

<https://doi.org/10.5232/ricyde2021.06301>

## **VARIABLES CINÉTICAS Y STIFFNESS VERTICAL DE BAILARINAS DE BALLET EN LA REALIZACIÓN DE UN SALTO VERTICAL**

### **Kinetic variables and vertical stiffness of female ballet dancers during a vertical jump**

**Daniel Rojano Ortega**

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla. España

#### **Resumen**

El objetivo del presente estudio fue analizar las variables cinéticas y el stiffness vertical de jóvenes bailarinas de ballet en la realización de un salto vertical. 16 adolescentes andaluzas participaron en este estudio. Ocho de ellas eran bailarinas de ballet ( $15,00 \pm 1,07$  años) que se encontraban cursando las enseñanzas profesionales de Danza Clásica y las otras ocho eran chicas sedentarias ( $15,13 \pm 1,36$  años). Ejecutaron dos tipos distintos de saltos verticales, salto vertical con contramovimiento (CMJ) y salto Abalakov (ABK), y se analizaron las variables cinéticas y el stiffness vertical. Los resultados muestran que las bailarinas no tienen una buena utilización de las extremidades superiores, pues su altura del salto aumentó únicamente un 5,96% en el salto ABK, a diferencia de las sedentarias en las que aumentó un 22,25%. En el CMJ se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en la altura del salto, la fuerza media, el pico de fuerza, el impulso de aceleración, la potencia media, el pico de potencia y el stiffness vertical normalizado ( $p < 0,01$ ), así como en la duración del impulso de aceleración y el stiffness vertical ( $p < 0,05$ ). Estos resultados demuestran que las bailarinas tienen mayor capacidad impulsiva que las sedentarias. Además, su alto valor del stiffness vertical puede ser indicador de una buena utilización del ciclo estiramiento-acortamiento y podría ser la causa o el efecto de esa mayor capacidad impulsiva. Serían interesantes futuros trabajos que comparen las bailarinas con otros grupos de deportistas incluyendo valores del stiffness vertical.

**Palabras clave:** Salto vertical; stiffness; variables cinéticas; bailarinas de ballet.

#### **Abstract**

The aim of the current study was to analyze kinetic variables and vertical stiffness of young female ballet dancers during a vertical jump. 16 adolescent female Andalusian subjects volunteered to participate in this study. Eight were female ballet dancers ( $15.00 \pm 1.07$  years) following professional ballet classes and eight were sedentary female subjects ( $15.13 \pm 1.36$  years). They performed two types of vertical jumps, countermovement jump (CMJ) and countermovement jump with arm swing or Abalakov jump (ABK), and kinetic variables and vertical stiffness were analyzed. Results show that ballet dancers do not have an appropriate use of arm swings because the height of the jump increased only by 5.96% while the increase in sedentary subjects was of 22.25%. Significant differences in CMJ were found between both groups in jump height, average force, peak force, acceleration impulse, average power, peak power and normalized vertical stiffness ( $p < 0.01$ ), as well as in length of the acceleration impulse and vertical stiffness ( $p < 0.05$ ). These results show that female ballet dancers are more impulsive than female sedentary subjects. In addition, their high vertical stiffness value may indicate a good use of the stretch-shortening cycle and could be the cause or the effect of that impulsiveness. Future studies are required to compare female ballet dancers with other types of female athletes including vertical stiffness values.

**Key words:** Vertical jump; stiffness; kinetic variables; female ballet dancers.

Correspondencia/correspondence: Daniel Rojano-Ortega  
Universidad Pablo de Olavide, Sevilla. España  
Email: danimat54@hotmail.com

## Introducción

La capacidad de saltar verticalmente es una cualidad esencial en muchos deportes (Reiser, Rocheford, y Armstrong, 2006; Sanborn, 2008; San Román, Calleja-González, Castellano, y Casamichana, 2010; Sarvestan, Cheraghi, Sebyani, Shirzad, y Svoboda, 2018). Los saltos también son un elemento importante en muchos estilos de danza y, en una clase de danza clásica, pueden llegar a realizarse más de 200 saltos (Liederbach, Richardson, Rodríguez, Compagno, Dilgen, y Rose, 2006; Ward, Yan, Orishimo, Kremenic, Hagins, Liederbach, Hiller, y Pappas, 2019). La capacidad de saltar alto es un requerimiento esencial para los bailarines de ballet profesionales, ya que deben saltar alto para ejecutar difíciles maniobras en el aire de forma estética (Tsanaka, Manou, y Kellis, 2017; Wyon, Allen, Angioi, Nevill, y Twitchett, 2006; Wyon, Deighan, Nevill, Doherty, Morrison, Allen, Jobson, y George, 2007).

El ballet clásico es una disciplina artística que requiere una gran forma física en los sujetos que lo practican a alto nivel. Además de ejecutar bien la técnica, el bailarín clásico debe trabajar otras cualidades físicas como la fuerza y la flexibilidad (Annino, Padua, Castagna, Di Salvo, Minichella, Tsarpela, Manzi, y D'Ottavio, 2007; Brown, Wells, Schade, Smith, y Fehling, 2007). La potencia, es decir, la capacidad de ejercer fuerza rápidamente, es también de vital importancia para los saltos realizados en las coreografías de ballet (Brown y col., 2007; Kenne y Unnithan, 2008).

Muchos trabajos de investigación han relacionado la altura del salto vertical realizado con máximo esfuerzo, con la capacidad de producir fuerza rápidamente, de forma que actualmente es bastante frecuente usar el salto vertical máximo como indicador de la fuerza o la potencia de las extremidades inferiores (Bosco, 2000; Brown y col., 2007; Sáez de Villareal, Kellis, Kraemer, e Izquierdo, 2009; Sarvestan y col., 2018; Singh, Kumar, y Ranga, 2017).

El stiffness es un parámetro que, en los últimos años, ha ganado mucha popularidad debido a su posible relación con el rendimiento deportivo y con las lesiones de la extremidad inferior (Goodwin, Blackburn, Schwartz, y Williams, 2019; Serpell, Ball, Scarvelli, y Smith, 2012; Serpell, Scarvell, Ball, y Smith, 2014; Waxman, Ford, Nguyen, y Taylor, 2018). El stiffness puede definirse como la resistencia de un cuerpo a cambiar de longitud cuando se aplica una fuerza sobre él (Brughelli y Cronin, 2008; Kuitunen, Ogiso, y Komi, 2011; McMahon y Cheng, 1990; Seyfarth, Geyer, Günther, y Blickhan, 2002). El stiffness de las extremidades inferiores tiene una gran influencia en variables como el almacenamiento y la utilización de la energía elástica y la cantidad de fuerza desarrollada (Brughelli y Cronin, 2008; Kalkhoven y Watsford, 2018).

El origen del concepto de stiffness es la ley de Hooke, ley que gobierna el comportamiento de los muelles ideales (Butler, Crowell, y Davis, 2003; Serpell y col., 2012). Durante la carrera o durante la realización de saltos, la extremidad inferior puede considerarse como un muelle ideal que soporta toda la masa del cuerpo, situada en el centro de masas del mismo (Butler y col., 2003; Goodwin y col., 2019; Serpell y col., 2012; Serpell y col., 2014). Durante la fase de apoyo, los músculos, tendones y ligamentos almacenan energía elástica al apoyar y la restituyen durante la fase de impulso en forma de energía cinética o potencial gravitatoria (Laffaye, Bardy, y Durey, 2005; Kalkhoven, y Watsford, 2018; Kuitunen y col., 2011).

El stiffness de las extremidades inferiores medido cuando se realizan saltos verticales se denomina stiffness vertical (Butler y col., 2003) y existen distintos métodos para calcularlo (Brughelli y Cronin, 2008; Serpell y col., 2012). El más utilizado es el de McMahon y Cheng (1990), obtenido como el cociente entre la máxima fuerza de reacción vertical recibida por el

sujeto y el máximo desplazamiento vertical de su centro de masas. Valores altos del stiffness de la extremidad inferior parecen ser necesarios para una buena utilización del ciclo de estiramiento-acortamiento y, en consecuencia, para conseguir una altura del salto elevada. Sin embargo, valores demasiado elevados del stiffness también parecen aumentar el riesgo de lesiones de la extremidad inferior, al reducir la capacidad de atenuar los impactos en las caídas de los saltos (Kalkhoven y Watsford, 2018; Maloney, Richards, Nixon, Harvey, y Fletcher, 2016; Waxman y col., 2018). Estos resultados aparentemente contradictorios parecen indicar que debe existir un rango óptimo del stiffness de la extremidad inferior que ayude al rendimiento deportivo sin incrementar el riesgo de lesión (Butler y col., 2003; Waxman y col., 2018).

El ballet es una disciplina en la que se realizan frecuentemente saltos rápidos y altos por lo que parece lógico pensar que las variables cinéticas desarrolladas durante la batida de los mismos, así como el stiffness vertical de las extremidades inferiores deben tener valores altos. No hemos encontrado estudios científicos que analicen el perfil cinético y el stiffness vertical de las extremidades inferiores de bailarinas de ballet en la batida de un salto vertical. Por este motivo, el propósito del presente estudio es el de analizar las variables cinéticas y el stiffness vertical de bailarinas de ballet que cursen las enseñanzas profesionales de Danza Clásica en Andalucía al realizar un salto vertical, comparándolas con un grupo de adolescentes sedentarias del mismo rango de edad. Nuestra hipótesis es que tanto las variables cinéticas como el stiffness vertical tendrán valores significativamente mayores en las bailarinas.

## Método

### *Participantes*

16 chicas andaluzas de edades comprendidas entre 14 y 18 años participaron en este estudio. Ocho de ellas eran bailarinas de ballet que se encontraban cursando al menos el curso 3º de las enseñanzas profesionales de Danza Clásica, dedicando a las mismas 12 horas semanales. Las otras ocho eran chicas sedentarias que no realizaban ninguna actividad física más allá de las horas de Educación Física del currículo de Educación Secundaria. Todos los padres o tutores legales de las chicas dieron su consentimiento informado de acuerdo con la Declaración de Helsinki. Las medias y las desviaciones típicas de la estatura, la masa y la edad de los dos grupos se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Medias y desviaciones típicas de las estaturas, las masas y las edades del grupo de bailarinas y del grupo de sedentarias.

Variables	Bailarinas (N = 8)	Sedentarias (N = 8)
	Media ± desv. típica	Media ± desv. típica
<b>Estatura (cm)</b>	162,25 ± 3,77	161,13 ± 6,71
<b>Masa (kg)</b>	53,24 ± 4,03	50,70 ± 5,42
<b>Edad (años)</b>	15,00 ± 1,07	15,13 ± 1,36

### *Procedimiento*

Los saltos verticales realizados para el análisis de las variables cinéticas y del stiffness vertical fueron el salto vertical con contramovimiento (CMJ) y el salto abalakov (ABK), debido a su fácil realización y a la similitud del contramovimiento con los saltos realizados en muchos deportes.

El CMJ se realiza con las manos fijadas a las caderas durante toda la batida, vuelo y caída del salto, anulando así la ayuda de las extremidades superiores. La persona comienza en una posición erguida y desciende (fase excéntrica de la batida) mediante una flexión de las extremidades inferiores. Al llegar al lugar más bajo del descenso, inicia el movimiento ascendente (fase concéntrica de la batida). El cambio de la fase excéntrica a la concéntrica ha de ser rápido para aprovechar la energía elástica almacenada por el sistema músculo-tendinoso (Bosco, 1999; González y Ribas, 2002).

En el salto ABK el procedimiento es el mismo pero se realiza con la ayuda de las extremidades superiores, que se mueven libremente. Esto hace que el salto se asemeje más al realizado en una situación real. Una buena utilización de las extremidades superiores en el salto ABK aumenta al menos un 6 % la velocidad del centro de masas en el despegue y al menos un 15% la altura del salto (Feltner, Bishop, y Pérez., 2004; Harman, Rosenstein, Frykman, y Rosenstein, 1990; Lees, Vanrenterghem, y DeClercq, 2004; Vaverka, Jandačka, Zahradník, Uchytíl, Farana, Supej, y Vodičar, 2016).

Se realizó una primera sesión de familiarización con la técnica del salto unos días antes de la toma de datos. En la segunda sesión los sujetos realizaron un calentamiento general de 15 minutos y 5 saltos previos de cada tipo en la plataforma de fuerzas. Después de realizar los saltos previos los sujetos realizaron 3 saltos más de cada tipo sobre la plataforma, con un intervalo de descanso de 1 minuto entre cada salto. Se hizo especial hincapié en que estos últimos saltos debían ser realizados con máximo esfuerzo, para lo que antes de la realización de cada salto se les dio la instrucción “salta tan alto como sea posible”. No se controló la profundidad del contramovimiento, dejando que la persona usase libremente la que según su experiencia le llevaría a saltar más alto. Con esto se pretendía no modificar la profundidad seleccionada por cada grupo de sujetos de forma natural. Todas las sesiones se llevaron a cabo entre las 17:00 horas y las 19:00 horas.

### *Instrumentos y variables medidas*

Se utilizó una plataforma de fuerzas Kistler Quattro Jump con una frecuencia de toma de datos de 500 Hz. Esta plataforma de fuerzas ha mostrado una gran fiabilidad medida con el coeficiente de correlación intraclase (ICC) tanto para los picos de fuerza (0,92) como para el pico de velocidad (0,98) y el pico de potencia (0,98) de un CMJ (Hori, Newton, Kawamori, McGuigan, Kraemer, y Nosaka, 2009).

El software utilizado fue el de la propia plataforma (Quattro Jump Software, v.1.1.1.4). Con él obtuvimos las curvas fuerza-tiempo, velocidad-tiempo, desplazamiento-tiempo y potencia-tiempo. La fuerza neta sobre el centro de masas del sujeto se obtuvo restando el peso del sujeto a la fuerza de reacción vertical (VGRF) obtenida por la plataforma. La curva velocidad-tiempo se obtuvo de forma indirecta dividiendo la fuerza neta por la masa del sujeto, obteniendo así la aceleración a la que está sometido, e integrando respecto al tiempo usando el método trapezoidal. El desplazamiento del centro de masas en cada instante se calculó integrando la velocidad respecto al tiempo, usando también el método trapezoidal. Por último, el valor de la potencia en cada instante se calculó multiplicando los valores de la velocidad por la fuerza. Las variables analizadas fueron las siguientes:

- *Altura del salto*: diferencia entre la altura del centro de masas del sujeto cuando se encuentra en su posición más alta durante el vuelo y la altura del mismo en el momento del despegue, es decir, la altura del salto menos la extensión del tobillo en el momento del despegue.
- *Máximo descenso del centro de masas*: diferencia entre la altura del centro de masas del sujeto cuando éste se encuentra de pie sobre la plataforma antes de comenzar la batida del salto y la altura del mismo en su posición más baja al final de la fase excéntrica de la batida.
- *Fuerza media*: valor medio de VGRF obtenido durante la fase concéntrica de la batida del salto.
- *Pico de fuerza*: mayor valor de VGRF obtenido durante la batida del salto.
- *Impulso de aceleración*: impulso mecánico calculado desde el comienzo de la fase concéntrica de la batida del salto hasta momentos antes del despegue, cuando el centro de masas tiene su máxima velocidad de ascenso. Se obtiene integrando la fuerza respecto al tiempo mediante el método trapezoidal.
- *Duración del impulso de aceleración*: intervalo de tiempo transcurrido desde el comienzo de la fase concéntrica de la batida del salto hasta el momento en el que el centro de masas tiene su máxima velocidad de ascenso.
- *Potencia media*: valor medio de la potencia obtenido durante la fase concéntrica de la batida del salto.
- *Pico de potencia*: mayor valor de la potencia obtenido durante la fase concéntrica de la batida del salto.
- *Stiffness vertical*: cociente entre el pico de fuerza y el máximo descenso del centro de masas durante la batida (McMahon y Cheng, 1990).
- *Stiffness vertical normalizado*: el stiffness normalizado a la masa del sujeto, es decir, dividido por la masa del sujeto.

Se utilizaron los valores de las variables obtenidos en el salto con mayor altura del salto de los tres realizados para cada tipo.

#### *Análisis estadístico*

La estadística fue realizada con el programa SPSS para Windows, v. 22.0 (SPSS Inc., USA). Se llevó a cabo una primera estadística descriptiva para calcular las medias y las desviaciones típicas de todas las variables medidas. Posteriormente se realizó una estadística inferencial. Se efectuaron primero pruebas de Shapiro-Wilk para comprobar la condición de normalidad de las variables. Cuando la condición de normalidad se cumplió se llevaron a cabo pruebas t-Student y cuando no se cumplió, se realizaron pruebas U de Mann-Whitney, ambas pruebas para conocer la existencia de diferencias significativas entre los dos grupos. Los resultados fueron considerados significativos cuando el grado de significación fue inferior a 0,05 ( $p < 0,05$ ). Para complementar los resultados de las pruebas de significación se calculó también la d de Cohen para conocer el tamaño del efecto: mínimo ( $<0,20$ ), pequeño (0,20 – 0,50), moderado (0,50 – 0,80) o grande ( $>0,80$ ) (Cohen, 1988).

## Resultados

Las medias y las desviaciones típicas de las variables estudiadas en el grupo de bailarinas y en el grupo de sedentarias, así como las diferencias significativas encontradas entre ambos grupos y el tamaño del efecto, en el salto CMJ, se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2. Medias, desviaciones típicas, diferencias significativas y d de Cohen de las variables del salto del grupo de bailarinas y el grupo de sedentarias en el salto CMJ.

Variables	Bailarinas (N = 8)	Sedentarias (N = 8)	Dif. Significativas y tamaño del efecto	
	Media ± desv. típica	Media ± desv. típica	Grado de significación	D de Cohen
Altura del salto (cm)	23,34 ± 1,72	16,81 ± 2,29	p = 0,000**	3,22
Máximo DCDM (cm)	15,09 ± 1,58	17,20 ± 4,31	p = 0,226	-0,65
Fuerza media (BW)	2,19 ± 0,10	1,87 ± 0,21	p = 0,001**	1,95
Pico de fuerza (BW)	2,86 ± 0,36	2,16 ± 0,30	p = 0,005**	2,11
Impulso acelerac. (BW · s)	0,238 ± 0,089	0,215 ± 0,018	p = 0,007**	0,36
Duración impulso aceleración (s)	0,164 ± 0,016	0,200 ± 0,040	p = 0,04*	-1,18
Potencia media (W · kg <sup>-1</sup> )	27,14 ± 1,80	20,46 ± 2,65	p = 0,000**	2,95
Pico de potencia (W · kg <sup>-1</sup> )	44,77 ± 2,56	36,19 ± 4,52	p = 0,000**	2,34
K <sub>vert</sub> (kN · m <sup>-1</sup> )	10,04 ± 2,10	6,98 ± 2,23	p = 0,013*	1,41
K <sub>vert</sub> normalizado (kN · m <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> )	0,188 ± 0,033	0,125 ± 0,042	P = 0,005**	1,67

DCDM: descenso del centro de masas; BW: body weight (veces el peso corporal); K<sub>vert</sub>: stiffness vertical.  
 \*: Diferencias significativas (p < 0,05); \*\*: Diferencias significativas (p < 0,01).

Hemos encontrado diferencias significativas entre el grupo de bailarinas y el grupo de sedentarias en la altura del salto, la fuerza media, el pico de fuerza, el impulso de aceleración, la potencia media, el pico de potencia y el stiffness vertical normalizado (p < 0,01), así como en la duración del impulso de aceleración y el stiffness vertical (p < 0,05).

Las medias y las desviaciones típicas de las variables estudiadas en el grupo de bailarinas y en el grupo de sedentarias, así como las diferencias significativas encontradas entre ambos grupos y el tamaño del efecto, en el salto ABK, se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3. Medias, desviaciones típicas, diferencias significativas y *d* de Cohen de las variables del salto del grupo de bailarinas y el grupo de sedentarias en el salto ABK.

Variables	Bailarinas (N = 8)	Sedentarias (N = 8)	Dif. Significativas y tamaño del efecto	
	Media ± desv. típica	Media ± desv. típica	Grado de significación	<i>D</i> de Cohen
Altura del salto (cm)	24,73 ± 2,35	20,55 ± 3,06	p = 0,007**	1,53
Máximo DCDM (cm)	17,44 ± 3,41	20,52 ± 4,84	p = 0,144	-0,74
Fuerza media (BW)	2,07 ± 0,20	1,82 ± 0,15	p = 0,015*	1,41
Pico de fuerza (BW)	2,51 ± 0,42	2,16 ± 0,23	p = 0,060	1,03
Impulso acelerac. (BW · s)	0,248 ± 0,096	0,233 ± 0,022	p = 0,065	0,22
Duración impulso aceleración (s)	0,189 ± 0,027	0,234 ± 0,043	p = 0,024*	-1,25
Potencia media (W · kg <sup>-1</sup> )	26,41 ± 3,51	21,29 ± 2,49	p = 0,005**	1,68
Pico de potencia (W · kg <sup>-1</sup> )	46,14 ± 4,44	39,07 ± 5,28	p = 0,012*	1,45
K <sub>vert</sub> (kN · m <sup>-1</sup> )	7,86 ± 2,61	5,47 ± 1,54	p = 0,043*	1,12
K <sub>vert</sub> normalizado (kN · m <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> )	0,149 ± 0,054	0,108 ± 0,030	p = 0,081	0,94

DCDM: descenso del centro de masas; BW: body weight (veces el peso corporal); K<sub>vert</sub>: stiffness vertical.

\*: Diferencias significativas (p < 0,05); \*\*: Diferencias significativas (p < 0,01).

Hemos encontrado diferencias significativas entre el grupo de bailarinas y el grupo de sedentarias en la altura del salto y la potencia media (p < 0,01), así como en la fuerza media, la duración del impulso de aceleración, el pico de potencia y el stiffness vertical (p < 0,05).

## Discusión

El presente estudio ha sido realizado con el propósito de analizar las variables cinéticas y el stiffness vertical de bailarinas de ballet al realizar un salto vertical (CMJ o Abalakov), comparándolas con un grupo de adolescentes sedentarias del mismo rango de edad. Hemos encontrado más diferencias significativas entre ambos grupos en el salto CMJ que en el salto Abalakov. Esto es debido, probablemente, a que las bailarinas no hacen una buena utilización de las extremidades superiores ya que en los saltos que ejecutan, las extremidades superiores están generalmente realizando algún movimiento artístico. De hecho, la altura media de las bailarinas pasa de 23,34 cm en el CMJ a 24,73 cm en el salto Abalakov, mientras que la de las sedentarias pasa de 16,81 cm en el CMJ a 20,55 cm en el Abalakov. Esto supone que las sedentarias incrementan su altura del salto en un 22,25%, mientras que las bailarinas sólo en un 5,96%, confirmando así que las bailarinas no hacen una buena utilización de las extremidades superiores ya que una buena utilización de las mismas aumenta al menos un 15% la altura del salto (Feltner y col., 2004; Harman y col., 1990; Lees y col., 2004; Vaverka y col., 2016).

Además, a pesar de esa mala utilización de las extremidades superiores, las bailarinas siguen teniendo valores significativamente superiores en varias variables analizadas y, en la mayoría de las que no lo tienen, los tamaños del efecto son moderados y altos, indicando que podría haber diferencias significativas con un número de sujetos mayor. Por estos motivos, vamos a basar esta discusión en las diferencias significativas obtenidas en el análisis del salto CMJ.

Los valores medios de la altura del salto son significativamente superiores en el grupo de bailarinas ( $23,34 \pm 1,72$  cm) que en el grupo de sedentarias ( $16,81 \pm 2,29$  cm), resultado esperado debido no sólo a las horas de clases de las bailarinas sino también a que el número de saltos realizados durante dichas horas de clase es bastante elevado.

No hemos encontrado diferencias significativas en el máximo descenso del centro de masas, aunque es menor en las bailarinas ( $15,09 \pm 1,58$  cm) que en el grupo de sedentarias ( $17,20 \pm 4,31$  cm) con un tamaño del efecto moderado. Esta menor profundidad en el contramovimiento contrasta con los resultados encontrados por Sánchez-Sixto, Harrison, y Floría (2018), quienes afirman que contramovimientos profundos consiguen mayores alturas del salto. Además, esos valores del máximo descenso del centro de masas están muy por debajo de los obtenidos con otros deportistas (Sarvestan y col., 2018) o incluso sedentarios (Wang, Lin, y Huang, 2004). Sin embargo, son resultados similares a los encontrados por Mandic, Knezevic, Mirkov, y Jaric (2016) en un grupo de jugadores de baloncesto de élite. Estos autores muestran que en deportes en los que el éxito depende no solo de la altura del salto sino también de la duración del mismo, los deportistas seleccionan un descenso del centro de gravedad bastante menor que el que les llevaría a obtener mayor altura. Esa diferencia hace que el salto sea bastante más rápido pero disminuye poco la altura del salto y aumenta los valores obtenidos para la fuerza y la potencia. Esto es igualmente aplicable a las bailarinas, pues los saltos realizados por las bailarinas deben ser altos pero son ejecutados integrados en las coreografías sin apenas tiempo de preparación, lo que les lleva a ejecutarlos con rapidez y sin un gran descenso del centro de masas.

Esto debe ser compensado de alguna manera, de forma que las bailarinas obtienen mayores valores de la fuerza media y del pico de fuerza que las sedentarias. Además, la potencia media desarrollada durante la batida es significativamente mayor en las bailarinas ( $27,14 \pm 1,80$  W·kg<sup>-1</sup>) que en las sedentarias ( $20,46 \pm 2,65$  W·kg<sup>-1</sup>) y resultados similares se obtienen para el pico de potencia ( $44,77 \pm 2,56$  W·kg<sup>-1</sup> vs  $36,19 \pm 4,52$  W·kg<sup>-1</sup>). Estos resultados están en consonancia con los encontrados por autores como Harman y col. (1990), quienes encuentran que el pico de potencia correlaciona muy bien con la altura del salto vertical ( $r = 0,88$ ;  $p < 0,05$ ) o como González y Marques (2009), quienes observan fuertes correlaciones entre la altura del salto y el pico de potencia producida durante la fase concéntrica de un CMJ ( $r = 0,812-0,851$ ,  $p < 0,001$ ).

El valor del impulso de aceleración es también significativamente mayor en las bailarinas ( $0,238 \pm 0,089$  BW · s) que en las sedentarias ( $0,215 \pm 0,018$  BW · s), dado que es este impulso de aceleración el que hace que el despegue se realice con mayor velocidad y, en consecuencia, se consiga mayor altura del salto (Linthorne, 2001). Aunque el tamaño del efecto es pequeño, debido a la variación del impulso de aceleración de nuestras bailarinas, que muestran una alta desviación típica, estos resultados confirman lo expuesto por Kirby, McBride, Haines, y Dayne (2011), quienes muestran una correlación significativa positiva casi perfecta entre ambos valores en el salto CMJ ( $r = 0,925$ ,  $p < 0,0001$ ). Este valor significativamente más alto del impulso de aceleración es bastante llamativo debido a que la duración del mismo es, sin embargo, significativamente menor en las bailarinas ( $0,164 \pm 0,016$  s) que en las sedentarias ( $0,200 \pm 0,040$  s), lo que muestra que las bailarinas tienen una gran capacidad impulsiva.



Debido a que descienden menos el centro de masas y que desarrollan un mayor pico de fuerza, el stiffness vertical, calculado como el cociente entre el piso de fuerza y el máximo descenso del centro de masas (McMahon y Cheng, 1990) es significativamente mayor en las bailarinas ( $10,04 \pm 2,10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ) que en el grupo de sedentarias ( $6,98 \pm 2,23 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ) y resultados similares se obtienen para el stiffness vertical normalizado ( $0,188 \pm 0,033 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  vs  $0,125 \pm 0,042 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Estos resultados confirman lo expuesto por los estudios que afirman que valores elevados del stiffness son necesarios para alcanzar valores altos de la altura del salto (Brughelli y Cronin, 2008; Goodwin y col., 2019; Maloney y col., 2016; Serpell y col., 2012; Serpell y col., 2014; Waxman y col., 2018).

## Conclusiones

Una muestra de ocho bailarinas andaluzas cursando al menos el curso 3º de las enseñanzas profesionales de Danza Clásica presenta unos valores significativamente mayores de todas las variables cinéticas medidas en la batida de un salto vertical que un grupo de chicas sedentarias del mismo rango de edad. Además, aunque sin diferencias significativas, descienden menos su centro de masas que las sedentarias y mucho menos que otros deportistas. Esto indica que las bailarinas deben tener mayor capacidad impulsiva que otros deportistas, lo que justifica además el valor alto que obtienen del stiffness vertical, que puede ser indicador de una buena utilización del ciclo estiramiento-acortamiento. Serían interesantes otros trabajos que comparasen el perfil cinético y el stiffness vertical de las bailarinas con el de otras deportistas, incluyendo un mayor número de sujetos en cada grupo, para comprobar si es cierta esa mayor capacidad impulsiva.

## Referencias

- Annino, G.; Padua, E.; Castagna, C.; Di Salvo, V.; Minichella, S.; Tarpela, O.; Manzi, V., & D'Ottavio, S. (2007). Effect of Whole Body Vibration Training on Lower Limb Performance in Selected High-Level Ballet Students. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1072-1076.  
<https://doi.org/10.1519/00124278-200711000-00016>
- Bosco, C. (1999). *Strength Assessment with the Bosco's Test* (pp. 68). Rome: Italian Society of Sport Science.
- Bosco, C. (2000). *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. Barcelona: Inde Publicaciones.
- Brown, A.C.; Wells, T.J.; Schade, M.L.; Smith, D.L., & Fehling, P.C. (2007). Effects of Plyometric Training versus Traditional Weight Training on Strength, Power and Aesthetic Jumping Ability in Female Collegiate Dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 11(2), 38-44.
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2008). A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18, 417-426.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00769.x>
- Butler, R.J.; Crowell, H.P., & Davis, I.M. (2003). Lower extremity stiffness: implications performance and injury. *Clinical Biomechanics*, 18, 511-517.  
[https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(03\)00071-8](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(03)00071-8)
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Second Edition*. Hillsdale, NJ: LEA.

- Feltner, M.E.; Bishop, E.J., & Pérez, C.M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without arm swing. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 75, 216-230.  
<https://doi.org/10.1080/02701367.2004.10609155>
- Goodwin, J.S.; Blackburn, J.T.; Schwartz, T.A., & Williams, D.S.B. (2019). Clinical Predictors of Dynamic Lower Extremity Stiffness During Running. *Journal of Orthopaedic Sports & Physical Therapy*, 49(2), 98-104.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2019.7683>
- González, J.J., y Ribas, J. (2002). *Programación del Entrenamiento de Fuerza* (327). Barcelona: INDE Publicaciones.
- González, J.J., y Marques, M.C. (2009). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3443-7.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac37d>
- Harman, E.A.; Rosenstein, M.T.; Frykman, P.N., & Rosenstein, R.M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 825-833.  
<https://doi.org/10.1249/00005768-199012000-00015>
- Hori, N.; Newton, R.U.; Kawamori, N.; McGuigan, M.R.; Kraemer, W.J., & Nosaka, K. (2009). Reliability of Performance Measurements derived from Ground Reaction Force data during Countermovement Jump and the influence of Sampling Frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 874-882.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a00ca2>
- Kalkhoven, J.T., & Watsford, M.L. (2018). The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub-elite footballers. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1022-1029.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1349921>
- Kenne, E., & Unnithan, V.B. (2008). Knee and Ankle Strength and Lower Extremity Power in Adolescent Female Ballet Dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 12(2), 59-65.
- Kirby, T.J.; McBride, J.M.; Haines, T.L., & Dayne, A.M. (2011). Relative Net Vertical Impulse Determines Jumping Performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 207-214.  
<https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>
- Kuitunen, S.; Ogiso, K., & Komi, P.V. (2011). Leg and joint stiffness in human hopping. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21, e159-e167.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01202.x>
- Laffaye, G.; Bardy, B.G., & Durey, A. (2005). Leg Stiffness and Expertise in Men Jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(4), 536-543.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000158991.17211.13>
- Lees, A.; Vanrenterghem, J., y DeClercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37, 1929-1940.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.021>
- Liederbach, M.; Richardson, M.; Rodriguez, M.; Compagno, J.; Dilgen, F.E., & Rose, D.J. (2006). Jump exposures in the dance training environment: a measure of ergonomic demand. *Journal of Athletic Training*, 41(S85).
- Linthorne, N.P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.

- Maloney, S.J.; Richards, J.; Nixon, D.G.D.; Harvey, L.J., & Fletcher, I.M. (2016). Vertical stiffness asymmetries during drop jumping are related to ankle stiffness asymmetries. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27, 661-669.  
<https://doi.org/10.1111/sms.12682>
- Mandic, R.; Knezevic, O.M.; Mirkov, D.M., & Jaric, S. (2016). Control strategy of maximum vertical jumps: The preferred countermovement depth may not be fully optimized for jump height. *Journal of Human Kinetics*, 52, 85-94.  
<https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0196>
- McMahon, T.A., & Cheng, G.C. (1990). The mechanics of running: How does stiffness couple with speed? *Journal of Biomechanics*, 23(1), 65-78.  
[https://doi.org/10.1016/0021-9290\(90\)90042-2](https://doi.org/10.1016/0021-9290(90)90042-2)
- Reiser, R.F.; Rocheford, E.C., & Armstrong, C.J. (2006). Building a Better Understanding of Basic Mechanical Principles Through Analysis of the Vertical Jump. *Strength & Conditioning Journal*, 28(4), 70-80.
- Sáez de Villareal, E.; Kellis, E.; Kraemer, W.J., & Izquierdo, M. (2009). Determining Variables of Plyometric Training for Improving Vertical Jump Height Performance: Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-506.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b7c6>
- Sanborn, K. (2008). Development of Explosive Power: Plyometric Training. *Olympic Coach*, 20(2), 12-14.
- Sánchez-Sixto, A.; Harrison, A.J.; y Floría, P. (2018). Larger Countermovement Increases the Jump Height of Countermovement Jump. *Sports*, 6, 131.  
<https://doi.org/10.3390/sports6040131>
- San Román, J.; Calleja-González, J.; Castellano, J., y Casamichana, D. (2010) Análisis de la capacidad de salto antes, durante y después de la competición en jugadores internacionales junior de baloncesto. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 21(6), 311-321.  
<http://dx.doi.org/10.5232/ricyde2010.02105>
- Sarvestan, J.; Cheraghi, M.; Sebyani, M.; Shirzad, E., & Svoboda, Z. (2018). Relationships between force-time curve variables and jump height during countermovement jumps in young elite volleyball players. *Acta Gymnica*, 48(1), 9-14.
- Serpell, B.G.; Ball, N.B.; Scarvell, J.M., & Smith, P.N. (2012). A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. *Journal of Sports Sciences*, 30(13), 1347-1363.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.710755>
- Serpell, B.G.; Scarvell, J.M.; Ball, N.B., & Smith, P.N. (2014). Vertical stiffness and muscle strain in professional Australian football. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1924-1930.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.942681>
- Seyfarth, A.; Geyer, H.; Günther, M., & Blickhan, R. (2002). A movement criterion for running. *Journal of Biomechanics*, 35, 649-655.  
[https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(01\)00245-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(01)00245-7)
- Singh, B.; Kumar, A., & Ranga, M.D. (2017). Biomechanical Analysis of Explosive Strength of Legs of Athletes. *Journal of Exercise Science & Physiotherapy*, 13(1), 53-61.
- Tsanaka, A.; Manou, V., & Kellis, S. (2017). Effects of a Modified Ballet Class on Strength and Jumping Ability in College Ballet Dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 21(3), 97-101.  
<https://doi.org/10.12678/1089-313X.21.3.97>

- Vaverka, F.; Jandačka, D.; Zahradník, D.; Uchytíl, J.; Farana, R.; Supej, M., & Vodičar, J. (2016). Effect of an Arm Swing on Countermovement Vertical Jump Performance in Elite Volleyball Players. *Journal of Human Kinetics*, 53, 41-50.  
<https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0009>
- Wang, L. I.; Lin, D.C., & Huang, C. (2004). Age Effect on Jumping Techniques and Lower Limb Stiffness During Vertical Jump. *Research in Sports Medicine*, 12, 209–219.
- Ward, R. E.; Yan, A. F.; Orishimo, K. F.; Kremenec, I. J.; Hagins, M.; Liederbach, M.; Hiller, C. E., & Pappas, E. (2019). Comparison of lower limb stiffness between male and female dancers and athletes during drop jump landings. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29,71–81.  
<https://doi.org/10.1111/sms.13309>
- Waxman, J. P.; Ford, K. R.; Nguyen, A., & Taylor, J. B. (2019). Female Athletes With Varying Levels of Vertical Stiffness Display Kinematic and Kinetic Differences During Single-Leg Hopping. *Journal of Applied Biomechanics*, 2018, 34, 65-75.  
<https://doi.org/10.1123/jab.2017-0144>
- Wyon, M.; Allen, N.; Angioi, M.; Nevill, A., & Twitchett, E. (2006). Anthropometric factors affecting vertical jump height in ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 10(3 & 4), 106-10.
- Wyon, M. A.; Deighan, M. A.; Nevill, A. M.; Doherty, M.; Morrison, S. L.; Allen, N.; Jobson, S. J., & George, S. (2007). The cardiorespiratory, anthropometric, and performance characteristics of an international/national touring ballet company. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 389-93.  
<https://doi.org/10.1519/R-19405.1>