

Article

Diferencia en el Rendimiento entre el Salto Contramovimiento (CMJ) y la Sentadilla con Salto (SJ): Revisión de los mecanismos Subyacentes y Aplicaciones Prácticas

Bas Van Hooren¹ y Julia Zolotarjova²¹Fontys University of Applied Sciences, School of Sport Studies, Eindhoven, The Netherlands²Maastricht University, Faculty of Health, Medicine and Life Sciences, Maastricht, The Netherlands

RESUMEN

El salto contramovimiento (CMJ) y la sentadilla con salto (SJ) son dos movimientos que se utilizan ampliamente para supervisar el rendimiento deportivo. Casi siempre el rendimiento del salto contramovimiento es mejor que el rendimiento de la sentadilla con salto, y se cree que la diferencia en el rendimiento refleja un uso eficaz del ciclo de estiramiento-acortamiento. Pero, los mecanismos responsables del efecto de mejora del rendimiento del ciclo de estiramiento-acortamiento generalmente no han sido establecidos. Descubrir y comprender estos mecanismos es esencial para poder hacer una inferencia con respecto a la diferencia entre los saltos. Por lo tanto, revisaremos los mecanismos potenciales que explican el mejor rendimiento de un salto contramovimiento en comparación con una sentadilla con salto. Concluimos que la diferencia en el rendimiento puede estar relacionada principalmente con la mayor absorción de la holgura muscular (distensión muscular) y el desarrollo de estimulación durante la fase de contramovimiento en el salto con contramovimiento. La energía elástica también podría tener una pequeña injerencia en la mejora del rendimiento del salto de contramovimiento. Por lo tanto, una mayor diferencia entre los saltos no necesariamente es un mejor indicador del rendimiento deportivo de alta intensidad. Aunque una gran diferencia puede reflejar la utilización de energía elástica en un salto con contramovimiento de pequeña amplitud como resultado de una capacidad bien desarrollada para coactivar los músculos y generar estimulación rápidamente, una gran diferencia también puede reflejar una capacidad pobre para reducir el grado de holgura muscular y de provocar estimulación en la sentadilla con salto. Dado que la capacidad de reducir el grado de holgura muscular y producción rápida de estimulación en la sentadilla con salto puede ser especialmente importante para el rendimiento deportivo de alta intensidad, los protocolos de entrenamiento deberían concentrarse en lograr una diferencia menor entre los saltos.

Palabras Clave: Índice de utilización excéntrica; aumento previo al estiramiento; reflejo de estiramiento; estado activo; mejora de la fuerza residual; fuerza explosiva

1. INTRODUCCIÓN

El control y la evaluación del rendimiento deportivo son componentes esenciales de la periodización. Dos pruebas comúnmente usadas para supervisar el rendimiento en el campo de la fuerza y el acondicionamiento son el salto de contramovimiento (CMJ) y la sentadilla con salto o salto desde sentadillas (SJ). En el CMJ, el atleta comienza el ejercicio parado y realiza un movimiento hacia abajo, e inmediatamente realiza un movimiento ascendente que produce el despegue. En contraste, durante el SJ, el atleta desciende hasta una posición de media sentadilla y mantiene esta posición durante aproximadamente 3 segundos antes del despegue. La realización de un movimiento con contramovimiento casi siempre es mejor que un movimiento sin contramovimiento cuando no existe presión de tiempo (6, 7, 44, 58, 67, 74). Por ejemplo, la altura alcanzada o la potencia producida durante un CMJ es mayor que durante un SJ, y la velocidad que puede alcanzar un balón es mayor durante un tiro por encima de la cabeza con contramovimiento que sin contramovimiento. La duración del CMJ medida desde el inicio del movimiento hacia abajo hasta el despegue oscila entre 500 y 1000 milisegundos, mientras que la duración del SJ es más corta y va desde 300 a 430 milisegundos, cuando se mide desde el inicio de la fase de ascenso hasta el despegue (75). Debido a la duración relativamente corta, ambos saltos se utilizan frecuentemente para evaluar la capacidad de desarrollar rápidamente fuerza durante los movimientos dinámicos. Se cree que el CMJ arroja una valoración de la capacidad de producir fuerza rápidamente en los movimientos del ciclo de acortamiento-estiramiento, mientras que el SJ permite la valoración de la capacidad para desarrollar fuerza rápidamente únicamente durante un movimiento puramente concéntrico (58, 86).

En esta revisión se discutirán las opiniones tradicionales y actuales sobre las diferencias entre el CMJ y el SJ, los posibles mecanismos que intervienen con el mejor desempeño agudo observado durante el CMJ, y las diferencias entre poblaciones de deportistas. Por último, proporcionaremos aplicaciones prácticas para los profesionales de la salud y para los entrenadores deportivos con respecto al entrenamiento y sugeriremos cómo integrar estas pruebas dentro de los programas de entrenamiento.

2. Opiniones tradicionales y actuales sobre la diferencia entre el CMJ y SJ

Se ha propuesto que la diferencia entre los movimientos con y sin contramovimiento es provocado por el efecto potenciador del rendimiento del ciclo de estiramiento-acortamiento durante el contramovimiento (58). Por lo tanto, la diferencia en el rendimiento puede ser utilizada para medir la contribución del ciclo de estiramiento-acortamiento, donde una mayor diferencia entre los movimientos con y sin contramovimiento indica una mejor utilización del ciclo. En particular, Komi y Bosco (44) atribuyeron la diferencia entre el CMJ y SJ al almacenamiento y utilización de energía elástica durante el contramovimiento y concluyeron que una mayor diferencia entre el CMJ y el SJ sugeriría una mejor capacidad para almacenar y utilizar la energía elástica. En un estudio posterior, se sugirió que la diferencia entre el SJ y CMJ también podría ser un indicador de la distribución del tipo de fibra después de que los investigadores observaran una correlación significativa entre el tipo de fibra del vasto lateral y la diferencia de fuerza media entre el CMJ y SJ (13). Otros investigadores propusieron que la diferencia entre el CMJ y el SJ proporciona una evaluación del aumento pre-estiramiento (*pre-stretch*) (calculado como $(\text{CMJ}-\text{SJ})/\text{SJ} \times 100$) (83) o de la fuerza reactiva en condiciones lentas de ciclo de estiramiento-acortamiento (calculado como $\text{CMJ}-\text{SJ}$) (86). Aunque en estos dos estudios se utilizaron diferentes ecuaciones para calcular el aumento pre-estiramiento y la fuerza reactiva, una diferencia mayor entre los saltos sugeriría una mayor capacidad para utilizar el ciclo de estiramiento-acortamiento. Por último, McGuigan, Doyle, Newton, Edwards, Nimphius y Newton (58) reconocieron que la diferencia de rendimiento entre el CMJ y el SJ probablemente no es principalmente el resultado del almacenamiento y la utilización de la energía elástica y sugirieron que el índice de utilización excéntrica (calculado como CMJ/SJ) sería un término más adecuado ya que refleja la utilización efectiva de la fase excéntrica durante el CMJ. Al igual que los investigadores anteriores, también sugirieron que una mayor diferencia entre los saltos, tal como lo indica un mayor índice de utilización excéntrica, sería indicativa de una mejor capacidad para utilizar la fase excéntrica. En general, estos estudios implican que la diferencia de altura alcanzada o potencia producida durante un CMJ y SJ se debe a un uso efectivo del ciclo de estiramiento-acortamiento y una diferencia mayor entre los saltos sería indicativa de una mejor capacidad para utilizar el ciclo de estiramiento-acortamiento. Sin embargo, con frecuencia no se especifican cuales mecanismos serían los responsables del efecto potenciador del rendimiento del ciclo de estiramiento-acortamiento. Por lo tanto, es importante descubrir y comprender estos mecanismos para hacer una inferencia con respecto a la diferencia entre los saltos. Por ejemplo, si el almacenamiento y la utilización de la energía elástica fuera el mecanismo principalmente responsable del mayor rendimiento agudo durante un CMJ, una mayor diferencia entre el SJ y el CMJ sería beneficiosa, porque esto reflejaría una mayor capacidad para almacenar y utilizar la energía elástica. Por otra parte, si la absorción de la holgura muscular (es decir, la absorción de holgura en los fascículos y tejidos tendinosos, la alineación de la posición de la unidad músculo-tendón y estiramiento de los tejidos tendinosos) fuera el mecanismo principalmente responsable del mejor rendimiento agudo durante un CMJ, no se favorecería una diferencia mayor entre el SJ y el CMJ, ya que esto reflejaría una mayor holgura muscular asociada a una pobre capacidad para desarrollar tensión previa por coactivación de los músculos (75). Por lo tanto, revisaremos críticamente los mecanismos que pueden explicar el mayor rendimiento agudo

observado durante el CMJ. Debido a que la mayoría de los estudios no contemplaron el balanceo de los brazos durante los saltos, no se contemplará el balanceo de los brazos en la comparación entre los mecanismos que intervienen en el rendimiento de CMJ y SJ

3. Mecanismos que explican potencialmente el mejor rendimiento del CMJ

3.1 Interacción músculo-tendón durante el CMJ y SJ

Es importante tomar nota de la interacción músculo-tendón para comprender mejor los mecanismos que pueden explicar el mejor rendimiento del CMJ. Generalmente, el ciclo de estiramiento-acortamiento se describe ambiguamente como un estiramiento del músculo seguido de una fase de acortamiento. Sin embargo, los elementos del músculo que se estiran y acortan no se identifican lo que puede provocar interpretaciones incorrectas. Por ejemplo, a menudo se supone que existe una acción excéntrica (es decir, alargamiento activo) de los fascículos de los músculos de las piernas durante el movimiento hacia abajo del CMJ. Aunque algunos estudios demuestran que los fascículos se alargan durante la fase descendente del CMJ, este alargamiento es mayormente pasivo y ocurre principalmente, pero no exclusivamente en los músculos mono-articulares (28-30). Además, hay estudios que también han observado un acortamiento de los fascículos (29, 50) o sugieren una acción isométrica del elemento contráctil durante la fase descendente del CMJ (45, 46). Por lo tanto, normalmente no hay alargamiento activo (es decir, acción excéntrica) de los fascículos durante el movimiento descendente del CMJ. Los fascículos pueden alargarse pasivamente sólo durante los CMJ de ejecución lenta, submáximos y de gran amplitud (esto es, contramovimiento profundo) con disipación de energía, pero permanecen contraídos isométrica o concéntricamente durante saltos más rápidos, de máximo esfuerzo y de pequeña amplitud (45, 46, 68). Por lo tanto, recomendamos que las futuras investigaciones se centren en la fase descendente y ascendente y no en la fase excéntrica y concéntrica de un CMJ, y eviten el uso de terminología que se refiere a una fase excéntrica (por ejemplo, índice de utilización excéntrica). Por otra parte, atribuir la diferencia entre el CMJ y el SJ a una utilización efectiva de la fase excéntrica y de los mecanismos que ocurren durante las acciones musculares excéntricas es controversial porque podría no haber una fase excéntrica durante el CMJ. En cambio, el mejor rendimiento agudo en el CMJ puede ser el resultado de otro (s) mecanismo (s).

3.2 Mejora de la fuerza residual

Cuando un músculo activado se alarga, la producción de fuerza isométrica en estado estacionario después del alargamiento es mayor que la fuerza correspondiente de una acción isométrica de longitud similar. Este efecto se ha denominado mejora de la fuerza residual (25, 39) o potenciación (15, 26). La mejora de la fuerza residual se ha observado en una variedad de estudios que analizaron fibras musculares individuales (24, 25, 66) y músculos *in situ* de ratas y gatos (27, 40). Se piensa que la mejora de la fuerza residual también se produce durante un CMJ, y por lo tanto, podría explicar parcialmente el mayor rendimiento agudo durante un CMJ. Sin embargo, es probable que la contribución de la mayor fuerza residual para una mayor producción de fuerza durante un CMJ sea mínima debido a que las fibras musculares sólo pueden alargarse durante los CMJ lentos de gran amplitud (45, 46, 68), pero se mantienen isométricas (45, 46) o se contraen de manera concéntrica (50) durante los CMJ rápidos y de pequeña amplitud. Además, cuando las fibras musculares se alargan durante la fase descendente, generalmente se trata de un alargamiento pasivo (28-30). Por lo tanto, puede no haber un alargamiento activo y el aumento de fuerza residual puede no estar presente durante un CMJ. Además, el aumento de la fuerza residual se incrementa con el mayor alargamiento de las fibras musculares, y es en altamente independiente de la velocidad de alargamiento, disminuye con la cantidad de tiempo transcurrido después del alargamiento y una gran proporción de la mejora de la fuerza desaparece en aproximadamente un segundo (24, 25, 31, 38). Por lo tanto, si se produce un alargamiento activo de la fibra muscular durante un CMJ lento de gran amplitud, esto evocará un estiramiento relativamente lento y pasará un tiempo considerable entre el estiramiento y la contracción subsiguiente (7), reduciendo el efecto de la mejora de la fuerza residual.

En apoyo de esto, sobre la base de experimentos realizados *in situ* en ratas (27) y experimentos *in vivo* en seres humanos (7, 20, 29, 79), varios autores han concluido que el efecto del aumento de la fuerza residual en los movimientos *in vivo* es esencialmente pequeño. Esto es más probable debido al retraso entre el posible alargamiento activo y la producción máxima de fuerza, que es relativamente largo (7). Además, la holgura (relajación) en los fascículos, los tejidos tendinosos y la unidad completa músculo-tendón, el aumento en el ángulo de penetración y la participación de los tejidos tendinosos pueden reducir el estiramiento aplicado a las fibras musculares y, de esta manera disminuir los efectos del aumento de la fuerza residual. Paralelamente, en un estudio de modelado computacional, la altura de CMJ fue mayor que la altura de SJ a pesar de que los efectos de la fuerza residual no fueron considerados (6), lo que sugiere que la mejora de la fuerza residual podría tener una participación mínima o incluso no tener ninguna participación en el mejor rendimiento agudo durante el CMJ. En conjunto, estos hallazgos sugieren que por lo general no hay un aumento de fuerza residual porque no hay alargamiento activo de las fibras musculares durante un CMJ. Además, si las fibras musculares se alargan activamente y se produce un aumento de la fuerza residual, probablemente su aporte para un mejor rendimiento agudo durante un CMJ sea pequeño.

3.3 Reflejo de estiramiento

Otro mecanismo comúnmente considerado responsable del mayor efecto agudo observado durante el CMJ es la mayor activación muscular debido a un reflejo de estiramiento activado. Específicamente, cuando las fibras musculares se alargan o cuando las ondas de vibración viajan a través del músculo, el huso muscular puede producir tanto reflejos de corta latencia como reflejos de latencia más larga que permiten el reclutamiento de unidades motoras adicionales o aumentan la tasa de activación de las unidades motoras reclutadas (17, 19, 52, 61). Se cree que estos mecanismos aumentan la producción de fuerza durante la fase descendente y ascendente de un contramovimiento lo que mejoraría el rendimiento del CMJ. Sin embargo, los husos musculares no sólo son sensibles a la amplitud de estiramiento, sino que también a la velocidad de estiramiento (52), y las mayores velocidades inducen un reflejo de estiramiento de mayor magnitud (51). Es importante destacar que un reflejo sólo se evocará una vez que se alcance la velocidad umbral. Esta velocidad umbral varía dependiendo del nivel de entrenamiento deportivo, el músculo evaluado y las diferencias individuales que existen dentro del músculo como por ejemplo la composición de unidades motoras o la densidad de husos musculares (51, 64).

Durante el movimiento descendente del CMJ, las velocidades angulares promedio de la articulación del tobillo, la rodilla y la cadera fueron aproximadamente $0^{\circ}/s$, $133\text{-}199^{\circ}/s$ y $216^{\circ}/s$ (7, 29, 50), respectivamente. En la articulación de la rodilla y la cadera, las velocidades angulares promedio fueron mayores que las velocidades angulares en las que se evoca el reflejo de estiramiento durante la flexión dorsal pasiva del tobillo (es decir, $69^{\circ}/s$) (63), pero inferiores a la velocidad angular a la que se evoca el reflejo de estiramiento durante una extensión de codo pasiva, donde velocidades angulares de hasta $300^{\circ}/s$ no evocaron un reflejo de estiramiento en los flexores del codo (54, 84). La velocidad angular de la articulación del tobillo es menor que la velocidad angular en la que se evoca el reflejo de estiramiento de los flexores plantares durante una flexión dorsal pasiva del tobillo (63). Por consiguiente, no queda claro en base a las velocidades angulares articulares si se evoca un reflejo de estiramiento en los músculos que abarcan la articulación de la cadera y la rodilla durante la fase descendente del CMJ. Notablemente, parece improbable que se evoque un reflejo de estiramiento para los flexores plantares sobre la base de la velocidad angular promedio de la articulación del tobillo.

Como se discutió anteriormente, las fibras musculares no necesariamente se alargan durante la fase descendente del contramovimiento (46, 50). Por lo tanto, incluso si las velocidades angulares de la articulación son lo suficientemente altas como para evocar un reflejo de estiramiento, el reflejo puede no ser evocado si no hay alargamiento de las fibras musculares. Además, al relajar las fibras musculares intrafusales, el huso muscular puede ser programado para activarse solo cuando se alcanza una longitud específica del músculo. Cuando esta longitud muscular está establecida en una longitud mayor que la longitud alcanzada durante el contramovimiento, el reflejo puede no iniciarse en absoluto. Por lo tanto, las velocidades angulares de las articulaciones, el alargamiento de las fibras musculares, y el estiramiento del huso muscular no necesariamente coinciden. Estos conceptos pueden explicar por qué algunos estudios informaron una mayor actividad electromiográfica superficial de los flexores plantares durante la fase concéntrica del CMJ (49), mientras que otros informaron actividades electromiográficas de los flexores plantares similares entre el SJ y el CMJ (33) o no observaron diferencias significativas en la actividad electromiográfica de los músculos inferiores y superiores de la pierna entre el SJ y CMJ (7). Estos hallazgos sugieren que el reflejo de estiramiento puede no ser evocado en el CMJ de poca amplitud cuando no hay alargamiento de las fibras musculares, pero puede ser evocado en un CMJ submáximo y de gran amplitud, si las fibras musculares se alargan y se alcanza la velocidad umbral. Por otra parte, debemos destacar que recientemente se observó que el reflejo de estiramiento de latencia corta tiene una baja correlación con los cambios de longitud y las velocidades del fascículo, lo que sugiere que la vibración del músculo también podría tener un papel importante en la evocación de un reflejo de estiramiento (17). Sin embargo, se ha establecido que los movimientos balísticos tales como el salto vertical requieren una activación máxima de unidades motoras, independientemente de la velocidad de acortamiento del músculo durante la fase concéntrica (49, 57). Dado que se ha demostrado que la participación del reflejo de estiramiento en las extremidades inferiores disminuye con un aumento en la producción de fuerza y en la activación muscular (59, 62, 71), es cuestionable si el reflejo de estiramiento aún puede reclutar unidades motoras adicionales o aumentar la tasa de activación de las unidades motoras reclutadas durante el CMJ.

En general, debido a la cantidad de factores individuales que afectan la activación del reflejo de estiramiento, tales como la amplitud de salto, el alargamiento de las fibras musculares y la velocidad umbral, el reflejo de estiramiento puede o no activarse durante el CMJ. Por lo tanto, la evidencia sobre la contribución del reflejo de estiramiento durante el CMJ es inconsistente y consecuentemente, el reflejo de estiramiento no puede ser considerado como uno de los mecanismos principales relacionados con el mejor rendimiento agudo durante el CMJ. En apoyo de esto, Bobbert y Casius (6) no incorporaron un reflejo de estiramiento en su modelo computacional y encontraron que la altura de CMJ era más alta que la altura de SJ, lo que significa que el reflejo de estiramiento tiene una participación insignificante o nula en el mayor rendimiento agudo durante el CMJ.

3.4 Diferencias en la cinemática

Al examinar la cinemática de los saltos, los investigadores han sugerido que el SJ es un movimiento antinatural porque casi todos los movimientos enérgicos se realizan con cierto grado de contramovimiento presente (34). De hecho, un gran cuerpo de evidencia sostiene que los individuos suelen realizar inconscientemente un contramovimiento de pequeña amplitud durante el SJ (5, 7, 34, 60, 70, 82). Como resultado, podemos deducir que la eliminación total de un contramovimiento es difícil y requeriría mucha práctica.

Los estudios que han investigado aspectos de coordinación entre el SJ y CMJ no han encontrado diferencias claras en la cinemática de salto. Por ejemplo, Bobbert, Gerritsen, Litjens y Van Soest (7) no encontraron indicios de desintegración del movimiento durante los SJ realizados por jugadores varones de voleibol bien entrenados. Cabe señalar que siempre existe alguna variación interindividual en la configuración del cuerpo durante la fase de propulsión de un salto. A pesar de esto, los individuos mostrarán un patrón cinemático comparable al final de la fase de propulsión (6, 9). En conjunto, estos hallazgos sugieren que no existen diferencias en los patrones cinemáticos entre el CMJ y SJ o, si existen, son mínimas. Por lo tanto es improbable que las variaciones individuales de los patrones de movimiento expliquen el mejor rendimiento agudo durante el CMJ.

3.5 Rango de movimiento sobre el que se puede producir la fuerza

Cuando la posición inicial de salto no se controla, la mayoría de los individuos tienden a bajar el centro de masa menos durante el SJ que durante el CMJ (7, 32, 42, 56, 82). Como resultado, el rango de movimiento sobre el cual se puede producir fuerza es menor, y esto puede explicar el menor rendimiento durante un SJ. Sin embargo, incluso cuando las posiciones de inicio son similares, o cuando los participantes inician el SJ desde una posición más profunda que la del CMJ, el rendimiento de salto es aún mayor durante el CMJ (1, 7, 32, 42, 60). Por lo tanto, el rango de movimiento gracias al cual se produce la fuerza no explica la diferencia entre los saltos.

3.6 Almacenamiento y utilización de la energía elástica

Otro mecanismo que se considera responsable de los mayores efectos agudos durante el CMJ es el almacenamiento y la utilización de la energía elástica. Esta creencia se basa en estudios previos en los cuales se sugirió que la energía elástica podría ser almacenada en los tejidos tendinosos durante la fase descendente y ser utilizada durante la fase ascendente para aumentar la producción de fuerza (12, 44). Sin embargo, recientemente, varios investigadores han argumentado que el almacenamiento y la utilización de la energía elástica no explica la diferencia en la altura de salto observada entre el CMJ y el SJ (1, 2, 6, 7, 50, 77-79), a pesar de que la energía elástica incrementa la producción de fuerza tanto en el rendimiento del SJ como en el del CMJ (30, 68, 90). Más específicamente, durante la primera fase ascendente del SJ y CMJ, la contracción concéntrica de las fibras musculares estira los tejidos tendinosos, quienes posteriormente en la fase ascendente, retrocederán a modo de catapulta para aumentar la producción de fuerza. Estos resultados indican que el almacenamiento y la utilización de la energía elástica desempeñan un papel en el SJ y CMJ. Sin embargo, como pudimos establecer anteriormente los resultados del modelado computacional y de los estudios experimentales sugieren que esto no puede explicar la diferencia entre los saltos porque sólo una pequeña cantidad de energía extra se almacena en los tejidos tendinosos durante el contramovimiento en el CMJ (2, 7, 50), mientras que una porción significativa de energía se pierde como calor durante la ejecución de un CMJ en comparación con el SJ (1, 7, 45, 77, 78). No obstante, es importante distinguir entre los CMJ de ejecución lenta, submáximo y de gran amplitud y los CMJ mas rápidos, de esfuerzo máximo y de menor amplitud. En los primeros CMJ, es poco probable que la energía elástica mejore el rendimiento debido a que la energía química y cinética se disipa en forma de calor, mientras que la energía elástica puede ser utilizada para mejorar el rendimiento en CMJ en los últimos CMJ (45, 46, 68). Específicamente, los hallazgos de Kopper, Csende, Sáfár, Hortobágyi y Tihanyi (45), Kopper, Csende, Trzaskoma y Tihanyi (46) sugieren que el elemento contráctil se mantiene isométrico durante los CMJ de pequeña amplitud, permitiendo así el almacenamiento y la reutilización de la energía elástica en las series de elementos elásticos mientras que el elemento contráctil se alarga pasivamente durante los CMJ de gran amplitud, no almacenando o almacenando una cantidad mínima de energía elástica y disipando energía química y cinética en forma de calor (45, 46, 68). Por lo tanto, si la energía elástica mejora el rendimiento en CMJ en comparación con el rendimiento de SJ puede depender de la amplitud del contramovimiento y del esfuerzo utilizado durante el movimiento. Además, si la energía elástica mejora el rendimiento de CMJ durante estos CMJ mas rápidos de esfuerzo máximo y de pequeña amplitud también podría depender de la capacidad para aumentar rápidamente la estimulación muscular y reducir la holgura muscular (ver sección 4. Interacción entre los mecanismos), y la energía elástica sería solamente utilizada cuando los individuos pueden aumentar rápidamente la estimulación muscular y reducir la holgura muscular. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el almacenamiento y la utilización de la energía elástica tendría solo efectos menores en el aumento del rendimiento agudo durante los CMJ de ejecución lenta, submáximos y de gran amplitud, pero podría tener un efecto mayor, aunque probablemente aún relativamente pequeño, en los CMJ de esfuerzo máximo y de pequeña amplitud. El mayor rendimiento y los mecanismos que intervienen en la comparación entre un CMJ rápido y de amplitud grande y un SJ deben ser investigados con mayor detalle.

3.7 Reducción de la holgura muscular y construcción de estimulación

Es improbable que todos los mecanismos revisados hasta el momento tengan una gran intervención en el mejor rendimiento agudo del CMJ en comparación con el SJ. Otros mecanismos estrechamente relacionados que pueden explicar la diferencia entre los saltos son la estimulación, la excitación y la dinámica de la contracción.

Específicamente, la dinámica de estimulación hace referencia a la acumulación de estimulación muscular (medida por el índice de incremento de la actividad electromiográfica, aunque esto, estrictamente hablando, no refleja el estímulo hacia el músculo); la dinámica de excitación hace referencia al desarrollo del estado activo (es decir, la fracción de sitios de unión a actina disponibles para la formación de puentes cruzados) en respuesta a la estimulación; y la dinámica de la contracción se refiere al desarrollo de la fuerza en respuesta al estado activo (6, 7, 10). Con respecto a la dinámica de estimulación, la estimulación muscular puede no alcanzar el nivel máximo instantáneamente, sino que puede demorar cierto tiempo en alcanzar la estimulación máxima a causa de la dinámica de la excitación del conjunto de neuronas motoras y de los comandos centrales (10). Además, cuando se estimula un músculo, éste no se contrae instantáneamente debido a retrasos electroquímicos asociados con la propagación del potencial de acción a través de la membrana muscular y del acoplamiento excitación-contracción (75, 81, 88). Finalmente, en los músculos relajados, los fascículos, los tejidos tendinosos y la unidad músculo-tendón completa pueden estar distendidos (36, 37, 75), lo que indica que no hay producción de fuerza elástica pasiva (41). Esta relajación tiene que ser absorbida y los tejidos tendinosos tienen que ser estirados antes de que la fuerza pueda ser transmitida a los huesos para iniciar el movimiento de la articulación. Los procesos asociados con la absorción de la holgura y el estiramiento de los tejidos tendinosos han sido denominados en conjunto holgura muscular (75).

Debido a que la duración de los procesos electroquímicos es relativamente corta (aproximadamente 3-6 ms (75)), es poco probable que tengan una gran vinculación con la diferencia entre los saltos. En contraste, la absorción de la holgura muscular puede tardar más de 100 ms (75). Por lo tanto, el rendimiento puede mejorar significativamente a través de la reducción de la holgura muscular durante el contramovimiento. Específicamente, un contramovimiento aleja los puntos de fijación de la unidad músculo-tendón, absorbiendo la holgura en los fascículos y tejidos tendinosos, alineando la unidad músculo-tendinosa, estirando los tejidos tendinosos y permitiendo una transmisión de fuerza más rápida (30, 75). Por otra parte, cuando un individuo desciende hasta la posición inicial de un SJ, los puntos de unión de la unidad músculo-tendón también se separan, reduciendo así el efecto de la holgura muscular (75). En la posición inicial del SJ, las fuerzas deben ser lo suficientemente altas como para contrarrestar las fuerzas de la gravedad. Por el contrario, cuando se inicia el movimiento ascendente del CMJ, las fuerzas son lo suficientemente altas como para contrarrestar las fuerzas de gravedad y la aceleración descendente del centro de masa. Como resultado, las fuerzas de reacción en el suelo y las fuerzas que actúan sobre la unidad músculo-tendón son más altas durante el inicio del movimiento ascendente en el CMJ en comparación con las fuerzas que actúan sobre la unidad músculo-tendón en la posición inicial del SJ. Los tejidos tendinosos se estiran más durante el contramovimiento como resultado de estas fuerzas superiores (3, 4, 23, 45), produciendo una mayor rigidez de los tejidos tendinosos. Esta mayor rigidez puede permitir que las fibras musculares se acorten a una velocidad más lenta, aumentando así su capacidad de producir fuerza y el rendimiento en CMJ (30).

Paralelamente, se demostró que los individuos que tienen un tejido tendinoso más rígido presentan diferencias más pequeñas entre el CMJ y el SJ que los individuos con tejidos tendinosos más flexibles (47, 48). Anteriormente, estos hallazgos fueron interpretados como evidencia de que los individuos con tejidos tendinosos más flexibles podían almacenar y utilizar más energía elástica durante el contramovimiento y, por lo tanto, presentaban una diferencia mayor entre el SJ y el CMJ. Sin embargo, estos hallazgos en realidad podrían indicar que quienes tienen tejidos tendinosos flexibles obtienen un mayor beneficio del efecto de rigidización del contramovimiento, pero este efecto es menos pronunciado en individuos que ya tienen una rigidez tendinosa mayor. Además, aunque previamente se ha sugerido que el tipo de fibra muscular también puede explicar parcialmente la diferencia entre el CMJ y el SJ (13,77), Kubo, Kawakami y Fukunaga (48) especularon que es la rigidez de los tejidos tendinosos y no el tipo de fibra muscular quien influye principalmente en la diferencia entre el CMJ y el SJ. Específicamente, en su estudio, los participantes fueron divididos entre un grupo rígido y otro grupo flexible, y observaron que la rigidez de los tejidos tendinosos afectaba considerablemente la diferencia en el rendimiento de CMJ y SJ, a pesar de que ambos grupos incluían velocistas, y se supone que tienen un mayor porcentaje de fibras de contracción rápida.

Aunque la rigidez de los tejidos tendinosos puede explicar parcialmente la diferencia entre el CMJ y SJ, Bobbert, Gerritsen, Litjens y Van Soest (7) utilizando modelos computacionales, observaron que el contramovimiento también permitía que los músculos experimenten una alta estimulación antes del acortamiento. En un estudio posterior, los investigadores demostraron que la diferencia entre el CMJ y SJ disminuía con una estimulación más rápida, debido a que en el SJ disminuía la distancia de acortamiento del músculo recorrida en un estado activo submáximo (6). En conjunto, estos resultados indican que la diferencia entre un CMJ y un SJ está también parcialmente relacionada con el desarrollo de una mayor estimulación muscular durante el contramovimiento, lo que permite recorrer una mayor distancia en estado activo máximo durante la fase ascendente del CMJ que durante el SJ (2, 77, 79). Sin embargo, es importante señalar, que la acumulación de estimulación y la reducción de la holgura muscular están interrelacionadas, ya que un desarrollo de estimulación más rápido probablemente también producirá una reducción más rápida en la holgura muscular. Por ejemplo,

la tasa a la que aumenta la estimulación explica una gran proporción (aproximadamente el 50%) de la dinámica de la fuerza entre individuos durante un SJ (10). Se ha sugerido que algunos individuos acumulan esta estimulación más lentamente que otros, ya que esto puede reducir la sensibilidad de la altura de salto frente a los ruidos/errores en el *timing* de activación muscular (10, 11). Varios estudios han demostrado que el *timing* de activación muscular es de gran importancia para el rendimiento en salto vertical (8, 11, 65). Por ejemplo, utilizando el modelado computacional, se ha demostrado que una diferencia menor de 10 ms en el *timing* de activación del flexor plantar durante un SJ, produjo una disminución de más de 10 cm en la altura del salto (11). Estos hallazgos sugieren que los individuos que tienen una coordinación deficiente (es decir, poca capacidad para activar correctamente los músculos en el tiempo adecuado) tienen un peor rendimiento durante el SJ, pero pueden tener un rendimiento relativamente bueno en el CMJ debido a que pueden acumular estimulación durante el contramovimiento. Por lo tanto, el entrenamiento específico de coordinación puede ser importante para mejorar el rendimiento en situaciones deportivas de alta intensidad, en las que es importante aumentar rápidamente la estimulación y en las cuales casi no hay tiempo para realizar un contramovimiento (por ejemplo, largadas durante natación o atletismo, saltos de bloqueo en voleibol). En resumen, estos hallazgos indican que la diferencia entre la altura de CMJ y SJ está relacionada principalmente con la absorción de la holgura muscular y la acumulación de estimulación, y el estado activo correspondiente durante el contramovimiento en el CMJ.

4. Interacción entre los mecanismos

Notablemente, los mecanismos que hemos discutido hasta ahora sólo han sido investigados aisladamente. Sin embargo, es probable que haya una interacción compleja entre los mecanismos en los movimientos humanos *in vivo*. Hasta la fecha, sólo un estudio analizó específicamente la interacción entre dos de estos mecanismos. Arakawa, Nagano, Yoshioka y Fukashiro (2) utilizaron un modelo muscular tipo Hill para simular los efectos de un aumento o disminución de la duración del estado activo en el almacenamiento y la utilización de la energía elástica durante movimientos con y sin contramovimiento. Los autores observaron que una disminución en la duración del estado activo producía un aumento en la utilización de la energía elástica durante el contramovimiento. Estos hallazgos pueden significar que los individuos que carecen de la capacidad de aumentar rápidamente la estimulación y reducir el grado de relajación muscular a través de co-contracciones, utilizan el contramovimiento para reducir el grado de holgura muscular y acumular estimulación, mientras que las personas que pueden aumentar rápidamente la estimulación y reducir el grado de holgura muscular a través de co-contracciones pueden utilizar parcialmente el contramovimiento para almacenar energía elástica. Sin embargo, los autores sugirieron que la contribución de la energía elástica probablemente sería más relevante en movimientos realizados principalmente por la articulación del tobillo, mientras que sería menos relevante en movimientos realizados por todo el cuerpo como el CMJ y SJ. Dado que el estudio de modelado utilizó un modelo muy simplificado (2), es necesario realizar más investigaciones con modelos más realistas o humanos para determinar cuánta energía elástica extra puede ser almacenada si uno posee la capacidad para desarrollar rápidamente la estimulación y reducir el grado de holgura muscular mediante co-contracciones.

5. Implicaciones para la diferencia entre el rendimiento de CMJ y SJ.

Como se discutió anteriormente, la visión tradicional sobre la diferencia entre el rendimiento en CMJ y SJ es que una mayor diferencia es mejor porque esto refleja una mejor utilización del ciclo de estiramiento-acortamiento (44, 58, 83, 86). Sin embargo, los resultados de esta revisión sugieren que una mayor diferencia no necesariamente es mejor. Aunque una diferencia mayor puede reflejar una utilización efectiva de la energía elástica en un CMJ rápido de poca amplitud como resultado de una capacidad bien desarrollada para coactivar los músculos y acelerar la estimulación muscular, una diferencia grande también puede reflejar una mala capacidad para reducir el grado de holgura muscular y desarrollo de estimulación durante el SJ.

6. Diferencias entre las poblaciones de deportistas

Los hallazgos de estudios transversales entre diferentes poblaciones de deportistas también sugieren que una diferencia mayor entre el rendimiento de CMJ y SJ no siempre es mejor. Por ejemplo, los atletas mejor entrenados no presentan consistentemente una diferencia mayor entre el rendimiento en CMJ y SJ que la observada en los atletas menos entrenados (14, 35, 44, 47, 72), algo que sería esperable si la diferencia sólo reflejara una mejor utilización del ciclo de estiramiento-acortamiento. Por ejemplo, los jugadores de voleibol masculino de nivel nacional presentaron una diferencia entre el SJ y CMJ mayor que la de estudiantes varones de educación física (44). Además, los velocistas presentaron una diferencia entre el rendimiento de SJ y CMJ mayor que la de atletas de resistencia, quienes a su vez presentaron una diferencia más grande en comparación con individuos sin entrenamiento (72). Además, jugadoras de fútbol de nivel nacional tuvieron una mayor diferencia en comparación con las jugadoras menores de 19 y 17 años, pero esta tendencia no se reflejó en los equipos de varones (14). Por otra parte, los atletas de resistencia realmente presentaron una diferencia menor en comparación con individuos sin entrenamiento (47). Estos resultados contradictorios sugieren que una diferencia mayor no necesariamente es mejor.

7. Implicaciones para el entrenamiento

Especialmente la capacidad de reducir el grado de holgura muscular y desarrollo rápido de estimulación en el SJ puede ser fundamental para el rendimiento deportivo de alta intensidad porque generalmente no hay suficiente tiempo para realizar un gran contramovimiento durante la mayoría de las situaciones deportivas de alta intensidad (75). Por lo tanto, el entrenamiento debería buscar minimizar la diferencia entre el rendimiento entre CMJ y SJ entrenando específicamente estas dos capacidades.

Como se indicó anteriormente, la capacidad de desarrollar rápidamente la estimulación puede estar relacionada con la coordinación. Para optimizar la coordinación, es importante imitar específicamente los patrones de coordinación intermuscular del salto vertical durante el entrenamiento. Por ejemplo, Dalen, Welde, van den Tillaar y Aune (18) asignaron a estudiantes de ciencias del deporte a un grupo llamado multi-articular (varias articulaciones) que realizó una sentadilla balística con flexión plantar o a un grupo llamado mono-articular (una sola articulación) que realizó una sentadilla balística sin flexión plantar y un ejercicio de flexión plantar por separado. Aunque ambos grupos experimentaron un aumento en 1-RM en sentadilla, el rendimiento de salto vertical disminuyó ligeramente en el grupo mono-articular, mientras que aumentó significativamente en el grupo multi-articular. La disminución en el grupo de una sola articulación probablemente se relacionó con una alteración en la coordinación intermuscular del gastrocnemio biarticular (8, 53). Concretamente, es probable que el *timing* de activación muscular no haya sido entrenado en el grupo mono-articular, a pesar de que esto es de suma importancia para el transporte de la energía desde la rodilla hacia la articulación del tobillo. Estos hallazgos destacan la importancia de la especificidad para mejorar la coordinación intermuscular.

Se sugirió previamente que crear una tensión previa mediante co-contracciones es la única estrategia aguda eficaz para reducir la holgura muscular, y por lo tanto el entrenamiento debería apuntar a aumentar la capacidad de generar eficazmente la tensión previa (75). Esto puede lograrse realizando movimientos bajo presión de tiempo y utilizando cargas y superficies inestables durante el entrenamiento. Específicamente, el atleta no tiene tiempo para realizar un gran contramovimiento cuando existe una presión de tiempo y por lo tanto la tensión previa es la única solución efectiva para minimizar la holgura muscular y realizar con éxito el movimiento bajo presión de tiempo. Las cargas y superficies inestables pueden causar perturbaciones en el movimiento y cuando se tiene muy poco tiempo para corregir estas perturbaciones, los reflejos pueden ser demasiado lentos, por lo tanto la tensión previa es la única solución adecuada para minimizar estas perturbaciones debidas al efecto pre-flex (21, 80). Por lo tanto es necesario destacar que los entrenamientos con carga y en superficies inestables probablemente no son efectivos cuando hay tiempo suficiente para corregir las perturbaciones tal como se realiza en el entrenamiento tradicional de equilibrio. Sin embargo, se necesitan más investigación para determinar la efectividad de estos métodos.

El CMJ suele ser incorporado en el entrenamiento para optimizar el ciclo de estiramiento-acortamiento o, más específicamente, para mejorar el almacenamiento y la utilización de la energía elástica. Sin embargo, los resultados de esta revisión sugieren que la energía elástica sólo tiene un pequeño aporte en la mejora del rendimiento en CMJ. Por lo tanto, es cuestionable si la capacidad de almacenar y utilizar la energía elástica se entrena efectivamente durante un CMJ. En cambio, el entrenamiento de CMJ puede disminuir la capacidad de crear efectivamente tensión previa y de generar estimulación rápidamente porque el atleta no está obligado a crear tensión previa y producir una rápida estimulación, porque el contramovimiento reduce el grado de holgura muscular y garantiza una mayor cantidad de tiempo para desarrollar la estimulación. Por lo tanto, el entrenamiento con CMJ puede ser perjudicial para el rendimiento deportivo de alta intensidad, especialmente cuando se realiza sin presión de tiempo.

8. Aplicaciones Prácticas

Se han propuesto varias ecuaciones para expresar la diferencia entre el CMJ y el SJ (73). En un estudio reciente, se demostró que las ecuaciones utilizadas para determinar el índice de utilización excéntrica (CMJ/SJ) y el incremento pre-estiramiento $(\text{CMJ-SJ})/\text{SJ} * 100$, aportan exactamente la misma información, aunque se expresan de dos formas diferentes (i.e., proporción versus porcentaje) (73). Por lo tanto, ambas ecuaciones pueden ser utilizadas para expresar la diferencia entre los saltos, y la selección de la ecuación que se utilizará dependerá de la capacidad del profesional para utilizar mejor proporciones o porcentajes. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se sugiere que las investigaciones futuras eviten el uso de la terminología excéntrica, como tasa de utilización excéntrica y la reemplacen por ejemplo, por el índice de utilización de contramovimiento (CUR).

Aunque es una práctica común medir varias variables mecánicas, como la potencia, además de la altura de salto, Markovic y Jaric (55) utilizando un análisis de componentes principales determinaron que cuando la potencia se normaliza adecuadamente en función de la masa corporal, en realidad mide el mismo constructo que la altura de salto vertical. Además, se ha sugerido que la potencia solamente es una variable que estaría correlacionada con el impulso vertical neto, que es quien determina exactamente la altura del salto (43, 69). Por lo tanto, en lugar de la potencia sugerimos medir la altura de salto vertical y utilizar esta altura para expresar la diferencia entre los saltos. Además, para expresar la

diferencia sería más apropiado utilizar la altura promedio de saltos múltiples en lugar de la altura máxima de salto (16). Sin embargo, también deben ser considerados los efectos de aumento de fatiga y disminución de la motivación en el rendimiento en saltos múltiples.

Aunque una plataforma de fuerza no es absolutamente necesaria para determinar la altura de salto, la prueba debería ser realizada preferiblemente usando una plataforma de fuerza, un transductor de posición lineal o una combinación de ambos, porque las mediciones de campo no son lo suficientemente sensibles para detectar contramovimientos de pequeña amplitud, que pueden influir significativamente en el rendimiento (34, 70). Por ejemplo, se ha demostrado que los contramovimientos de pequeña amplitud pueden aumentar la altura de SJ hasta 6 cm en atletas de élite (70), y esto podría sugerir incorrectamente que la diferencia entre el CMJ y SJ es pequeña.

Además, una plataforma de fuerza o transductor de posición lineal puede medir el desarrollo rápido de la fuerza, que puede ser una medida más sensible que la altura de salto. Por ejemplo, las duraciones promedio del CMJ y SJ oscilan entre 500-1000 y 300-430 milisegundos, respectivamente (75), mientras que el tiempo disponible para el desarrollo de la fuerza en muchos movimientos deportivos es más corto y su duración es de hasta 300 milisegundos (89). Por lo tanto, las mediciones de desarrollo rápido de la fuerza tales como la pendiente de la curva de fuerza-tiempo pueden aportar información más detallada que la altura de salto vertical. Además, a veces se utiliza una carga externa durante el salto (85, 87). Sin embargo, la carga externa puede tener un efecto similar al de un contramovimiento porque también reduce el grado de holgura muscular (75). Más específicamente, la carga externa puede absorber la holgura en los fascículos y tejidos tendinosos, alinear la unidad músculo-tendón y estirar los tejidos tendinosos. Además, la carga externa puede proporcionar más tiempo para desarrollar estimulación. Por lo tanto, no se debe utilizar carga externa durante las pruebas. Por otra parte, un balanceo de brazos también puede permitir más tiempo para desarrollar estimulación y reducir el grado de holgura muscular debido a la generación de fuerzas gravitacionales adicionales que aplican una fuerza de estiramiento a la unidad músculo-tendón (22). Por lo tanto, las manos del individuo que está siendo evaluado deben permanecer apoyadas en la cadera.

9. Conclusión

Los hallazgos de la literatura revisada sugieren que la mejora de la fuerza residual, los reflejos de estiramiento y las diferencias en la cinemática probablemente tienen poca o ninguna participación en el mayor rendimiento agudo del CMJ en comparación con el SJ. Más bien, la diferencia en el rendimiento puede estar relacionada principalmente con la mayor absorción de la holgura muscular y el desarrollo de mayor estimulación durante el contramovimiento del CMJ. El almacenamiento y la utilización de la energía elástica también pueden tener una pequeña contribución con el mejor rendimiento del CMJ, aunque esto depende de varios factores tales como la amplitud del contramovimiento y de la capacidad del individuo para reducir la holgura muscular y aumentar rápidamente la estimulación. Podemos concluir que una mayor diferencia entre el rendimiento del CMJ y del SJ no necesariamente es mejor, porque podría reflejar la utilización de la energía elástica en un CMJ de pequeña amplitud como resultado de una capacidad bien desarrollada para co-activar los músculos y de desarrollar rápidamente estimulación muscular, pero también podría reflejar una baja capacidad para reducir el grado de holgura muscular y desarrollar rápidamente estimulación en el SJ. Especialmente, la capacidad de reducir el grado de holgura muscular y desarrollar rápidamente estimulación en el SJ puede ser crucial para el rendimiento deportivo de alta intensidad y por lo tanto el entrenamiento debería orientarse a intentar minimizar la diferencia entre los saltos.

Cabe señalar que los mecanismos que explican la diferencia entre los saltos por lo general han sido investigados de manera aislada por lo que las futuras investigaciones deberían también investigar la interacción entre estos mecanismos. Finalmente, es necesario distinguir que los hallazgos discutidos en esta revisión son aplicables solamente al CMJ y SJ porque en otros movimientos podría existir una interacción diferente entre los mecanismos.

REFERENCIAS

1. Anderson F.C. and Pandy M.G. (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *J. Biomech.* 26: 1413-1427
2. Arakawa H., Nagano A., Yoshioka S., and Fukushima S. (2010). Interaction between elastic energy utilization and active state development within the work enhancing mechanism during countermovement. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 20: 340-347
3. Asmussen E. and Bonde-Petersen F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta. Physiol. Scand.* 91: 385-392
4. Avis F.J., Toussaint H.M., Huijing P.A., and van Ingen Schenau G.J. (1986). Positive work as a function of eccentric load in maximal leg extension movements. *Eur. J. Appl. Physiol. O.* 55: 562-568
5. Bobbert M.F., Casius L.J., Sijpkens I.W.T., and Jaspers R.T. (1985). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *J. Appl. Physiol.* 105: 1428-1440, 2008.
6. Bobbert M.F. and Casius L.J.R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med.*

7. Bobbert M.F., Gerritsen K.G.M., Litjens M.C.A., and Van Soest A.J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 1402-1412
8. Bobbert M.F. and Van Soest A.J. (1994). Effects of muscle strengthening on vertical jump height: a simulation study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 1012-1020,
9. Bobbert M.F. and Van Soest A.J. (2001). Why do people jump the way they do? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 29: 95-102.
10. Bobbert M.F. and van Zandwijk J.P. (1999). Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 303-310
11. Bobbert M.F. and van Zandwijk J.P. (1999). Sensitivity of vertical jumping performance to changes in muscle stimulation onset times: a simulation study. *Biol. Cybern.* 81: 101-108.
12. Bosco C., Montanari G., Ribacchi R., Giovenali P., Latteri F., Iachelli G., Faina M., Colli R., Dal Monte A., and La Rosa M. (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *Eur. J. Appl. Physiol. O.* 56: 138-143
13. Bosco C., Tihanyi J., Komi P.V., Fekete G., and Apor P. (1982). Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol. Scand.* 116: 343-349
14. Castagna C. and Castellini E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 27: 1156-1161
15. Cavagna G.A. (1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 5: 89-129
16. Claudino J.G., Cronin J., Mezencio B., McMaster D.T., McGuigan M., Tricoli V., Amadio A.C., and Serrao J.C. (2016). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport Epub*,
17. Cronin N.J., Rantalainen T., and Avela J. (2015). Triceps surae fascicle stretch is poorly correlated with short latency stretch reflex size. *Muscle Nerve* 52: 245-251
18. Dalen T., Welde B., van den Tillaar R., and Aune T.K. (2013). Effect of single vs. multi joint ballistic resistance training upon vertical jump performance. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu* 19: 86-97
19. Day J.T., Bent L.R., Birznieks I., Macefield V.G., and Cresswell A.G. (2017). Muscle spindles in human tibialis anterior encode muscle fascicle length changes. *J. Neurophysiol. Epub: jn 00374 02016*
20. De Graaf J.B., Bobbert M.F., Tetteroo W.E., and van Ingen Schenau G.J. (1987). Mechanical output about the ankle in countermovement jumps and jumps with extended knee. *Hum. Mov. Sci.* 6: 333-347
21. DeMers M.S., Hicks J.L., and Delp S.L. (2017). Preparatory co-activation of the ankle muscles may prevent ankle inversion injuries. *J. Biomech.* 52: 17-23
22. Domire Z.J. and Challis J.H. (2010). An induced energy analysis to determine the mechanism for performance enhancement as a result of arm swing during jumping. *Sports Biomech.* 9: 38-46.
23. Earp J.E., Newton R.U., Cormie P., and Blazevich A.J. (2016). Faster Movement Speed Results in Greater Tendon Strain during the Loaded Squat Exercise. *Front Physiol.* 7: 366,
24. Edman K.A., Elzinga G., and Noble M.I. (1978). Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibres. *J. Physiol.* 281: 139-155
25. Edman K.A., Elzinga G., and Noble M.I. (1982). Residual force enhancement after stretch of contracting frog single muscle fibers. *J. Gen. Physiol.* 80: 769-784
26. Ettema G.J., Huijting P.A., and de Haan A. (1992). The potentiating effect of prestretch on the contractile performance of rat gastrocnemius medialis muscle during subsequent shortening and isometric contractions. *J. Exp. Biol.* 165: 121-136
27. Ettema G.J.C., Huijting P.A., Schenau G.J.V., and Dehaan A. (1990). Effects of Prestretch at the Onset of Stimulation on Mechanical Work Output of Rat Medial Gastrocnemius-Muscle Tendon Complex. *J. Exp. Biol.* 152: 333-351
28. Finni T., Ikegawa S., Lepola V., and Komi P. (2001). In vivo behavior of vastus lateralis muscle during dynamic performances. *Eur. J. Sport Sci.* 1: 1-13.
29. Finni T., Ikegawa S., and Komi P.V. (2001). Concentric force enhancement during human movement. *Acta Physiol. Scand.* 173: 369-377,
30. Finni T., Komi P.V., and Lepola V. (2000). In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and counter movement jump. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83: 416-426.
31. Fukutani A., Misaki J., and Isaka T. (2017). Both the elongation of attached crossbridges and residual force enhancement contribute to joint torque enhancement by the stretch-shortening cycle. *R. Soc. Open. Sci.* 4: 161036
32. Gheller R.G., Dal Pupo J., Ache-Dias J., Detanico D., Padulo J., and dos Santos S.G. (2015). Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. *Hum. Mov. Sci.* 42: 71-80
33. Gollhofer A., Strojnik V., Rapp W., and Schweizer L. (1992). Behaviour of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 64: 283-291
34. Hasson C.J., Dugan E.L., Doyle T.L.A., Humphries B., and Newton R.U. (2004). Neuromechanical strategies employed to increase jump height during the initiation of the squat jump. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 14: 515-521,
35. Hebert-Losier K., Jensen K., and Holmberg H.C. (2014). Jumping and hopping in elite and amateur orienteering athletes and correlations to sprinting and running. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9: 993-999
36. Herbert R.D., Clarke J., Kwah L.K., Diong J., Martin J., Clarke E.C., Bilston L.E., and Gandevia S.C. (2011). In vivo passive mechanical behaviour of muscle fascicles and tendons in human gastrocnemius muscle-tendon units. *J. Physiol.* 589: 5257-5267
37. Herbert R.D., Héroux M.E., Diong J., Bilston L.E., Gandevia S.C., and Lichtwark G.A. (2015). Changes in the length and three-dimensional orientation of muscle fascicles and aponeuroses with passive length changes in human gastrocnemius muscles. *J. Physiol.* 593: 441-455
38. Herzog W. (2014). Mechanisms of enhanced force production in lengthening (eccentric). muscle contractions. *J. Appl. Physiol.* (1985). 116: 1407-1417,.

39. Herzog W., Lee E.J., and Rassier D.E. (2006). Residual force enhancement in skeletal muscle. *J. Physiol.* 574: 635-642
40. Hisey B., Leonard T.R., and Herzog W. (2009). Does residual force enhancement increase with increasing stretch magnitudes? *J. Biomech.* 42: 1488-1492
41. Hug F., Lacourpaille L., Maisetti O., and Nordez A. (2013). Slack length of gastrocnemius medialis and Achilles tendon occurs at different ankle angles. *J. Biomech.* 46: 2534-2538
42. Kirby T.J., McBride J.M., Haines T.L., and Dayne A.M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *J. Appl. Biomech.* 27: 207-214
43. Knudson D.V. (2009). Correcting the use of the term "power" in the strength and conditioning literature. *J. Strength Cond. Res.* 23: 1902-1908,
44. Komi P.V. and Bosco C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports* 10: 261-265,
45. Kopper B., Csende Z., Sáfár S., Hortobágyi T., and Tihanyi J. (2013). Muscle activation history at different vertical jumps and its influence on vertical velocity. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 23: 132-139
46. Kopper B., Csende Z., Trzaskoma L., and Tihanyi J. (2014). Stretch-shortening cycle characteristics during vertical jumps carried out with small and large range of motion. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 24: 233-239
47. Kubo K., Kanehisa H., Kawakami Y., and Fukunaga T. (2000). Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81: 181-187
48. Kubo K., Kawakami Y., and Fukunaga T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J. Appl. Physiol.* (1985). 87: 2090-2096, 1999.
49. Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H., and Fukunaga T. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39: 1801-1810,
50. Kurokawa S., Fukunaga T., Nagano A., and Fukashiro S. (2003). Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J. Appl. Physiol.* (1985). 95: 2306-2314.
51. Kyröläinen H. and Komi P.V. (1994). Stretch reflex responses following mechanical stimulation in power-and endurance-trained athletes. *Int. J. Sport. Med.* 15: 290-294
52. Latash M.L. (2008). Neurophysiological basis of movement. *Human Kinetics*
53. Leirdal S., Roeleveld K., and Ettema G. (2008). Coordination specificity in strength and power training. *Int. J. Sport Med.* 29: 225-231
54. Levin M.F. and Feldman AG. (1994). The role of stretch reflex threshold regulation in normal and impaired motor control. *Brain Res.* 657: 23-30
55. Markovic G. and Jaric S. (2007). Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *J. Sport Sci.* 25: 1355-1363
56. McBride J.M., Kirby T.J., Haines T.L., and Skinner J. (2010). Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5: 484-496,
57. McBride J.M., McCauley G.O., and Cormie P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *J. Strength Cond. Res.* 22: 750-757,
58. McGuigan M.R., Doyle T.L., Newton M., Edwards D.J., Nimphius S., and Newton R.U. (2006). Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *J. Strength Cond. Res.* 20: 992-995
59. Mirbagheri M.M., Barbeau H., and Kearney R.E. (2000). Intrinsic and reflex contributions to human ankle stiffness: variation with activation level and position. *Exp. Brain Res.* 135: 423-436
60. Moran K.A. and Wallace E.S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Hum. Mov. Sci.* 26: 824-840
61. Moritani T. (2003). Motor Unit and Motoneurone Excitability during Explosive Movement in: Strength and power in Sport. *PV Komi, ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2003, pp 27-49.*
62. Mrachacz-Kersting N. and Sinkjaer T. (2003). Reflex and non-reflex torque responses to stretch of the human knee extensors. *Exp. Brain Res.* 151: 72-81
63. Nicol C. and Komi P.V. (1998). Significance of passively induced stretch reflexes on achilles tendon force enhancement. *Muscle Nerve* 21: 1546-1548
64. Ogawa T., Kawashima N., Suzuki S., and Nakazawa K. (2012). Different modulation pattern of spinal stretch reflex excitability in highly trained endurance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112: 3641-3648
65. Prokopow P., Szyniszewski S., and Pomorski K. (2005). The effects of changes in the timing of muscle activation on jump height: A simulation study. *Hum Mov.* 2: 116-123
66. Rassier D.E., Herzog W., Wakeling J., and Syme D.A. (2003). Stretch-induced, steady-state force enhancement in single skeletal muscle fibers exceeds the isometric force at optimum fiber length. *J. Biomech.* 36: 1309-1316,
67. Roach N.T., Venkadesan M., Rainbow M.J., and Lieberman D.E. (2013). Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo. *Nature* 498: 483-486
68. Roberts T.J and Konow N. (2013). How tendons buffer energy dissipation by muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 41: 186-193,
69. Sheppard J.M. and Doyle T.L.A. (2008). Increasing compliance to instructions in the squat jump. *J. Strength Cond. Res.* 22: 648-651,
70. Sinkjaer T., Toft E., Andreassen S., and Hornemann B.C. (1988). Muscle stiffness in human ankle dorsiflexors: intrinsic and reflex components. *J. Neurophysiol* 60: 1110-1121
71. Skurvydas A., Dudoniene V., Kalvenas A., and Zuoza A. (2002). Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 12: 34-39
72. Suchomel T.J., Sole C.J., and Stone M.H. (2016). Comparison of Methods That Assess Lower-body Stretch-Shortening Cycle Utilization. *J. Strength Cond. Res.* 30: 547-554,
73. Tauchi K., Kubo Y., Ohyama Byun K., and Takamatsu K. (2005). A mechanism for power output of the upper limbs during overhead throw with stretch-shortening cycle. *Int. J. Sport Health Sci.* 3: 286-295

74. Van Hooren B. and Bosch F. (2016). Influence of Muscle Slack on High-Intensity Sport Strength Con. *J. 38: 75-87*
75. Van Hooren B. and Bosch F. (2016). Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? part I: A critical review of the literature. *J. Sports Sci .Epub ahead of print: 1-9*
76. Van Ingen Schenau G.J. (1984). An alternative view of the concept of elastic energy in human movements. *Hum. Mov. Sci. 3: 301-336,*
77. Van Ingen Schenau G.J., Bobbert M.F., and de Haan A. (1997). Mechanics and energetics of the stretch-shortening cycle: A stimulating discussion. *J. Appl. Biomech. 13: 484-496*
78. Van Ingen Schenau G.J., Bobbert M.F., and Haan De A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle ? *J. Appl. Biomech. 13: 389-415*
79. van Soest A.J. and Bobbert M.F. (1993). The contribution of muscle properties in the control of explosive movements. *Biol. Cybern. 69: 195-204,*
80. van Zandwijk J.P., Bobbert M.F., Baan G.C., and Huijing P.A. (1996). From twitch to tetanus: performance of excitation dynamics optimized for a twitch in predicting tetanic muscle forces. *Biol. Cybern. 75: 409-417*
81. Voigt M., Simonsen E.B., Dyhre-Poulsen P., and Klausen K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *J. Biomech. 28: 293-307*
82. Walshe A.D., Wilson G.J., and Murphy A.J. (1996). The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol 73: 332-339,*
83. Wiegner AW. and Watts R.L. (1986). Elastic properties of muscles measured at the elbow in man: I. *Normal controls. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr. 49: 1171-1176,*
84. Wilson G.J., Newton R.U., Murphy A.J., and Humphries B.J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc. 25: 1279-1286*
85. Young W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Stud. Athle. 10: 89-96,*
86. Young W., McLean B., and Ardagna J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness 35: 13-19,*
87. Zajac F.E. (1989). Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. *Crit.Rev. Biomed. Eng. 17: 359-411*
88. Zatsiorsky V.M. (2003). Biomechanics of strength and strength training, in: *Strength and power in sport. PV Komi, ed.: Blackwell Science Ltd, 2003, pp 439-487.*
89. Zernicke R.F. and Loitz-Ramage B. (2003). Exercise-related adaptations in connective tissue, in: *Strength and power in sport. PV Komi, ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2003, pp 96-113.*

Cita Original

Bas Van Hooren and Julia Zolotarjova (2017) The Difference Between Countermovement and Squat Jump Performance: A Review of Underlying Mechanisms with Practical Applications. *Journal of Strength and Conditioning Research.* Jul;31(7):2011-2020