

VARIABLES CINÉTICAS Y STIFFNESS VERTICAL DE PATINADORAS DE ARTÍSTICO ANDALUZAS Kinetic variables and vertical stiffness of Andalusian female figure skaters

Daniel Rojano

Universidad Pablo de Olavide (España)

Resumen. El patinaje artístico es una disciplina deportiva con varias modalidades y, en casi todas ellas, los elementos de mayor dificultad suelen ser los saltos, que deben ser altos para permitir varias rotaciones. El objetivo del presente estudio fue el de analizar las variables cinéticas y el stiffness vertical de un grupo de ocho patinadoras de artístico andaluzas de nivel regional de edades comprendidas entre 14 y 18 años, comparándolas con un grupo de ocho chicas sedentarias del mismo rango de edad. Se analizaron la altura de vuelo y las siguientes variables de la batida de un salto vertical con contramovimiento (CMJ): máximo descenso del centro de masas, pico de fuerzas, fuerza media, impulso de aceleración, duración del impulso de aceleración, potencia media, potencia pico, stiffness vertical, stiffness vertical normalizado a la masa corporal y velocidad máxima de descenso. Los resultados mostraron que las patinadoras tenían alturas de vuelo significativamente mayores que las sedentarias y presentaban valores de potencia y de impulso de aceleración significativamente mayores, lo que indica que eran más explosivas. Sin embargo, no realizaron una mayor fuerza media durante la fase concéntrica de la batida. Son necesarios nuevos trabajos que comparen a las patinadoras con otros grupos de deportistas, analizando especialmente variables poco estudiadas como el stiffness vertical y la máxima velocidad de descenso, para valorar si las patinadoras realizan una buena utilización del ciclo estiramiento-acortamiento y cómo aumentar la fuerza media durante la fase concéntrica de la batida.

Palabras clave: Stiffness vertical, patinaje artístico, altura de vuelo, fuerza, potencia.

Abstract. Figure skating is a sport with different modalities. In most of them, jumps are usually the most difficult elements and need to be high enough so to complete several rotations. The aim of the present study was to analyse the kinetic variables and the vertical stiffness of eight andalusian female figure skaters aged 14-18 years old, comparing them to a group of eight sedentary female subjects of the same age. Flight height and the following kinetic variables during a countermovement jump (CMJ) were analyzed: maximal displacement of the centre of mass, peak force, average force, acceleration impulse, length of the acceleration impulse, average power, peak power, vertical stiffness, vertical stiffness normalized to body mass and maximum downward velocity during the eccentric phase. Results showed that figure skaters had flight heights greater than sedentary subjects and they also exhibited greater values of power and acceleration impulse, which means that they have higher explosive strength. However, average force developed during the concentric phase was not significantly higher in figure skaters. Further research comparing figure skaters with other athletes is needed, with special focus on the analysis of vertical stiffness and maximum downward velocity, so to clarify whether figure skaters make a good use of the stretch-shortening cycle; also to understand how to develop higher average force during the concentric phase of jumps.

Palabras clave: Vertical stiffness, figure skating, flight height, force, power.

Introducción

El patinaje artístico es una disciplina deportiva que combina capacidades artísticas y atléticas (Ionescu & Gugu-Gramatopol, 2014; Mazurkiewicz, Iwanska, & Urbanik, 2018). Puede realizarse sobre hielo o sobre ruedas, pero los elementos realizados en los programas son similares (Dias, et al., 2014). En todas las modalidades de patinaje artístico los patinadores deben realizar una serie de elementos de dificultad y, salvo en la modalidad de danza, los elementos de mayor dificultad suelen ser los saltos.

A medida que el patinador alcanza mayor nivel, los saltos que realiza pasan de ser simples a dobles y después a triples o incluso cuádruples, lo que se traduce en que, forzosamente, el salto debe ser más alto y los patinadores deben realizar un buen trabajo de preparación física para mejorar la flexibilidad, la fuerza y la potencia y ser capaces así de desarrollar fuerza de forma explosiva con los músculos de las extremidades inferiores (King, 2005; Podolski, Kaufman, Cahalan, Aleshinsky, & Chao, 1990).

Muchos trabajos de investigación han relacionado la altura del salto realizado con máximo esfuerzo, con la capacidad de producir fuerza de forma explosiva y, actualmente, el salto vertical máximo se suele tomar como indicador de la

fuerza explosiva de las extremidades inferiores de un atleta (Abián, Alegre, Lara, & Aguado, 2006; Bosco, 2000; Brown, Wells, Schade, Smith, & Fehling, 2007; Hellín, García, & García, 2020; Sáez de Villareal, Kellis, Kraemer, & Izquierdo, 2009; Saunders, Telford, Pyne, Peltola, Cunningham, Gore, & Hawley, 2006; Singh, Kumar, & Ranga, 2017).

Dado que saltar rápido y alcanzar una gran altura sobre el suelo pueden ser factores determinantes del éxito o del fracaso de una acción deportiva (McNitt-Gray, 1991; Reiser, Rocheford, & Armstrong, 2006; San Román-Quintana, Calleja-González, Casamichana, & Castellano, 2011; Sánchez-Moreno, García-Asencio, González-Badillo, & Díaz-Cueli, 2018) se ha intentado analizar el salto vertical desde un punto de vista físico, para determinar qué parámetros se deben mejorar para aumentar la altura del salto (Aura & Viitasalo, 1989; Dowling & Vamos, 1993; Innocenti, Facchielli, Torti, & Verza, 2006; Linthorne, 2001; Reiser, et al., 2006; Tomioka, Owings, & Grabiner, 2001).

El stiffness de las extremidades inferiores es uno de los parámetros que está siendo muy estudiado en las dos últimas décadas, debido a su posible relación con el rendimiento deportivo y con las lesiones de la extremidad inferior (Goodwin, Blackburn, Schwartz, & Williams, 2019; Serpell, Ball, Scarvell, & Smith, 2012; Serpell, Scarvell, Ball, & Smith, 2014; Waxman, Ford, Nguyen, & Taylor, 2018). El stiffness puede definirse como la resistencia de un cuerpo a cambiar de longitud debido a una fuerza aplicada sobre él (Brughelli & Cronin, 2008; McMahon & Cheng, 1990; Seyfarth, Geyer, Günther, & Blickhan, 2002).

El origen del concepto de stiffness es la ley de Hooke, que explica el comportamiento de los muelles ideales (Butler, Crowell, & Davis, 2003; Serpell, et al., 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, et al., 2003; Serpell, et al., 2012; Serpell, et al., 2014; Goodwin, et al., 2019). Al igual que los muelles, el sistema musculotendinoso de las extremidades inferiores almacena energía elástica durante la fase de apoyo y esta energía puede utilizarse posteriormente durante la fase de impulso (Laffaye, Bardy, & Durey, 2005; Kalkhoven & Watsford, 2018; Kuitunen, Ogiso, & Komi, 2011).

Cuando se realizan saltos verticales el stiffness de las extremidades inferiores se denomina stiffness vertical (Butler, et al., 2003). El método de McMahon & Cheng (1990) es el método más frecuentemente utilizado para calcularlo (Brughelli & Cronin, 2008; Serpell, et al., 2012) y se obtiene como el cociente entre la máxima fuerza de reacción vertical recibida por el sujeto y el máximo desplazamiento vertical de su centro de masas durante la fase excéntrica de la batida del salto.

Hay autores que han puesto de manifiesto que niveles altos de stiffness de las extremidades inferiores están asociados a mejores resultados del salto vertical, del sprint y de la economía de carrera, mientras otros autores han indicado que valores elevados del stiffness de las extremidades inferiores pueden incrementar el riesgo de lesiones óseas por estrés (Maloney, Richards, Nixon, Harvey, & Fletcher, 2016; Waxman, et al., 2018; Goodwin, et al., 2019). Parece ser, por tanto, que debe existir un rango óptimo de stiffness que ayude al rendimiento deportivo sin incrementar el riesgo de lesión (Waxman, et al., 2018).

El patinaje artístico es un deporte en el que se realizan saltos explosivos con mucha frecuencia, tanto en los entrenamientos como en las competiciones. Por este motivo, parece lógico que las variables cinéticas desarrolladas en la batida de los mismos, así como el stiffness vertical de las extremidades inferiores presenten valores altos. No hemos encontrado investigaciones científicas llevadas a cabo con patinadores de artístico que analicen las variables cinéticas y el stiffness vertical de las extremidades inferiores en la batida de un salto vertical. Por este motivo, el propósito del presente estudio es el de analizar el perfil cinético y el stiffness vertical de un grupo de patinadoras de artístico andaluzas de nivel regional al realizar un salto vertical, comparándolas a su vez con un grupo de chicas sedentarias del mismo rango de edad.

Material y método

Participantes

16 chicas andaluzas de edades comprendidas entre 14 y 18 años participaron en este estudio. Ocho de ellas eran patinadoras de artístico sobre ruedas con posibilidades de podio en las competiciones andaluzas. Las otras ocho eran chicas sedentarias que no realizaban 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 De-

claración de Helsinki.

Las medias y las desviaciones típicas de la estatura, la masa y la edad del grupo de patinadoras y del grupo de sedentarias se encuentran en la Tabla 1.

Procedimiento

El salto vertical utilizado para el análisis del perfil cinético y del stiffness vertical fue el salto vertical con contramovimiento (CMJ), 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. Con ello se pretende que las extremidades superiores no ayuden al salto. El sujeto 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 & Ribas, 2002).

Una primera sesión familiarizó a las participantes con la técnica del salto. En la siguiente sesión se llevó a cabo la toma de datos. Las participantes realizaron primero un calentamiento general y varios saltos previos en la plataforma de fuerzas. Posteriormente cada una realizó 5 saltos más poniendo especial atención en realizarlos con máximo esfuerzo y con un minuto de descanso entre cada salto. De cada sujeto se analizaron los tres saltos que alcanzaron mayor altura de vuelo y se utilizaron los valores medios de las variables obtenidas en esos tres mejores saltos.

Instrumentos y variables analizadas

Se utilizó una plataforma de fuerzas Kistler Quattro Jump con una frecuencia de toma de datos de 500 Hz. Las plataformas de fuerza con una frecuencia de toma de datos de 500 Hz han mostrado previamente una gran fiabilidad medida con un coeficiente de correlación intraclase (ICC) tanto para los picos de fuerza (.92) como para el pico de velocidad (.98) y el pico de potencia (.98) de un CMJ (Hori, Newton, Kawamori, McGuigan, Kraemer, & 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. Las variables analizadas fueron las siguientes:

-*Altura de vuelo*: 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.

-*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.

-*Pico de fuerza*: mayor valor de la fuerza de reacción vertical obtenido durante la batida del salto.

-*Fuerza media*: valor medio de la fuerza de reacción vertical obtenido durante la fase concéntrica de 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 & Cheng, 1990).

-*Stiffness vertical normalizado*: el stiffness vertical normalizado a la masa del sujeto, es decir, dividido por la masa del sujeto.

-*Máxima velocidad de descenso*: máxima velocidad que el centro de masas del sujeto alcanza durante la fase excéntrica de la batida del salto.

Análisis estadístico

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

Resultados

Las medias y las desviaciones típicas de las variables estudiadas en el grupo de patinadoras y en el de sedentarias,

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

Variables	Patinadoras (N = 8)	Sedentarias (N = 8)
	Media \pm desv. típica	Media \pm desv. típica
Estatura (cm)	160.38 \pm 3.36	161.13 \pm 6.71
Masa (kg)	51.24 \pm 2.35	50.70 \pm 5.42
Edad (años)	15.88 \pm 1.81	15.13 \pm 1.36

Tabla 2.
Medias, desviaciones típicas, diferencias significativas y *d* de Cohen de las variables analizadas en el salto CMJ.

Variables	Patinadoras (N = 8)	Sedentarias (N = 8)	Tamaño del efecto
	Media \pm desv. típica	Media \pm desv. típica	<i>d</i> de Cohen
Altura vuelo (cm)	24.24 \pm 3.02**	16.84 \pm 2.26**	2.77
Máximo DCDM (cm)	23.90 \pm 1.10**	15.73 \pm 3.94**	2.82
Pico de fuerza (BW)	2.40 \pm .40	2.26 \pm .29	.40
Fuerza media (BW)	1.94 \pm .14	1.90 \pm .17	.26
Impulso de aceleración (BW \cdot s)	.245 \pm .013**	.214 \pm .018**	1.97
Duración impulso aceleración (s)	.217 \pm .024	.188 \pm .026	1.16
Potencia media (W \cdot kg ⁻¹)	24.69 \pm 3.34*	20.70 \pm 2.32*	1.39
Pico de potencia (W \cdot kg ⁻¹)	41.98 \pm 3.55*	36.77 \pm 4.05*	1.37
Stiffness vertical (kN \cdot m ⁻¹)	5.04 \pm .75*	7.42 \pm 1.79*	-1.73
Stiffness vertical normalizado (kN \cdot m ⁻¹ \cdot kg ⁻¹)	.099 \pm .017*	.137 \pm .040*	-1.24
Máxima velocidad descenso (m \cdot s ⁻¹)	1.06 \pm .22*	.80 \pm .19*	1.26

DCDM: descenso del centro de masas; BW: body weight (veces el peso corporal);

*: Diferencias significativas ($p < .05$); **: Diferencias significativas ($p < .01$).

así como las diferencias significativas encontradas entre ambos grupos y el tamaño del efecto se encuentran en la Tabla 2.

Hemos encontrado diferencias significativas entre el grupo de patinadoras y el grupo de sedentarias en la altura de vuelo, el máximo descenso del centro de masas y el impulso de aceleración ($p < .01$), así como en la potencia media, el pico de potencia, el stiffness vertical, el stiffness vertical normalizado y la velocidad máxima de descenso ($p < .05$).

Discusión

Los valores medios de la altura de vuelo son significativamente superiores en el grupo de patinadoras (24.24 \pm 3.02 cm) que en el grupo de sedentarias (16.81 \pm 2.29 cm). Este resultado es el esperado al comparar cualquier grupo de deportistas con sedentarias y, en especial, si el número de saltos realizados por dichas deportistas en los entrenamientos y en las competiciones es alto.

El descenso del centro de masas es significativamente mayor en el grupo de patinadoras (23.90 \pm 1.10 cm) que en el grupo de sedentarias (17.20 \pm 4.31 cm), confirmando lo expuesto por varios autores (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Sánchez-Sixto, López-Álvarez, & Floría, 2018; Sánchez-Sixto, Harrison, & Floría, 2018), quienes afirman que los descensos mayores en el contramovimiento de un salto vertical aumentan el impulso vertical, con el consiguiente aumento de la altura del salto.

No hemos encontrado diferencias significativas entre el grupo de patinadoras y el de sedentarias ni en el pico de fuerza ni en la fuerza media teniendo, además, tamaños del efecto pequeños. Estos resultados sorprenden en principio, puesto que las deportistas deberían ser capaces de desarrollar fuerzas mayores que las sedentarias. Tal como afirman Sánchez-Sixto et al. (2018), los estudios que han intentado relacionar el pico de fuerza y la altura del salto han mostrado resultados contradictorios e incluso Kirby et al. (2011) encuentran que el pico de fuerza correlaciona negativamente con la altura del salto, mostrando así que el pico de fuerza puede no ser el mejor indicador para estimar la altura de un salto. No obstante, el hecho de que la fuerza media desarrollada por las patinadoras no sea superior a la desarrollada por las sedentarias no parece lógico.

A pesar de no haber encontrado diferencias significativas en la fuerza media ni en el pico de fuerza, al realizar las patinadoras aproximadamente la misma fuerza que las sedentarias pero durante un trayecto más largo (descienden más el centro de gravedad), consiguen una mayor velocidad de despegue que se traduce en una altura de vuelo mayor. Esto es confirmado por un valor significativamente mayor del impulso de aceleración en las patinadoras (.245 \pm .013 BW \cdot s) que en las sedentarias (.214 \pm .013 BW \cdot s), puesto que teóricamente, el impulso de aceleración es el responsable de que el salto se realice con mayor velocidad de despegue y, en consecuencia, el salto consiga mayor altura (Linthorne, 2001). Este resultado teórico es demostrado experimentalmente por Kirby et al. (2011), quienes encuentran una correlación significativa positiva casi perfecta entre el impulso de aceleración y la altura de un salto CMJ ($r = .925$, $p < .0001$).

El valor de la potencia media en el grupo de patinadoras ($24.69 \pm 3.34 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$) es significativamente mayor al del grupo de sedentarias ($20.46 \pm 2.65 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$) y resultados similares se encuentran para el pico de potencia ($41.98 \pm 3.55 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ vs $36.19 \pm 4.52 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$). Esto indica que las patinadoras son más explosivas que las sedentarias, al igual que otros deportistas que realizan saltos frecuentemente, tal como afirman muchos autores (Miliæ, Nejiæ, & Kostiaë, 2008; Newton, Rogers, Volek, Häkkinen, & Kraemer, 2006; Poe, 1996). Esa explosividad necesaria para saltar más alto es apoyada por los resultados de autores como Harman, Rosenstein, Frykman & Rosenstein (1990), que encuentran que el pico de potencia correlaciona mucho mejor con la altura del salto que el pico de fuerza, o como González-Badillo & Marques (2009) que muestran fuertes correlaciones entre la altura de vuelo y el pico de potencia ($r = .812-.851, p < .001$) y entre la altura de vuelo y la potencia media ($r = .57-.65, p < .01$) durante un CMJ.

Como no existen diferencias significativas en el pico de fuerza entre patinadoras y sedentarias pero las sedentarias descienden menos su centro de masas, el stiffness vertical calculado como el cociente entre el pico de fuerza y el máximo descenso del centro de masas durante la batida (McMahon & Cheng, 1990), es significativamente mayor en el grupo de sedentarias ($7.42 \pm 1.79 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$) que en el grupo de patinadoras ($5.04 \pm .75 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$). De la misma manera, las sedentarias también presentan un stiffness vertical normalizado significativamente superior ($.137 \pm .040 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) que el grupo de patinadoras ($.099 \pm .017 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$). Estos resultados son similares a los encontrados por Rodríguez-Berzal, Ara, Mata & Aguado (2011), quienes muestran que un grupo de ancianos físicamente activos presenta valores elevados del stiffness porque producen niveles aceptables de fuerza pero en un rango de movimiento muy pequeño.

Los valores del stiffness vertical encontrados en otros estudios con jugadores de fútbol y de baloncesto (Waxman, et al., 2018) o con netballers (Pickering, Watsford, Bower, & Murphy, 2017) son bastante más altos que los encontrados en las patinadoras andaluzas pero no son valores medidos durante la realización de un CMJ, sino en saltos con rebotes. Por este motivo, no podemos asegurar que los valores del stiffness encontrados en nuestras patinadoras en la realización de un CMJ sean inferiores a los mostrados por otras deportistas. Son necesarias nuevas investigaciones con otros grupos de deportistas que nos permitan establecer comparaciones.

Sin embargo, el hecho de que las patinadoras no realicen mayor fuerza media que las sedentarias puede poner en duda si llevan a cabo un buen aprovechamiento del ciclo estiramiento-acortamiento. Según Laffaye & Wagner (2013), para conseguir un óptimo aprovechamiento del ciclo estiramiento-acortamiento y una buena altura del salto, es necesario minimizar la duración de la fase excéntrica. De forma análoga otros autores (González-Badillo, & Marques, 2009; Sánchez-Sixto, et al., 2018) indican que la altura del salto correlaciona con la máxima velocidad de descenso y, sin embargo, es una variable que ha sido muy poco estudiada. En nuestro estudio las patinadoras han mostrado una significativamente mayor velocidad de descenso que las sedentarias ($1.06 \pm .22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vs $.80 \pm .19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) pero son necesarios nuevos traba-

jos que evalúen este parámetro en distintos tipos de deportistas para poder establecer comparaciones.

Conclusiones

Como cualquier deportista que requiera realizar saltos verticales con frecuencia, las patinadoras de nivel regional de Andalucía presentan valores de la potencia y del impulso de aceleración en la batida de un salto CMJ significativamente mayores que un grupo de chicas sedentarias, lo que les lleva a conseguir mayor altura. Sin embargo, no realizan mayor fuerza media durante la fase concéntrica de la batida que las sedentarias, lo que es un resultado, a priori, no esperado. Son necesarios nuevos trabajos de investigación que comparen las patinadoras con otros grupos de deportistas en la realización de un CMJ, valorando, entre otras variables, el stiffness vertical y la máxima velocidad de descenso, que ayuden a decidir si las patinadoras realizan una buena utilización del ciclo estiramiento-acortamiento y a valorar cómo aumentar la fuerza media durante la fase concéntrica de la batida. Esto podría aumentar la altura alcanzada en los saltos, lo que les permitiría realizar más rotaciones, incrementando así su competitividad.

Referencias

- Abián, J., Alegre, L. M., Lara, A. J., & Aguado, X. (2006). Diferencias de sexo durante la amortiguación de caídas en test de salto. *Archivos de Medicina del Deporte*, 23(116), 441-449.
- Aura, O., & Viitasalo, J.T. (1989). Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sports Biomechanics*, 5, 89-98. <https://doi.org/10.1123/ijsb.5.1.98>
- 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.
- Dias, P., Mello, A., Veiga, G., Kanitz, A.C., Lusa, E., Santana, S., ..., & Martins, L.F. (2014). Neuromuscular responses of elite skaters during different roller figure skating jumps. *Journal of Human Kinetics*, 41, 23-32. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0029>
- Dowling, J.J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 95-110. <https://doi.org/10.1123/jab.9.2.95>
- 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-Badillo, J.J., & Marques, M.C. (2009). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *Journal of Strength and Conditioning*

- Research*, 24(12), 3443–3447. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac37d>
- González, J.J., & Ribas, J. (2002) *Programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: INDE Publicaciones.
- Harman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N., & Rosenstein, R.M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22, 825-833. <https://doi.org/10.1249/00005768-199012000-00015>
- Hellín, M., García, J.V., & García, J.J. (2020). Fuerza explosiva de tren inferior en karatekas juveniles de élite. Influencia del género y horas de entrenamiento. *Retos*, 38, 667-670.
- 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>
- Innocenti, B., Facchielli, D., Torti, S., & Verza, A. (2006). Analysis of biomechanical quantities during a squat jump: evaluation of a performance index. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 709-715. <https://doi.org/10.1519/R-17815.1>
- Ionescu, A., Gugu-Gramatopol, C. (2014). Increasing the performance in figure skating-junior through spatial awareness improvement. *Gimnasiu*, 2(XV), 279-290.
- 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>
- King, D.L. (2005). Performing triple and quadruple figure skating jumps: Implications for training. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(6), 743-753. <https://doi.org/10.1139/h05-153>
- 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>
- Laffaye, G., & Wagner, P. (2013). Eccentric rate of force development determines jumping performance. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 16(S1), 1-2. <http://dx.doi.org/10.1080/10255842.2013.815839>
- Linthorne, N.P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- 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>
- Mazurkiewicz, A., Iwanska, D., & Urbanik, C. (2018). Biomechanics of the axel Paulsen figure skating jump. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 25, 3-9. <https://doi.org/10.2478/pjst-2018-0007>
- 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)
- McNitt-Gray, J. (1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landings from three heights. *International Journal of Sports Biomechanics*, 7, 201-223. <https://doi.org/10.1123/ijspb.7.2.201>
- Miliæ, V., Nejiæ, D., & Kostia, R. (2008). The effect of plyometric training on the explosive strength of leg muscles of volleyball players on single foot and two-foot takeoff jumps. *Physical Education and Sport*, 6(2), 169-179. <https://doi.org/10.4100/jhse.2012.7.Proc1.05>
- Newton, R.U., Rogers, R.A., Volek, J.S., Häkkinen, K., & Kraemer, W.J. (2006). Four weeks of optimal load ballistic resistance training at the end of season attenuates declining jump performance of women volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 955-961. <https://doi.org/10.1519/R-5050502x.1>
- Pickering, E.C., Watsford, M.L., Bower, R.G., & Murphy, A.J. (2017). The relationship between lower body stiffness and injury incidence in female netballers. *Sports Biomechanics*, 16(3), 361–373. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1319970>
- Podolski, A., Kaufman, K.R., Cahalan, T.D., Aleshinsky, S.Y., & Chao, E.Y.S. (1990). The relationship of strength and jump height in figure skaters. *The American Journal of Sports Medicine*, 18(4), 400-405. <https://doi.org/10.1177/036354659001800412>
- Poe, C.M. (1996). Plyometrics: beneficial for all disciplines of skating, singles, pairs and ice dance. *The Professional Skater Magazine*, July-August, 37-38.
- 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. <https://doi.org/10.1519/00126548-200608000-00012>
- Rodríguez-Berzal, E., Ara, I., Mata, E., & Aguado, X. (2011). Capacidad de salto y equilibrio en jóvenes y ancianos físicamente activos. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 47(175), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.12.001>
- Sáez de Villareal, E., Kellis, E., Kraemer, W.J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b7c6>
- Sánchez-Moreno, M., García-Asencio, C., González-Badillo, J.J., & Díaz-Cueli, D. (2018). Strength and vertical jump performance changes in elite male volleyball players during the season. *Retos*, 34, 291-294.
- Sánchez-Sixto, A., Harrison, A.J., & Floría, P. (2018). Larger countermovement increases the jump height of countermovement jump. *Sports*, 6, 131. <https://doi.org/10.3390/sports6040131>
- Sánchez-Sixto, A., López-Álvarez, J., & Floría, P. (2018). Efecto de modificar la profundidad y velocidad del contramovimiento durante el salto vertical. *Retos*, 34, 287-290.
- San Román-Quintana, J., Calleja-González, J., Casamichana, D., & Castellano, J. (2011). Entrenamiento de la capacidad de salto en el jugador de baloncesto: una revisión. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 6, 55-64. <http://dx.doi.org/10.12800/ccd.v6i16.32>
- Saunders, P., Telford, R.D., Pyne, D.B., Peltola, E.M., Cunningham, R.B., Gore, C.J., & Hawley, J.A. (2006). Short-Term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 947-954. <https://doi.org/10.1519/R-18235.1>
- 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), 1924-930. <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. <https://doi.org/10.18376/jesp/2017/v13/i1/111271>
- Tomioka, M., Owings, T.M., & Grabiner, M.D. (2001). Lower extremity strength and coordination are independent contributors to maximum vertical jump height. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 181-187. <https://doi.org/10.1123/jab.17.3.181>
- Waxman, J.P., Ford, K.R., Nguyen, A., & Taylor, J.B. (2018). Female athletes with varying levels of vertical stiffness display kinematic and kinetic differences during single-leg hopping. *Journal of Applied Biomechanics*, 34, 65-75. <https://doi.org/10.1123/jab.2017-0144>