza de desplazamiento (medio-lateral y antero-posterior) del peso corporal guiada por información visual en una plataforma de fuerza, mejora de forma inmediata el DM del practicante, sin embargo, en todos los practicantes el DM disminuyó cuando tuvieron que ejecutar una doble tarea que implicaba una demanda de atención compartida, y mientras más desafiante fue la doble tarea, más deteriorado estuvo el DM del equilibrio. Regresando al concepto de dualidad de tareas, estos resultados sugieren que una elevada demanda de atención por dificultad de la tarea, puede influir en el control de la postura para el movimiento (Woollacott & Shumway-Cook, 2002), sobretodo, cuando se incrementa la dificultad motriz de la tarea en la medida que cambia el nivel de desempeño del practicante (como sucede con la práctica gradual), y en menor medida, cuando la dificultad de la tarea es muy variable (como en el caso de la práctica aleatoria). Sin embargo, como ya se ha mencionado, cuando la práctica está bloqueada con un nivel de dificultad constante (por menor interrupción en la práctica) se favorece la unificación entre los procesos visuales y posturales para el éxito en la tarea motriz. En resumen, con la práctica aleatoria en menor grado, y muy marcado con la práctica gradual, al parecer los participantes fueron incapaces de reducir la influencia visual para lograr sinergias exitosas entre preservar el equilibrio y mantener la atención en la información visual, que conllevara a mejorar el desempeño en la destreza motora practicada.

Los resultados sobre la mejora del desempeño con la práctica bloqueada también pueden explicarse porque la actividad cognitiva diferencial provocada por los distintos niveles de IC no solo se limita al reclutamiento de sitios clave de planificación motriz. Los individuos durante la práctica bloqueada muestran una activación extensa en la corteza prefrontal medial, el giro cingulado posterior izquierdo y la corteza cingulada anterior retroespinal, áreas que se han considerado componentes de una red predeterminada que se cree facilita el manejo de tareas novedosas o complejas (Kelly & Garavan, 2005; Petersen, van Mier, Fiez, & Raichle, 1998). Esta red, por defecto, es más activa cuando los individuos participan en pensamientos no perturbados (Buckner, Andrews-Hanna, & Schacter, 2008) como ocurre en la práctica bloqueada.

Por último, es posible que los participantes en la PB presentaran mejor DM que su contraparte en la PA y PG, porque los ensayos se ejecutaron en forma bloqueada en la práctica de adquisición y de retención, a diferencia del resto de los participantes que

ejecutaron ensayos con una presentación gradual o aleatoria en la adquisición (según fuera el caso) y una forma bloqueada en la retención. Aunque de acuerdo a nuestro conocimiento, no existe ningún estudio que respalde que el DM alcanzado en la práctica de retención va estar influenciado por la forma específica de presentación de los ensayos en la adquisición y la retención, por un principio de especificidad, se debe preferir evaluar la prueba de retención con la misma forma de organización utilizada en la práctica de adquisición (e.g. PA en la adquisición = ensayos aleatorios en la evaluación de la retención). No obstante, una nueva investigación debe enfocarse en determinar si el DM alcanzado durante la evaluación de la retención con un orden específico de presentación de los ensayos (e.g. aleatorio) depende de la forma en que se presentan los ensayos durante la adquisición.

▪ **Análisis de la VFC entre la adquisición y la retención**

En este análisis se encontró que la proporción LF/HF se incrementa desde el reposo hasta la ejecución de los ensayos y disminuye después de este período. Esta respuesta es similar en la práctica de adquisición y retención en los grupos de PB y PG, no así en el programa en aleatorio durante la retención de la destreza (tablas 19, 24 y 29), lo cual confirma que cuando se inicia la práctica de adquisición con una elevada interferencia contextual y luego se evalúa la retención, en este último momento no se presenta una importante demanda cognitiva.

El incremento en la proporción LF/HF entre el reposo y la ejecución de los ensayos, y el descenso entre los ensayos y el período de recuperación pudo deberse a la interacción entre 1) la respuesta neurofisiológica debido a la demanda cognitiva asociada a la preparación y respuesta motriz, y 2) al cambio de posición del cuerpo como consecuencia del estrés ortostático. En relación a este último punto, recuérdese que las mediciones de reposo y recuperación fueron evaluadas con el participante acostado, mientras que la medición durante la ejecución de los ensayos fue evaluada con el participante parado. En esta condición de cambio de posición del cuerpo, es común que incremente el componente LF y disminuya el HF al pasar de la posición de acostado a la bipedestación, y se esperaría una respuesta opuesta al pasar de la bipedestación a la posición acostado (Berntson & Cacioppo, 1999).

Al intentar relacionar la respuesta autónoma del corazón con las diferencias en el DM mostrado especialmente entre el programa de práctica bloqueada y los restantes dos programas, es posible que los practicantes del grupo de práctica bloqueada logaran mejorar el tiempo de ejecución en la retención debido al efecto que pudo tener esta forma de programación sobre la amplitud de las oscilaciones de la frecuencia cardíaca, la

conectividad funcional del cerebro y el nivel de activación cognitiva del individuo, aspecto este último sobre el cual volveremos más adelante.

Repasando los sistemas encargados de la respuesta neurocomportamental, sabemos que los sustratos más altos de la organización jerárquica del cerebro que participan en la regulación de la conducta y de la respuesta del corazón, se asocian porque ambos sistemas comparten iguales regiones del cerebro (corteza cingulada, orbitofrontal, corteza prefrontal, hipotálamo, la amígdala y el cerebelo) (Thayer et al., 2012), además, porque van a estar conectados mediante tres redes de integración neurovisceral las cuales son: la red autónoma central (SNA) (Benarroch, 1993), la región ejecutiva rostral (Devinsky, Morrell, & Vogt, 1995) y un circuito emocional que involucra la interacción entre circuitos de retroalimentación positiva y negativa que permite explicar la conducta afectiva (Damasio, 1998). Por ejemplo, se han descrito algunas proyecciones directas (**figura 12**) por las cuales los sustratos conductuales pueden afectar la regulación cardiovascular autónoma (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p192), y recientemente Mather y Thayer, (2018) describieron que la amplitud de las oscilaciones en la frecuencia cardíaca también tiene la potencialidad de regular la actividad funcional del cerebro, por lo que cerebro y corazón mantienen una relación bidireccional.

Mather y Thayer, (2018) plantean que la instauración de episodios de oscilaciones de alta amplitud del corazón (i.e. HF) promueven una mejor conectividad entre diferentes áreas del cerebro, en particular, entre las regiones involucradas en la regulación de las emociones, la toma de decisiones y la coordinación entre los pensamientos y las acciones determinadas de antemano (e.g. corteza prefrontal y amígdala). Por su parte, las oscilaciones de baja amplitud del corazón (i.e. LF) pueden modular más rápidamente las frecuencias de actividad neural, y esto se explica, porque las redes cerebrales a gran escala sólo pueden oscilar durante las frecuencias de baja amplitud debido al número y a la velocidad limitada de las conexiones neuronales que conectan a las regiones distantes del cerebro.

En este contexto, al parecer la práctica bloqueada promueve valores óptimos en la amplitud de las oscilaciones de la respuesta autónoma del corazón, que estimula las conexiones neuronales en áreas del cerebro (corteza prefrontal y amígdala) relacionadas con una de las funciones neuro-comportamentales como la planificación de la secuencia motriz. Al analizar los valores de la proporción LF/HF con la práctica bloqueada se presentan dos fenómenos:

- 1) se puede constatar que la práctica bloqueada promueve valores intermedios de respuesta (práctica B: adquisición = 2.3, retención = 2.7)

comparado con los otros dos programas (práctica A: adquisición = 1.9, retención = 2.0; práctica G: adquisición = 3.3; retención = 2.9) (figuras 44, 48 y 52), y

- 2) a diferencia de la PA, donde los valores se mantuvieron estables y de la PG donde los valores disminuyeron entre la adquisición y la retención, con la PB la respuesta se incrementó entre estos momentos. Este incremento de la proporción LF/HF puede explicarse por una elevación en la banda LF o por un descenso de la banda HF, dada la regulación recíproca entre los dos componentes (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191). Sin embargo, aunque el equilibrio autónomo del corazón se caracteriza por ser un punto funcional relativo a lo largo de un continuo simpático-parasimpático (Malliani, 1999), la oscilación o banda LF también está determinada por el componente parasimpático, como se explicará más adelante, por lo que es más probable un mayor aporte del componente LF a la respuesta del equilibrio autónomo. Pareciera que el cambio en el valor de la proporción LF/HF puede explicar las diferencias en la precisión del movimiento reportada anteriormente entre la práctica gradual y la práctica bloqueada durante la retención (diferencias de mediana= 76 errores; $p < 0,010$) (figura 35). Interesantemente, fueron los participantes que practicaron bloqueados, los que incrementaron ligeramente el valor de la proporción LF/HF en los ensayos de retención y lograron una mejor precisión del movimiento, mientras que los que practicaron gradualmente disminuyeron este valor (diferencias de mediana= -0,4; $p > 0,003$) (figuras 44 y 48) y no mejoraron el DM.

Al intentar entender cómo esta respuesta neurofisiológica se relacionaba con la hipótesis en la que se sustenta el efecto de IC, podríamos pensar que la demanda cognitiva alcanzada durante el procesamiento intra-tarea (dentro) en la fase de retención, como modo primario de operación durante la práctica bloqueada (Shea, Hunt, & Zimny, 1985), estimula óptimas oscilaciones de altas y/o bajas de la frecuencia cardiaca que promueven una respuesta más rápida de la actividad y la conectividad neural, asociada a un mejor comportamiento en forma de DM. En el caso de la otra categoría de procesamiento diferencial de información que el participante puede experimentar durante la práctica aleatoria (Shea, Hunt, & Zimny, 1985), y que implica la recuperación exitosa de los fragmentos de secuencia motriz en la retención ya que la información sobre múltiples secuencias motoras está presente simultáneamente en la memoria de trabajo para la reconstrucción de la nueva secuencia de movimiento (**procesamiento inter-tarea**), no parece producir un nivel suficiente de demanda cognitiva e incertidumbre como para que se active una respuesta favorable de las oscilaciones de la frecuencia cardiaca, con el respectivo impacto en la dinámica de la red cerebral, especialmente en las

regiones reguladoras prefrontales mediales que son particularmente sensibles a estas oscilaciones fisiológicas (Mather & Thayer, 2018), así como en la mejora del DM. En todo caso, este grupo muestra una estabilidad y bajos valores en la proporción LF/HF, lo cual pudo ir en detrimento de la conectividad funcional de estas regiones del cerebro, en especial, de las áreas involucradas en la toma de decisiones para la preparación de la secuencia motriz (Mather y Thayer, 2018).

De aquí que se pueda pensar que el desempeño motriz en la destreza evaluada, dependa tanto de la velocidad en la modulación de la actividad neural (de acuerdo a las oscilaciones LF) y la mejora en la conectividad funcional (de acuerdo a las oscilaciones HF) entre las distintas regiones del cerebro encargadas de la planificación de la secuencia motriz.

▪ **Análisis de la VFC entre la retención y la transferencia**

Ponerse en cuclillas, como la primera fase de la prueba de sentadillas, es una destreza locomotriz que se realiza con frecuencia durante las tareas de la vida cotidiana, incluyendo sentarse y levantarse, levantar objetos y subir escaleras (Turcot et al. 2012), sin embargo, en comparación con otras actividades comunes como levantarse y caminar, la ejecución exitosa de la maniobra de cuclillas impone mayores exigencias a la musculatura de la cadera y la rodilla (Duffell et al., 2013; Lim & Lee, 2012), por ende, mayor carga fisiológica o exigencia al sistema cardiovascular, y esto explica los valores más altos de la proporción LF/HF en los tres grupos de práctica durante los ensayos de esta prueba ($p < 0,00$), pasando de un promedio de $3,42 \pm 2,53$ en la retención a $6,09 \pm 3,95$ en la prueba de transferencia (**tabla 3**).

Comprobación de la hipótesis 3

Hipótesis 3. La relación entre la respuesta del equilibrio autónomo cardíaco y el DM será negativa en la adquisición, retención y transferencia de la destreza con la práctica aleatoria.

Se encontraron las siguientes correlaciones sólo con la práctica en bloque:

- Correlación entre el **tiempo de ejecución** durante la adquisición y la proporción LF/HF en reposo durante la retención (**tabla 33**),
- Correlación entre los **errores promedio** de ejecución (pierna izquierda y derecha) durante la adquisición y la proporción LF/HF en reposo durante la retención (**tabla 34**),

- Correlación entre la proporción LF/HF en reposo durante la retención y los **errores promedio** de ejecución (pierna izquierda y derecha) durante la retención (**tabla 34**).

Por lo tanto, **esta hipótesis no se comprobó**.

Esta hipótesis fue inicialmente planteada con el argumento de que la respuesta comportamental de DM, producto de la carga cognitiva que se genera por la interrupción de la práctica, podría predecirse al conocer la respuesta del control autónomo del corazón, constituyendo una medida objetiva y de bajo coste para apoyar las particularidades del proceso de aprendizaje motor.

Existe una relevante evidencia teórica y neurofisiológica aplicada que sustenta la potencial relación entre la respuesta del control autónomo del corazón y el control motor. En primer lugar, los estudios sugieren que un elevado esfuerzo cognitivo relacionado con la toma de decisiones, pueden ser la causa de una modulación deteriorada del sistema cardiovascular autónomo (Ramírez, Ortega, & Del Paso, 2015). Por una parte, se conoce que períodos cortos de intenso esfuerzo cognitivo resultan en una reducción en la modulación autónoma que puede ser evaluada mediante componentes de la VFC (Mackersie, Macphee, & Heldt, 2015), y aunque con menos evidencias, se conoce que el DM durante el aprendizaje de destrezas motoras que requieren diferente esfuerzo cognitivo también se relaciona con la respuesta de la VFC (Cowley, et al., 2013; Chen, et al., 2015; Di Bernardi Luft et al, 2009; Thayer, et al, 2009; Thompson, et al, 2015), quizás porque ambos fenómenos (DM y respuesta cardíaca) son regulados por áreas similares del cerebro (Berntson, Quigley & Lozano, 2007, p191) (**figuras 12**).

Pese a estos antecedentes, en el presente estudio no se pudo comprobar que el DM durante la ejecución de una tarea motriz con diferente esfuerzo cognitivo se correlacionara con la VFC. La explicación puede estar dada porque el DM durante la práctica, y la proporción LF/HF, son dos variables que muestran una gran variabilidad intra-sujeto e inter-sujeto. Recuérdese que para los análisis de correlación se comprobó que estos valores no tenían una distribución normal, y aun cuando estos datos fueron tratados empleando la técnica de transformación a puntajes Z con la posterior eliminación de los valores extremos superiores o iguales a 2.50 unidades (Aguinis, Gottfredson & Joo, 2013), en algunos casos no se alcanzó la normalidad en todo el conjunto de datos. Por este motivo en las pruebas de correlación se realizó estadística no paramétrica y paramétrica según fuera el caso, aunque en la mayoría de los análisis se utilizó estadística no paramétrica con el coeficiente de correlación de Spearman.

En el primer caso, Schmidt y Lee mencionan que el efecto del aprendizaje motor intra-sujeto y la variabilidad inter-sujeto es marcado, básicamente porque no todos los sujetos tienen la misma tasa de aprendizaje, donde unos mejoran rápidamente en los primeros ensayos y luego se estancan, mientras que otros experimentan problemas con la tarea casi hasta el final de la práctica cuando finalmente el aprendizaje puede mejorar marcadamente (Schmidt & Lee, 2014, p185). Otro hallazgo típico es que el desempeño de los sujetos varía inherentemente de ensayo a ensayo aun cuando se pretenda hacer lo mismo cada vez, y los resultados de algunos experimentos indican que esta variación intra-sujeto se debe a fluctuaciones aleatorias significativas en el sistema motor y no a cambios en la forma en que el sujeto intenta realizar la tarea en un ensayo en particular (Schmidt & Lee, 2011, p331).

En el caso de las variaciones en la proporción LF/HF, se debe al hecho de que incluso en grupos sanos homogéneos, casi todas las medidas de VFC en reposo, incluyendo la proporción LF/HF, muestran grandes variaciones inter-individuales. Precisamente por este punto, la definición de la denominada VFC "normal" continúa siendo muy cuestionada y considerada como un problema inherente de esta medida (Nunan, et al., 2010).

Sin embargo, al parecer la variabilidad intra-sujeto e inter-sujeto durante el aprendizaje motor es un fenómeno que se manifiesta con menos fuerza cuando la práctica se caracteriza por una menor interferencia o interrupción. De hecho, **los valores de la proporción LF/HF en reposo y del DM cuando el aprendizaje tiene una baja interferencia o interrupción, parecen ser buenas condiciones para que ocurra una correlación estadística.** Por ejemplo, en el presente estudio se encontró durante la adquisición que más tiempo ($r = 0,574$; $p < 0,01$) y errores ($r = 0,585$; $p < 0,01$) de ejecución con la práctica bloqueada, se correlacionaron moderadamente con aumentos de la proporción LF/HF en reposo durante la retención de la destreza (**figuras 56 y 57**). Mientras que, en la etapa de retención, una mayor proporción LF/HF en reposo se correlacionó con más errores de ejecución ($r = 0,471$; $p < 0,05$) (**figura 58**). De modo, que al parecer la correlación estadística sólo es posible cuando existe poca interrupción en la práctica con la consecuente reducida variabilidad intra-sujeto e inter-sujeto en los valores de las variables que se relacionan.

Por otro lado, al parecer, el medio en que se realiza la tarea motriz también es un aspecto que afecta la predicción del DM a través de la respuesta autónoma cardíaca, específicamente, se ha encontrado que un entorno de presión competitiva no es un medio adecuado en donde pueda ocurrir una correlación entre el DM y la VFC (Cooke et

al, 2011), quizás por la respuesta variable en el nivel de activación-excitación del individuo.

Al interpretar estas correlaciones, podemos afirmar que en personas sanas que entrenan una DMF de equilibrio con una poca interrupción en la práctica, un pobre desempeño en la adquisición puede perturbar el equilibrio autónomo cardíaco en reposo en la etapa de validación del aprendizaje. A su vez, en esta misma etapa, elevados valores en el equilibrio autónomo cardíaco en reposo se relacionan con más errores de ejecución, lo cual sugiere que cuando se inicia el entrenamiento de una destreza fundamental con una aumentada actividad simpática, la precisión en el control del movimiento será deficiente. No obstante, estos resultados deben asumirse con precaución debido a controversias con la interpretación de la respuesta de las bandas LF y HF.

Es conocido que el SNS y el SNP regulan de manera competitiva la función circulatoria, en particular, la activación del nodo sinoatrial, donde la mayor actividad del SNS se combina con una menor actividad del SNP (Montano et al., 2009). En reposo, tanto los nervios simpáticos como los parasimpáticos están tónicamente activos, pero existen efectos dominantes de los principales nervios del SNP (nervios vagales). Si bien algunos factores estresantes psicológicos también pueden producir cambios independientes en la actividad de SNS o SNP (Shaffer, McCraty, & Zerr, 2014), algunos autores consideran que ambas ramas del SNA pueden estar activas simultáneamente (Berntson y Cacioppo, 1999). Por ejemplo, la proporción LF/HF es considerada un índice de equilibrio autonómico, que se dice que caracteriza el punto funcional relativo a lo largo de un continuo de activación simpático parasimpático (ver Malliani, 1999). Este índice simpato-vagal asume un continuo autonómico regulado recíprocamente, en el que los aumentos en una rama se acoplan a las disminuciones en la otra. **Aunque algunos autores afirman que esto puede valer en algunos casos, como el estrés ortostático, y no en otros, especialmente en contextos psicológicos** (Berntson & Cacioppo, 1999), en años recientes esta idea se ha desestimado por otros autores. Por ejemplo, Castaldo y colegas mencionan que en persona jóvenes saludables, una elevada relación entre LF y HF durante una condición de estrés mental agudo, sugiere una activación simpática y una abstinencia parasimpática (Castaldo et al., 2015), sin embargo, la interpretación de la relación LF/HF es controvertida debido a que la potencia en la banda LF puede verse influida por los mecanismos simpático, barorreflejo y también vagal, según sea el contexto (condiciones ambulatorias frente a las de reposo), mientras que la potencia HF es producida por la actividad vagal eferente debida a la actividad respiratoria (Castaldo et al., 2015).

Pese a estos problemas de interpretación de la neurofisiología cardíaca, consideramos que las correlaciones encontradas pueden ser explicadas por varios factores, que en este estudio en particular, se agrupan en torno a la **toma de decisiones bajo estrés**: 1) la estrategia de afrontamiento seleccionada ante una situación desafiante, 2) la forma de procesamiento de la información de los parámetros motores que caracteriza la preparación de la secuencia motriz durante la práctica bloqueada, y 3) la activación cognitiva o nivel de excitación del individuo previo a la ejecución de una tarea motriz que determina su desempeño.

Es conocido que la respuesta al estrés forma parte del Síndrome de Adaptación General que consta de tres etapas, y en este orden son: **la reacción de alarma, la adaptación y la muerte celular**. La primera etapa, reacción de alarma, imita la respuesta de “lucha-huida” entendida como una conducta de supervivencia que además describe la actividad de los sistemas nervioso (simpático, parasimpático) y hormonal (testosterona, cortisol, hormona de crecimiento y catecolaminas) para mantener la homeostasis fisiológica. Tanto la respuesta a la lucha como el entrenamiento para aprender a luchar, dependen en gran medida de la activación del SNS como función principal del nivel de regulación hormonal en el cuerpo (Rhodes, & Zehr, 2019).

Este aspecto permite explicar porque un pobre desempeño en la adquisición puede perturbar el equilibrio autónomo cardíaco de reposo en la etapa de validación del aprendizaje. Es posible que los participantes que tuvieron un mal desempeño en la práctica de adquisición asumieron la prueba de retención como una situación de amenaza (estresante) que de alguna forma suponía una comprobación en su capacidad de afrontar con éxito la tarea motriz. En respuesta a esto, era de esperar una reacción adaptativa de alarma en forma de elevados valores de la proporción LF/HF en reposo.

Son algunas las investigaciones que conectan la VFC en reposo a varios rasgos cognitivos y emocionales adaptativos. Por ejemplo, un mayor predominio o regulación parasimpática está relacionado con una mejor respuesta motivacional apropiada al contexto (Melzig, Weike, Hamm, & Thayer, 2009), a una mejor atención ejecutiva (Sollers, Naumann, Sienbenbrock, Hill, & Thayer, 2010) y a un mejor desempeño en la memoria de trabajo (Hansen, Johnsen, & Thayer, 2003)

Por otra parte, se ha mencionado antes que en la retención los individuos expuesto a **la práctica bloqueada deben volver a preparar sus respuestas organizando y utilizando un número mayor de fragmentos motrices** (Wright et al, 2016), **lo que parece estimular cierto nivel de incertidumbre al comienzo de la práctica de retención**, que junto con la intención de afrontar con éxito la tarea motriz (mejorar o

mantener el nivel de DM), va a provocar un estado de anticipación en algunos de los practicantes.

Este fenómeno de anticipación se caracteriza por ser un estado reactivo o de respuesta cardiaca selectiva que precede a un estresor discreto (Schwartz et al., 2003). En estudios previos, la magnitud de la respuesta cardiaca anticipatoria por estresores psíquicos y físicos se han asociado con la aparición y progresión de enfermedades cardiovasculares (Davig Larkin, & Goodie, 2000; Everson, Kaplan, Goldberg & Salonen, 1996; Everson et al., 1997), pero también se ha reportado que las reacciones anticipatorias afectan significativamente las respuestas cardiovasculares en protocolos de estrés agudo (Schwartz et al., 2003). Por ejemplo, Franzen et al (2011) estudiando el efecto de la privación total del sueño sobre la respuesta selectiva al estrés psicológico, reportaron una reacción anticipatoria con un significativo incremento de la tensión arterial sistólica previo al estrés en los participantes cuando son despojados del sueño. Balanos et al. (2010) por su parte, reportaron valores de tensión arterial en reposo más altos por la anticipación a una inminente tarea de estrés, como lo fue una entrevista de trabajo en un entorno formal del laboratorio, en comparación con una menor tensión arterial en reposo en una sesión informal de selección.

En el contexto del DM, esta respuesta de anticipación depende del nivel de experiencia motriz del practicante. Por ejemplo, en un estudio en deportistas de alto rendimiento se ha encontrado **un menor cambio del perfil de la VFC en reposo durante la ejecución de una destreza de precisión, que pudo ser el resultado de un aumento en la activación parasimpática atribuible a factores psicofisiológicos, como la automatización cognitiva, superior eficiencia de la función ejecutiva bajo coacción, y a otros mecanismos de respuesta selectiva al estrés** (Thompson, Swain, Branch, Spina, & Grieco, 2015). Considerando los resultados del presente estudio, esta reacción anticipatoria de activación parasimpática en reposo no se presenta durante la retención de la destreza en los individuos con poco entrenamiento, y que, además, han tenido un DM deficiente en la etapa inicial del aprendizaje. Todo lo opuesto, la reacción anticipatoria se presenta como un desequilibrio del SNA con predominio simpático, que como se mencionó es característico de una reacción de alarma por estrés.

Esta reacción de alarma puede producir diferentes niveles de activación cognitiva en un individuo, y comúnmente se entiende que la activación es el grado de excitación generada en el SNC. Por ejemplo, bajos niveles de activación están asociados con estados de sueño, mientras que altos niveles están asociados con estados agitados o extremadamente alertas.

Por otra parte, de acuerdo con Blascovich et al., (2004) los individuos que evalúan una situación de desempeño como una amenaza tendrán peor desempeño que aquellos que lo evalúan como un desafío. Esta situación de amenaza, a su vez, también puede ser la responsable de elevar la activación cognitiva del individuo.

El nivel de activación producido bajo estrés, es un aspecto común en el análisis del DM (Schmidt & Lee, 2014, p56). La influencia del nivel de activación cognitiva sobre el rendimiento físico y el DM ha sido estudiada durante años, y la Teoría de la U-Invertida representa el primer acercamiento a esta relación. De acuerdo a esta teoría, una deficiente o aumentada activación disminuye el desempeño, mientras que un nivel óptimo de activación lo aumenta (Weinberg, & John, 1978) (curva B, **figura 59**). Por ejemplo, en el presente estudio se pudo observar que la práctica bloqueada (que estimula un mejor DM), promueve valores intermedios (quizás óptimos) de respuesta en la proporción LF/HF (práctica B: adquisición = 2.3, retención = 2.7) en comparación con los otros dos programas (práctica A: adquisición = 1.9, retención = 2.0; práctica G: adquisición = 3.3; retención = 2.9) (**figuras 44, 48 y 52**). Además, cuando los participantes de la práctica bloqueada inician la prueba de retención con elevados niveles de activación, según la respuesta en la amplitud de oscilaciones del corazón, la precisión del movimiento disminuye, lo cual parece confirmar la influencia de la activación cognitiva sobre el grado de desempeño y aprendizaje motor.

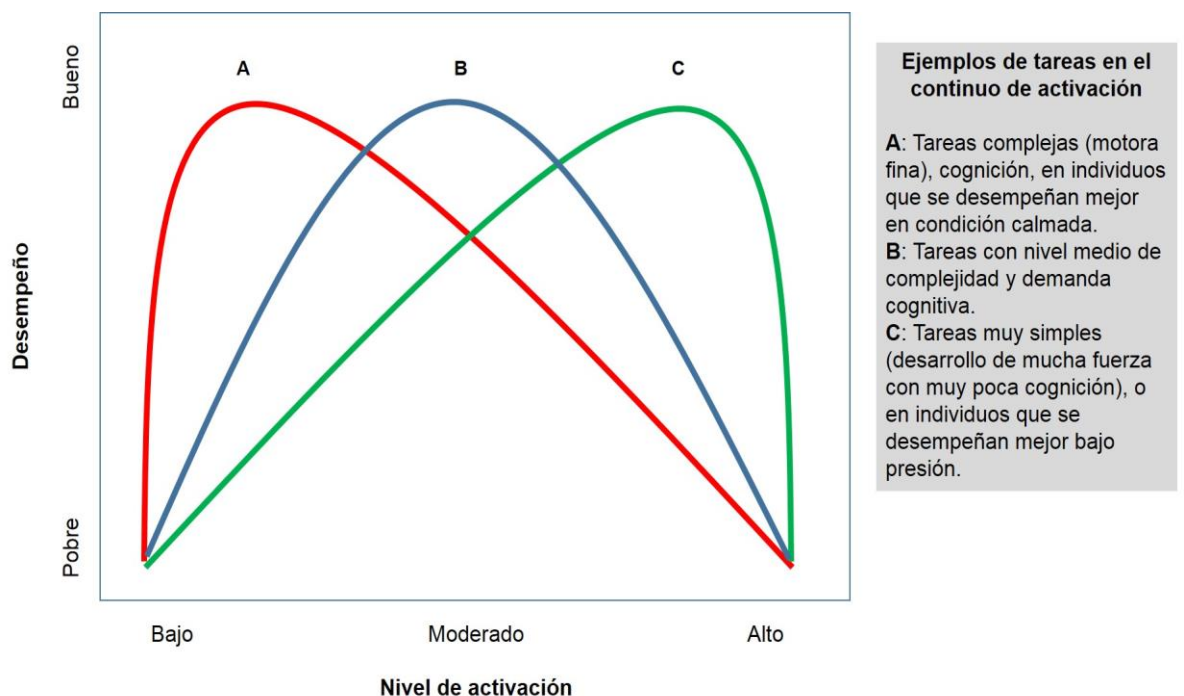


Figura 59. Ilustración de la Teoría de la U-invertida y formas de la función activación-desempeño. Adaptado de: Schmidt & Lee, (2014, p57).

Por otra parte, la evidencia más reciente sugiere que diferentes tareas, así como las diferencias individuales en la activación/excitabilidad de los sujetos, puede resultar en cambios en las formas de las curvas, con un óptimo desempeño ocurriendo ya sea en los extremos inferior o superior del continuo de activación (Schmidt & Lee, 2014, p57). Por ejemplo, en tareas de motricidad fina como enhebrar una aguja, un buen desempeño se alcanzará con un bajo nivel de activación (curva A, **figura 59**), mientras que el máximo desempeño en tareas que requieren muy poco esfuerzo cognitivo (e.g. halterofilia que depende más del desarrollo de la fuerza) se alcanza con una elevada activación (curva C, **figura 59**). En este mismo extremo de activación cognitiva se pueden ubicar a los individuos que se desempeñan bien bajo presión. Un buen ejemplo de ello, lo constituye los resultados de un estudio en golfistas que encontró que una elevada presión competitiva aumentó la precisión en la tarea de golpeo, y esta respuesta fue incluso independiente del nivel de experticia deportiva (novatos, experimentados y expertos) (Cooke et al, 2011).

Durante el proceso de aprendizaje motor, el nivel de activación cognitiva del individuo, también parece estar influenciado por la toma de decisiones que debe poner en marcha el practicante para dar respuesta a las demandas de movimiento en una tarea en particular (Schmidt & Lee, 2011, p97). Suponemos, que en este estudio la toma de decisiones estuvo implícita en la intención de algunos sujetos de mejorar el DM, lo cual les condujo a rescatar la forma de procesamiento de la información de los parámetros motores (reorganizando y utilizando un número mayor de fragmentos motrices) que caracteriza la preparación de la secuencia motriz durante la práctica bloqueada.

Por otra parte, los estudios han demostrado que el uso de funciones ejecutivas modera la asociación entre el desempeño en tareas con diferente activación cognitiva y la respuesta de la VFC en reposo (Thayer et al., 2009). Dentro las principales funciones ejecutivas podemos resaltar: 1) el control inhibitorio que funciona como regulador de la conducta y del proceso de atención y que permite pensar antes de actuar analizando el contexto; 2) la flexibilidad cognitiva que permite cambiar de estrategia cuando la que utilizamos en determinado problema no conduce a la solución, y por último pero no menos importante, 3) la memoria de trabajo que permite mantener y analizar la información adquirida (Ardila, 2008). No parece haber dudas que la presencia de estas funciones ejecutivas es necesaria para la toma de decisiones durante la preparación de la secuencia motriz en tareas que requieren diferente activación cognitiva.

Comprobación de la hipótesis 4

Hipótesis 4. El equilibrio autónomo cardíaco tendrá una moderada capacidad para predecir el DM en la adquisición, retención y transferencia de la destreza con la práctica aleatoria.

Como solo se encontraron las siguientes correlaciones y sólo con la práctica bloqueada, **esta hipótesis no se comprobó.**

De acuerdo a los resultados de las correlaciones se pudo obtener el valor predictivo que el DM durante la adquisición tuvo sobre la proporción LF/HF en reposo durante la retención, donde el único modelo de regresión lineal múltiple encontró que solo los errores promedio de ejecución pueden explicar aproximadamente un 35% de los cambios en la proporción LF/HF en reposo durante la retención (el modelo eliminó el tiempo de ejecución por su débil valor predictivo) (**tabla 38**). Estos resultados indican en primer lugar, que además del número de errores que realice el participante, durante la práctica en bloque van a existir otras fuentes de variación de la respuesta del sistema cardíaco autónomo en reposo previo a la evaluación de la retención. En segundo lugar, no se va a presentar un efecto combinado entre la precisión del movimiento y la optimización del tiempo durante la adquisición para predecir la respuesta cardíaca en reposo en la retención.

Por otra parte, una menor potencia obtuvo el modelo de regresión lineal simple para la predicción de la precisión del movimiento en la retención. Solo un 22% de los errores de ejecución pudieron ser explicados por los cambios en la proporción LF/HF en reposo durante la fase de retención, por lo que el resto de la variación en la precisión de la tarea también va a ser atribuida a otras variables no evaluadas en el estudio (**tabla 39**).

En ambos análisis de regresión se realizó la prueba de rachas para comprobar el supuesto de independencia de los residuos, considerando que los puntajes analizados provenían de diferentes sujetos (regresión múltiple: $Z = -1,275$, $p = 0,202$; regresión múltiple: $Z = -0,186$, $p = 0,853$). Esta prueba en los dos casos arrojó una $p > 0,05$, por lo cual se podría aseverar que los errores no están correlacionados (Visauta-Vinacua, 2002), y por tanto, se cumple con el supuesto de independencia. Esto indica que se presenta aleatoriedad en las observaciones, de modo, que los resultados de esta predicción pueden validarse por completo.

- **Análisis de correlación entre el porcentaje de variación del peso corporal en la prueba de sentarse y pararse y el desempeño motor en la transferencia para cada programa de práctica**

No hubo correlación estadísticamente significativa entre estas variables, lo cual sugiere que el DM en la transferencia de una destreza de equilibrio postural es independiente del equilibrio dinámico del participante previo al aprendizaje (**tabla 37**). Esto concuerda con los resultados del meta-análisis de Jiménez-Díaz et al, (2016a) que demuestra que el nivel de habilidad del participante previo a la práctica no afecta el DM de destrezas motrices en general durante la adquisición ($F_{(1,28)} = 0,105$, $p = 0,798$) y la retención ($F_{(1,33)} = 1,73$, $p = 0,196$). En síntesis, el DM en una destreza de transferencia que combina el desplazamiento inter-miembro de la carga de peso corporal con flexiones de rodilla es independiente de la habilidad de equilibrio del participante y su mejora depende de la práctica realizada.

En resumen,

1. De la población potencialmente elegible ($N = 6890$), fueron evaluados 230 estudiantes universitarios que respondieron a la convocatoria, de los cuales 63 cumplieron con los criterios de inclusión. Estos fueron asignados proporcional y aleatoriamente a tres programas de práctica (bloqueada $n = 22$, gradual $n = 21$, aleatorio $n = 22$), sin presentarse pérdida de seguimiento.

2. Al precisar las características generales de los participantes en cuanto a la edad ($20,63 \pm 2,58$ años), el peso corporal ($58,34 \pm 10,09$ kg), el IMC ($24,12 \pm 2,88$ kg/m²) y el equilibrio postural estático ($0,59 \pm 0,49$) y dinámico ($2,23 \pm 0,71$) en bipedestación, se encontró que los grupos de comparación fueron estadísticamente homogéneos, de modo, que las diferencias encontradas en el DM entre los grupos de práctica no fueron atribuidas a estas variables.

3. **Durante la práctica de adquisición** de la destreza, los resultados de las comparaciones de la mediana entre grupos mostraron diferencias significativas únicamente en los errores de ejecución y la proporción LF/HF en la recuperación.

Se presentó una mayor precisión (menores errores) con la práctica bloqueada en comparación con la práctica gradual, mientras que no hubo diferencias entre la gradual y aleatoria. De modo que, desafiar progresivamente al practicante, no parece ser una estrategia útil para programar la práctica de una destreza continua de equilibrio, al menos cuando se busca mejorar con pocos ensayos la precisión en este tipo de destreza. Por otra parte, no se encontró diferencias entre la práctica bloqueada y aleatoria para el tiempo de ejecución y el número de errores, de modo, que este resultado no respalda el efecto de IC en la adquisición, por lo que es posible que la predicción del DM no se muestre cuando se practica una DMF de equilibrio.

No se observaron diferencias entre grupos en la proporción LF/HF antes de iniciar la práctica de adquisición, tampoco durante la ejecución de los ensayos. Por lo tanto, la forma de organización de la práctica no afectó la respuesta autónoma en reposo, y a juzgar por la respuesta de esta variable durante los ensayos de la destreza, en esta fase del aprendizaje, la demanda de atención asociada con la planificación de una próxima secuencia motora fue similar entre grupos, es decir, independiente del programa de práctica ejecutado. La principal diferencia para esta variable se presentó al comparar la mediana de la proporción LF/HF en la recuperación entre los participantes del programa bloqueado y los que ejecutaron el programa aleatorio, donde la práctica bloqueada retarda la recuperación del control autónomo cardíaco.

Al analizar los resultados **durante la prueba retención**, no se encontraron diferencias en el DM entre la práctica bloqueada y aleatoria. Estos resultados confirman que el programa de práctica aleatorio o bloqueado y el momento de medición no interactúan para modificar el desempeño. Por lo tanto, se entiende que el efecto de IC que ha demostrado explicar parcialmente el aprendizaje de destrezas complejas, no tiene implicaciones en la respuesta de aprendizaje de DMFs en adultos, particularmente, del constructo estabilidad. Por otra parte, cuando los participantes practican con aumentos graduales de IC no se desempeñaron mejor en pruebas de retención, comparado con los que practicaron un programa bloqueado o aleatorio.

En cuanto a la variabilidad de la frecuencia cardíaca, los resultados de las comparaciones de la mediana entre grupos no mostraron diferencias significativas en ninguna de las mediciones de la proporción LF/HF, sugiriendo que los grupos de comparación fueron homogéneos en esta variable durante el reposo, y que la forma de organización de la práctica no afectó la respuesta autónoma en los ensayos de práctica ni en la recuperación.

Durante la prueba de transferencia del aprendizaje, los resultados de las comparaciones de la mediana entre grupos no mostraron diferencias en el DM. Las diferencias se presentaron en la proporción LF/HF durante los ensayos, donde la respuesta del sistema cardíaco autónomo durante los ensayos de transferencia fue mayor en aquellos participantes previamente entrenados en un programa gradual en comparación con los entrenados con la práctica aleatoria. Es posible que la práctica gradual favorezca a que la estimulación del SNS del control autónomo del corazón sea más permisiva al efecto de la demanda de atención compartida que se presenta en la tarea de transferencia.

4. Al analizar el cambio en el DM entre la adquisición y la retención, se encontró que todos los programas benefician **la retención** de la destreza, o sea, el programa de práctica aplicado no perjudica el aprendizaje durante el entrenamiento de desplazamiento inter-miembros de la carga del peso corporal. Sin embargo, la forma más eficiente de desempeñarse en la ejecución de esta destreza es con la práctica bloqueada, donde se consigue que el sistema motor mejore la optimización del tiempo y la precisión del movimiento. Son varios los posibles factores que van a explicar el mayor beneficio de la práctica bloqueada, como son: la puesta en marcha de APA, así como de la corrección postural pre-programada y/o voluntaria; una reducción del período de latencia para la respuesta motriz, mayor "sinergia" (o unificación) entre los procesos visuales y posturales; y la presencia de una actividad cognitiva diferencial acompañada de la activación de áreas del cerebro que facilitan el manejo de tareas novedosas.

En cuanto a la respuesta del equilibrio autónomo cardíaco, tanto en la práctica de adquisición como en la prueba de retención, la proporción LF/HF se incrementó desde el reposo hasta la ejecución de los ensayos y disminuyó después de este período. Esto pudo deberse a la interacción entre 1) la respuesta neurofisiológica debido a la demanda cognitiva asociada a la preparación y respuesta motriz, y 2) al cambio de posición del cuerpo como consecuencia del estrés ortostático.

Al parecer la práctica bloqueada promueve valores óptimos en la amplitud de las oscilaciones de la respuesta autónoma del corazón, que estimula la conectividad funcional en áreas del cerebro asociadas con la eficacia en la planificación de la secuencia motriz.

Durante la **prueba de transferencia** se presentaron los valores más altos en la respuesta autónoma del corazón debido a una mayor exigencia del sistema cardiovascular.

5. En ninguno de los programas de práctica se encontró una relación estadísticamente significativa entre la respuesta del equilibrio autónomo cardíaco y el DM alcanzado durante la adquisición, retención y transferencia de la destreza. Por lo tanto, la proporción LF/HF durante la ejecución de la tarea motriz no tiene la capacidad de predecir el DM alcanzado en cualquiera de las tres formas de organización de la práctica.

Sin embargo, con la práctica bloqueada el DM en la adquisición se correlacionó positivamente con la proporción LF/HF en reposo previo a la prueba retención, y a su vez esta respuesta del control autónomo cardíaco se correlacionó positivamente con la cantidad de errores cometidos durante la misma prueba. De modo, que en la medida que empeora el DM en la práctica de adquisición, se va a incrementar la respuesta del índice

simpático-vagal en reposo durante la prueba de retención y ésta respuesta cardíaca va a predecir la disminución en la precisión de la tarea. Estos resultados sugieren que el índice simpático-vagal puede considerarse como una medida psicométrica que tiene la propiedad de detectar la respuesta de activación cognitiva del individuo en el contexto de la práctica de una DMF de equilibrio, y podría considerarse como una medida objetiva, útil y de bajo coste para apoyar las particularidades del proceso de aprendizaje motor.

6. En ninguno de los programas de práctica hubo correlación estadísticamente significativa entre la variación inter-miembros (ms) del peso corporal en la prueba de sentarse y levantarse y el DM en la **prueba transferencia**, indicando que la transferencia del aprendizaje de una destreza de equilibrio postural no puede predecirse por la habilidad de equilibrio dinámico del participante.

Limitaciones del estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones que se agregan a las identificadas durante su concepción y diseño, que se detallan a continuación.

- El principal factor responsable del cambio en la proporción LF/HF entre el reposo y la ejecución de ensayos, y entre los ensayos y la recuperación no pudo determinarse bien (**tabla 3**), debido a que interactuaron el estrés ortostático, por el cambio de posición del cuerpo (Berntson & Cacioppo, 1999) y la respuesta neurofisiológica como consecuencia del aumento de la demanda cognitiva asociada a la preparación y respuesta motriz. Por lo que futuros estudios, deben considerar la especificidad de la medición en busca de una mayor validez en los valores de la respuesta autónoma durante el aprendizaje de una destreza motriz.
- Por problemas con la disponibilidad de tiempo y de recursos, no se realizó una evaluación de la línea base del DM, lo cual limitó el conocimiento de la condición en la que los participantes inician el estudio y de la evolución del DM a lo largo del mismo. Sin embargo, pensamos que la supresión de esta medición tuvo una consecuencia positiva más que negativa en la experimentación, ya que su aplicación antes del experimento pudo influir en las respuestas de los individuos durante la fase de experimentación, por ejemplo, incrementando o disminuyendo el DM y/o la respuesta del balance autónomo cardíaco en la adquisición. Consideramos que, una medición inicial antes de la intervención, estimula la entrenabilidad, el aprendizaje motor y los mecanismos psicofisiológicos de afrontamiento a la tarea, por lo que resultaría difícil discernir en sí la respuesta del individuo en la fase de adquisición se debió exclusivamente a la práctica ejecutada o a la combinación de la práctica con la estimulación inicial

recibida durante la evaluación de la línea base. Autores como Kerlinger y Lee reconocen este aspecto como una amenaza o fuente de invalidación interna de un experimento (Kerlinger & Lee, 2000, p322).

- Cuando se prescribe la práctica bloqueada, durante la adquisición de la destreza se requiere que sean ejecutados varios ensayos continuos de la destreza modificando los parámetros de práctica en la medida que se mejora el desempeño. En este estudio no se respetó dicho requisito, debido a que no fue posible evaluar el nivel de desempeño previo a pasar a la siguiente tarea (i.e. siguiente % de la carga de peso corporal). Este aspecto pudo afectar el aprendizaje de los participantes que practicaron bloqueados, sin embargo, se asume que esto no tuvo un importante impacto en los resultados porque precisamente con la práctica bloqueada se consiguió el mejor DM durante la retención. Este aspecto pudo afectar más a los participantes con un programa gradual, de acuerdo en las perspectivas en la que se sustenta la efectividad de este programa de práctica.

Utilidad del estudio

Aplicación práctica

Uno de los objetivos para los profesionales del movimiento humano es crear entornos efectivos de aprendizaje y transferencia del aprendizaje de destrezas motrices. Con este objetivo en mente, los profesionales que buscan mejorar la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso corporal pueden decidirse por cualquier programa de práctica, pero considerando que la práctica bloqueada es la forma más eficaz para facilitar el aprendizaje. Al modificar las características de la tarea sólo cuando se completan varios ensayos de una misma tarea anterior, el profesional altera poco la cantidad de interferencia contextual que el practicante encuentra y esto parece estimular el aprendizaje de esta destreza.

Dicho aprendizaje se expresa en una mayor precisión y optimización del tiempo en la ejecución de la destreza. Tal precisión se relaciona con el grado de desempeño experto alcanzado por el practicante al controlar de una mejor forma los parámetros cinéticos de la destreza (e.g. porcentaje de la carga de peso aplicada) (Paillard, 2017). Mientras que la optimización del tiempo de ejecución se manifiesta con un mejor control temporal de la acción por una coordinación eficaz entre postura y movimiento (Latash, 1998, p170; Olivier et al., 2013) debido a la puesta en marcha de APA, a una corrección postural pre-programada, a una reducción del período de latencia para la respuesta motriz, y a una mayor "sinergia" (o unificación) entre los procesos visuales y posturales.

Es importante recordar que el aprendizaje no es lineal y que en cambio el DM sigue la 'ley de poder del aprendizaje' con grandes mejoras observadas durante la práctica temprana (inicio de la adquisición) y menores índices de mejora mostrados a medida que la práctica continúa (Newell & Rosenbloom, 1981). A menudo vemos períodos de gran mejora seguidos de mesetas o incluso regresión en nuestros practicantes. Durante estos períodos, es posible que, mientras que el desempeño parece peor, el aprendizaje todavía está ocurriendo. Durante los períodos de descanso, las personas pueden estar fatigadas o tener menos atención o pueden estar intentando nuevas estrategias para realizar la tarea. Sin embargo, la evidencia sugiere que la consolidación de la memoria para el almacenamiento a largo plazo continúa durante las mesetas de desempeño y las mesetas son seguidas por nuevos períodos de mejora observable (Shadmehr & Holcomb, 1997).

▪ Interpretación práctica de la magnitud de los TE

Aun cuando la significación estadística y el tamaño de efecto deben ir de la mano para realizar una correcta interpretación de los resultados (Fan, 2001), el uso del TE tiene un propósito diferente al propósito de la significación estadística. Mientras que la prueba de significación estadística evalúa la probabilidad de obtener el resultado de la muestra por azar (probabilidad de cometer error tipo 1 o rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera), el TE proporciona alguna indicación de la magnitud y del significado práctico de los resultados (Fan & Konold, 2010, p448). En este sentido, existe un alto grado de certeza de que la mayor precisión de movimiento alcanzada en la adquisición y en la retención con la práctica bloqueada en comparación con la práctica gradual, no se debió estadísticamente al azar, y esta diferencia encontrada es significativa y robusta en términos prácticos, o sea, útil en el momento de diseñar la práctica para optimizar el desempeño y el aprendizaje motor. También se puede aseverar que el TE al comparar la PB y la PA, no fue significativo ni en términos estadísticos ni prácticos, por lo tanto, a menos que las investigaciones futuras indiquen lo contrario, la hipótesis de que no existe un efecto de IC durante el aprendizaje de una destreza fundamental de equilibrio postural, se favorece tanto estadística como prácticamente.

Al mismo tiempo el intervalo de confianza proporciona una estimación de la variabilidad para el TE de la muestra, ya que combina el tamaño de la muestra con la medición del tamaño del efecto (Thompson, 2007), y su utilidad radica en que son especialmente valiosos porque facilitan la interpretación de los resultados y la comparación con los intervalos de los efectos de estudios previos relacionados. El primer argumento nos permite afirmar que la práctica bloqueada es la forma más eficiente de mejorar la dinámica temporal en el aprendizaje de una DMF de equilibrio postural, pero

con un 95% de certeza esto no sucede en toda la muestra de estudio, ya que el intervalo de confianza del TE pasa por un rango de 0,06 (bajo) a 1,23 (alto) (fig pag 44), o sea, en algunos practicantes el tiempo de ejecución mejora muy poco en la retención, mientras que en otros participantes mejora mucho. De acuerdo a la segunda premisa, un investigador no solo debe preguntarse si es probable el resultado de la muestra, sino también si un efecto es lógico (comparable) y replicable (Fan & Konold, 2010, p448).

Aplicación clínica

▪ Mejora del equilibrio postural dinámico en bipedestación

Este estudio demostró que, en sujetos jóvenes sanos sin experiencia previa en el entrenamiento de coordinación, equilibrio ó propiocepción de miembros inferiores, y con similar habilidad en el equilibrio postural estático y dinámico, la proficiencia en la destreza de desplazamiento inter-miembros de la carga de peso puede retenerse e incluso mejorarse con muy pocos ensayos y mediante un programa específico (práctica bloqueada) de aprendizaje que incluya variabilidad en la organización de la práctica. La estrategia de variabilidad podría aplicarse a las intervenciones de práctica para mejorar el control neuromuscular y el desarrollo de competencias motrices, así como para prevenir el deterioro del DM relacionado con la edad en destrezas de equilibrio postural dinámico. Por ejemplo, la prevención de caídas relacionadas con la edad se ha asociado con el control de movimientos rápidos de las extremidades inferiores, en particular, con la ejecución de reacciones de equilibrio o APA que involucran pasos rápidos, las cuales son efectivas para desacelerar el movimiento del centro de masa inducido por una perturbación repentina e impredecible del equilibrio. En el adulto mayor, la práctica de destrezas de equilibrio postural dinámico consigue optimizar los procesos de los sistemas neural, sensorial y/o musculoesquelético en la capacidad de ejecutar estas reacciones de manera efectiva (Maki & McIlroy, 2006). Además, cómo ya se explicó antes, con una práctica específica los adultos mayores son capaces de aprender respuestas posturales adaptativas en forma de un mejor control temporal del centro de masa, y de lograr minimizar la inestabilidad del tronco (mejor alineación vertical y reducción del movimiento general del tronco) a una tasa comparable a la de adultos jóvenes (Van Ooteghem et al, 2009).

▪ Reentrenamiento de la carga de peso parcial tras periodos de descarga postcirugía o tras inmovilización. Implicaciones para la recuperación de la funcionalidad del miembro inferior

La mejora del control neuromuscular en la extremidad inferior y concretamente en la articulación de la cadera, especialmente tras periodos de descarga postcirugía o tras

inmovilización, necesita el entrenamiento de carga de peso progresivo (Peter et al 2014; Westby et al, 2014) para mejorar la coordinación intramuscular y la fuerza muscular (Ström et al, 2006; Tsukagoshi et al, 2014).

Los resultados del presente estudio podrían ser relevantes para la programación de los ejercicios de carga parcial de peso tras periodos de descarga de la articulación de la cadera, dado que la disfunción de esta articulación afecta en gran medida al control lateral de la carga de peso (Vasarhelyi et al., 2006). Por ello, tras periodos de descarga postcirugía o tras inmovilización, el entrenamiento para el control de los parámetros temporales y espaciales de la destreza de desplazamiento inter-miembros de carga de peso corporal, puede mejorar el equilibrio dinámico y preparar a los pacientes para el reentrenamiento de otras destrezas de locomoción como el retorno a la marcha sin muletas. Al mismo tiempo, la mejora de asimetrías en la carga de peso corporal inter-miembros puede disminuir el riesgo de desarrollar osteoartritis en el lado contralateral de la cirugía.

Pese a que Krause et al., (2007) en un estudio en sujetos sanos encontró que el programa de práctica fue irrelevante durante el aprendizaje de la carga parcial de peso con muletas, este estudio demuestra que se debe priorizar la práctica bloqueada, ya que es la forma más efectiva de aprender a controlar en un corto período de tiempo la carga de peso parcial predefinida.

- **Reentrenamiento de la simetría en la distribución de la carga de peso corporal y en el equilibrio postural en pacientes con afectación neurológica. Implicaciones para la recuperación de la función postural y prevención de caídas**

Personas con asimetrías en la distribución inter-miembros de la carga de peso y en el equilibrio postural del tronco tienen un alto riesgo de caídas (Gehlsen & Whaley, 1990). Estas asimetrías también son consideradas el déficit locomotor más común en la hemiparesia secundaria a un accidente cerebrovascular (Taylor, Ashburn & Ward, 1994; Turnbull, Charteris & Wall, 1996), que sumado a una mayor oscilación del centro de presión y a una menor producción de fuerza en la tarea de sentarse y levantarse, parecen ser las responsables de una mayor incidencia de caídas en estos pacientes (Cheng et al., 1998).

Pese a que no hay relación entre la asimetría de la distribución del peso corporal y el número de caídas (Sackley, 1991), el entrenamiento de la distribución simétrica del peso corporal entre las extremidades, puede mejorar el desempeño de la destreza de sentarse y levantarse y, en consecuencia, disminuir en esta tarea el número de caídas de los

pacientes hemipléjicos con accidente cerebrovascular (Cheng et al., 2001). Este entrenamiento parece mejorar los procesos sensoriales aferentes de los sistemas somatosensorial, visual y vestibular y, los procesos motores encargados de coordinar la acción de los músculos del tronco y las piernas en discretas sinergias de respuesta postural (Cheng et al., 2001).

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que después de un derrame cerebral, las personas que a menudo intentan controlar conscientemente sus acciones motoras, paradójicamente, interrumpen el desempeño óptimo. Además, el suministro de información explícita (consciente) durante la rehabilitación puede ser perjudicial para el aprendizaje/reaprendizaje y ejecución de las destrezas motoras porque fomenta a que las acciones del practicante dependan de la información de retroalimentación recibida y de la memoria de trabajo como fuentes cognitivas. Por lo tanto, es necesaria una estrategia de aprendizaje que minimice la acumulación de conocimiento explícito para eludir los intentos de controlar conscientemente las acciones motoras. Parece ser que la estrategia de aprendizaje implícito “sin errores”, o sea, donde se crean las condiciones para que el practicante no cometa errores (e.g., restringir las oscilaciones de la plataforma de equilibrio de amplitud móvil variable, etc.), es la más efectiva en comparación con un estrategia de aprendizaje explícito “por descubrimiento”, donde los practicantes activamente descubren las reglas biomecánicas de la tarea (e.g., en cuál posición debe colocar el tronco, las rodillas y, cómo debe distribuir la carga de peso corporal, etc.) (Orrell, Eves & Masters, 2006).

▪ **Aprendizaje asistido por la variabilidad de la frecuencia cardiaca**

Los resultados muestran una aproximación inicial sobre cómo podemos utilizar la variabilidad de la frecuencia cardiaca, específicamente, el equilibrio autónomo cardíaco, para monitorear la práctica de una destreza atendiendo a la carga interna o fisiológica. Como ya se ha documentado en los estudios que han utilizado la VFC para monitorear componentes de la condición física (Oliver et al., 2019) y del efecto del entrenamiento (da Silva et al., 2019; Vesterinen V, Nummela A, Heikura, 2016), este estudio también demuestra que la medición de esta variable puede ser útil para asegurar que el practicante se acerque a los objetivos deseados en cada momento, individualizando la planificación de la práctica, en particular del nivel de excitación, de forma que favorezca mejoras en el DM.

Por lo tanto, la evaluación de la proporción LF/HF como componente de la VFC, puede proporcionar información valiosa a los profesionales del movimiento humano (e.g. kinesiólogos, fisioterapeutas, médicos, entrenadores, educadores físicos, etc.) para

monitorear el desempeño y el aprendizaje motor durante el entrenamiento de patrones básicos de movimiento. Por ejemplo, adicionar medidas de anticipación de la respuesta del control autónomo del corazón, podría predecir el DM y brindar información de la coherencia entre la respuesta motriz y el estado psicofisiológico.

Como sabemos que los individuos que evalúan una situación de desempeño como una amenaza tendrán peor desempeño que aquellos que lo evalúan como un desafío, una buena estrategia para facilitar el DM durante la práctica del desplazamiento intermiembros de la carga de peso, es alentando a los individuos a evaluar esta tarea como un desafío y no como una amenaza (Vine et al, 2013), utilizando como medida de monitoreo la respuesta del índice simpato-vagal previo a la práctica.

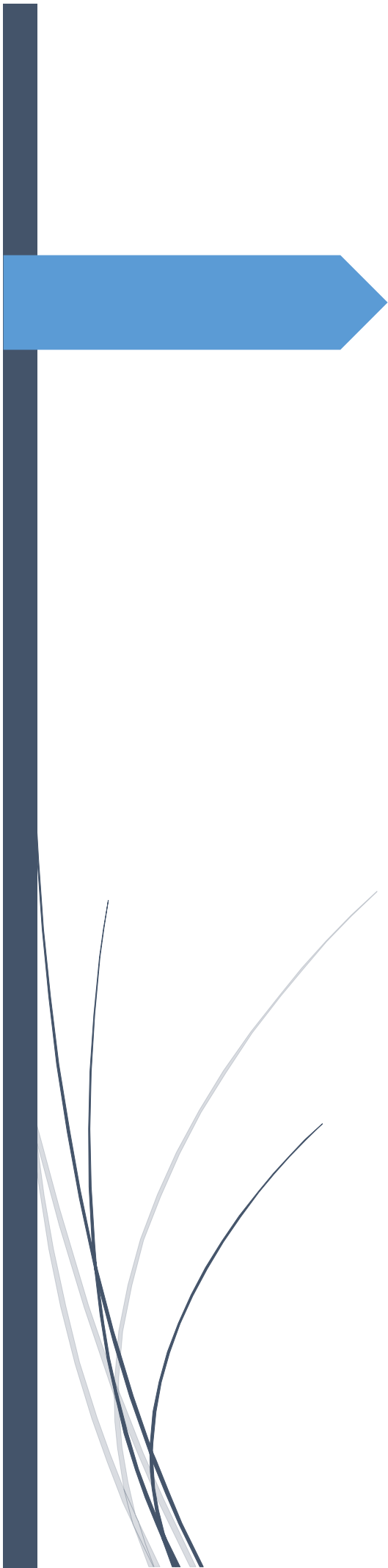
Futuras líneas de investigación en el área de la interferencia contextual

Como se ha mostrado previamente, el efecto de IC produce consistentes mejoras en el aprendizaje de destrezas complejas, con suficiente soporte científico para incluirlo en la planificación del aprendizaje. Sin embargo, la divergencia entre estudios en este campo se debe a que la generalización del efecto de IC se ve afectado por un grupo de variables moderadoras (sexo, edad, habilidad de los participantes, tipo de destreza según la cantidad de movimiento, momento de la medición, etc.) (Jiménez-Díaz et al., 2016a). Por lo tanto, futuros estudios deben tener en cuenta estas variables y reportarlas con precisión para una correcta interpretación de los resultados.

Por otra parte, es escaso el conocimiento sobre la aplicación de esta metodología en el aprendizaje de DMFs. Aunque este trabajo representa un primer acercamiento a su estudio, existen muchos aspectos en los que todavía se debe profundizar. Por ejemplo, futuros estudios podrían:

- incorporar medidas neurofuncionales con el objetivo determinar si las diferencias encontradas en el DM entre estos programas de práctica, se deben a una actividad diferencial en áreas selectivas del cerebro implicadas en el control autónomo cardíaco y en la planificación de la secuencia de movimientos, tanto en la adquisición como en la retención de una destreza fundamental de equilibrio,
- comprobar si la toma de decisión para el control del movimiento es un factor influyente en el DM,
- considerar la especificidad de la medición en busca de una mayor validez de los valores de la respuesta autónoma durante el aprendizaje de una destreza motriz. Recuérdese que no pudo determinarse bien el principal factor responsable del cambio en la proporción LF/HF entre el reposo y la ejecución de ensayos, y

entre los ensayos y la recuperación, debido a que interactuaron el estrés ortostático, por el cambio de posición del cuerpo y por la respuesta neurofisiológica, como consecuencia del aumento de la demanda cognitiva asociada a la preparación y respuesta motriz.



Conclusiones

CONCLUSIONES

1. Al analizar las diferencias entre grupos:

Durante la adquisición la práctica bloqueada produjo un mejor DM, en particular, menores errores de ejecución en comparación con la práctica gradual. La práctica bloqueada y la práctica aleatoria provocaron igual DM, por lo que no se respalda el efecto de IC en la adquisición. Antes de iniciar la práctica y durante la ejecución de los ensayos, no se observaron diferencias en la proporción LF/HF entre los grupos de comparación. Sin embargo, los participantes de la práctica bloqueada mostraron valores más altos en la recuperación en comparación con la práctica aleatoria.

Durante la retención no se encontraron diferencias en el DM entre los grupos de práctica, este resultado tampoco respalda el efecto de IC en esta fase del aprendizaje. La proporción LF/HF fue similar entre grupos antes de iniciar la prueba, así como durante los ensayos y la recuperación.

Durante la transferencia, no hubo diferencias entre grupos en el DM. La proporción LF/HF durante los ensayos fue mayor con la práctica gradual en comparación con la práctica aleatoria.

2. Al analizar el cambio dentro de los grupos:

Entre la adquisición y la retención el DM no cambió con la práctica gradual ni con la práctica aleatoria, indicando que con estos programas se logra retener el aprendizaje. Solo con la práctica bloqueada mejoraron el tiempo y los errores de ejecución.

En la adquisición y en la retención, con el programa de práctica bloqueada y gradual, la proporción LF/HF durante los ensayos incrementó y durante la recuperación disminuyó. Con la práctica aleatoria, la proporción LF/HF se incrementó durante los ensayos de adquisición, pero no en la retención, y durante la recuperación disminuyó después de ambas pruebas.

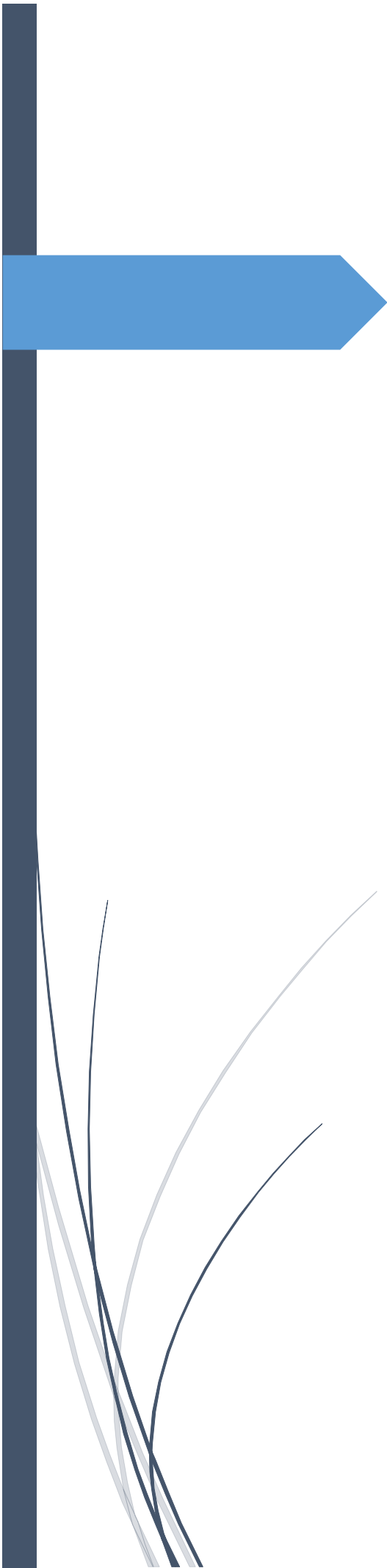
Desde la retención hasta la transferencia la proporción LF/HF incrementó en todos los grupos de práctica.

3. Al analizar las relaciones:

No se encontró relación entre la proporción LF/HF y el DM durante la adquisición, retención y transferencia de la destreza en ninguno de los programas de práctica.

Con **la práctica bloqueada**, el DM (i.e., tiempo y errores de ejecución) en la adquisición se relacionó positivamente con la proporción LF/HF al inicio de la prueba de retención, y los errores de ejecución explicaron aproximadamente un 35% de los cambios en la proporción LF/HF. Además, la proporción LF/HF al inicio de la prueba de retención también se relacionó positivamente con los errores de ejecución durante esta misma prueba, y la proporción LF/HF explicó aproximadamente un 20% de los errores de ejecución.

No hubo relación, en ninguno de los programas de práctica, entre la variación intermiembros (ms) del peso corporal en la prueba de sentarse y levantarse evaluada previamente al aprendizaje (i.e., equilibrio dinámico en bipedestación) y el DM en la prueba de transferencia.



Referencias bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamse, E. L., Ruitenbergh, M. F. L., de Kleine, E., & Verwey, W. B. (2013). Control of automated behavior: insights from the discrete sequence production task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1– 18.
- Agelink, M. W., Malessa, R., Baumann, B., Majewski, T., Akila, F., Zeit, T., & Ziegler, D. (2001). Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate. *Clinical Autonomic Research*, 11(2), 99-108.
- Aguinis, H., Gottfredson, R. K., & Joo, H. (2013). Best-practice recommendations for defining, identifying, and handling outliers. *Organizational Research Methods*, 16(2), 270-301.
- Aladro-Gonzalvo, A.R; Tricas Moreno. J.M; Lucha López, M.O. & Esparza-Yáñez, D., (2017). Validity of the COBS® force platform for the evaluation of vertical jump height. *Journal of Human Sport & Exercise*, 12(2), 367-379.
- Aladro-Gonzalvo, A. R., Araya-Vargas, G., Solera-Herrera, A., Moncada-Jiménez, J., & Machado-Díaz, M. (2019). Exercise Protects Cardiovascular Recovery from Stress in Black Cuban Adolescents. *Gazzetta Medica Italiana-Archivio Per le Scienze Mediche*, 178(7-8), 491–500.
- Almonroeder, T. G., Kernozek, T., Cobb, S., Slavens, B., Wang, J., & Huddleston, W. (2018). Cognitive demands influence lower extremity mechanics during a drop vertical jump task in female athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 48(5), 381-387.
- Ardila, A. (2008). On the evolutionary origins of executive functions. *Brain & Cognition*, 68(1), 92-99.
- Argimon-Pallás, J. M. & Jiménez-Villa, J. (2013). *Métodos de investigación clínica y epidemiológica*. (4.ª Ed.). Barcelona: Elsevier.
- Balanos, G. M., Phillips, A. C., Frenneaux, M. P., McIntyre, D., Lykidis, C., Griffin, H. S., & Carroll, D. (2010). Metabolically exaggerated cardiac reactions to acute psychological stress: the effects of resting blood pressure status and possible underlying mechanisms. *Biological Psychology*, 85(1), 104-111.
- Banfield GK, Wood C, Knight J. (2000). Does vestibular habituation still have a place in the treatment of benign paroxysmal positional vertigo? *J Laryngol Otol*, 114(7), 501–505.
- Barnett, L. M., Lai, S. K., Veldman, S. L., Hardy, L. L., Cliff, D. P., Morgan, P. J., ... & Rush, E. (2016). Correlates of gross motor competence in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1663-1688.

- Beauchet, O., Annweiler, C., Verghese, J., Fantino, B., Herrmann, F. R. & Allali, G. (2011). Biology of gait control: vitamin D involvement. *Neurology* 76, 1617–1622.
- Beauchet, O., Barden, J., Liu-Ambrose, T., Chester, V. L., Szturm, T., & Allali, G. (2016). The relationship between hippocampal volume and static postural sway: results from the GAIT study. *Age*, 38(1), 19.
- Behm, D.G., Muehlbauer, T., Kibele, A., Granacher, U. (2015). Effects of strength training using unstable surfaces on strength, power and balance performance across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45, 1645–1669.
- Benarroch, E. E. (1993). The central autonomic network: Functional organization, dysfunction and perspective. *Mayo Clinic Proceedings*, 68, 988–1001.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Quigley, K. S. (1993). Respiratory sinus arrhythmia: Autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications. *Psychophysiology*, 30, 183–196.
- Berntson, G. G., & Cacioppo, J. T. (1999). Heart rate variability: A neuroscientific perspective for further studies. *Cardiac Electrophysiology Review*, 3, 279–282.
- Berntson, G. G., Quigley, K. S. & Lozano, D. (2007). *Cardiovascular psychophysiology*. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (3th ed.) (pp. 182–210). Cambridge: University of Cambridge.
- Bertollo, M., Berchicci, M., Carraro, A., Comani, S., & Robazza, C. (2010). Blocked and random practice organization in the learning of rhythmic dance step sequences. *Perceptual & Motor Skills*, 110(1), 77-84.
- Blascovich, J., Seery, M. D., Mugridge, C. A., Norris, R. K., & Weisbuch, M. (2004). Predicting athletic performance from cardiovascular indexes of challenge and threat. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40, 683–688.
- Brady, F. (1998). A theoretical and empirical review of the contextual interference effect and the learning of motor skills. *Quest*, 50(3), 266-293.
- Brady, F. (2004). Contextual interference: a meta-analytic study. *Perceptual and Motor Skills*, 99(1), 116-126.
- Brauner, T., Wearing, S., Rämisch, E., Zillober, M., & Horstmann, T. (2014). Can measures of limb loading and dynamic stability during the squat maneuver provide an index of early functional recovery after unilateral total hip arthroplasty? *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 95(10), 1946-1953.
- Broadbent, D. P., Causer, J., Ford, P. R., & Williams, A. M. (2015). Contextual interference effect on perceptual–cognitive skills training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(6), 1243-1250.

- Bruijn, S. M., Meijer, O. G., Beek, P. J., & van Dieën, J. H. (2013). Assessing the stability of human locomotion: a review of current measures. *Journal of the Royal Society Interface*, *10*(83), 20120999.
- Boisgontier, M. P., Cheval, B., Chalavi, S., van Ruitenbeek, P., Leunissen, I., Levin, O., ... & Swinnen, S. P. (2017). Individual differences in brainstem and basal ganglia structure predict postural control and balance loss in young and older adults. *Neurobiology of Aging*, *50*, 47-59.
- Bonnet, C. T., & Baudry, S. (2016). A functional synergistic model to explain postural control during precise visual tasks. *Gait & Posture*, *50*, 120-125.
- Bono, R. & Arnau, J. (1995). Consideraciones generales en torno a los estudios de potencia. *Anales de Psicología*, *11*(2), 193-202.
- Borenstein, M., Hedges, L.H., Higgins, J.P.T. & Rothstein, H.R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. Wiltshire, Inglaterra: Wiley.
- Bortoli, L., Spagolla, G., & Robazza, C. (2001). Variability effects on retention of a motor skill in elementary school children. *Perceptual & Motor Skills*, *93*(1), 51-63.
- Boyce, B. A., Coker, C. A., & Bunker, L. K. (2006). Implications for variability of practice from pedagogy and motor learning perspectives: Finding common ground. *Quest*, *58*, 330-343.
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network—anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1124*(1), 1–38.
- Cancino, J. (2011). Variabilidad del ritmo cardíaco: ¿Por qué el caos puede ser saludable? *PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, *9*(1), 22-32.
- Cano-De-La-Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J. C., & Torricelli, D. (2015). Theories and control models and motor learning: clinical applications in neurorehabilitation. *Neurología (English Edition)*, *30*(1), 32-41.
- Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing & Control*, *18*, 370-377.
- Cattuzzo, M. T., dos Santos Henrique, R., Ré, A. H. N., de Oliveira, I. S., Melo, B. M., de Sousa Moura, M., ... & Stodden, D. (2016). Motor competence and health related physical fitness in youth: A systematic review. *Journal of Science & Medicine in Sport*, *19*(2), 123-129.
- Cavallari, P., Bolzoni, F., Bruttini, C., & Esposti, R. (2016). The organization and control of intra-limb anticipatory postural adjustments and their role in movement performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*, 525.

- Chalavi, S., Pauwels, L., Heise, K. F., Zivariadab, H., Maes, C., Puts, N. A., ... & Swinnen, S. P. (2018). The neurochemical basis of the contextual interference effect. *Neurobiology of Aging*, *66*, 85-96.
- Cheng, P. T., Liaw, M. Y., Wong, M. K., Tang, F. T., Lee, M. Y. & Lin, P. S. (1998). The sit-to-stand movement in stroke patients and its correlation with falling. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, *79*, 1043-1046.
- Chen, F. C., Tsai, C. L., Biltz, G. R., Stoffregen, T. A., & Wade, M. G. (2015). Variations in cognitive demand affect heart rate in typically developing children and children at risk for developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *38*, 362-371.
- Cheng, P. T., Wu, S. H., Liaw, M. Y., Wong, A. M., & Tang, F. T. (2001). Symmetrical body-weight distribution training in stroke patients and its effect on fall prevention. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, *82*(12), 1650-1654.
- Cheng-Feng L., I-Jung, L., Jung-Hsien, L., Hong-Wen, W. & Fong-Chin, S. (2011). Comparison of postural stability between injured and uninjured ballet dancers. *Am J Sports Med*, *39*(6), 1324-1331.
- Critchley, H. D., Rotshtein, P., Nagai, Y., O'doherty, J., Mathias, C. J., Dolan, R. J. (2005). Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions. *Neuroimage*, *24*, 751–762.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Publicshers. Recuperado de: <http://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf>
- Cooke, A., Kavussanu, M., McIntyre, D., Boardley, I. D., & Ring, C. (2011). Effects of competitive pressure on expert performance: Underlying psychological, physiological, and kinematic mechanisms. *Psychophysiology*, *48*(8), 1146-1156.
- Cowley, B., Ravaja, N., & Heikura, T. (2013). Cardiovascular physiology predicts learning effects in a serious game activity. *Computers & Education*, *60*(1), 299-309.
- da Silva, D. F., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B., & Machado, F. A. (2019). Endurance running training individually guided by HRV in untrained women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(3), 736-746.
- Dai, B., Cook, R. F., Meyer, E. A., Sciascia, Y., Hinshaw, T. J., Wang, C., & Zhu, Q. (2018). The effect of a secondary cognitive task on landing mechanics and jump performance. *Sports Biomechanics*, *17*(2), 192-205.
- Damasio, A. R. (1998). Emotion in the perspective of an integrated nervous system. *Brain Research Review*, *26*(2–3), 83–86.
- Dampney, R. A., Polson, J.W., Potts, P. D., Hirooka, Y., & Horiuchi, J. (2003). Functional organization of brain pathways subserving the baroreceptor reflex: Studies in conscious

- animals using immediate early gene expression. *Cellular & Molecular Neurobiology*, 23, 597–616.
- Daza Lesmes, J. (2007). *Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano*. Colombia: Editorial Médica Panamericana.
- Davig, J. P., Larkin, K. T. & Goodie, J. L. (2000). Does cardiovascular reactivity to stress measured in the laboratory generalize to thesis and dissertation meetings among doctoral students? *Int J Behav Med*, 7, 216–235.
- Deniskina, I. V., Levik, Y. S. & Gurfinkel, V. S. (2001). Relative roles of the ankle and hip muscles in human postural control in the frontal plane during standing. *Hum Physiol*, 27, 317–321.
- Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt, B. A. (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behavior. *Brain*, 118, 279–306.
- Di Bernardi Luft, C., Takase, E., & Darby, D. (2009). Heart rate variability and cognitive function: Effects of physical effort. *Biological Psychology*, 82(2), 186-191.
- Dietrich, A., (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Research*, 145(1), 79–83.
- D'Hondt, E., Deforche, B., Gentier, I., et al. (2013). A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers. *IntJ Obes (Lond)*, 37(1), 61–67.
- Doyon, J., & Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 161–167.
- Doyon, J., Gabbitov, E., Vahdat, S., Lungu, O., & Boutin, A. (2018). Current issues related to motor sequence learning in humans. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 20, 89-97.
- Duclos, N., Duclos, C., & Mesure, S. (2017). Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. *EMC-Kinesiterapia-Medicina Física*, 38(2), 1-9.
- Duffell, L. D., Gulati, V., Southgate, D. F. & McGregor, A. H. (2013). Measuring body weight distribution during sit-to-stand in patients with early knee osteoarthritis. *Gait & Posture*, 38, 745-750.
- Everson, S. A., Kaplan, G. A., Goldberg, D. E. & Salonen, J. T. (1996). Anticipatory blood pressure response to exercise predicts future high blood pressure in middle-aged men. *Hypertension*, 27, 1059–1064.
- Everson, S. A., Lynch, J. W., Chesney, M. A., Kaplan, G.A., Goldberg, D. E., Shade, S. B., Cohen, R. D., Salonen, R., Salonen, J. T. (1997). Interaction of workplace demands and cardiovascular reactivity in progression of carotid atherosclerosis: population based study. *British Medical Journal (Clinical Research Edition)*, 314, 553–558.

- Fan, X. (2001). Statistical significance and effect size in education research: Two sides of a coin. *The Journal of Educational Research*, 94(5), 275-282.
- Fan, X. & Konold, T. R. (2010). *Statistical significance versus effect size*. In: International Encyclopedia of Education (3th ed.). Eds Peterson, P., Baker, E. & McGaw, B. Elsevier.
- Fernández del Olmo, M. A. (2012). *Neurofisiología aplicada a la actividad física*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381–391.
- Franzen, P. L., Gianaros, P. J., Marsland, A. L., Hall, M. H., Siegle, G. J., Dahl, R. E., & Buysse, D. J. (2011). Cardiovascular reactivity to acute psychological stress following sleep deprivation. *Psychosomatic Medicine*, 73(8), 679-682.
- Friedman, B.H., (2007). An autonomic flexibility-neurovisceral integration model of anxiety and cardiac vagal tone. *Biological Psychology*, 74(2), 185–199.
- Fujimoto, M., & Chou, L. S. (2012). Dynamic balance control during sit-to-stand movement: an examination with the center of mass acceleration. *Journal of Biomechanics*, 45(3), 543-548.
- Gaerlan, M.G., Alpert, P. T., Cross, C., Louis, M., & Kowalski, S. (2012). Postural balance in young adults: the role of visual, vestibular and somatosensory systems. *Journal of the American Academy of Nurse Practitioners*, 24(6), 375-381.
- Gallahue, D., Ozmun, J. (2006). *Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults*. (6th ed.). New York: Mc-Graw Hill.
- Gallego-Gómez, A., Hita-Contreras, F., Lomas-Vega, R., & Martínez-Amat, A. (2011). Estudio comparativo del índice de masa corporal y el equilibrio postural en estudiantes universitarios sanos. *Fisioterapia*, 33(3), 93-97.
- García-Pastor, C. & Álvarez-Solís, G. A. (2014). La prueba de Romberg y Moritz Heinrich Romberg. *Rev Mex Neuroc*, 15(1), 31-35.
- Gebel, A., Lesinski, M., Behm, D. G., & Granacher, U. (2018). Effects and dose–response relationship of balance training on balance performance in youth: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(9), 2067-2089.
- Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17(1), 3-23.
- Geok, J., Lay, B., Grove, J. R., Medic, N., & Razman, R. (2012). Practicing field hockey skills along the contextual interference continuum: a comparison of five practice schedules. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(2), 304-311.
- Gianaros, P. J., May, J. C., Siegle, G. J., & Jennings, J. R. (2005). Is there a functional neural correlate of individual differences in cardiovascular reactivity? *Psychosomatic Medicine*, 67, 31-39.

- Gray, A. L., Johnson, T. A., Ardell, J. L., & Massari, V. J. (2004). Parasympathetic control of the heart. II. A novel interganglionic intrinsic cardiac circuit mediates neural control of heart rate. *Journal of Applied Physiology*, *96*, 2273–2278.
- Gehlsen, G. M. & Whaley, M. H. (1990). Falls in the elderly: part II, balance, strength and flexibility. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, *71*, 739-741.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Kressig, R. W., & Zahner, L. (2011). An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention—a mini-review. *Gerontology*, *57*(4), 304-315.
- Golomer, E., & Dupui, P. (2000). Spectral analysis of adult dancers' sways: Sex and interaction vision-proprioception. *International Journal of Neuroscience*, *105*, 15–26.
- Grissom, R.J. & Kim, J.J. (2012). *Effect Sizes for Research. Univariate and Multivariate Applications* (2nd ed.). New York: Routledge Taylor & Francis.
- Hardy, L. L., Reinten-Reynolds, T., Espinel, P., Zask, A., & Okely, A. D. (2012). Prevalence and correlates of low fundamental movement skill competency in children. *Pediatrics*, *130*, e390.
- Hardy, L. L., Barnett, L., Espinel, P., et al. (2013). Thirteen-year trends in child and adolescent fundamental movement skills: 1997–2010. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *45*(10), 1965-1970.
- Hardwick, R. M., Rottschy, C., Miall, R. C., & Eickhoff, S. B. (2013). A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain. *NeuroImage*, *67*, 283–297.
- Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., & Liu, Y. (2015). The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. *BioMed Research International*, *8*, ID 842804.
- Hansen, A. L., Johnsen, B. H., & Thayer, J. F. (2003). Vagal influence on working memory and attention. *International Journal of Psychophysiology*, *48*, 263-274.
- Hansen, A.L., Johnsen, B.H., Sollers, J.J., Stenvik, K. & Thayer, J.F., (2004). Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: the effects of training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, *93*(3), 263-272.
- Hedges, L. V. & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. New York: Academic Press.
- Hills, A. P. & Parker, A. W. (1991). Gait characteristics of obese children. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, *72*, 403-407.
- Hof, A. L. (2008). The 'extrapolated center of mass' concept suggests a simple control of balance in walking. *Human Movement Science*, *27*(1), 112-125.

- Holfelder, B., & Schott, N. (2014). Relationship of fundamental movement skills and physical activity in children and adolescents: A systematic review. *Psychology of Sport & Exercise*, 15(4), 382–391.
- Horak, F. B., Nashner, L. M., & Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research*, 82, 167–177.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age & Ageing*, 35(2), ii7-ii11.
- Horstmann, T., Listringhaus, R., Haase, G., Grau, S. & Mündermann, A. (2013). Changes in gait patterns and muscle activity following total hip arthroplasty: a six-month follow-up. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 28, 762-769.
- Hülsdünker, T., Mierau, A., Neeb, C., Kleinöder, H. & Strüder, H. K. (2015) Cortical processes associated with continuous balance control as revealed by EEG spectral power. *Neurosci Lett*, 592, 1–5.
- Hsu, W. L, Chou, L. S, Woollacott, M. (2013). Age-related changes in joint coordination during balance recovery. *Age (Dordr)* 35(4), 1299–1309.
- Immink, M. A., & Wright, D. L. (2001). Motor programming during practice conditions high and low in contextual interference. *Journal of Experimental Psychology—Human Perception & Performance*, 27(2), 423–437.
- Instruction Measurements Manual. (1995). User Manual Balance Cobs mtd. Versión 5.0.
- Ismail, N., El-salam G., & Fathi, A. (2017). Postural control among normal population of different age groups. *Int J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*, 3(1), 17-24.
- Iverson, G. L., & Koehle, M. S. (2013). Normative data for the balance error scoring system in adults. *Rehabilitation Research & Practice*, 5, ID 846418.
- Jefferys, I. (2006). Motor learning – applications for agility, part 1. *Strength & Conditioning Journal*, 28, 72–76.
- Jeon, S. N., & Choi, J. H. (2015). The effects of ankle joint strategy exercises with and without visual feedback on the dynamic balance of stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(8), 2515-2518.
- Jiménez-Díaz, J., Salazar-Rojas, W. & Morera-Castro, M. (2015). Age and gender differences in fundamental motor skills. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 13(2), 1-16.
- Jiménez-Díaz, J., Salazar-Rojas, W. & Morera-Castro, M. (2014). Interferencia contextual en el desempeño de destrezas motrices: un meta-análisis. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 12(1), 1-21.
- Jiménez-Díaz, J., Salazar-Rojas, W., & Morera-Castro, M. (2016a). Meta-análisis del efecto de la interferencia contextual en el desempeño de destrezas motrices. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 14(2), 1-34.

- Jiménez-Díaz, J., Salazar-Rojas, W., & Morera-Castro, M. (2016b). Uso de practica en bloque y aleatoria en el desempeño de lanzar por encima del hombro en adultos. *Retos*, 29, 9-12.
- Jiménez-Díaz, J., Morera-Castro, M., & Araya-Vargas, G. (2018a). Relationship between actual motor competence and self-perception in adults. *European Journal of Human Movement*, 40, 122-135.
- Jiménez-Díaz, J., Morera-Castro, M., & Salazar, W. (2018b). The contextual interference effect on the performance of fundamental motor skills in adults. *Human Movement*, 19(1), 20-25.
- Jorna, P. G. (1992). Spectral analysis of heart rate and psychological state: a review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, 34(2-3), 2-3.
- Judd, D. L., Thomas, A. C., Dayton, M. R. & Stevens-Lapsley, J. E. (2014). Strength and functional deficits in individuals with hip osteoarthritis compared to healthy, older adults. *Disabil Rehabil*, 36, 307-312.
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 829-838.
- Kamarck, T. W. & Lovallo, W. R. (2003). Cardiovascular reactivity to psychological challenge: conceptual and measurement considerations. *Psychosomatic Medicine*, 65, 9-21.
- Kastner, J. & Krau, B. (2009). Tele-Analyser clue medical with its diagnostic possibilities. Telozo Technology Company. Recuperado de: http://www.clue-medical.at/en/downloads_pdfs/Kastner_Krauss_EKG-Grundlagen_EN.pdf.
- Kejonen, P., Kauranen, K. & Vanharanta, H. (2003). The relationship between anthropometric factors and body-balancing movements in postural balance. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 84, 17-22.
- Kelly, A. M. C., & Garavan, H. (2005). Human functional neuroimaging of brain changes associated with practice. *Cerebral Cortex*, 15(8), 1089–1102.
- Kerlinger, F.N. y Lee, H.B. (2000). *Foundations of Behavioral Research* (4th ed.). San Diego, California: Harcourt College Publishers.
- Kiers, H., van Dieën, J., Dekkers, H., Wittink, H., Vanhees, L., (2013). A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Medicine*, 43, 1171–1189.
- Krause, D., Wünnemann, M., Erlmann, A., Hölzchen, T., Mull, M., Olivier, N., & Jöllenbeck, T. (2007). Biodynamic feedback training to assure learning partial load bearing on forearm crutches. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 88(7), 901-906.

- Kümmel, J., Kramer, A., Giboin, L. S., & Gruber, M. (2016). Specificity of Balance Training in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *46*(9), 1261-1271.
- Lacour, M. (2016). Envejecimiento del control postural y del equilibrio. *EMC-Podología*, *18*(1), 1-9.
- Lane, R.D., McRae, K., Reiman, E.M., Chen, K., Ahern, G.L., Thayer, J.F., (2009). Neural correlates of heart rate variability during emotion. *Neuroimage* *44*(1), 213-222.
- Latash, M. L., & Zatsiorsky, V.M. (2016). *Biomechanics and motor control: defining central concepts*. London: Academic Press.
- Latash, M. L. (1998). *Neurophysiological basis of movement*. Champaign IL: Human Kinetics.
- Lee, T. D., & Magill, R. A. (1983). The locus of contextual interference in motor-skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology- Learning Memory & Cognition*, *9*(4), 730–746.
- Lee, T. D., Swinnen, S. P., & Serrien, D. J. (1994). Cognitive effort and motor learning. *Quest*, *46*(3), 328-344.
- Ledesma, R. D., Macbeth, G., & Cortada de Kohan, N. (2009). Computing effect size measures with ViSta-the visual statistics system. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, *5*(1), 25-34.
- Lekhel, H., Marchand, A. R. & Assaiante, C. (1994). Cross-correlation analysis of the lateral hip strategy in unperturbed stance. *Neuroreport*, *5*, 1293–1296.
- Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Granacher, U. (2015a). Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *45*, 557–576.
- Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Granacher, U. (2015b). Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *45*, 1721–1738.
- Li, Y. H., & Wright, D. L. (2000). An assessment of the attention demands during random- and blocked-practice schedules. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section a-Human Experimental Psychology*, *53*(2), 591–606.
- Li, Z., Snieder, H., Su, S., Ding, X., Thayer, J. F., Treiber, F. A. & Wang, X. (2009). A longitudinal study in youth of heart rate variability at rest and in response to stress. *International Journal of Psychophysiology*, *73*, 212–217.
- Liaw, M. Y., Chen, C. L., Pei, Y. C., Leong, C. P., & Lau, Y. C. (2009). Comparison of the static and dynamic balance performance in young, middle-aged, and elderly healthy people. *Chang Gung Med J*, *32*(3), 297-304.
- Lim, K., & Lee, H. (2012). Computerized posturographic measurement in elderly women with unilateral knee osteoarthritis. *Ann Rehabil Med*, *36*(5), 618-626.

- Lin, C. H., Knowlton, B. J., Chiang, M. C., Iacoboni, M., Udompholkul, P., & Wu, A. D. (2011). Brain-behavior correlates of optimizing learning through interleaved practice. *NeuroImage*, *56*(3), 1758-1772.
- Lin, C. H., Chiang, M. C., Wu, A. D., Iacoboni, M., Udompholkul, P., Yazdanshenas, O., & Knowlton, B. J. (2012). Age related differences in the neural substrates of motor sequence learning after inter-leaved and repetitive practice. *NeuroImage*, *62*(3), 2007-2020.
- Linden, W., Earle, T. L., Gerin, W. & Christenfeld, N. (1997). Physiological stress reactivity and recovery: Conceptual siblings separated at birth? *Journal of Psychosomatic Research*, *42*(2), 117-135.
- Locke, L.F. (1990). Why motor learning is ignored: A case study of ducks, naughty theories, and unrequited love. *Quest*, *40*, 134-142.
- Logan, S. W., Robinson, L. E., Wilson, A. E., & Lucas, W. A. (2012). Getting the fundamentals of movement: A meta-analysis of the effectiveness of motor skill interventions in children. *Child: Care, Health and Development*, *38*(3), 305-315.
- Ludwig, O. (2017). Interrelationship between postural balance and body posture in children and adolescents. *Journal of Physical Therapy Science*, *29*(7), 1154-1158.
- Luque-Casado, A., Perales, J. C., Cárdenas, D., & Sanabria, D. (2016). Heart rate variability and cognitive processing: The autonomic response to task demands. *Biological Psychology*, *113*, 83-90.
- Macdonald, M., Lord, C., & Ulrich, D. A. (2013). The relationship of motor skills and social communicative skills in school-aged children with autism spectrum disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *30*(3), 271-282.
- Mackersie, C. L., Macphee, I. X., & Heldt, E. W. (2015). Effects of hearing loss on heart rate variability and skin conductance measured during sentence recognition in noise. *Ear & Hearing*, *36*(1), 145-154.
- Maitre, J. & Paillard, T. (2016). Postural effects of vestibular manipulation depend on the physical activity status. *PLoS ONE*, *11*(9), 1-13.
- Magill, R. A., & Hall, K. G. (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Science*, *9*(3), 241-289.
- Magill, R., & Anderson, D. (2013). *Motor Learning and Control: Concepts and Applications* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Magill R. A. & Anderson, D. I. (2017). *Motor learning and control: Concepts and Applications*. (11th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Maguire, E. A., Burgess, N., Donnett, J. G., Frackowiak, R. S. J., Firth, C. D. & O'Keefe J (1998). Knowing Where and Getting There: A Human Navigation Network. *Science*, *280*, 921-924.

- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *PNAS*, *97*, 4398-4403.
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2006). Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age & Ageing*, *35*(2), ii12-ii18.
- Malliani, A. (1999). The pattern of sympathovagal balance explored in the frequency domain. *News in Physiological Sciences*, *14*, 111–117.
- Marín, F., & Sánchez, J. (1996). Estimadores del tamaño del efecto en meta-análisis: Un estudio Monte Carlo del sesgo y la eficiencia. *Psicológica*, *17*, 467–482.
- Mather, M., & Thayer, J. F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *19*, 98-104.
- Mawase, F., Uehara, S., Bastian, A. J., & Celnik, P. (2017). Motor learning enhances use-dependent plasticity. *Journal of Neuroscience*, *37*(10), 2673-2685.
- Mazzardo, O. (2004). Contextual Interference: Is it supported across studies? (Tesis de maestría). Recuperada de D-Scholarship Institutional Repository at the University of Pittsburgh: (<http://d-scholarship.pitt.edu/9942/>).
- Mcculloch, K. L., Buxton, E., Hackney, J., & Lowers, S. (2010). Balance, attention, and dual-task performance during walking after brain injury: associations with falls history. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *25*(3), 155-163.
- Melzig, C. A., Weike, A. I., Hamm, A. O., & Thayer, J. F. (2009). Individual differences in fear-potentiated startle as a function of heart rate variability: Implications for panic disorder. *International Journal of Psychophysiology*, *71*(2), 109-117.
- Messer, B., & Harter, S. (2012). The self-perception profile for adults: Manual and Questionnaires. Denver: Universidad de Denver. Recuperado de <https://portfolio.du.edu/downloadItem/225566>
- Milton, J. G., Small, S. S., & Solodkin, A. (2004). On the road to automatic: dynamic aspects in the development of expertise. *J Clin Neurophysiol*, *21*(3), 134-143.
- Montano, N., Porta, A., Cogliati, C., Costantino, G., Tobaldini, E., Casali, K. R., & Iellamo, F. (2009). Heart rate variability explored in the frequency domain: a tool to investigate the link between heart and behavior. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *33*(2), 71-80.
- Morasiewicz, P., Konieczny, G., Dejneka, M., Urbański, W., Dragan, S. Ł., Kulej, M., ... & Pawik, L. (2018). Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method. *Scientific reports*, *8*(1), 15693.
- Muelas-Pérez, R., Solana, R. S., Murillo, D. B., & Hernández, F. J. M. (2014). Visual availability, balance performance and movement complexity in dancers. *Gait & Posture*, *40*(4), 556-560.

- Muratori, L. M., Lamberg, E. M., Quinn, L., & Duff, S. V. (2013). Applying principles of motor learning and control to upper extremity rehabilitation. *Journal of Hand Therapy, 26*(2), 94-103.
- Nachev, P., Kennard, C., & Husain, M. (2008). Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(11), 856-869.
- Nashner, L. M., Black, F. O., & Wall, C. I. I. I. (1982). Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *Journal of Neuroscience, 2*(5), 536-544.
- Newell, A. & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. *Cognitive Skills & Their Acquisition, 1*, 1-55.
- Newell, K. M (1991). Motor skill acquisition. *Annu Rev Psychol, 42*, 213-237.
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & Posture, 7*(1), 77-95.
- Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing & Clinical Electrophysiology, 33*(11), 1407-1417.
- O'Connor, S., Whyte, E. F., Gibbons, B., Feeney, O., Luc, S., & Chéilleachair, N. N. (2018). Fundamental movement skill proficiency in juvenile Gaelic games. *Sport Sciences for Health, 14*(1), 161-172.
- Olivier, I., Palluel, E., Nougier, V., & Assaiante, C. (2013). Evolución de las estrategias posturales desde la infancia a la adolescencia. *EMC - Podología, 15*(3), 1–8.
- Oliver, M. D., Morton, A. L., Baldwin, D. R., & Datta, S. (2019). A pilot study exploring the relationship between wellness and physical fitness: an examination into autonomic health. *Journal of American College Health, 1*-8.
- O'Reilly, J. X., Beckmann, C. F., Tomassini, V., Ramnani, N., & Johansen-Berg, H. (2010). Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity. *Cerebral Cortex, 20*(4), 953–965.
- Orlova, E.V., Karateev, D.E. & Amirdjanova, V.N. (2012). Efficiency of an individual rehabilitation program for patients with rheumatoid arthritis. *Rheumatology Science & Practice, 50*(1), 45-53.
- Orrell, A. J., Eves, F. F., & Masters, R. S. (2006). Motor learning of a dynamic balancing task after stroke: implicit implications for stroke rehabilitation. *Physical Therapy, 86*(3), 369-380.
- Orofino, F., Sgro, F., Coppola, R., Crescimanno, C., & Lipoma, M. (2015). Examining the Influence of Different Physical Activity Training on the Postural Stability of University Students. *International Journal of Human Movement & Sports Sciences, 3*(3), 40-45.
- Paillard, T. (2012). Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neurosci. Biobehav. Rev, 36*, 162–176.

- Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 72, 129-152.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol Bull*, 116, 220–244.
- Pasma, J. H., Engelhart, D., Schouten, A. C., Van der Kooij, H., Maier, A. B., & Meskers, C. G. M. (2014). Impaired standing balance: the clinical need for closing the loop. *Neuroscience*, 267, 157-165.
- Physiomed, (2016). Manual de usuario. Recuperado de <http://www.physiomed.de>
- Petersen, S. E., van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 853–860.
- Peter, W., Nelissen, R. Vlieland, T. (2014). Guideline recommendations for post-acute postoperative physiotherapy in total hip and knee arthroplasty: are they used in daily clinical practice? *Musculoskeletal Care*, 12(3), 125-131.
- Penhune, V. B., & Steele, C. J. (2012). Parallel contributions of cerebellar, striatal and M1 mechanisms to motor sequence learning. *Behavioural Brain Research*, 226(2), 579–591.
- Porter, J. M., & Magill, R. A. (2010). Systematically increasing contextual interference is beneficial for learning sport skills. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1277-1285.
- Porter, J. M., & Saemi, E. (2010). Moderately skilled learners benefit by practicing with systematic increases in contextual interference. *International Journal of Coaching Science*, 4(2), 61-71.
- Purves, D., Augustine, G., Fitzpatrick, D., Hall, W., Lamantia, A.-S., & White, L. (2016). *Neurociencia* (5 ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Ramírez, E., Ortega, A. R., & Del Paso, G. A. R. (2015). Anxiety, attention, and decision making: The moderating role of heart rate variability. *International Journal of Psychophysiology*, 98(3), 490-496.
- Rao, A., Lomax, S., Ramsdale, K., & Ramsdale, D. (2007). Ambulatory cardiac rhythm monitoring. *Br J Hosp Med (Lond)*, 68(3), 132-138.
- Rendell, M. A., Masters, R., Farrow, D., & Morris, T. (2011). An implicit basis for the retention benefits of random practice. *Journal of Motor Behavior*, 43(1), 1-13.
- Rhodes, R. E., & Zehr, E. P. (2019). Fight, flight or finished: forced fitness behaviours in Game of Thrones. *Br J Sports Med*, 53(9), 576-580.
- Robinson, L. E., Stodden, D. F., Barnett, L. M., Lopes, V. P., Logan, S. W., Rodrigues, L. P., & D'Hondt, E. (2015). Motor competence and its effect on positive developmental trajectories of health. *Sports Medicine*, 45(9), 1273-1284.

- Rodas, G., Carballido, C. P., Ramos, J. & Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Archivos de Medicina del Deporte*, 25(123), 41-48.
- Rosales, R., Rojas, G., Gálvez, M., Gallardo, P., & Badilla, L. (2006). Obtención de mapas corticales de áreas motora y visual, con resonancia magnética cerebral funcional. *Revista Chilena de Radiología*, 12(4), 164-169.
- Sadri, K., Mohommadzadeh, H., & Khani, M. (2013). The effect of contextual interference on acquisition and learning badminton skills among children aged from 10 to 12. *Annals of Applied Sport Science*, 1(3), 39-46.
- Sackley, C. M. (1991). Falls, sway and symmetry of weight-bearing after stroke. *Int Disabil Stud*, 13, 1-4.
- Sánchez-Castillo, Y., Cisneros-Perdomo, V., Hernández-Chisholm, D., & Dunn García, E. (2018). Protocolo de actuación para el uso de la Plataforma Cobs Biofeedback en el tratamiento rehabilitador de pacientes con parálisis cerebral espástica. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 10(1), 35-47.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2011). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis* (5th ed.). Portland, Oregon: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2014). *Motor learning and performance: From principles to application* (5thed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schwartz, A. R., Gerin, W., Davidson, K. W., Pickering, T. G., Brosschot, J. F., Thayer, J. F., Christenfeld, N. & Linden, W. (2003) Toward a causal model of cardiovascular responses to stress and the development of cardiovascular disease. *Psychosomatic Medicine*, 65, 22-35.
- Shadmehr, R. & Holcomb, H. H. (1997). Neural correlates of motor memory consolidation. *Science*, 277(5327), 821-825.
- Shakoor, N., Dua, A., Thorp, L. E., et al., (2011). Asymmetric loading and bone mineral density at the asymptomatic knees of patients with unilateral hip osteoarthritis. *Arthritis Rheum*, 63, 3853-3858.
- Shaffer, F. & Venner, J. (2013). Heart rate variability anatomy and physiology. *Biofeedback* 41, 13–25.
- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5, 1040.

- Shea, J. B., & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 5(2), 179-187.
- Shea, J. B., & Zimny, S. T. (1983). *Context effects in memory and learning*. In R. A. Magill (Ed.), *Memory and Control of Action* (pp. 145– 166). Amsterdam: North Holland.
- Shea, J. B., Hunt, J. P., & Zimny, S. T. (1985). *Representational structure and strategic processes for movement production*. In D. Goodman, R. B. Wiberg, & I. M. Frank (Eds.), *Differing perspectives in motor learning, memory, and control* (pp. 55–87). Amsterdam: Elsevier.
- Sherwood, D. E., & Lee, T. D. (2003). Schema theory: critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 74(4), 376-382.
- Simmons, R. W., Richardson, C., & Pozos, R. (1997). Postural stability of diabetic patients with and without cutaneous sensory deficit in the foot. *Diabetes Research & Clinical Practice*, 36, 153–160.
- Simmons, R. W., Smith, K., Erez, E., Burke, J., & Pozos, R. E. (1998). Balance retraining in a hemiparetic patient using center of gravity biofeedback: A single case study. *Perceptual & Motor Skills*, 87, 603–609.
- Simmons, R. W. (2005). Sensory organization determinants of postural stability in trained ballet dancers. *Intern. J. Neuroscience*, 115, 87-97.
- Sirois-Leclerc, G., Remaud, A., & Bilodeau, M. (2017). Dynamic postural control and associated attentional demands in contemporary dancers versus non-dancers. *PloS One*, 12(3), e0173795.
- Sollers, J. J., Naumann, E., Sienbenbrock, A., Hill L. K., & Thayer, J. F. (2010). Autonomic regulation and the Attentional Network Task in European and American college students. *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Society for Psychophysiological Research*, Portland, OR.
- Spessato, B. C., Gabbard, C., Valentini, N., & Rudisill, M. (2013). Gender differences in Brazilian children's fundamental movement skill performance. *Early Child Development & Care*, 183(7), 916-923.
- Stal, F., Fransson, P. A., Magnusson, M., and Karlberg, M. (2003). Effects of hyperthermic anesthesia of the feet on vibration-induced body sway and adaptation. *Journal of Vestibular Research*, 13, 39-52.
- Strap M. (2007). Functional neuroanatomy of implicit learning: associative, motor, and habit. *Rev Neurol*, 44, 234-242.
- Ström, H. Huss, K. Larsson, S. (2006). Unrestricted weight bearing and intensive physiotherapy after uncemented total hip arthroplasty. *Scand J Surg*, 95(1), 55-60.

- Stodden, D. F., Goodway, J. D., Langendorfer, S. J., Roberton, M. A., Rudisill, M. E., Garcia, C., & Garcia, L. E. (2008). A developmental perspective on the role of motor skill competence in physical activity: An emergent relationship. *Quest*, *60*(2), 290-306.
- Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, *93*(5), 1043-1065.
- Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A. & Schubert, M. (2007). Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiol*, *189*(4), 347-358.
- Taube, W., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol*, *193*(2), 101-116.
- Taylor, D., Ashburn, A. & Ward, C. D. (1994). Asymmetrical trunk posture, unilateral neglect and motor performance following stroke. *Clin Rehabil*, *8*, 48-53.
- Thayer, J. F. and Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *J. Affect. Disord*, *61*, 201-216.
- Thayer, J. F. & Lane, R.D., (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *33*(2), 81–88.
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, *37*(2), 141-153.
- Thayer, J. F., Yamamoto, S. S. & Brosschot, J. F. (2010). The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal of Cardiology*, *141*, 122-131.
- Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J. & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev*, *36*, 747-756.
- Thomas, J. R., & French, K. E. (1985). Gender differences across age in motor performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *98*(2), 260-282.
- Thomas, J. R., & French, K. E. (1986). The use of meta-analysis in exercise and sport: A tutorial. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, *57*(3), 196-204.
- Thomas, J. R. & Nelson, J. K. (2007). *Métodos de investigación en actividad física*. Barcelona: Paidotribo.
- Thompson, B. (2007). Effect sizes, confidence intervals, and confidence intervals for effect sizes. *Psychology in the Schools*, *44*(5), 423-432.

- Thompson, A. G., Swain, D. P., Branch, J. D., Spina, R. J., & Grieco, C. R. (2015). Autonomic response to tactical pistol performance measured by heart rate variability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 926-933.
- Turnbull, G. I., Charteris, J. & Wall, J. C. (1996). Deficiencies in standing weight shifts by ambulant hemiplegic subjects. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 77, 356-362.
- Turcot, K., Armand, S., Fritschy, D., Hoffmeyer, P. & Suva` D. (2012). Sit-to-stand alterations in advanced knee osteoarthritis. *Gait & Posture*, 36(1), 68-72.
- Tsukagoshi, R. Tateuchi, H. Fukumoto, Y. Ibuki, S. Akiyama, H. So, K. Kuroda, Y. Okumura, H. Ichihashi, N. (2014). Functional performance of female patients more than 6 months after total hip arthroplasty shows greater improvement with weight-bearing exercise than with non-weight-bearing exercise. Randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*, 50(6), 665-75.
- Valle, M. S., Casabona, A., Cavallaro, C., Castorina, G., & Cioni, M. (2015). Learning upright standing on a multiaxial balance board. *PLoS One*, 10(11), e0142423.
- Van Impe, A., Coxon, J. P., Goble, D. J., Doumas, M. & Swinnen, S. P. (2012). White matter fractional anisotropy predicts balance performance in older adults. *Neurobiol Aging*, 33, 1900-1912.
- Vanswearingen, J. M., & Studenski, S. A. (2014). Aging, motor skill, and the energy cost of walking: implications for the prevention and treatment of mobility decline in older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 69(11), 1429-1436.
- Van Ooteghem, K., Frank, J. S., & Horak, F. B. (2009). Practice-related improvements in posture control differ between young and older adults exposed to continuous, variable amplitude oscillations of the support surface. *Experimental Brain Research*, 199(2), 185-193.
- Vasarhelyi, A., Baumert, T., Fritsch, C., Hopfenmuller, W., Gradl, G. & Mittlmeier, T. (2006). Partial weight bearing after surgery for fractures of the lower extremity—is it achievable? *Gait & Posture*, 23, 99-105.
- Vera, J. G., & Montilla, M. M. (2003). Practice schedule and acquisition, retention, and transfer of a throwing task in 6-yr-old children. *Perceptual & Motor Skills*, 96(3), 1015-1024.
- Vera, J. G., Alvarez, J. C. B. & Medina, M. M. (2008). Effects of different practice conditions on acquisition, retention, and transfer of soccer skills by 9-year-old schoolchildren. *Perceptual & Motor Skills*, 106(2), 447-460.
- Verwey, W. B. (1999). Evidence for a multistage model of practice in a sequential movement task. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception & Performance*, 25(6), 1693-1708.

- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., et al. (2016). Individual endurance training prescription with heart rate variability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(7), 1347-1354.
- Vine, S. J., Freeman, P., Moore, L. J., Chandra-Ramanan, R., & Wilson, M. R. (2013). Evaluating stress as a challenge is associated with superior attentional control and motor skill performance: testing the predictions of the biopsychosocial model of challenge and threat. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 19(3), 185-194.
- Visauta-Vinacua, B. (2002). *Análisis estadístico con SPSS para Windows®*. Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Wade, M. G., & Newell, K. M. (1972). Performance criteria for stabilometer learning. *Journal of Motor Behavior*, 4(4), 231-239.
- Weinberg, R. S., & John, R. (1978). Motor performance under three levels of trait anxiety and stress. *Journal of Motor Behavior*, 10(3), 169-176.
- Wegman, E. (1999). Contextual interference effects on the acquisition and retention of fundamental motor skills. *Perceptual & Motor Skills*, 88(1), 182-187.
- Westby, M. D., Brittain, A., & Backman, C. L. (2014). Expert consensus on best practices for post-acute rehabilitation after total hip and knee arthroplasty: a Canada and United States Delphi study. *Arthritis Care Res*, 66(3), 411-423.
- Williams III, D. B., Murray, N. G., & Powell, D. W. (2016). Athletes who train on unstable compared to stable surfaces exhibit unique postural control strategies in response to balance perturbations. *Journal of Sport & Health Science*, 5(1), 70-76.
- Winter, D. A., Prince, F., Stergiou, P. & Powell, C. (1993). Medial-lateral and anterior-posterior motor responses associated with center of pressure changes in quiet standing. *Neurosci Res Commun*, 12, 141-148.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3(4), 193-214.
- Winstein, C. J. (1991). Knowledge of results and motor learning-implications for physical therapy. *Phys Ther*, 71, 140-149.
- Wright, D., Verwey, W., Buchanen, J., Chen, J., Rhee, J., & Immink, M. (2016). Consolidating behavioral and neurophysiologic findings to explain the influence of contextual interference during motor sequence learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(1), 1-21.
- Wood, R., Maraj, B., Lee, C. M., & Reyes, R. (2002). Short-term heart rate variability during a cognitive challenge in young and older adults. *Age & Ageing*, 31(2), 131-135.
- Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16, 1-14.

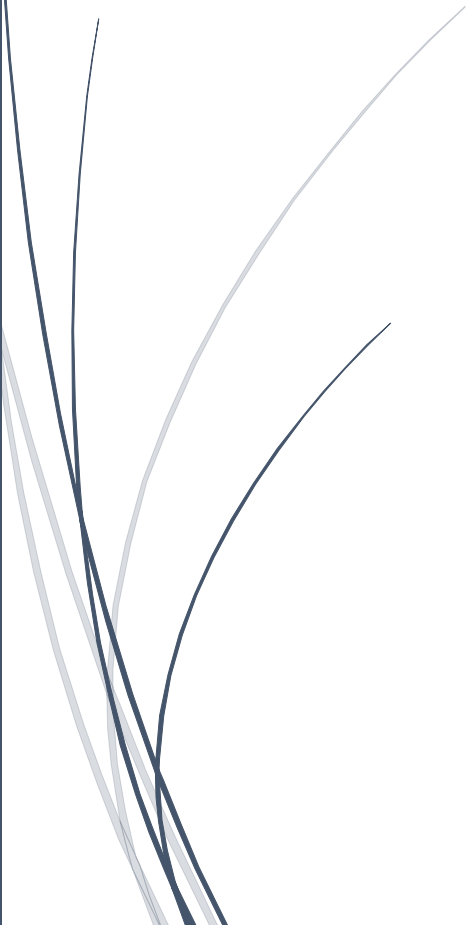
- Wymbs, N. F., & Grafton, S. T. (2009). Neural substrates of practice structure that support future off-line learning. *Journal of Neurophysiology*, 102(4), 2462-2476.
- Yasuda, T., Nakagawa, T., Inoue, H., Iwamoto, M., & Inokuchi, A. (1999). The role of the labyrinth, proprioception and plantar mechanoreceptors in the maintenance of an upright posture. *European Archives of Otorhinolaryngology*, 256(1), S27-S29.
- Yong, M. S., & Lee, Y. S. (2017). Effect of ankle proprioceptive exercise on static and dynamic balance in normal adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(2), 242-244.
- Young, D.E., Cohen, M.J., & Husak, W.S. (1993). Contextual interference and motor skill acquisition: On the processes that influence retention. *Human Movement Science*, 12, 577-600.

BIBLIOGRAFÍA

- Häfelinger, U, & Schuba, V. (2010). *La coordinación y el entrenamiento propioceptivo*. Badalona: Paidotribo.
- Jiménez-Díaz, J. (2013). *Comportamiento motor: desarrollo, aprendizaje y control*. En: Moncada-Jiménez, J. (Ed). Efectos del ejercicio y el entrenamiento físico en el desarrollo, el rendimiento y la salud humana. (pp. 43-63). San José: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Granda, J., & Alemany, I. (2002). *Manual de aprendizaje y desarrollo motor. Una perspectiva educativa*. Barcelona: Paidós.



Anexos



ANEXOS

Anexo 1. Consentimiento Informado.

Descripción del estudio

Usted ha sido invitado/a a participar en el estudio “Interferencia contextual y estrés fisiológico en la adquisición, retención y transferencia de una destreza coordinativa de miembros inferiores”, el cual trata sobre “Cómo mejorar el desempeño motor para correr, sentarse y levantarse, subir escaleras, etc.” Este estudio es parte de la formación doctoral que está llevando a cabo el profesor Arian Aladro de la Escuela de Fisioterapia de la UDLA.

Su participación incluye: 1.) Usted debe asistir al laboratorio de fisioterapia de la UDLA situado en el Campus UDLA-Park para una sesión de pruebas, donde se evaluará con un método no invasivo la función cardíaca y su capacidad para conservar el equilibrio de pie, así como otros factores que pueden afectar la coordinación, equilibrio o propiocepción de miembros inferiores. Seguidamente usted va a realizar una **sesión de pruebas de aprendizaje motor** en la cual debe repetir una tarea de desplazamiento del peso corporal de derecha a izquierda, parado sobre una plataforma que le informa sobre la cantidad de peso que debe desplazar para completar la tarea. Antes de iniciar y una vez terminada esta actividad, se va a evaluar su función cardíaca como se ha descrito anteriormente. 2.) Veinticuatro horas después usted debe regresar nuevamente al laboratorio para realizar una **sesión de pruebas de retención y transferencia** de la destreza de desplazamiento del peso, en la cual debe repetir algunas de las mismas actividades descritas en el punto 1. Su participación terminará este día. Deberá destinar aproximadamente 40 minutos para completar las actividades cada día.

Debe conocer que las pruebas iniciales nos informarán si usted es elegible para participar en las restantes etapas del estudio. De no ser elegible, se le informará esta condición y usted ya no será sujeto de estudio, apartando de toda responsabilidad legal a los encargados de la investigación una vez que usted sea informado de la exclusión. Los responsables de esta investigación se reservan el derecho de admisión en las posteriores etapas del estudio.

Los beneficios para usted como participante son: 1.) Los resultados obtenidos en las diferentes sesiones de prueba nos permitirán identificar el mejor programa de aprendizaje

de la destreza evaluada, la cual es importante para realizar patrones básicos de movimientos como caminar, correr, sentarse y levantarse, y con ellos, otras actividades básicas para el cuidado personal y el trabajo. 2.) Usted recibirá una puntuación extra adicional en la materia de Investigación.

Los beneficios para la sociedad son: 1.) Una vez que los resultados sean conocidos, lo que se espera es poder brindar nuevos conocimientos a la comunidad científica sobre la optimización de la destreza para realizar movimientos dinámicos coordinados y precisos de desplazamiento del centro de masa, y de todas las tareas que dependen de esta. Con ello, se podrían incorporar acciones y medidas para contener el detrimento de patrones básicos de movimiento en los jóvenes. 2.) A estos beneficios se agrega que los investigadores conocerán más acerca de los procedimientos y técnicas desarrolladas en usted, y este conocimiento probablemente beneficiará a otras personas en el futuro (e.g. niños, adultos mayores).

Algunos de los riesgos de esta intervención podrían ser: 1.) Durante la realización de la sesión de prueba de coordinación de miembros inferiores, puede sentir malestar al darse cuenta que su nivel de destreza no es el adecuado. 2.) Aunque muy poco probable, también pueden producirse ciertos cambios que usted podrá percibir, como cierto grado de extenuación y dolores musculares durante la prueba e incluso horas después de haber terminado esta.

Si sufriera algún daño como consecuencia de los procedimientos a que usted será sometido durante la realización de este estudio, los investigadores le brindarán una referencia del profesional apropiado, de modo tal que se le realice el tratamiento necesario para su total recuperación. Se hará todo lo posible para minimizar la incidencia de fenómenos dañinos para su salud.

Sus derechos. 1.) Su participación es totalmente voluntaria. Usted puede tomar la decisión de participar o no sin que ello lo perjudique de ninguna manera, ya que no perderá ninguno de los beneficios que tiene hasta ahora, ni habrá ningún tipo de represalia. Si decide participar, pero luego decide retirarse antes de finalizar el estudio, puede hacerlo notificándolo al investigador cuyos datos se adjuntan en este formulario. 2.) Su privacidad es importante por lo cual se tomarán las siguientes medidas para respetarla:

Los nombres de los participantes serán reemplazados por (códigos numéricos, alfanuméricos o seudónimos).

Los datos serán analizados y difundidos de forma grupal.

3.) Su participación en este estudio es confidencial, los resultados podrían aparecer en una publicación científica o ser divulgados en una reunión científica, pero de una manera anónima. Solo el investigador tendrá acceso a los datos originales por los que usted pudiera ser identificado. 4.) Usted no tendrá que pagar nada por ser parte del estudio. El investigador asume la responsabilidad de justificar las horas de participación en el estudio si estas coincidieran con horas académicas, y para ello realizará las coordinaciones en las instancias institucionales pertinentes.

Este documento será firmado por duplicado: una copia le será entregada a usted y la segunda copia será para el investigador.

Para cualquier pregunta sobre este estudio puede comunicarse con: Arián Aladro Gonzalvo, correo electrónico: arian.aladro@udla.edu.ec; celular: 0958762613.

Consentimiento informado por escrito. Me han dado el tiempo suficiente para leer y analizar este documento. Me han informado sobre la voluntariedad de participar, sobre los riesgos, beneficios, seguridad y confidencialidad de los datos. Todas mis preguntas fueron contestadas. Me han entregado una copia firmada de este consentimiento informado por escrito. Por tanto, acepto voluntariamente participar en este estudio.

Solicito se me faciliten los resultados de este estudio SI () NO ()

Nombre del participante: _____

Firma del participante: _____

Fecha: _____

Persona que explicó este documento:

Firma del investigador: _____

Fecha: _____

Anexo 2. Cuestionario para la selección de los potenciales participantes.

Nombre _____ Matrícula _____
Sexo M _____ F _____ Paralelo _____ Carrera _____
E-mail _____ Otro E-mail _____

Preguntas

1. Ha estado involucrado, en el último año, en programas de entrenamiento de coordinación, equilibrio o propiocepción de miembros inferiores, o ha recibido instrucción formal en este tipo de destrezas (por ejemplo: Cheerleader, malabarismo, entrenamiento funcional, Parkour, o similares). SI _____ NO _____ Especifique cuál/es _____
2. Tiene trastornos de audición. SI _____ NO _____
3. Actualmente tiene algún trastorno articular, muscular u óseo que le impida realizar actividad física ligera. SI _____ NO _____. Especifique cuál/es _____
4. Presenta deficiencias en la capacidad para conservar el equilibrio cuando está de pie. SI _____ NO _____
5. Es fumador (consume tabaco de manera regular u ocasional, o ha abandonado el consumo en los últimos 6 meses). SI _____ NO _____
6. Tiene una enfermedad cardiovascular diagnosticada. SI _____ NO _____
7. Tiene antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular. Esto implica la presencia de un padre, hermano o hijo con una muerte súbita, infarto o revascularización coronaria antes de los 45 años, o antes de los 55 años para el familiar femenino como la madre, hermana o hija. SI _____ NO _____
8. Padece de una enfermedad o estado mental diagnosticado (por ejemplo: desorden de estrés postraumático, síndrome bipolar, estado ansioso-depresivo, entre otras). SI _____ NO _____
9. Si es usted mujer, está en período de gestación. SI _____ NO _____
10. Toma algún medicamento todos o casi todos los días. Si _____ NO _____ Especifique cuál/es _____

Díganos cuál es su disponibilidad para participar durante dos días consecutivos en el estudio entre las 7am y las 9am. Puede seleccionar más de una opción

_____ Lunes y martes	_____ 7.00 am – 7.40 am
_____ Martes y miércoles	_____ 7.45 am – 8.25 am
_____ Miércoles y jueves	_____ 8.30 am – 9.10 am
_____ Jueves y viernes	

Anexo 3. Convocatoria en línea.

¿Quieres participar en un estudio científico sobre el aprendizaje de una habilidad motriz importante para la vida?



Necesitamos 120 voluntarios, [estudiantes](#) con edad de 18 a 30 años.

Un estudio en que tratamos de conocer mejor cómo mejorar el aprendizaje de una destreza motriz necesaria para correr, saltar, sentarse, y con ello poder elaborar estrategias beneficiosas que permitan desempeñarse bien en las actividades de la vida diarias, prevenir caídas, etc.

A través de un método sencillo, se evaluará tu capacidad de aprendizaje en el Laboratorio de Investigación de la Escuela de Fisioterapia ubicado en el campus UDLA-Park, 5to piso.

Obtendrás una calificación adicional en tu materia de Investigación, además de la satisfacción de colaborar en un estudio que beneficia a toda la sociedad.

La participación es gratuita, no tiene coste alguno.

Debes disponer de 40 minutos durante dos días para asistir al laboratorio de investigación. Las evaluaciones cada día comenzarán entre las 7am y 9am. Recuerde: 1.

Si NO dispone de dos días consecutivos de lunes a viernes entre las 7am y 9am para asistir al laboratorio, y **2.** Si dicha asistencia COINCIDIERE con sus horarios de clases o cualquier otra actividad académica, por favor, NO COMPLETE ESTA ENCUESTA.

Su participación es totalmente voluntaria. Usted puede tomar la decisión de participar o no sin que ello lo perjudique de ninguna manera, ya que no perderá ninguno de los beneficios que tiene hasta ahora, ni habrá ningún tipo de represalia.

Su participación en este estudio es confidencial, los resultados podrían aparecer en una publicación científica o ser divulgados en una reunión científica, pero de una manera anónima. Solo el equipo de investigación tendrá acceso a los resultados de las evaluaciones.

Si estás interesado, por favor déjanos tus datos de contacto y responde a las preguntas.

Anexo 4. Aprobación del estudio por el Comité de Ética y Bioética de la Universidad de las Américas.



D. M. Quito, 11 de mayo de 2016

Señor
Arián Alandro Gonzalvo
Docente investigador

De mis consideraciones:

Por medio de la presente el Comité de Ética y Bioética para la Investigación de la Universidad de Las Américas le informa que el protocolo y los instrumentos de investigación del proyecto de titulación **“Interferencia contextual estrés fisiológico en la adquisición, retención y transferencia de una habilidad coordinativa de miembros inferiores”**, con fecha de hoy 11 de mayo de 2016, han sido aprobados por el Comité.

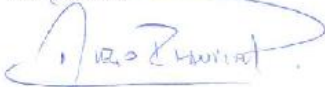
Esta aprobación, tiene una duración de un año, después del cual se debe pedir extensión si fuera necesaria.

En toda correspondencia con el Comité de Ética y Bioética para la investigación, favor referirse al siguiente código de aprobación: 2016-0306.

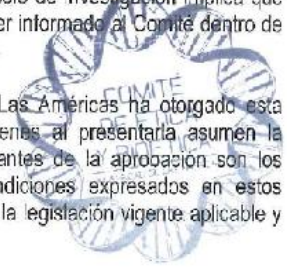
El Comité estará dispuesto a lo largo de la implementación del estudio a responder tanto a los participantes como a la investigadora en relación a cualquier inquietud que pudiere surgir. Es importante remarcar que cualquier novedad debe ser comunicada al Comité; todo cambio en el protocolo de investigación implica que debe pedir una nueva aprobación al CEBE. Cualquier evento adverso debe ser informado al Comité dentro de un máximo de 24 horas luego de ocurrido.

El Comité de Ética y Bioética para la Investigación de la Universidad de Las Américas ha otorgado esta aprobación con base en la información entregada por los solicitantes, quienes al presentarla asumen la veracidad, corrección y autoría de los documentos entregados. Los solicitantes de la aprobación son los responsables de aplicar y respetar la información, procedimientos y condiciones expresados en estos documentos aprobados por el Comité; también son responsables de respetar la legislación vigente aplicable y los estándares nacionales e internacionales en la materia.

Atentamente,



Diego R. Chauvin P.
Presidente del CEBE-UDLA





Reconocimiento – NoComercial – SinObraDerivada (by-nc-nd): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

© Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



Universidad
Zaragoza

Tesis Doctoral

EFECTO DE LA ORGANIZACIÓN DE LA PRÁCTICA
SOBRE EL BALANCE AUTÓNOMO CARDÍACO Y
EL DESEMPEÑO MOTOR DE ADULTOS JÓVENES
SANOS EN UNA DESTREZA MOTRIZ
FUNDAMENTAL

Autor

Arián Ramón Aladro Gonzalvo

Director/es

Tricas Moreno, José Miguel
Lucha López, María Orosia

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Fisiatría y Enfermería

2019

