



doi:10.5232/ricyde2010.01906

**Estudio piloto del modelo técnico de ejecución del pitch a  
captura de pies en gimnasia acrobática.****A pilot study of technical model during a simulated toe pitch  
to catch in gymnastics acrobatics.****Juan Antonio León-Prados  
José Antonio González Jurado  
Pablo Floría Martín**

Universidad Pablo de Olavide. Sevilla. España

**Resumen**

En Gimnasia Acrobática (GA) el Toe Pitch to Catch (TPC) es una acción técnica muy usual, lo que motiva la necesidad de proporcionar un modelo técnico del movimiento que permita facilitar la comprensión de los factores relacionados con su ejecución. Se analizaron 12 ejecuciones sin penalizaciones técnicas realizadas por una pareja mixta de GA utilizando técnicas de fotogrametría y dinamometría. Para el análisis se dividió el movimiento en tres fases: Impulsión, Vuelo y Recepción. Los resultados indicaron que el valor máximo de fuerza en la Fase de Impulsión fue de  $2,67 \pm 0,06$  BW (PC: Peso Corporal, BW: Body Weight) mientras que en la de Recepción fue de  $2,78 \pm 0,30$  PC: Peso Corporal. En el modelo técnico individual analizado se destaca cómo en la Fase de Impulsión es más importante optimizar el impulso aplicado que la fuerza máxima. Durante la Fase de Vuelo, sobresale la alta reproducibilidad en los intentos satisfactorios de la altura alcanzada por el Top para facilitar su posterior recepción. Finalmente durante la Fase de Recepción, se destaca la acción de frenado del Base con el fin de minimizar las fuerzas de reacción verticales del suelo en los movimientos de recepción del Top.

**Palabras clave:** gimnasia acrobática; Toe Pitch to Catch; fuerzas de reacción.**Abstract**

In acrobatic gymnastics Toe Pitch to Catch (TPC) is one of the most traditional skill. The aim of the study was to provide a technical model of the skill to facilitate the understanding of the principal factors associated with the execution. In order to elaborate the model, 12 tryouts without technical deductions performed by a mixed pair of gymnasts were analyzed using techniques of photogrammetric and dynamometry. The movement was divided into three different phases for analysing purposes: Propulsion, Flight and Reception. Results indicated that maximum value of the force during the Propulsion Phase was  $2,67 \pm 0,06$  BW, whereas during the Reception Phase the value obtained was  $2,78 \pm 0,30$  BW. In the technical model analyzed highlights how in the Propulsion Phase is more important to optimize the impulse applied that the peak of force. During the Flight Phase, the high reproducibility in the successful attempts of the height reached by Top for facilitating its subsequent reception. Finally, during the Reception Phase, the braking action of Base in order to minimize the vertical reaction forces of floor for a movements receiving the Top.

**Key words:** acrobatic gymnastics; Toe Pitch to Catch; ground reaction Forces.Correspondencia/correspondence: Juan Antonio León Prados  
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. C/ Carretera de Utrera, Km 1. CP 41013.. España.  
E-mail: [jaleopra@upo.es](mailto:jaleopra@upo.es)

Recibido el 30 de julio de 2009; aceptado el 12 de marzo de 2010

## Introducción

La habilidad para aplicar o soportar altos niveles de fuerza en aquellas acciones que implican saltos, lanzamientos o recepciones resulta un componente fundamental en la consecución del éxito en las diferentes modalidades gimnásticas (Prassas; Young-Hoo y Sands, 2006). Por este motivo existen diferentes estudios donde se ofrecen datos respecto a la carga óptima a utilizar para incrementar la potencia del salto (Dworak; Twardowska-Januszzonek, Wojtkowiak y Maczynski, 2006), se describen los valores soportados durante la fase de recepción (Hoffman; Liebermann y Gusic, 1997, Mills; Pain y Yeadon, 2008; Too y Adrian, 1987), se informa sobre aspectos relativos a la mejora de la técnica de ejecución o se indican las acciones a realizar para minimizar el estrés en relación a la prevención de lesiones, tanto en deportistas que buscan incrementar su rendimiento deportivo como en deportistas recreacionales (Seegmiller y McCaw, 2003).

La gran mayoría de los estudios en modalidades gimnásticas se han centrado en analizar fuerzas de reacción o manifestaciones de fuerza generadas de manera individual (en deportistas de Gimnasia Artística y Gimnasia Rítmica generalmente). Sin embargo, son escasas este tipo de investigaciones en el resto de modalidades gimnásticas competitivas de la Federación Internacional de Gimnasia (FIG): Gimnasia en Trampolín, Gimnasia Aeróbica y Gimnasia Acrobática (GA).

Estas dos circunstancias hacen que sean pocos los estudios que se centren en analizar las manifestaciones de fuerza en las acciones técnicas de la GA. En esta modalidad participan varios gimnastas al mismo tiempo (modalidades por parejas, tríos o cuartetos), por lo que existen multitud de acciones técnicas donde la fuerza resultante generada depende de la acción conjunta y coordinada de estos. Los principales roles que adoptan los gimnastas en esta modalidad son el de Base, Medio y Top. El Base se encarga de sujetar o impulsar al Top en las modalidades de pareja o grupo, mientras que el Top, usualmente el componente más pequeño y ligero, realiza equilibrios sobre el Base o el Medio y elementos acrobáticos aéreos. El Medio es un segundo Base dentro de las modalidades tríos o cuartetos (FIG, 2008; Vernetta; López y Panadero, 1996).

El código de puntuación en GA exige en los ejercicios dinámicos que existan elementos aéreos del Top, realizando movimientos aéreos a finalizar con recepción en el suelo y/o movimientos aéreos con recepción o captura sobre el Base (FIG, 2008). Por tanto, los lanzamientos del Top por el Base constituyen un elemento técnico fundamental desde la iniciación deportiva. Estos lanzamientos, denominados generalmente con el término pitch, consisten en una impulsión vertical del Top, ejecutada conjunta y coordinadamente con la acción del Base, de manera que se eleva gracias al impulso que él mismo ejerce y por el impulso que sobre él ejerce su compañero. Generalmente, esta acción posee una doble finalidad: proyectar al Top para que realice una acrobacia aérea o como acción de transición del Top desde el suelo sobre el cuerpo del Base (Sabido, Bote y Gianikellis, 2006).

Con la finalidad de servir de acción de transición del Top desde el suelo sobre el cuerpo del Base, el *Toe Pitch to Catch* (TPC) resulta una de las acciones más frecuentes para preparar numerosos elementos. El TPC consiste en un lanzamiento del Top por parte del Base para posteriormente volver a recibirlo sobre sus manos a la altura de los hombros (figura 1).

Habitualmente, el TPC resulta una acción preparatoria para la realización posterior de elementos de mayor dificultad, por lo que su aprendizaje resulta básico desde la iniciación deportiva. Su aprendizaje requiere solucionar el problema de la coordinación y el control del cuerpo en ambos sujetos; y para ello parece que la información modelada favorece más la adquisición de la coordinación corporal que la verbal (Buell-Size, 2002; Magill, 1993). En el

entrenamiento gimnástico, especialmente en iniciación deportiva, se debe aprovechar el correcto aprendizaje de tareas con factores comunes entre diferentes movimientos con el propósito de transferir el aprendizaje a otras acciones técnicas similares con un mismo esfuerzo (Li y Sun, 2000), tal y como ocurre con las acciones propulsivas del Base sobre diferentes posiciones del Top en GA.



Figura 1. Fotoseriación del *Toe Pitch to Catch* (TPC).

En resumen, para la determinación del modelo de ejecución del TPC se deberían analizar y cuantificar las características determinantes de la acción técnica, aspectos como la expresión del esfuerzo realizado, o la relación entre la producción neta de fuerza y la posición corporal y espacial de los deportistas en cada instante. Mediante esta información podría establecerse un modelo de ejecución técnica que justifique acciones y tareas realizadas en el aprendizaje del movimiento técnico, promoviendo con ello la construcción racional de variantes de ejercicios del mismo (Lavshuk, 2007) y quizás disminuir los picos de fuerzas de reacción vertical en la recepción (Cronin; Bressel y Finn, 2008).

No se han encontrado en la literatura científica estudios que examinen con profundidad esta técnica, por lo que se determinó la necesidad de establecer un modelo de ejecución técnica que facilitase la comprensión de las acciones realizadas durante el movimiento. Para ello, sería necesario asociar los movimientos de los gimnastas con las fuerzas de reacción que producen esos movimientos. La construcción de este modelo técnico facilitaría la comprensión del movimiento analizado para mejorar su enseñanza y entrenamiento.

El objetivo del presente estudio fue analizar las fuerzas de reacción verticales producidas durante la acción técnica del TPC para proporcionar un modelo técnico individual de ejecución.

## Método

### *Participantes*

Tras firmar el consentimiento informado y una vez que se les explicó el objeto del estudio, participaron en el estudio una pareja mixta de GA. El Top tenía dos años de experiencia (mujer, masa: 49,3 kg, altura: 1,64 m) y el Base diez años (hombre, masa: 78,7 kg, altura: 1,8 m).

A los participantes se les permitió un calentamiento de 10 minutos para que practicasen la técnica del TPC sobre el equipamiento. Tras el calentamiento se les instruyó para que realizaran 15 repeticiones del movimiento con pausas entre intentos de uno a tres minutos a demanda de los gimnastas. Todos los intentos se realizaron bajo la supervisión de un Juez

Internacional de GA. De entre ellos, se seleccionaron 12 que fueron ejecutados sin penalizaciones técnicas con la intención de tener una muestra representativa.

Para facilitar el análisis del movimiento técnico y tomando como referencia las características del contacto con el suelo del sistema Top-Base (en adelante sistema), se identificaron los siguientes instantes:

Posición de Partida (I1): Primer fotograma en el que el Top pierde contacto con el suelo teniendo apoyado su otro pie sobre las manos del Base.

Instante 2 (I2): Primer instante en el que el sistema pierde contacto con el suelo.

Instante 3 (I3): Primer instante en el que el sistema vuelve a contactar con el suelo. Podrían ocurrir dos casos, a) que el Base esté en vuelo cuando captura al Top y después caigan los dos, siendo el contacto del Base con el suelo el que determina este instante, o b) que el Base esté en apoyo cuando captura al Top, siendo el contacto del Top con el Base el que determine este instante.

Instante 4 (I4): Instante en el que el Base extiende completamente las rodillas después de amortiguar la caída del Top.

El criterio utilizado para determinar si el sistema estaba en apoyo o no, fue a partir de los registros dinamométricos. El sistema se consideraba que estaba en apoyo cuando Base y Top estaban en contacto y la plataforma registraba unas fuerzas de reacción verticales superiores a los 3 N.

Estos instantes limitan las siguientes fases:

Fase de Impulsión: Desde la Posición de Partida (I1) hasta I2.

Fase de Vuelo: Desde I2 hasta I3. Esta fase transcurre mientras el sistema no está en apoyo. Durante esta fase el Base puede volver a apoyar en el suelo pero sin estar en contacto con el Top, para inmediatamente después saltar a su captura.

Fase de Recepción: Desde el I3 hasta I4.

Las variables analizadas en cada una de las fases fueron el tiempo de duración (s) y el valor de fuerza máxima (N y Bw). Además, en la Fase de Impulsión se calculó el impulso mecánico absoluto (N·s) y relativo (N·s); y en la Fase de Vuelo la altura alcanzada por el Top (total y desde la suelta del Base). Para el cálculo de ambas distancias se tomó como referencia el punto anatómico trocánter mayor del fémur derecho.

### *Materiales*

Se utilizaron técnicas de fotogrametría y dinamometría. La filmación se realizó con una cámara de vídeo digital (Panasonic SDR-H250, Japón) a una frecuencia de 50 campos por segundo. Ésta se situó perpendicular al plano sagital del movimiento por ser éste donde tenían lugar las principales acciones. Para el análisis cinemático bidimensional, se digitalizó el punto anatómico trocánter mayor del fémur derecho del Top utilizando el programa SkillSpector (Video4coach, Dinamarca). Un pequeño marco, de cinta adhesiva, que delimitaba el punto a digitalizar se usó para ayudar a localizarlo en el gimnasta. Para reducir los errores las coordenadas fueron suavizadas usando una función spline de 5º orden. Para el registro de las fuerzas de reacción del suelo se utilizó una plataforma de fuerzas piezoeléctrica portátil Quattro Jump (Kistler, Suiza) a una frecuencia de registro de 500Hz. Dado que la plataforma de fuerzas y la cámara de vídeo no podían sincronizarse electrónicamente, se usó el sonido para establecer la correspondencia de tiempo entre los dos instrumentos. Al inicio de cada medición la plataforma de fuerzas emitió un sonido que fue

registrado por la cámara de vídeo. El tiempo correspondiente de ese pitido en la filmación se estableció identificando el fotograma en el que se producía un incremento repentino y corto del sonido, sincronizando así los dos sistemas.

### *Análisis estadístico*

Se calcularon las variables estadísticas más representativas (promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) de cada variable analizada. Con el objeto de estudiar las asociaciones entre las variables estudiadas y tras comprobar la distribución normal de los datos, se aplicó el coeficiente de correlación de *Pearson*. Con el fin de facilitar la comprensión del movimiento, las curvas fuerza – tiempo (F-t) de todos los intentos fueron normalizadas con respecto al tiempo. Los datos de los tiempos normalizados fueron obtenidos por medio de una interpolación usando un spline cúbico. Para cada unidad de porcentaje de tiempo se obtuvo el valor medio e intervalo de confianza al 95% (IC 95%) de todos los intentos. Con estos datos se generaron gráficas representativas del movimiento completo y de cada una de las fases.

## **Resultados**

La tabla 1 muestra los valores medios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de las variables estudiadas en cada una de las fases en las que se dividió el movimiento. De estas variables, sólo la duración de la Fase de Impulsión, y los impulsos mecánico y relativo obtenidos en esa misma fase se relacionaron significativamente con la altura alcanzada por el Top en la Fase de Vuelo (tabla 2).

Tabla 1. Promedios, desviación estándar y coeficiente de variación (entre paréntesis) de las variables biomecánicas registradas en cada fase definida para el TPC.

	Fase de Impulsión	Fase de Vuelo	Fase de Recepción
Duración (s)	0,27 ± 0,03 (9,43%)	0,59 ± 0,04 (6,98%)	1,79 ± 0,30 (16,68%)
Duración (%)	10,2 ± 1,3 (12,75%)	22,5 ± 2,3 (10,22%)	67,4 ± 3,2 (4,75%)
Fuerza máxima (N)	2063 ± 50 (2,4%)	1997 ± 412 (20,6%)	2150 ± 234 (10,9%)
Fuerza máxima (Bw)	2,67 ± 0,06 (2,25%)	2,59 ± 0,53 (20,46%)	2,78 ± 0,30 (10,79%)
Impulso mecánico (N·s)	408 ± 42 (10,29%)		
Impulso relativo (N·s)	75 ± 16 (21,33%)		
Altura desde la suelta (m)		0,29 ± 0,04 (13,68%)	
Altura Total (m)		2,60 ± 0,04 (1,5%)	

Tabla 2. Relaciones entre diferentes variables mecánicas en la acción del TPC.

Variable I	Variable II	<i>r</i>	<i>p</i>
Altura Total	Duración Fase de Impulsión	<b>0,712</b>	<b>0,009</b>
	Fuerza máxima Fase de Impulsión	0,398	0,200
	Impulso mecánico Fase de Impulsión	<b>0,811</b>	<b>0,001</b>
	Impulso relativo Fase de Impulsión	<b>0,707</b>	<b>0,010</b>
	Duración Fase de Vuelo	0,527	0,079
Altura desde la suelta	Duración Fase de Impulsión	<b>0,705</b>	<b>0,010</b>
	Fuerza máxima Fase de Impulsión	0,271	0,393
	Impulso mecánico Fase de Impulsión	<b>0,784</b>	<b>0,003</b>
	Impulso relativo Fase de Impulsión	<b>0,652</b>	<b>0,022</b>
	Duración Fase de Vuelo	0,489	0,107
Duración Fase Vuelo	Fuerza máxima Fase Impulsión	0,369	0,238
	Duración Fase de Impulsión	- 0,087	0,789

La duración media del TPC fue de  $2,64 \pm 0,36$  s, siendo la Fase de Recepción la de mayor duración ( $1,79 \pm 0,30$  s) y la de Impulsión la más corta ( $0,27 \pm 0,03$  s). Tanto la Fase de Impulsión como la de Vuelo mostraron una elevada consistencia temporal al lograr CV bajos (9,43% y 6,98%, respectivamente). Fue en la Fase de Recepción donde se alcanzaron los valores más elevados de fuerza máxima ( $2150 \pm 234$  N), mientras que los más bajos se lograron durante la Fase de Vuelo ( $1998 \pm 412$  N). En la Fase de Impulsión destaca la homogeneidad encontrada entre los valores de fuerza máxima (CV de 2,4%), lo que proporciona información no sólo de la cantidad de fuerza necesaria para ejecutar el movimiento sino también de la estabilidad en su aplicación del ejecutante. En las siguientes figuras (figuras 2-5), se detalla la dinámica de producción de fuerza en el total del movimiento y en cada una de sus fases.

La figura 2 muestra la curva F-t normalizada respecto al tiempo y el intervalo de confianza al 95% del total de las ejecuciones realizadas del TPC, lo que permite observar el comportamiento de la fuerza y su variabilidad en las diferentes ejecuciones realizadas. Con el objeto de facilitar su interpretación se han vinculado fotogramas que tratan de representar posiciones clave del movimiento técnico (a: instante de máxima fuerza en la Fase de

Impulsión, b: I2, c: fotograma que resume la acción de impacto y empuje del Base con el suelo, d: instante en el que el Base empuja el suelo para saltar a por el Top, e: instante de máxima fuerza en la fase de recepción del sistema y f: I4). En ella se puede observar cómo en la Fase de Impulsión se produjo un incremento de fuerza (imágenes 0-a) seguido de un descenso hasta el despegue del sistema (imagen b). La Fase de Vuelo se caracterizó por dos intervalos de tiempo al inicio de la fase y al final de la misma sin contacto, y un apoyo entre ellos correspondiente al salto que realizó el Base para ir a recepcionar al Top. En este apoyo se aprecia un pico de fuerza correspondiente a un impacto seguido de un empuje (imagen c). Por último, en la Fase de Recepción se observa un nuevo impacto (imagen e) seguido de una suave desaceleración que permite estabilizar al sistema (imagen f) y llegar a la posición final del movimiento.

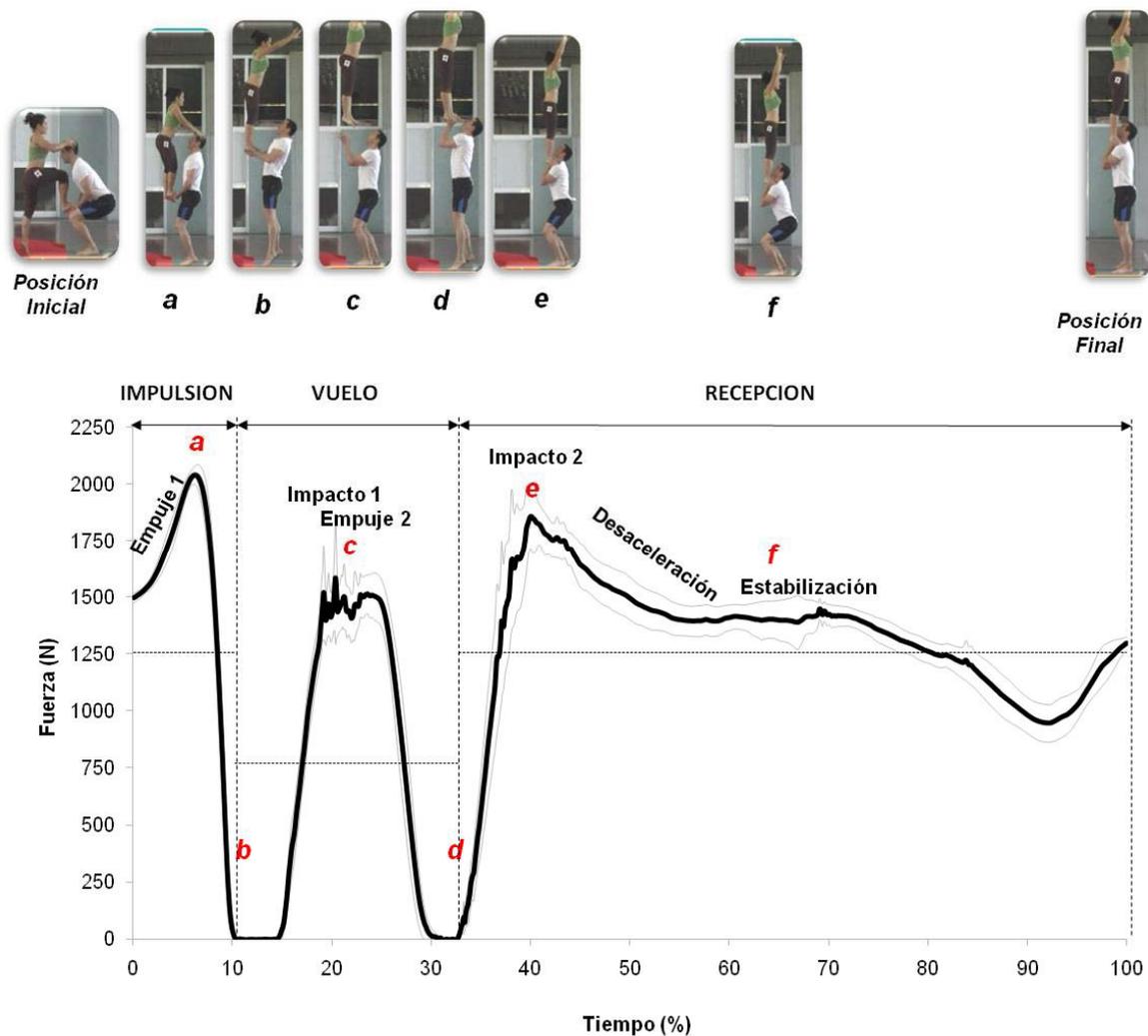


Figura 2. Curva F-t normalizada respecto al tiempo e IC al 95% del total de las ejecuciones realizadas del TPC junto a fotogramas que caracterizan posiciones clave del movimiento técnico individual (a, b, c, d, e y f). La línea discontinua representa el peso del sistema.

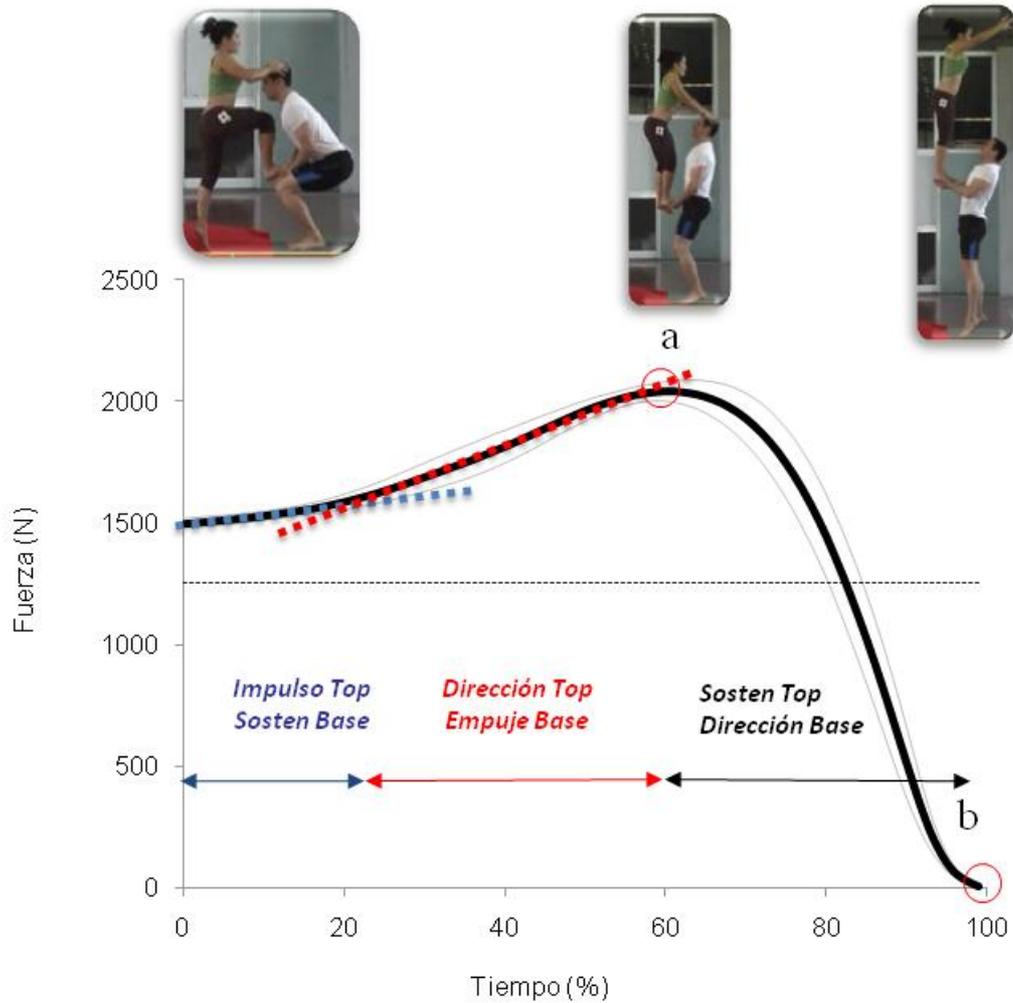


Figura 3. Promedio e IC 95% de la Curva F-t normalizada respecto al tiempo durante la Fase de Impulsión del total de las ejecuciones realizadas. Las líneas discontinuas azul y roja estiman el cambio de pendiente del promedio de la curva F-t desde el inicio del movimiento hasta el pico máximo de fuerza. La línea discontinua representa el peso del sistema.

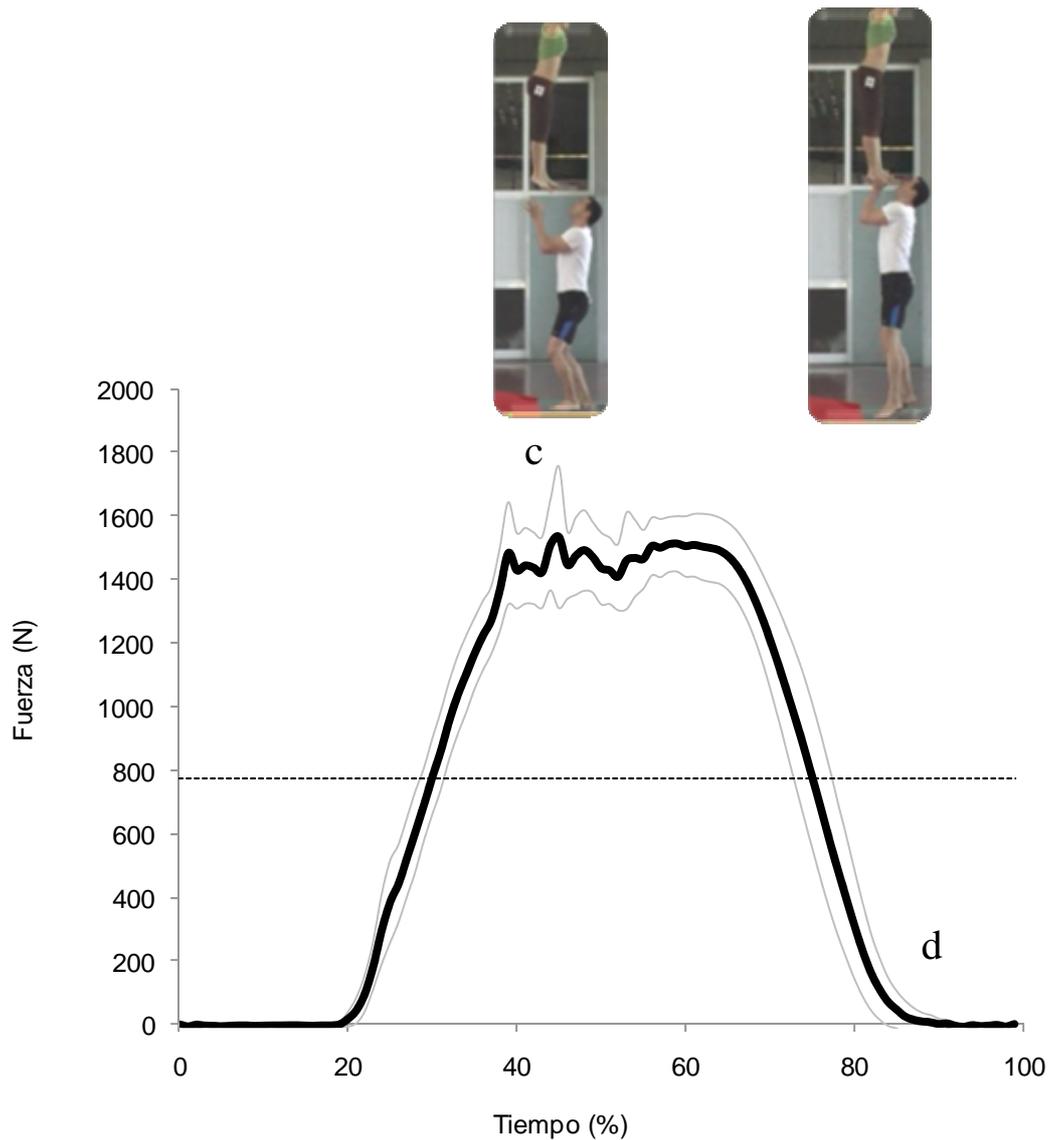


Figura 4. Promedio e IC 95% de la Curva F-t normalizada respecto al tiempo durante la Fase de Vuelo del total de las ejecuciones realizadas. La línea discontinua representa el peso del Base.

La Fase de Vuelo representa una duración promedio del 22,5% ( $0,59 \pm 0,04$  s) de la duración total del movimiento (Tabla 1). Tras un período sin apoyo, se produjo un brusco aumento de la pendiente de fuerza, fruto del impacto que supuso la caída del Base, seguido de una pequeña bajada para volver a aumentar (empuje) y finalmente descender debido al salto que realizó el Base para restablecer el contacto con el Top (figura 4). Al igual que la Fase de Impulsión, la duración de esta fase resultó bastante homogénea, dado que el CV no superó el 7%.

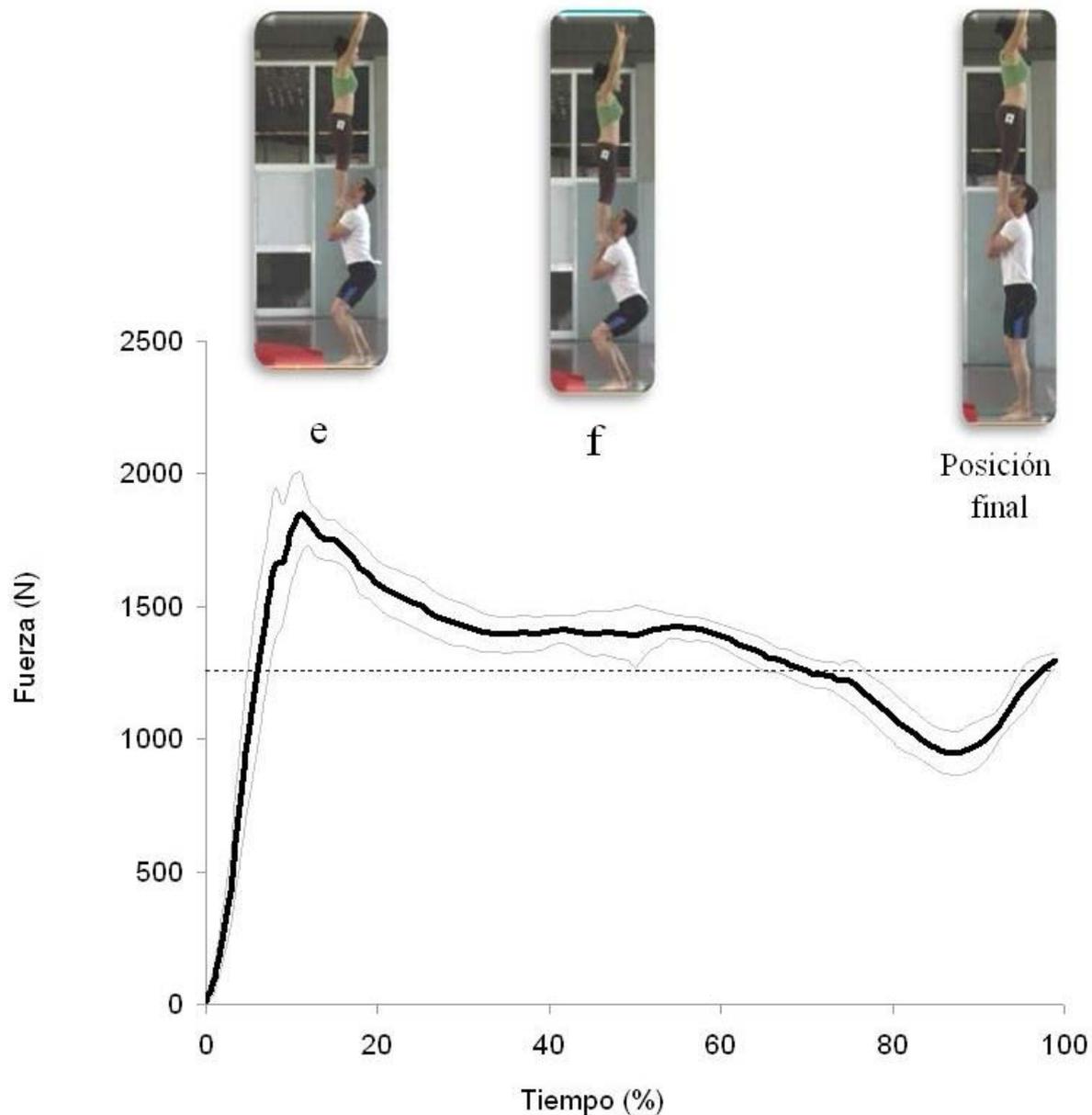


Figura 5. Promedio e IC 95% de la Curva F-t normalizada respecto al tiempo durante la Fase de Recepción del total de las ejecuciones realizadas. La línea discontinua representa el peso del sistema).

En la Fase de Recepción se pueden observar tres periodos diferentes: uno de impacto, otro de estabilización y un último de frenado. Esta fase se inició con un pico de impacto que corresponde a las fuerzas de reacción que produce la caída del sistema Top – Base. A continuación acontece un periodo en el que el Base intenta frenar al Top y finaliza con un período en el que las fuerzas de reacción son menores al peso del sistema, correspondiendo a la parada del movimiento de extensión de los miembros inferiores previa a la finalización del movimiento.

## Discusión

El presente estudio piloto pretende establecer un modelo de ejecución técnica individual que debe servir de base para futuros estudios. En él se pudo observar cómo la participación coordinada de las acciones musculares de Base y Top genera una dinámica particular de aplicación de fuerza. Del mismo modo, ha permitido establecer una metodología apropiada para el estudio del TPC.

Con la finalidad de facilitar la interpretación de los resultados, la discusión se organiza en las mismas fases en las que se dividió el TPC. Dado que no se han encontrado estudios que analicen la dinámica de la producción de fuerzas en el TPC, en cada fase se ha optado por comparar los resultados del presente estudio con otros que analizan movimientos similares, por lo que la confrontación debe realizarse con la debida cautela.

### *Fase de Impulsión*

El objetivo de esta fase es generar en el Top una velocidad de despegue que le permita alcanzar en vuelo una altura suficiente para poder ser capturado eficientemente y evitar deducciones técnicas.

En la Fase de Impulsión se destacan dos instantes claramente diferenciados, que van desde el inicio del movimiento hasta el pico máximo de fuerza (0-a) y desde ese pico hasta el instante en que la fuerza aplicada es cero (a-b) (figura 3).

En el periodo 0-a se genera el incremento de fuerza que va a condicionar en gran medida la altura conseguida por el Top y se podrían distinguir dos modos diferentes de producir fuerza. En primer lugar, la pendiente de producción de fuerza es muy suave (representada por línea discontinua azul), lo que indica que la fuerza aplicada por el sistema aumenta muy poco. Esto podría significar que, durante un corto intervalo de tiempo, el incremento de fuerza pudiese ser debido en mayor medida por la acción ejercida por el Top en su impulso para colocarse correctamente (imagen a, tronco ligeramente flexionado y cadera, rodilla y tobillo casi totalmente alineados) para poder ser ascendido posteriormente, mientras que el Base mantiene la postura ejerciendo fuerza para sostenerle. Por tanto, en primera instancia el Top salta y empuja para colocarse y el Base le sostiene. A partir de ese periodo, se observa un fuerte incremento de la pendiente de producción de fuerza (línea discontinua roja), que se prolonga hasta alcanzar un pico de fuerza de  $2,67 \pm 0,06$  BW o PC. Este incremento podría asociarse a la fuerza ejercida por el Base para elevar al Top. No obstante, hay que tener en cuenta que estas suposiciones se realizan desde una perspectiva técnica, por lo que sólo un análisis cinemático de las acciones del Top y del Base nos daría una idea más precisa de las causas que generan estos cambios de pendiente.

Una vez alcanzado el pico de fuerza, comienza el segundo periodo (a-b), que finaliza con el despegue del sistema. Durante este periodo, la fuerza aplicada desciende bruscamente mientras la velocidad del sistema asciende, alcanzando la mayor velocidad cuando la fuerza aplicada se iguala con el peso del sistema. A partir de este instante disminuye rápidamente la fuerza de reacción del suelo lo que puede ser aprovechado por el Base para dirigir con sus extremidades superiores mejor y con mayor precisión la dirección del Top antes de perder el contacto. Por tanto, aunque el éxito de la Fase de Impulsión estará condicionado en gran medida por el modo en que el Base propulsa con tronco, caderas y rodillas, la acción posterior de sus extremidades superiores también contribuye a lograr el éxito en esta fase.

Finalmente, el Top se ayuda de sus extremidades superiores para dirigir el sentido de su ascenso mientras el Base le empuja para ello. Sólo quedaría valorar hasta qué altura se desea elevar al Top para estimar qué nivel de fuerza y durante cuánto tiempo sería necesario

aplicarla para realizar correctamente elementos técnicos que comiencen desde esta posición inicial pero que evolucionen hasta diferentes posiciones finales.

En resumen, en la Fase de Impulsión del TPC, Top y Base contribuyen conjuntamente y por ese orden a la Impulsión del Top, conjugando dos condiciones fundamentales: obtener suficiente altura para evitar las deducciones sugeridas por el código por falta de amplitud y que además la altura obtenida facilite una cómoda recepción. Las acciones realizadas durante esta fase deberán orientarse a la óptima aplicación de la fuerza generada por la musculatura del tronco, miembros interiores y finalmente de los miembros superiores en el instante adecuado.

#### *Fase de Vuelo*

El principal objetivo de esta fase es, por parte del Top, mantener su posición vertical y, por parte del Base, realizar los movimientos preparatorios para la recepción del Top. Estos movimientos consisten básicamente en un salto del Base a capturar al Top en vuelo. Este salto se ve reflejado por la aparición de un pico de impacto cuando el Base vuelve a apoyarse en el suelo seguido de un empuje producido cuando nuevamente el Base salta en busca del Top.

La altura total conseguida por el Top en las diferentes ejecuciones es prácticamente la misma (CV del 1,5%), y la conseguida desde la suelta también es bastante homogénea (CV del 13,68%). Se han encontrado las mismas relaciones entre las diferentes variables mecánicas tanto con la altura total como la conseguida desde la suelta del Base. Ambas alturas se relacionaron con el tiempo en que el Base está aplicando fuerza sobre el suelo en la Fase de Impulsión ( $r = 0,712$ ;  $p = 0,009$  y  $r = 0,705$ ;  $p = 0,010$  respectivamente). En cambio, no se encontró relación significativa entre la altura total o desde la suelta y el valor máximo de fuerza ( $r = 0,398$ ;  $p = 0,200$  y  $r = 0,271$ ;  $p = 0,393$  respectivamente). Por tanto, podría decirse que la altura (total o desde la suelta) del Top en la Fase de Vuelo depende en mayor medida de la capacidad del Base de incrementar su tiempo de aplicación de fuerza en la Fase de Impulsión.

Curiosamente, la Fase de Vuelo es la más homogénea de todas (CV de 6,98%), de manera que las acciones que el Base realiza para capturar al Top parecen seguir una secuencia rítmica bastante estable, independientemente de la altura alcanzada durante la misma, la duración de la Fase de Impulsión o de su pico de fuerza máxima (tabla 2).

Que la altura no esté relacionada con el tiempo de la Fase de Vuelo podría significar que el Base selecciona el instante más adecuado para capturar al Top. El instante más adecuado para su captura sería durante el instante en que se alcanza la máxima altura por dos motivos principalmente: preparar la presa Manos del Base-Pies del Top y adoptar una posición lo más extendida posible con el fin de poder reducir en mayor medida el impacto sobre las articulaciones, como se verá en la siguiente fase.

#### *Fase de Recepción*

El principal objetivo de esta fase es frenar al Top en su descenso para finalmente estabilizarle sobre los hombros del Base. Biomecánicamente, la Fase de Impulsión y Recepción son opuestas, de modo que la primera precisa de una activación muscular concéntrica para incrementar la velocidad del Top, y la segunda de activaciones musculares excéntricas para frenar su caída.

En la fase anterior, el Base había capturado al Top tras saltar, de manera que caían juntos en la plataforma, y es el Base el que sufre las fuerzas de reacción del suelo. Es de esperar que las fuerzas de reacción sean particularmente grandes debido a la masa y velocidad del sistema en

el instante de contacto. En el presente estudio, estas fuerzas de reacción han supuesto para el Base el equivalente de casi 3 veces su peso corporal ( $2,8 \text{ BW}$  ó  $2150 \pm 234 \text{ N}$ ). Estas fuerzas fueron superiores a  $1,6$  y  $2,3 \text{ BW}$  registradas durante la carrera en un rango de entre  $3$  y  $5 \text{ m/s}$  (Munro; Miller y Fuglevand, 1987) y menores a los  $3,9 \text{ BW}$  observados en el análisis de caídas desde un cajón de  $32 \text{ cm}$  (McNitt-Gray, 1991). Que el valor del impacto encontrado por estos autores en la recepción de un simple salto sea mayor que el que supondría recibir con la carga suplementaria del Top puede deberse a dos razones: a una mayor velocidad en el aterrizaje y/o a la propia acción técnica de recepción. Estos valores relativamente bajos podrían ser debidos, entre otros factores, a la idoneidad del modo en que el Base realizó la acción técnica de recepción consecuencia de su amplia experiencia. Ya se ha observado en jugadores de voleibol una disminución del  $13\%$  en las fuerzas de reacción verticales tras un período de aprendizaje en el que modificaron su patrón técnico de recepción tras un salto (McNair; Prapavessis y Callender, 2000).

La naturaleza segmentaria del cuerpo humano permite que al desacelerar un objeto desde una posición extendida se reduzca progresivamente la altura de caída del mismo, disminuyendo así las fuerzas de reacción del suelo. Esta estrategia permite desacelerar el centro de masas durante un mayor periodo de tiempo, reduciendo así las fuerzas empleadas para ello. Así, movimientos específicos de las extremidades inferiores, como apoyar en primera instancia los metatarsos y flexionar las rodillas han sido asociados con menores fuerzas de reacción (McNitt-Gray, 1991).

Finalmente, en esta fase cabe destacar la mayor variabilidad entre intentos en la curva F-t en comparación con las otras fases. Si se observa la figura 2 el intervalo de confianza al  $95\%$  es considerablemente más amplio (figura 5). Esta variabilidad puede ser un indicativo de mayor dificultad de ejecución en comparación con las anteriores fases, dado que al inicio de la fase de recepción existe un nivel de incertidumbre provocado por la trayectoria del vuelo del Top, con múltiples combinaciones de velocidad horizontal y vertical que provocarán modificaciones en el patrón de movimientos del Base para su recepción.

## Conclusiones

En el presente estudio se ha analizado el modelo técnico individual de un TPC en una pareja mixta de Gimnasia Acrobática, pudiéndose observar cómo en la Fase de Impulsión ( $0,27 \pm 0,03 \text{ s}$ ) se generó un impulso relativo de  $75 \pm 16 \text{ N}\cdot\text{s}$ . Durante la Fase de Vuelo ( $0,59 \pm 0,04 \text{ s}$ ) el Top alcanzó una altura total de  $2,60 \pm 0,04 \text{ m}$  y una altura desde la suelta de  $0,29 \pm 0,04$  y finalmente, durante la Fase de Recepción ( $1,79 \pm 0,30 \text{ s}$ ) el Base frena el impacto de caída ( $2,78 \pm 0,30 \text{ Bw}$ ). El uso de plataformas de fuerza y software de tratamiento de datos como medio de entrenamiento que permita conocer “in situ” estos aspectos podría contribuir a mejorar la comprensión y evaluación del movimiento, facilitando con ello su enseñanza y entrenamiento de esta técnica de elevada complejidad coordinativa.

Como futuras líneas de investigación se proponen realizar estudios con una mayor muestra, de diferente nivel técnico, realizando diferentes tipos de pitch y utilizando plataformas tridimensionales para incrementar el conocimiento sobre esta técnica y verificar la estabilidad del modelo técnico propuesto.

## Referencias bibliográficas

- Buell-Size, R.; Buell-Size, R.; Buell-Size, R. (2002). Basic Grips and Positions for Beginning Sports Acrobatics. *Technique*, 22(9), 10.
- Cronin, J. B.; Bressel, E., y Finn, L. (2008). Augmented Feedback Reduces Ground Reaction Forces in the Landing Phase of the Volleyball Spike Jump. *Journal of Sport Rehabilitation*, 17(2), 148-159.
- Dworak, L.; Twardowska-Januszzonek, M.; Wojtkowiak, T., & Maczynski, J. (2006). Dynamic overloads in selected gymnastic exercises. In *International Society of Biomechanics in Sports, Proceedings of XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports 2006, Salzburg, Austria, University of Salzburg, c2006, p.409-412*. Austria.
- FIG. (2008). *Code of Points 2009-2012 Acrobatic Gymnastics* (May ed.): Federation Internationale de Gymnastique.
- Hoffman, J. R.; Liebermann, D., & Gusic, A. (1997). Relationship of leg strength and power to ground reaction forces in both experienced and novice jump trained personnel. *Aviation, space, and environmental medicine*, 68(8), 710-714.
- Lavshuk, D. A.; Lavshuk, D. A.; Lavshuk, D. A. (2007). Optimization of gymnastic exercises' technique on basis of data of motor actions' imitating modeling. *Teoria i Praktika Fiziceskoj Kul'tury*(1), 72-75.
- Li, X. J., y Sun, H. L. (2000). Approach to problems of motor learning in gymnastic training. *Journal of Beijing Sport University*, 23(2), 278.
- Magill, R. A. (1993). Modeling and verbal feedback influences on skill learning. *International Journal of Sport Psychology*, 24(4), 358-369.
- McNair, P. J.; Prapavessis, H., & Callender, K. (2000). Decreasing landing forces: effect of instruction. *British Journal of Sports Medicine*, 34(4), 293-296.
- McNitt-Gray, J. L. (1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landings from three heights. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7(2), 201-224.
- Mills, C.; Pain, M. T., & Yeadon, M. R. (2008). The influence of simulation model complexity on the estimation of internal loading in gymnastics landings. *Journal of Biomechanics*, 41(3), 620-628.
- Munro, C. F.; Miller, D. I., & Fuglevand, A. J. (1987). Ground reaction forces in running: a reexamination. *Journal of Biomechanics*, 20(2), 147-155.
- Prassas, S.; Young-Hoo, K., & Sands, W. A. (2006). Biomechanical Research in Artistic Gymnastics: A Review. *Sports Biomechanics*, 5(2), 261-291.
- Sabido, R.; Bote, A., & Gianikellis, K. (2006). Aplicación de la plataforma de fuerzas como recurso para la optimización de la técnica en acrosport. *Motricidad: revista de ciencias de la actividad física y del deporte* (15).
- Seegmiller, J. G., & McCaw, S. T. (2003). Ground reaction forces among gymnasts and recreational athletes in drop landings. *Journal of Athletic Training*, 38(4), 311-314.
- Too, D., & Adrian, M. J. (1987). Relationship of lumbar curvature and landing surface to ground reaction forces during gymnastic landing. In *In, Terauds, J. (ed.) et al, Biomechanics in sports III & IV : proceedings of ISBS, Del Mar, Calif., Academic Publishers, 1987, p. 96-102*. United States.
- Vernetta, M.; López, J., y Panadero, F. (1996). *El acrosport en la escuela*. Barcelona: Inde.