

EFFECTO INMEDIATO SOBRE LA CAPACIDAD DE SALTO VERTICAL DESPUÉS DE LA REALIZACIÓN DE SALTOS EN CAMA ELÁSTICA

Viana, O.; Bello, O.; Fernández del Olmo, M. & Acero, R. M.
Instituto Nacional de Educación Física de Galicia. Universidad de A Coruña

RESUMEN

El propósito de este estudio fue valorar el efecto inmediato sobre la capacidad de salto vertical, provocado por la realización de saltos continuos en una cama elástica.

Nueve sujetos ($23,4 \pm 2,83$ años), varones y deportistas con experiencia previa en la ejecución del salto vertical con contramovimiento (CMJ), realizaron una serie de saltos verticales continuos sobre una cama elástica durante 60 segundos, valorándose la capacidad de salto en plataforma de contactos antes y después de ésta actividad. Se registró la actividad electromiográfica (EMG) de cinco músculos de la pierna derecha (glúteo, bíceps femoral, vasto externo, gemelo interno y sóleo) los saltos de CMJ.

La altura de salto disminuyó significativamente ($p < 0.01$) después de la realización de los saltos en la cama elástica, recuperándose en un breve periodo de tiempo. No se observaron diferencias en la EMG para la raíz media cuadrática (RMS) ni la amplitud en ninguno de los músculos, ni en la fase de impulso, ni en los 50 ms previos al inicio del salto. En el patrón neuromuscular, a pesar de la gran variabilidad existente inter e intraindividuos, se identificó un retraso significativo ($p < 0.05$) en la activación del bíceps femoral inmediatamente después de la cama elástica. Teniendo en cuenta estos resultados, parece probable que la menor altura del salto vertical alcanzada después de la cama elástica sea más atribuible a una modificación en las características temporales y secuencia de activación de los músculos que a una disminución en la activación de los mismos.

Palabras clave: Salto vertical, Patrón neuromuscular, Superficie elástica, Electromiografía

ABSTRACT

The purpose of this study was to value the immediate effect on the capacity of vertical jump, caused by the execution of continuous jumps in a trampoline.

Nine subjects ($23,4 \pm 2.83$ years), males and sportsmen with prior experience in the execution of countermovement jump (CMJ), they carried out a series of continuous vertical jumps on a trampoline during 60 seconds, being valued the capacity of jump in platform of contacts before and after this activity. The electromyographic (EMG) activity was registered of five muscles of the right leg (gluteus, biceps femoris, vastus lateralis, gastrocnemius medialis and soleus) in all the CMJ.

The height of jump diminished significantly ($p < 0.01$) after the execution of the jumps in the trampoline, being recovered in a brief period of time. Themselves differences were not observed in the EMG for the root mean squared (RMS) or in the amplitude in none of the muscles, neither in the phase of impulse, neither in the 50 ms previous to start of the jump. In the neuromuscular pattern, in spite of the great variability existing inter and intraindividual, a significant delay was identified ($p < 0.05$) in the activation of the biceps femoris immediately after the trampoline. Keeping in mind these results, seems probably that the smaller height of the vertical jump reached after the trampoline be more attributable to a modification in the temporary characteristics and sequence of activation of the muscles that to a decrease in the activation of the same.

Key words: Vertical Jump, Neuromuscular pattern, Sprung surface, Electromyography.

1. INTRODUCCIÓN

Cada uno de los movimientos realizados a lo largo de la vida de cualquier persona, dentro de los que podemos incluir los que se ejecutan durante la práctica deportiva, son el resultado de un alto nivel de organización del sistema nervioso y del sistema muscular. La correcta integración de ambos sistemas precisa de una

información continua sobre las propiedades y características del movimiento y del entorno, en función de las cuales se definirá la planificación, la ejecución y el control y regulación del movimiento (Massion, 1992). Para ello, es fundamental la participación de dos mecanismos, el primero de naturaleza central que se basa en la representación interna de las órdenes musculares para realizar el movimiento y, el segundo, basado en aferencias periféricas que intervienen para actualizar la representación central y corregir los posibles cambios con respecto a la acción de referencia (Gahéry y Massion, 1981). Debemos tener en cuenta que los receptores visuales, propioceptivos y laberínticos informarán al sistema nervioso central (SNC) sobre el estado del sistema músculo-esquelético y su relación con el entorno y ajustarán, a partir de la información aportada, la orden muscular a las obligaciones biomecánicas en cada momento (Dietz, 1992).

La producción de fuerza en el salto vertical dependerá de factores mecánicos, coordinativos y nerviosos (Bobbert et al., 1996), siendo estos últimos los mediadores en la participación de unos y otros. De este modo pueden acontecer cambios en el nivel de activación muscular incluso antes de la ejecución del movimiento en previsión de las fuerzas de reacción a las que será sometido el sistema músculo-esquelético. Esta preactivación será el resultado de una actividad neuronal preprogramada, bajo el control de los centros superiores del SNC, que proporcionará al sistema músculo-tendinoso la rigidez suficiente para, en el caso de un salto vertical, oponerse al estiramiento (Bubeck y Gollhofer, 2001) y optimizar la acción muscular en el inicio de la amortiguación (Crowe, 1992), mejorando la estabilización articular al controlar la flexión articular y reducir el momento total de fuerza del cuerpo (McNitt-Gray et al., 2001).

Durante la realización de saltos verticales la información aportada por los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi jugará un papel muy importante en el ajuste ante las perturbaciones externas, informando al SNC de cualquier cambio que se produzca en relación al estiramiento y tensión muscular. De este modo los husos musculares, mediante la activación simultánea de motoneuronas α y γ controlarán el grado de rigidez muscular y su sensibilidad al estiramiento en respuesta, por ejemplo, a las características físicas de la superficie de contacto (Crowe, 1992).

Aunque son numerosos los estudios encontrados en la literatura en los que se intenta conocer el comportamiento neuromuscular ante cambios en la rigidez de la superficie donde se realiza una actividad, comparando situaciones de carrera (Chelly y Denis, 2000; Ferris et al., 1998; Günther y Blickham, 2002), o de saltos verticales (Arampatzis et al., 2001,2004; Heise et al., 1997; Farley et al. 1991,1998; Ferris y Farley, 1997; Moritz et al., 2004a), son escasos los que se centran en el

estudio de la influencia de la realización de ejercicio sobre una superficie que absorbiendo en gran medida la energía en el impacto, aumenta el tiempo de contacto, como la cama elástica, en la capacidad de salto vertical (CMJ).

Por ello, este trabajo se plantea para valorar el efecto inmediato provocado por la realización de saltos continuos en cama elástica sobre la capacidad de salto vertical, mediante el estudio de la altura del salto y parámetros electromiográficos (EMG) relacionados.

2. METODO

Sujetos

Participaron un total de nueve sujetos ($23,4 \pm 2,83$ años; $174,3 \pm 5,9$ cm de altura; $88,6 \pm 5,6$ cm de altura trocantera; $75,4 \pm 4,5$ kg de masa corporal; media \pm SD), todos ellos varones y deportistas formados en la ejecución del salto vertical con contramovimiento (CMJ), siguiendo las indicaciones de Martín Acero et al. (2000) y Fernández del Olmo et al. (2003) para garantizar una buena fiabilidad.

Material

Para valorar la capacidad de salto vertical, se utilizó un sistema de plataforma de contactos (ErgoJump Bosco System) y microprocesador Psion (Datapark 32K) que nos permitió cuantificar el tiempo de vuelo y de manera indirecta calcular el desplazamiento vertical del centro de gravedad. Se registró la actividad EMG de cinco músculos de la pierna derecha, utilizando un sistema portátil de registro EMG de superficie (Biometrics DataLog P3X8).

Los electrodos (Biometrics SX230), con una superficie de registro de 10 mm de diámetro y situados a una distancia de 20 mm en un soporte fijo, se colocaron sobre cada músculo analizado (glúteo, bíceps femoral, vasto externo, gemelo interno y sóleo) de acuerdo con el protocolo establecido por Cram et al., (1998). También se colocó un sistema de sensores de contacto (Biometrics FS4) en la planta del pie derecho para identificar la fase de impulso y la fase de vuelo de cada uno de los saltos. La sincronización de los sensores y el registro EMG se realizó automáticamente por el sistema Biometrics Data Log 3.0 en el momento de iniciarse las mediciones. La superficie elástica sobre la que se realizaron los saltos fue una cama elástica, colocada a nivel del suelo sobre un foso, con una superficie de 3 x 1,5 metros de lona de nylon especial para saltos y 118 muelles (250mm x 29 mmÆ).

Procedimiento

Una vez colocados los electrodos y los sensores de fuerza, y después de un calentamiento estandarizado se realizó una primera valoración de la capacidad de salto consistente en tres intentos máximos de CMJ sobre la plataforma de contactos, con una recuperación de 30 segundos entre intentos.

En esta prueba de valoración de la capacidad de salto vertical, los sujetos se situaban sobre la plataforma de contactos, en posición erguida y con las manos en las caderas, después de realizar un descenso de su centro de gravedad mediante la flexión de la articulación de la rodilla hasta una angulación de aproximadamente 90°, realizaban un salto vertical lo más alto posible (Bosco, 1992). Se instó a los sujetos para que mantuviesen el tronco lo más recto posible durante la ejecución del salto con el fin de evitar la influencia del mismo en el resultado del salto.

A continuación, los sujetos entraban en la cama elástica y durante 60 segundos realizaban saltos verticales con contramovimiento y las manos en las caderas intentando reproducir la acción del CMJ, pero de forma continua y a baja intensidad. Inmediatamente finalizados los 60 segundos los sujetos salían de la cama elástica y realizaban una segunda valoración de la capacidad de salto, idéntica a la primera. Finalizada la segunda valoración los sujetos caminaban durante 60 segundos, tras lo que se realizó la tercera y última valoración de la capacidad de salto. Por tanto, cada sujeto realizó nueve saltos, tres antes de la cama elástica, tres inmediatamente después de la cama elástica y tres después de caminar durante 60 segundos.

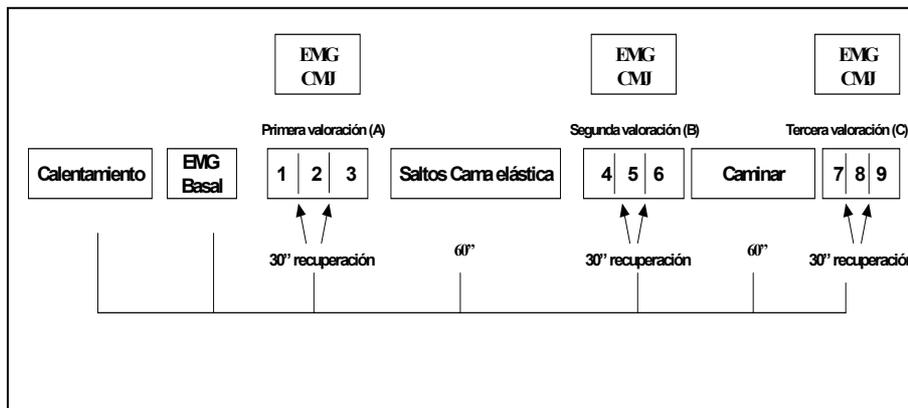


Figura 1. Esquema del procedimiento del estudio

Análisis de los datos

Las variables analizadas en este estudio fueron, en relación con la capacidad de salto vertical, el tiempo de impulso y la altura alcanzada en cada intento. En relación a los parámetros electromiográficos dividimos el salto en dos fases, una fase de preactivación (50 ms antes del inicio del salto) y una fase de impulso. Tras un rectificado de la señal EMG se calculó la amplitud máxima y la raíz media cuadrática (RMS) de cada músculo registrado para cada una de las fases.

Otras variables obtenidas del registro electromiográfico fueron: a) tiempo transcurrido desde el inicio de la activación de un músculo hasta que éste alcanza su amplitud máxima b) tiempo transcurrido desde el inicio de la fase de impulso hasta que cada músculo alcanza su amplitud máxima y c) tiempo transcurrido entre la amplitud máxima del primer músculo en alcanzarla y del último.

Para identificar el inicio de la activación de cada uno de los músculos se consideró el punto en el que la actividad EMG rectificada supera el valor medio más dos veces la desviación estándar de la actividad EMG basal registrada cuando el sujeto se encuentra en una posición estática de bipedestación.

Análisis estadístico

Se utilizó la ANOVA de medidas repetidas con un factor intrasujeto (número de salto) para conocer la evolución de las diferentes variables a lo largo de los nueve saltos, previa comprobación de la normalidad y esfericidad de la muestra. Se utilizaron diferentes contrastes como el de *Diferencia*, para comparar la media de cada nivel del factor, excepto el primero, con la media de los niveles anteriores; *Helmert*, para comparar la media de cada nivel del factor, excepto el último, con la media de los niveles siguientes; y *Repetida* para comparar la media de cada nivel, excepto el último, con la media del nivel siguiente.

Para comprobar la relación entre las variables de la capacidad de salto y electromiográficas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

3. RESULTADOS

Altura de salto y tiempo de impulso

En la tabla 1, se presentan los datos descriptivos de la altura de salto y la duración de la fase de impulso para cada uno de los saltos realizados.

Tabla 1. Media y desviación típica (s.d.) para la altura de salto y el tiempo de impulso para cada uno de los saltos, agrupados en A (antes de la cama elástica), B (inmediatamente después de la cama elástica) y C (después de 60 segundos caminando).

	A			B			C		
	CMJ1	CMJ2	CMJ3	CMJ4	CMJ5	CMJ6	CMJ7	CMJ8	CMJ9
Altura de salto (cm)	38.2	38.35	37.89	35.69	36.98	37.38	38.31	38.46	38.47
s.d.	4.65	5.14	4.94	5.07	5.08	4.74	5.25	5.66	5.42
Tiempo de impulso (s)	.335	.323	.367	.309	.365	.357	.351	.365	.355
s.d.	.061	.055	.087	.063	.032	.059	.045	.038	.028

Comparando las medias de la altura alcanzada en cada uno de los saltos (ANOVA de medidas repetidas) existe una disminución significativa en la altura de los saltos realizados después de la cama elástica ($F= 21.298$, $p< 0.01$) y un incremento significativo después de 60 segundos caminado ($F= 5.143$, $p< 0.05$), no encontrándose diferencias en la altura entre los tres primeros y los tres últimos saltos (figura 2A). En relación al tiempo de impulso, no se encontraron diferencias significativas entre los saltos (figura 2B).

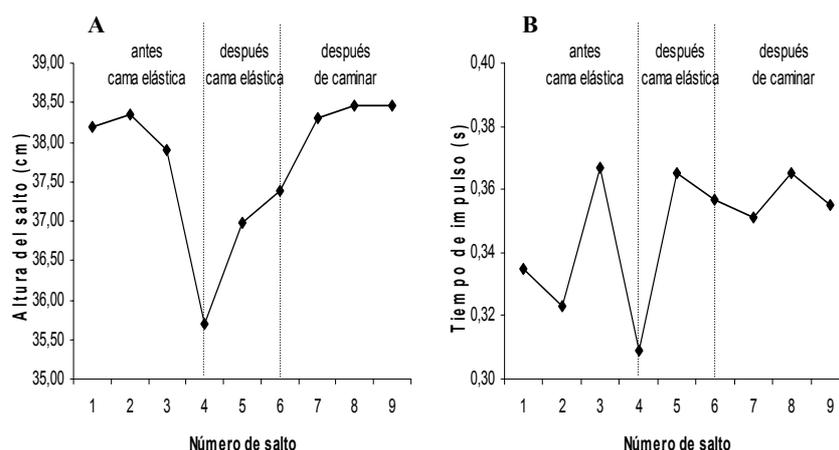


Figura 2. A - Evolución de la altura del salto a lo largo de los nueve intentos. Se observa una disminución significativa después de la cama elástica y un incremento significativo después de caminar. No se encontraron diferencias significativas entre la altura del salto antes de la cama elástica y después de caminar. B.- Evolución del tiempo de impulso a lo largo de los nueve saltos. No se encontraron diferencias significativas

Parámetros electromiográficos

No se encontraron diferencias significativas en la amplitud máxima de los músculos analizados entre los tres momentos de valoración de CMJ, ni para la fase de preactivación (figura 3) ni para la de impulso (figura 4).

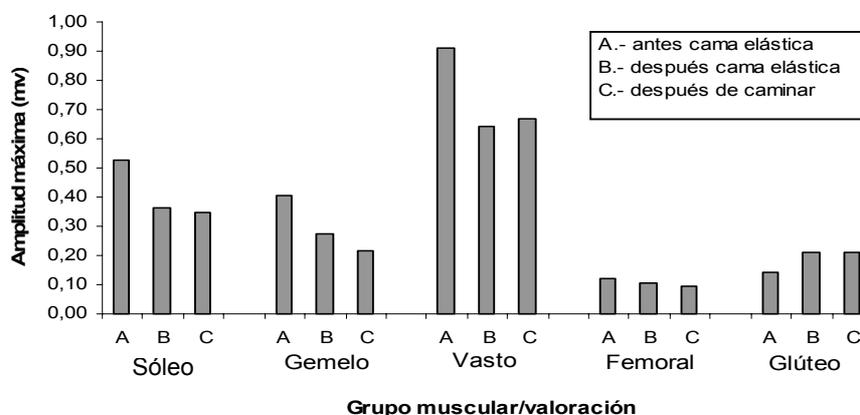


Figura 3. Valores de amplitud máxima durante los 50 ms previos al inicio del impulso, medido antes de la cama elástica (A), inmediatamente después (B) y después de un 60 segundos caminando (C) en sóleo, gemelo, vasto externo, bíceps femoral y glúteo

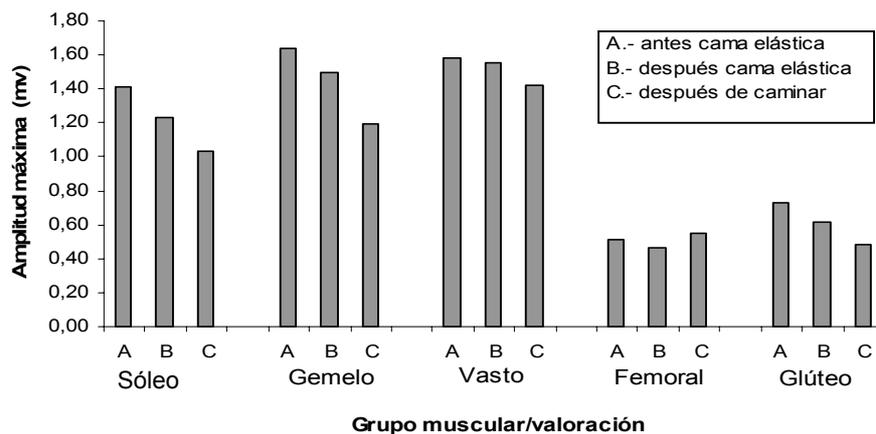


Figura 4. Valores de amplitud máxima durante la fase de impulso, medido antes de la cama elástica (A), inmediatamente después (B) y después de 60 segundos caminando (C) en sóleo, gemelo, vasto externo, bíceps femoral y glúteo

Los valores de la RMS, calculados para cada músculo durante la preactivación y la fase de impulso en los diferentes momentos de valoración tampoco presentaron diferencias significativas (tabla 2).

Tabla 2. Valores de la RMS para sóleo, gemelo interno, vasto externo, bíceps femoral y glúteo durante la preactivación (50ms previos al inicio del movimiento) y el impulso en cada uno de los tres momento de valoración; (A) valores medios antes de la cama elástica, (B) valores medios después de la cama elástica y (C) valores medios después de 60 segundos caminando. x= media; s.d.= desviación típica

		PREACTIVACIÓN (50ms)			IMPULSO		
		A	B	C	A	B	C
Sóleo (mv)	x	.098	.096	.079	.282	.273	.277
	s.d.	.088	.074	.06	.106	.099	.094
Gemelo (mv)	x	.077	.061	.149	.313	.307	.284
	s.d.	.089	.049	.027	.077	.134	.046
Vasto (mv)	x	.283	.226	.243	.425	.398	.418
	s.d.	.182	.113	.166	.165	.164	.177
Femoral (mv)	x	.039	.041	.038	.085	.074	.078
	s.d.	.018	.045	.026	.040	.031	.040
Glúteo (mv)	x	.056	.068	.074	.165	.161	.158
	s.d.	.053	.059	.057	.063	.072	.057

Al comprobar la relación entre las variables de tiempo de impulso y altura de salto con la actividad EMG durante las fases de preactivación e impulso, observamos la existencia de correlaciones significativas entre la RMS del gemelo y el tiempo de impulso en todas las situaciones de valoración (A: $r = -0.943$, $p < 0.01$; B: $r = -0.774$, $p < 0.05$; C: $r = -0.908$, $p < 0.01$), pero lo más llamativo es la existencia de correlaciones significativas entre la RMS del sóleo ($r = -0.668$, $p < 0.05$), gemelo ($r = -0.816$, $p < 0.01$) y femoral ($r = -0.778$, $p < 0.05$) durante la preactivación y la duración de la fase de impulso en los saltos realizados antes de la cama elástica, relación que deja de producirse después.

Con respecto a las variables temporales electromiográficas, se comparó cada músculo en los diferentes momentos de valoración, el análisis estadístico muestra lo siguiente:

a) inmediatamente después de la cama elástica se produce un aumento significativo ($F = 5.498$, $p < 0.05$) del tiempo que necesita el bíceps femoral en alcanzar su amplitud máxima desde el inicio de su activación. Después de 60 segundos caminando este retraso desaparece. En los restantes músculos no acontece ningún fenómeno similar; b) el tiempo transcurrido desde el inicio de la fase de impulso hasta que cada músculo alcanza su amplitud máxima no varía significativamente a lo

largo de las series de saltos; y c) al comparar el tiempo que tardaban todos los músculos en alcanzar su máxima activación, es decir, el tiempo desde que alcanzó su máxima activación el primer músculo hasta que la alcanzó el último, no se encontraron diferencias significativas.

En la figura 5, tenemos un ejemplo de registro electromiográfico de salto vertical en cuatro diferentes momentos: antes de la cama elástica (A), inmediatamente después de la cama elástica (B) y después de 60 segundos caminado (C). Se puede observar como se produce una secuencia de activación muscular desde los músculos más proximales a los más distales durante la ejecución del salto vertical antes de la cama elástica. Esta secuencia se ve modificada en el salto medido inmediatamente al salir de la cama elástica. La secuencia de activación muscular en el salto vertical parece recuperarse después de 60 segundos caminando. De los cinco músculos analizados, el bíceps femoral es en el que se observan los cambios más acentuados antes y después de la cama elástica.

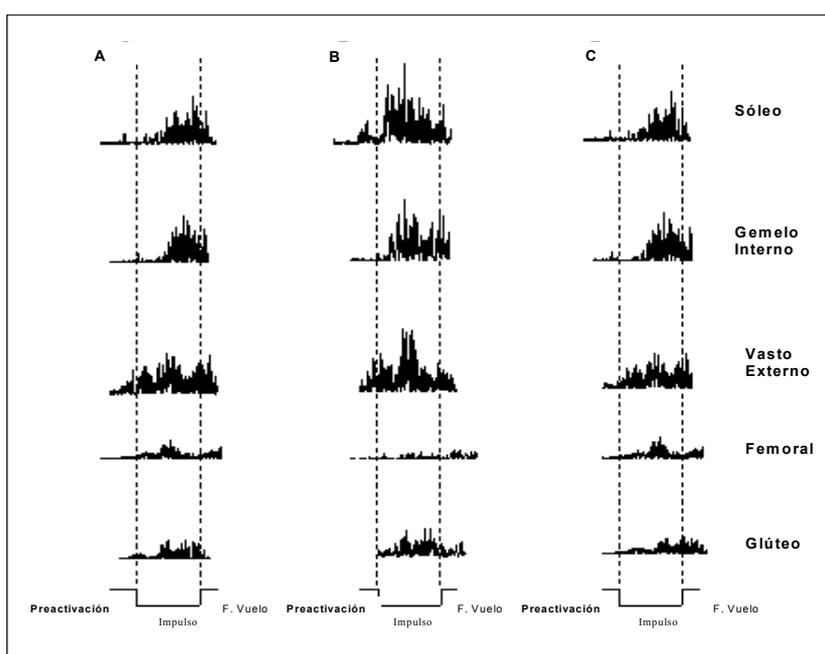


Figura 5. Actividad EMG rectificada en los saltos verticales realizados (A) antes de la cama elástica, (B) inmediatamente después de la cama elástica y (C) después de caminar durante 60 segundos. De arriba hacia abajo se presentan los registros de sóleo, gemelo interno, vasto externo, femoral y glúteo de la pierna derecha. Se indica en cada salto la fase de preactivación, la fase de impulso, y el inicio de la fase de vuelo

4. DISCUSIÓN

Los resultados de nuestro estudio indican una disminución significativa en la altura del salto alcanzado en el CMJ tras la realización de saltos repetidos realizados sobre una cama elástica. Los saltos realizados sobre la superficie elástica eran de intensidad baja para evitar toda posible fatiga, los participantes en el estudio refirieron no estar fatigados después de los 60 segundos de saltos continuos sobre la cama elástica, por lo que podría desecharse la fatiga como posible causa del empeoramiento de la capacidad de salto.

Una posible explicación a esta disminución en la altura del salto sería la modificación en la rigidez muscular que provocaría el cambio de superficie en la cual se realiza el salto. Cuando se produce un cambio de superficie sobre la que realizamos un salto, los sujetos varían su rigidez muscular para compensar la variación de las características elásticas de la superficie del salto e intentar mantener constante la relación rigidez muscular/rigidez de la superficie (Heise et al., 1997).

De esta forma si disminuimos la rigidez de la superficie, saltando sobre una cama elástica, el sistema neuromuscular responderá incrementando la rigidez muscular, y viceversa, un aumento en la rigidez de la superficie vendrá acompañado de una disminución en la rigidez muscular. Moritz et al., (2004b) parecen confirmar este comportamiento en un estudio en el que comparan el comportamiento neuromuscular durante la realización de saltos verticales continuos variando la rigidez de la superficie.

A pesar de esta posible modificación en la rigidez muscular, en nuestro estudio la duración de la fase de impulso durante los saltos permanece bastante constante entre los diferentes momentos de valoración, no encontrando diferencias significativas, aunque se aprecia una ligera tendencia de disminución en la duración de esta fase en el salto realizado inmediatamente después de la cama elástica.

También observamos la dificultad que supone para los sujetos reproducir el CMJ sobre la cama elástica, al no conseguir aproximarse a los 90° de flexión en la articulación de la rodilla. Observación que coincide con los resultados obtenidos por Ferris, et al., (1997), que indican que a pesar del incremento en la flexión de las articulaciones de la rodilla y tobillo a medida que aumenta la rigidez de la superficie, no encuentran diferencias en el tiempo durante el que se aplica fuerza sobre el suelo.

Esta aportación refuerza si cabe el intento del organismo por mantener constante la relación entre la rigidez de la musculatura de la pierna y el de la superficie, ya que en el mismo estudio Ferris, et al., (1997) observaron que cuando el sujeto no era capaz de mantener esta relación se producía un desajuste en el tiempo de contacto.

Un aspecto interesante a destacar en nuestro estudio es que la disminución en la altura del salto tras la cama elástica, se acompaña de una percepción descrita por los sujetos de no ser capaces de coordinar sus piernas durante el salto o bien de percibir un peso añadido en las mismas, percepción que desaparece en un breve periodo de tiempo coincidiendo con la recuperación de los niveles iniciales de altura en el salto. En este sentido, Bobbert (2001) mostró que aunque la fuerza muscular puede determinar la altura que el sujeto es capaz de alcanzar, el rendimiento depende del control de las propiedades del músculo, observando que, ni el incremento de la fuerza de los extensores de la rodilla, ni de los músculos en general resultaban determinantes en la altura de salto hasta que el control sobre los mismos se reorganizaba. De hecho, los resultados de nuestro estudio no muestran cambios en los parámetros cuantitativos de la EMG, ni en lo que se refiere a la amplitud de la respuesta, ni a la RMS en las fases de preactivación e impulso. Existían, sin embargo, relaciones significativas entre la RMS de la preactivación de algunos músculos (sóleo, gemelo, femoral) y el tiempo de impulso en la primera valoración.

Después de la cama elástica esta relación no se mantenía. Estos resultados concuerdan con los de Viitasalo y Aura (1987), quienes encuentran una correlación entre la actividad EMG previa a la fase excéntrica del movimiento y el tiempo de aplicación de fuerzas durante el contacto con el suelo, aunque en este estudio el salto evaluado era realizado cayendo desde un altura.

La alteración de la coordinación que manifiestan nuestros sujetos en el salto tras la cama elástica podría ser atribuido a cambios en las características temporales de activación de los músculos implicados, de hecho, hemos observado un comportamiento diferente en los músculos analizados (aunque no significativo, debido seguramente a una gran dispersión de los datos) cuando los comparamos entre los saltos realizados antes de la cama elástica y los realizados inmediatamente después llamando la atención el comportamiento del bíceps femoral en el que se aprecian diferencias significativas entre las distintas situaciones. Mientras que en los saltos verticales realizados antes de la cama elástica éste músculo alcanza su máxima amplitud al inicio de su activación, tras la realización de los saltos continuos sobre la cama elástica, alcanza su máxima amplitud casi al final. Este comportamiento del bíceps femoral podría estar justificado por su condición de músculo biarticular y la función de éstos en la ejecución de un movimiento, contribuyendo a la transferencia de la fuerza desarrollada por los músculos monoarticulares (Ingen Schenau, et al., 1995; Prilutsky, 2000). Esta transferencia de fuerza, mediada por los músculos biarticulares, se realiza de proximal a distal en los movimientos explosivos de extensión de las piernas, con la consiguiente implicación en la eficacia de los saltos verticales (Jacobs, et al., 1996).

Los cambios en la dinámica de activación de los músculos provocados por la realización de los saltos sobre la cama elástica, afectaron a la secuencia de activación de los mismos durante el salto vertical fuera de la cama. A pesar de la dificultad que entraña definir un patrón de actividad muscular durante una acción dinámica como el salto vertical (Bosco y Viitasalo, 1982), observamos como se produce una secuencia de activación desde los músculos más proximales a los más distales (femoral, glúteo, vasto externo, sóleo y gemelo interno) y como esta secuencia se ve enormemente alterada después de saltar en la cama elástica. En este sentido, son numerosos los estudios que analizan el patrón de movimiento del salto vertical en situaciones normales, utilizando tanto análisis electromiográfico como biomecánico.

Hudson (1986) en función de la velocidad angular de los segmentos identificó tres patrones de movimiento, un patrón secuencial, un patrón simultáneo y un patrón simultáneo modificado. Bobbert et al. (1988), utilizando EMG de superficie, observaron un patrón de activación más o menos constante que sigue la secuencia proximal a distal: semitendinoso, bíceps femoral, glúteo mayor, vasto interno, recto femoral, sóleo y gemelo, coincidiendo con la observada en nuestros sujetos antes de la cama elástica pero resultando diferente después de saltos sobre ella.

Todas estas modificaciones en el patrón neuromuscular, junto con la percepción de descoordinación manifestada por los sujetos después de realizar los saltos sobre la cama elástica, nos induce a pensar en los receptores musculares (husos neuromusculares y órganos tendinosos) como responsables de este fenómeno.

Durante los saltos en la cama elástica ambos receptores informarían al SNC de las propiedades de dicha superficie, modificando éste el programa motor para ajustarlo a las características elásticas de la misma. También cabría esperar modificaciones en el umbral de excitabilidad de los husos neuromusculares mediante cambios en la coactivación de motoneuronas α y γ para poder mantener las aferencias al SNC. Una vez fuera de la cama elástica, el SNC debe ser informado nuevamente de las propiedades de la superficie sobre la que va a realizar el salto, pero esto no será posible hasta que nuevamente los husos neuromusculares adapten su sensibilidad a la nueva superficie, necesitando de algún salto previo para realizar esos ajustes. Esto podría explicar la percepción de descoordinación, la sensación de pesadez de las piernas o la disminución del tiempo de impulso en el primer salto (n.s.), realizado inmediatamente después de la cama elástica, puesto que el sistema de información propioceptivo aún está adaptado a una superficie elástica. De hecho, se puede comprobar como se incrementa la altura del salto después de la cama

elástica a medida que se realizan más intentos. Después de 60 segundos caminando la altura alcanzada no difiere de la obtenida antes de la cama elástica.

A tenor de estos resultados se podría pensar que la menor altura del salto alcanzada tras saltos repetidos en la cama elástica se debe más a una alteración en la coordinación intermuscular que a una disminución en la aportación cuantitativa de cada músculo.

REFERENCIAS

- Arampatzis, A., Brüggermann, G.; Klapsing, G.M. (2001): Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*. 33(6):923-931
- Arampatzis, A., Stafilidis, S.; Klapsing, G.M.; Brüggermann, G. (2004): Interaction of the human body and surfaces of different stiffness during drop jumps. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36(3):451-459
- Bobbert, M.F.; Ingen Schenau, G. (1988): Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*. 21(3):249-262
- Bobbert, M.F.; Karin, G.M.; Gerritsen, M.C.; Van Soest, A.J. (1996): Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 28:1402-1412
- Bobbert, M.F. (2001): Dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: A simulation study. *The Journal of Experimental Biology*. 204:533-542
- Bosco, C., Viitasalo, T. (1982): Potentiation of myoelectrical activity of human muscles in vertical jumps. *Electromyographic and Clinical Neurophysiology*. 22:549-562
- Bosco, C. (1992): La valutazione della forza con il test di Bosco. Società Stampa Sportiva. Roma
- Bubeck, D.; Gollhofer, A. (2001): Load induced changes of jump performance and activation patterns in free drop jump exercises and sledge jumps. *European Journal of Sports Science*. 1(3):1-17
- Chelly, S.; Denis C. (2000): Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine and Science in sports and Exercise*. 33(2):326-333
- Cram, J. R.; Kasman, G.S.; Holtz, J. (1998): *Introduction to surface electromyography*. USA. Aspen publishers.
- Crowe, A. (1992): Muscle spindles, tendon organs and joint receptors. *Neurology*. 17:454-495

- Dietz, V. (1992): Human neuronal control of automatic functional movements: Interaction between central programs and afferent input. *Physiology Review*. 72(1): 33-69
- Farley, C.T.; Blickhan, R.; Saito, J.; Taylor, R. (1991): Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. *Journal of Applied Physiology*. 71(6):2127-2132
- Farley, C.T.; Houdijk, H.; Strien, C.; Louie, M. (1998): Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*. 85(3):1044-1055
- Fernández del Olmo, M.; Viana, O.; Martín Acero, R. (2003): Fiabilidad de las pruebas de salto vertical (SJ, CMJ, CMJA) en estudiantes de E.F. II Congreso Mundial de la Actividad Física y del Deporte. Granada.
- Ferris, D.P.; Farley, C.T. (1997): Interaction of leg stiffness and surfaces stiffness during human hopping. *Journal of Applied Physiology*. 82(1):15-22
- Ferris, D.P.; Louie, M.; Farley, C. (1998): Running the real world : adjusting leg stiffness for different surfaces. *Procedures of the Royal Society of London*. 265: 989-994
- Gahéry, Y.; Massion, J. (1981): Coordination between posture and movement. *Trends in Neuroscience*. 4:199-202
- Günther, M.; Blickhan, R. (2002): Joint stiffness of the ankle and the knee in running. *Journal of Biomechanics*. 35:1459-1474
- Heise, G.; Bohne, M.; Bressel, E. (1997) : Muscle preactivation and leg stiffness in men and women during hopping. *ASB proceedings*. 284-285
- Hudson, J. (1986): Coordination of segments in the vertical jump. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 18(2):242-251
- Ingen Schenau, G.; Dorssers, W.; Welter, T.; Beelen, A.; Groot, G.; Jacobs, R. (1995): the control of mono-articular muscles in multijoint leg extensions in man. *Journal of Physiology*. 484(1):247-254
- Jacobs, R.; Bobbert, M.F.; Ingen Schenau, G. (1996): Mechanical output from individual muscles during explosive leg extensions: The role of biarticular muscles. *Journal of Biomechanics*. 29(4):513-523
- Jönhagen, S.; Ericson, M.; Németh, G.; Eriksson, E. (1996): Amplitude and timing of electromiographic activity during sprinting. *Scandinavian journal of Medicine and Science in Sport*. 6(1):15-21.
- Martín Acero, R.; Fernández del Olmo, M.; Aguado, X.; Bergantiños, L. (2000): Fuentes de variación en la investigación de las capacidades de saltos y carrera rápida en escolares. *INFOCOES*. 5(1):59-71

- Massion, J. (1992): Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*. 38:35-56
- McNitt-Gray, J.L.; Hester, D.; Mathiyakom, W.; Munkasy, B.A. (2001): Mechanical demand and multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force. *Journal of Biomechanics*.34:1471-1482
- Moritz, C.T.; Greene, S.M.; Farley, C. (2004a): Neuromuscular changes for hopping on a range of damped surfaces. *Journal of Applied Physiology*. 96:1996-2004
- Moritz, C.T.; Farley, C.T. (2004b): Passive dynamics change leg mechanics for an unexpected surface during human hopping. *Journal of Applied Physiology*. 97(4):1313-1322
- Prilutsky, B.I. (2000): Coordination of two and one joint muscles: Functional consequences and implications for motor control. *Motor Control*. 4:1-44
- Viitasalo, J.; Aura, O. (1987): *Myoelectrical activity of the leg extensor musculature before ground contact in jumping*.695-700. (Edited by Jonsson) BiomechanicsX-B.