

Monograph

Utilización del Tiempo de Contacto y el Índice de Fuerza Reactiva para Optimizar el Entrenamiento del Ciclo de Estiramiento-Acortamiento Rápido

Eamonn P Flanagan¹ y Thomas M Comyns²

¹*Biomechanics Research Unit, College of Science, University of Limerick, Ireland.*

²*Munster Rugby, c/o Irish Rugby Football Union, Dublin, Ireland*

RESUMEN

El presente artículo revisa la investigación relativa al ciclo de estiramiento-acortamiento y al entrenamiento pliométrico. El artículo presenta instrucciones para los profesionales del entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento respecto del uso del tiempo de contacto y del índice de fuerza reactiva para el entrenamiento pliométrico. Además se presenta información referente a como estas medidas pueden ser utilizadas para optimizar el entrenamiento pliométrico y mejorar al ciclo de estiramiento-acortamiento rápido en atletas. Asimismo se presentan recomendaciones respecto de cómo utilizar el tiempo de contacto para mejorar la especificidad del entrenamiento y del índice de fuerza reactiva para optimizar el entrenamiento pliométrico, monitorear el progreso del entrenamiento y como herramienta motivacional. A través del artículo se detallará la implementación de una progresión en cuatro etapas.

Palabras Clave: ciclo de estiramiento-acortamiento, índice de fuerza reactiva, pliometría, saltos, tiempo de contacto

EL CICLO DE ESTIRAMIENTO ACORTAMIENTO (SSC)

El SSC es un tipo natural de función muscular en la cual la contracción muscular es precedida por un estiramiento del músculo. Este acoplamiento de contracción muscular excéntrica/concéntrica produce una contracción más potente que la que resultaría de una acción muscular puramente concéntrica (14). Cuando se grafica la curva de fuerza-velocidad durante un movimiento multiarticular complejo que involucra al SSC y en el que participan varios grupos musculares, tal como el salto vertical, la utilización de una fase excéntrica precedente provoca el desplazamiento de la curva fuerza-velocidad hacia la derecha. En comparación con movimientos puramente concéntricos, el SSC permite que se produzca una mayor fuerza a una velocidad dada durante la fase concéntrica (13).

El SSC puede observarse en un amplio rango de actividades. En situaciones de la vida real, el ejercicio raramente implica una forma pura de acciones isométricas, concéntricas o excéntricas (15). El SSC parece ser una forma natural de función muscular, y está presente en las actividades cotidianas, tales como caminar y correr, así como en acciones más complejas

incluyendo los lanzamientos y los saltos.

Una teoría ha sido que el SSC provoca la mejora durante la fase concéntrica debido a la acumulación de energía elástica (7, 16). Durante la fase excéntrica, los músculos activos se estiran y absorben energía. Parte de esta energía se almacena temporalmente y luego es reutilizada durante la fase concéntrica del SSC (4). Para que la energía elástica sea utilizada en forma óptima se requiere de una rápida transición entre las fases excéntrica y concéntrica. También se han propuesto mecanismos adicionales. Se ha especulado que el pre-estiramiento durante un SSC mejora la contracción concéntrica a través de la potenciación neural de la maquinaria contráctil de los músculos durante la fase excéntrica, permitiendo que se reclute un mayor número de unidades motoras para la contracción concéntrica (30). Walshe et al (32) observaron un incremento en la producción de trabajo durante la fase concéntrica de la sentadilla cuando la fase concéntrica estuvo precedida por un pre-estiramiento o por una contracción isométrica, en comparación a la sentadilla puramente concéntrica. Estos autores sugirieron que la mejora en el rendimiento a partir del estiramiento precedente o a partir de la contracción isométrica pudo ser resultado de un mayor nivel de excitación neural previo a la fase concéntrica. Este efecto de potenciación se incrementa con la velocidad de la acción excéntrica y se reduce con el tiempo de transición entre las fases excéntrica y concéntrica (2). Bobbert et al (4) determinaron que en tareas tales como un salto vertical máximo, en el cual se utilizó el acoplamiento excéntrico-concéntrico y en comparación con un salto puramente concéntrico, la mejora en el SSC probablemente fue causada por la fase excéntrica que permitió un mayor tiempo para el desarrollo de la tensión muscular. Una fase excéntrica lenta permite que los músculos desarrollen un alto nivel de activación (más puentes cruzados) antes del comienzo de la fase concéntrica. Como resultado, la tensión desarrollada y los momentos articulares son mayores al comienzo de la fase concéntrica y así se produce más trabajo a través de la primera parte de la fase concéntrica. Un estudio previo de Bobbert et al (2) respaldó esta teoría, mostrando que durante la transición entre las fases excéntrica y concéntrica (antes de que comience la fase concéntrica) de un salto con contramovimiento la fuerza desarrollada se aproximaba o igualaba la fuerza pico. El SSC provoca un incremento en la excitabilidad de los propioceptores del sistema neuromuscular. Durante un SSC hay dos propioceptores que adquieren mayor relevancia. El primero es el órgano tendinoso de Golgi (GTO), el cual está ubicado en las fibras extrafusales y está innervado por las motoneuronas alfa (24). El segundo es el huso muscular, que está ubicado en las fibras intrafusales e innervado por las motoneuronas γ (19, 24). Los GTO responden a los cambios en la tensión (24) más que a los cambios en la longitud muscular. Estos propioceptores inhiben los músculos agonistas y facilitan la activación de los músculos antagonistas (5). Estos efectos inhibitorios funcionan como mecanismos de protección (199). Cuando las fuerzas contráctiles alcanzan el punto en el que se puede producir el daño del complejo músculo-tendinoso, los GTO incrementan la actividad aferente que resulta en la inhibición de las motoneuronas que inervan los músculos estirados a la vez que simultáneamente excitan las motoneuronas de los músculos antagonistas (5, 19, 24). Sin embargo, la acción inhibitoria de los GTO puede ser minimizada. Su acción inhibitoria puede contrarrestarse a través de la contribución de los husos musculares. La contribución refleja de los husos musculares puede ayudar a incrementar el trabajo realizado durante un SSC. Los husos musculares son mecanorreceptores facilitadores, los cuales reaccionan a los cambios rápidos en la longitud del músculo para proteger el complejo músculo-tendinoso. A medida que la velocidad del estiramiento excéntrico se aproxima al punto en el cual podría potencialmente dañar el complejo músculo-tendinoso, los husos musculares se activan y estimulan, en forma refleja, la contracción opuesta de los músculos agonistas. La contribución de los husos musculares es uno de los mecanismos que explica la mejora del rendimiento observada en actividades que involucran el SSC tales como los saltos con caída, los cuales implican fases excéntricas rápidas (3). Los mecanismos precisos que apuntalan una actividad SSC dada pueden determinarse por las demandas de la tarea SSC de criterio (10). Schmidtbleicher (28) ha sugerido que el SSC puede clasificarse en lento y rápido. El SSC rápido está caracterizado por cortos tiempos de contracción (≤ 0.25 segundos) y pequeños desplazamientos angulares en las caderas, rodillas y tobillos. Un ejemplo característico serían los saltos con caída. Los SSC lentos implican mayores tiempos de contracción y mayores desplazamientos angulares, tal como puede observarse durante la realización de saltos verticales máximos. Por ejemplo, el reflejo de los husos musculares depende de la tasa de estiramiento excéntrico (2) y la utilización de la energía elástica dependerá de que se produzca una corta transición entre las fases excéntricas y concéntricas (2). En este sentido, se ha observado un decaimiento en la magnitud de la potenciación con el incremento en el tiempo de transición entre las fases excéntrica y concéntrica (33). Estos mecanismos probablemente contribuyan más a los SSC rápidos, los cuales tienen una mayor velocidad de contracción excéntrica y un período de transición más corto que los SSC lentos (2).

La mejora del rendimiento en las actividades con SSC lento se deberá principalmente a la lentitud de la fase excéntrica que permitirá un mayor tiempo para el desarrollo de la tensión muscular (4, 32). Las fases excéntricas más lentas y más largas y los mayores tiempos de transición entre el acoplamiento excéntrico-concéntrico observados durante actividades con SSC lento han generado dudas respecto de cuan activos pueden ser los reflejos de los husos musculares, cuan grande la contribución de la energía elástica y la potenciación neural en las tareas con SSC lento en comparación con las tareas con SSC rápido (10). Como resultado, se ha hipotetizado que los SSC lentos y rápidos pueden representar diferentes patrones de acción muscular que dependen de diferentes mecanismos biomecánicos, y que afectan el rendimiento de diferente forma (10). Esta hipótesis puede tener grandes implicaciones para los profesionales del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento. La utilización de diferentes ejercicios o la manera en que se realizan los ejercicios pueden provocar diferentes mecanismos de acción del SSC. Entrenar con una actividad con SSC lento puede no ser tan beneficioso para

aquellos atletas que dependen principalmente del SSC rápido para su deporte y viceversa. Para cumplir con el principio de especificidad, se debe considerar cuidadosamente la selección de los modos de entrenamiento que incorporen el SSC adecuado para las necesidades específicas de cada atleta.

PLIOMETRIA, TIEMPO DE CONTACTO E INDICE DE FUERZA REACTIVA

Una modalidad común para mejorar el SSC de los atletas es el entrenamiento pliométrico. “Entrenamiento Pliométrico” es un término coloquial utilizado para describir movimientos rápidos y potentes que utilizan un pre estiramiento o un contramovimiento y que involucran al SSC (23). La pliometría ha sido comúnmente utilizada para el entrenamiento de la potencia y la velocidad. Se pueden utilizar ejercicios pliométricos específicos para entrenar el SSC lento o el SSC rápido. Como ejemplos de pliometría para el SSC lento se pueden mencionar los saltos verticales y los saltos al cajón. Los rebotes, los saltos a las vallas, y los saltos con caída son considerados como movimientos con SSC rápido. El foco principal de este artículo es la optimización del SSC rápido, particularmente mediante los saltos con caída. En la literatura se ha demostrado que con programas apropiados de entrenamiento pliométrico se produce un incremento en la producción de potencia (20), en la agilidad (22), en la velocidad de carrera (17) e incluso en la economía de carrera (26, 29).

Recientemente, se ha utilizado el índice de fuerza reactiva (RSI) tanto en los establecimientos para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento como en la literatura científica como medio para cuantificar el entrenamiento pliométrico o el rendimiento en tareas con SSC (11, 21). El RSI fue desarrollado como un componente del Test de Valoración de las Cualidades de Fuerza (*Strength Qualities Assessment Test*), el cual tuvo su origen en el Instituto Australiano del Deporte (33). El índice de fuerza reactiva se calcula a partir de la altura alcanzada durante un salto con caída y el tiempo de contacto necesario para desarrollar la fuerza requerida para ese salto (21). La utilización de una manta de contacto durante la realización de saltos con caída, permite calcular el RSI dividiendo la altura del salto por el tiempo de contacto previo al despegue (Figura 1) (21). Young (34) ha descrito el RSI como la capacidad de un individuo para cambiar rápidamente desde una acción excéntrica a una acción concéntrica y puede considerarse como una medición de la fuerza explosiva. La fuerza explosiva es un término que describe la capacidad de un atleta para desarrollar fuerzas máximas en un tiempo mínimo (35).

$$\text{Índice de Fuerza Reactiva} = \frac{\text{Altura del Salto (m)}}{\text{Tiempo de Contacto (s)}}$$

Figura 1. Ecuación para calcular el RSI. El índice de fuerza reactiva puede incrementarse por el incremento de la altura de salto, la reducción del tiempo de contacto o ambas cosas.

El RSI también ha sido descrito como una herramienta simple para monitorear el estrés impuesto sobre el complejo músculo-tendinoso (21). Hasta el momento el RSI ha sido utilizado principalmente durante actividades pliométricas tales como los saltos con caída, que poseen una fase de contacto distintiva y observable. Los saltos con caída son uno de los ejercicios pliométricos más utilizados por los entrenadores y de los más estudiados por los investigadores (31). Durante un salto con caída, los individuos se dejan caer desde una altura fija e inmediatamente después de hacer contacto con el suelo realizan un salto vertical explosivo (31). Debido a que el RSI es un cociente entre el tiempo de contacto y la altura del salto, ambas variables deben ser consideradas conjuntamente cuando se analiza el valor del RSI. Los tiempos de contacto en los ejercicios pliométricos son una variable importante que deben considerar los entrenadores de la fuerza. Al examinar los tiempos de contacto durante la realización de un ejercicio pliométrico, los entrenadores pueden valorar con precisión

qué tipo de SSC (rápido o lento) está siendo utilizado. El principio de especificidad dicta que las demandas de cada deporte determinaran la forma en que se realizarán los ejercicios pliométricos (31). Los atletas cuyo objetivo de entrenamiento es simplemente incrementar la altura máxima de salto, tal como los saltadores en el "line-out" en el rugby, pueden beneficiarse de mayores tiempos de contacto ya que esto les permitirá generar la fuerza máxima necesaria para realizar un salto máximo (31). Los atletas que desean mejorar su velocidad máxima de esprint, que depende principalmente de la utilización del SSC rápido, requerirán de un entrenamiento pliométrico con menores tiempos de contacto. La examinación de los tiempos de contacto de los atletas les dará a los entrenadores de la fuerza una excelente indicación de si un ejercicio está siendo realizado de manera tal que sea beneficioso para su atleta. Los tiempos de contacto pueden medirse de forma muy práctica utilizando mantas de contacto o pueden ser analizados en el laboratorio utilizando plataformas de fuerza.

Schmidtbleicher (28) ha establecido que para clasificar una actividad como SSC rápido el tiempo de contacto debe ser igual o menor a 0.25 segundos. A partir de nuestro trabajo con jugadores de rugby de elite hemos observado que este umbral efectivamente refleja el SSC rápido. En efecto, se han registrado tiempos de contacto de hasta 0.102 segundos para saltos a una serie de vallas. Para el entrenamiento, nosotros utilizamos una manta de contacto grande para medir el tiempo de contacto en un salto con caída seguido de tres saltos a vallas con una altura de 60 cm. Con este test hemos observado tiempos de contactos menores a 0.150 segundos. Si se observan tiempos de contacto mayores se debería hacer énfasis en que el atleta se más "explosivo" y despegue del suelo más rápidamente. Si luego de dicha instrucción, los tiempos de contacto en un ejercicio específico todavía son muy prolongados (> 0.25 segundos), entonces es posible que la intensidad para este ejercicio en particular sea muy elevada para el atleta y por lo tanto el ejercicio debe ser adaptado o reemplazado. Por ejemplo, si un atleta no exhibe tiempos de contacto representativos del SSC rápido durante un salto con caída desde 40 cm, la altura del salto debería reducirse. Si un atleta no puede producir tiempos de contacto cortos cuando ejecuta saltos a vallas con altura de 60 cm, entonces se deberían utilizar vallas más bajas. Para aquellos entrenadores que no tienen acceso a equipos tales como una manta de contacto, los investigadores han señalado que los atletas que exhiben tiempos de contactos prolongados también muestran una incapacidad para mantenerse sobre la punta de los pies y apoyan sus talones durante la acción de salto (3). Si el objetivo de entrenamiento es la mejora del SSC rápido, los entrenadores deberían observar que los atletas minimicen los tiempos de contacto, se mantengan sobre la punta de los pies a través de los saltos, mantengan rígidas las extremidades inferiores y realicen una mínima flexión de caderas y rodillas.

Además de los tiempos de contacto, es importante considerar la altura de los saltos durante los ejercicios pliométricos. La altura alcanzada durante un salto vertical representa la capacidad para producir potencia de un atleta (6). La capacidad para producir potencia durante la realización de un salto vertical ha sido correlacionada con el rendimiento en numerosos deportes (6, 9, 27). El monitoreo de la altura de salto durante el entrenamiento pliométrico ayuda a los entrenadores a asegurar que los atletas están realizando esfuerzos con la máxima producción de potencia. En el ambiente de entrenamiento, la altura de los saltos puede valorarse a partir de los datos obtenidos con una manta de contacto que indicarán cuanto tiempo se mantiene un atleta en el aire (tiempo de vuelo). Sin embargo, muchas de las mantas de contacto modernas calculan automáticamente la altura de cada salto realizado. La ecuación para calcular la altura de salto a partir del tiempo de vuelo es la siguiente:

$$\text{Altura: } (g \times \text{tiempo de vuelo})^2 / 8$$

Donde: *Gravedad* = 9.81 m/s y el tiempo de vuelo se mide en segundos.

Alternativamente, se puede utilizar el test de "saltar y alcanzar". En los laboratorios, la altura de los saltos comúnmente se calcula utilizando el tiempo de vuelo obtenido mediante plataformas de fuerza (6, 8, 10).

Si los entrenadores de la fuerza solo examinan los tiempos de contacto durante el entrenamiento pliométrico, los atletas pueden alterar sus estrategias de salto para reducir el tiempo de contacto pero a expensas de la producción de potencia. Similarmente, si solo se examina la altura de salto, los atletas pueden producir grandes potencias pero utilizar tiempos de contacto largos, violando así el principio de especificidad del entrenamiento. A partir de nuestra experiencia trabajando con jugadores de rugby de elite, hemos observado que este es el caso. Consecuentemente, puede ser de gran beneficio para los atletas y para el proceso de entrenamiento pliométrico, que los entrenadores monitoreen ambas variables. La combinación de ambas variables es el índice de fuerza reactiva.

OPTIMIZACION Y MONITOREO DEL ENTRENAMIENTO PLIOMETRICO

Si bien el monitoreo de los tiempos de contacto proveen una rápida referencia para conocer la especificidad de un ejercicio pliométrico, la mayor utilidad del RSI es que permite optimizar la altura a la cual se deben realizar los saltos pliométricos con caída tanto desde la perspectiva del rendimiento como de la prevención de lesiones. Por ejemplo, se ha descrito una forma de entrenamiento en el cual los jugadores realizaban tres saltos con caída desde alturas cada vez mayores (e.g., 15,

30 y 45 cm) con el cálculo del RSI para cada salto. Cuando se mantiene o mejora el RSI con el incremento en la altura de caída, y además el tiempo de contacto indica que se está utilizando un SSC rápido, se asume que la capacidad de fuerza reactiva del individuo es suficiente para la altura de caída que se está evaluando. La altura de caída para la cual se produce una reducción del RSI o el tiempo de contacto supera el umbral que determina un SSC rápido, se asume que la altura de caída utilizada puede representar un riesgo de lesión para el individuo o puede proveer un estímulo de entrenamiento subóptimo.

La Figura 2 ilustra dos ejemplos de datos obtenidos en un individuo bien entrenado y en un individuo desentrenado. En el caso del individuo bien entrenado, a medida que la altura de caída se incrementa desde 10 a 400 cm, el rendimiento medido con el RSI también mejora. Las razones probables de este incremento en el rendimiento a medida que se incrementa la altura de caída son dos. Una mayor altura de caída permite que se produzca un mayor nivel de excitación preactivación. La preactivación implica la excitación preparatoria de las unidades motoras antes de una actividad. Se requiere de un grado óptimo de preactivación para la utilización adecuada del SSC y esto parece ser un requerimiento para la mejora de la actividad muscular durante la fase excéntrica y para la acción muscular durante el contacto con el suelo (18). Se ha observado que la preactivación se incrementa con el incremento en la altura de caída (12). Cuanto mayor es la altura de caída mayor será el nivel de activación neural, lo cual puede alcanzarse antes de que comience el acoplamiento excéntrico-concéntrico, y lo que a su vez mejorará la acción muscular durante la fase de contacto. La segunda razón, es que una mayor altura de caída resultará en una mayor velocidad de la fase excéntrica. Cuanto mayor es la velocidad de la fase excéntrica, mayor será el efecto de potenciación que puede provocarse mediante mecanismos tales como la potenciación neural de la maquinaria contráctil a partir de la acción refleja de los husos musculares, siempre que el individuo posea la fuerza reactiva necesaria para realizar una rápida transición entre la fase excéntrica y la fase concéntrica.

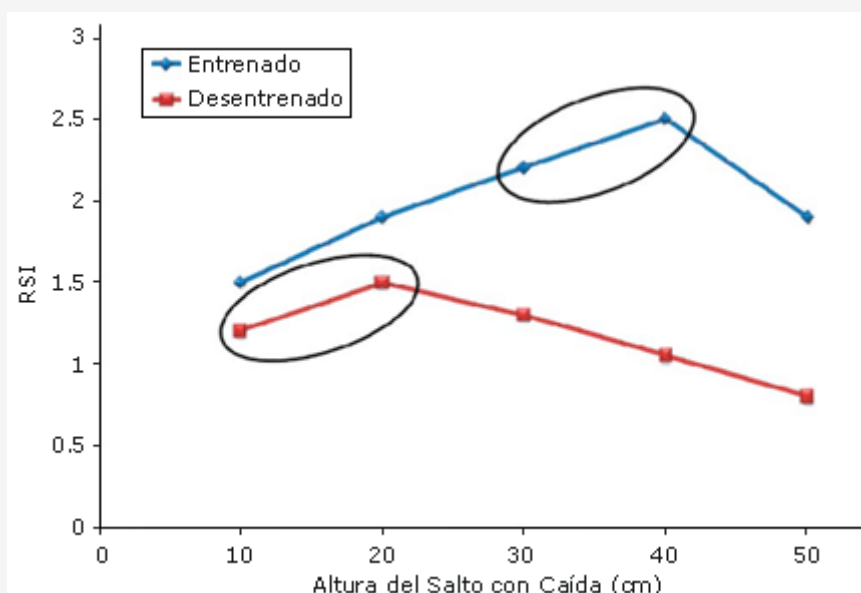


Figura 2. Datos del índice de fuerza reactiva durante un test de salto con caída con alturas progresivamente mayores en un atleta entrenado y en un atleta desentrenado. El individuo desentrenado generalmente exhibe menores valores en todas las alturas y alcanza el umbral crítico en el cual se produce la reducción del RSI a una menor altura de caída. Los círculos señalan las alturas de caída a las cuales cada atleta debería realizar sus entrenamientos.

La velocidad pico de la contracción excéntrica durante los saltos con caída depende de la máxima velocidad de descenso del centro de masa del individuo. En los saltos con caída, esto es totalmente dependiente de la altura utilizada para la caída (3). No obstante, nosotros creemos que se puede alcanzar un umbral crítico al cual la velocidad de descenso se vuelve tan grande que el atleta no poseerá la fuerza suficiente para superar la carga excéntrica y transformarla efectivamente en una fase concéntrica potente. Se podría especular que esta reducción en el rendimiento puede deberse a que los GTO están ejerciendo su efecto inhibitorio y protector. Por lo tanto, a medida que la tensión muscular requerida para superar el incremento en la velocidad de descenso se aproxima al nivel en que pudiera provocar el daño del complejo músculo-tendinoso, los GTO pueden activarse e inhibir la contracción. Desde la misma altura de caída, un sujeto bien entrenado puede exhibir un incremento en la actividad muscular durante el acoplamiento excéntrico-concéntrico mientras que un individuo desentrenado exhibirá una inhibición del reclutamiento muscular. En el caso de este hipotético atleta bien

entrenado, el umbral crítico se produce a una altura de caída de 50 cm. A este umbral, el atleta ya no puede permanecer sobre la punta de los pies a través de la acción de salto, sus talones impactan contra el suelo y requiere de un período de contacto mucho mayor en la transición hacia el movimiento concéntrico para absorber la mayor carga excéntrica. Los tiempos de contacto serán mayores a 0.25 segundos, la altura de salto puede reducirse y el RSI también se reducirá. Desde el punto de vista de la especificidad, esto no es para nada óptimo. El atleta ahora está realizando un SSC lento en lugar de un SSC rápido y puede activar y entrenar diferentes mecanismos biomecánicos. La notable reducción en el RSI indica que el rendimiento en los saltos con caída no es óptimo con esta altura de caída. El individuo no está expresando una altura de salto apropiada en relación con su tiempo de contacto. La acción del salto ya no es suficientemente “explosiva”.

Un tercer punto a señalar aquí es el efecto que una altura de caída excesiva puede tener sobre el riesgo de lesión. La pliometría es conocida por tener un riesgo de lesión potencialmente alto debido a las grandes tensiones generadas. Bobbert et al (3) demostraron que cuando la altura utilizada para los saltos con caída es demasiado grande, se generan fuerzas de corte con valores picos que pueden ser potencialmente peligrosas para los atletas. Se ha observado que estas fuerzas son causadas como resultado del impacto del talón con el suelo, produciendo fuerzas de corte articulares en las caderas, rodillas y tobillos. Dichas fuerzas de reacción pueden causar el daño de las estructuras pasivas del sistema musculoesquelético. También es interesante analizar el conjunto de datos del individuo desentrenado. Dicho atleta probablemente obtenga bajos valores de RSI en todas las alturas de caída y alcanzará el umbral crítico (reducción del RSI) a una altura menor que el atleta bien entrenado. Por lo tanto, el entrenamiento se vuelve subóptimo y este individuo puede estar expuesto a un estímulo de entrenamiento peligroso. En la Figura 2 se muestran los rangos de alturas de caídas que pueden ser utilizados por cada atleta.

La utilización de una altura de caída demasiado grande durante el entrenamiento pliométrico puede reducir la especificidad del entrenamiento, reducir el rendimiento y no ser segura para el entrenamiento. El RSI puede asistir a los entrenadores a optimizar el entrenamiento pliométrico tanto desde la perspectiva del rendimiento como desde la perspectiva de la seguridad. Además, puede desarrollarse un perfil de la capacidad pliométrica del equipo lo cual permitirá agrupar a atletas con capacidades similares para el entrenamiento. Dicho procedimiento puede además asistir a los entrenadores a identificar a aquellos atletas cuya capacidad de fuerza reactiva es deficiente.

EL RSI COMO HERRAMIENTA MOTIVACIONAL

La investigación ha demostrado que una instrucción verbal específica puede afectar positivamente el rendimiento durante la realización de saltos. Arampatzis et al (1) hallaron que la utilización de la instrucción “saltar alto y un poco más rápido que en el salto previo” en lugar de la instrucción “saltar lo más alto posible” estimulaba a los sujetos a realizar saltos con caídas con tiempos de contacto significativamente menores. Esta investigación demuestra el papel que puede desempeñar el conocimiento de los resultados a través de las sesiones de entrenamiento pliométrico. Permitir que los atletas sepan las alturas de sus saltos y sus tiempos de contacto o sus índices de fuerza reactiva, puede motivarlos a realizar los ejercicios pliométricos a un nivel más próximo al máximo. Sin embargo, se ha sugerido que realizar una retroalimentación constante mediante la comunicación de los resultados en cada una de las pruebas, puede derivar en que los atletas se vuelvan dependientes de la retroalimentación y fallen en procesar la información requerida para mejorar el rendimiento (25). Por esta razón los entrenadores deberían elegir el momento adecuado para comunicar los resultados y; posiblemente, el mejor momento sea cuando el rendimiento del atleta esté declinando y exista la necesidad de respaldo motivacional. A partir de nuestra experiencia con jugadores de rugby de elite, hemos observado que la calidad del proceso pliométrico mejora mediante el uso de mantas de contacto para llevar a cabo la retroalimentación de los resultados. Para evitar la dependencia en la retroalimentación constante, no se recomienda utilizar el RSI en cada sesión de entrenamiento. Asimismo, luego de cada ejercicio pliométrico, nosotros debatimos con los jugadores acerca de la calidad de los saltos preguntando “¿Cuál fue el salto más rápido y por qué?” Este método es útil para hacer que los jugadores piensen acerca de lo que se requiere para un buen rendimiento en los saltos e induce un proceso de aprendizaje más activo.

Se recomienda que los entrenadores de la fuerza y acondicionamiento realicen la retroalimentación de forma entusiasta, mostrando interés personal en el rendimiento del atleta y estimulando la realización de esfuerzos máximos (21). A lo largo de la sesión de entrenamiento pliométrico y, en forma intermitente, los entrenadores deberían recordarles a los atletas que “salten alto y rápido” cuando realizan saltos con caída.

APLICACIONES PRACTICAS: UN PROGRAMA PROGRESIVO PARA LA UTILIZACION DEL RSI

La utilización del RSI durante la realización de ejercicios pliométricos rápidos tal como saltos repetidos elevando rodillas, saltos a las vallas y saltos con caídas, es una aplicación práctica efectiva de esta medida del rendimiento que puede mejorar la calidad del entrenamiento pliométrico. A partir de nuestra experiencia con jugadores de rugby de elite, hemos observado que una progresión de 4 etapas hacia el uso de ejercicios que impliquen el SSC rápido y el RSI ha sido la más efectiva (Tabla 1). Para aquellos atletas que tienen una limitada experiencia en el entrenamiento pliométrico se requiere la aplicación de un programa progresivo. Esto puede llevarse a cabo asegurando que los atletas realicen ejercicios pliométricos rápidos con la técnica correcta, tanto desde el punto de vista del rendimiento como de la seguridad. La utilización de una correcta técnica para los ejercicios pliométricos implica que se deben cumplir los siguientes requisitos: (a) minimizar el tiempo de contacto, (b) maximizar la altura de salto, (c) imaginar que el suelo es una superficie caliente, (d) imaginar que las piernas son un resorte rígido que rebota en el suelo al hacer contacto con este, y (e) pre-tensar las piernas antes de hacer contacto con el suelo. El primer paso de la progresión de 4 etapas involucra a la fase excéntrica del salto. Aquí el objetivo es concentrarse en la mecánica de la toma de contacto con el suelo haciendo que el atleta mantenga el centro de gravedad sobre la base de apoyo durante saltos de bajo impacto, tales como los rebotes. Se le instruye al individuo que tome contacto en forma "rígida" y se lo estimula a que realice una mínima flexión de tobillos, rodillas y caderas durante la toma de contacto (el sujeto puede imaginarse que se congela al tomar contacto con el suelo). Estos ejercicios son incluidos para mejorar la capacidad de los atletas para tolerar la velocidad descendente de los ejercicios pliométricos y la carga excéntrica asociada con el SSC rápido.

La siguiente etapa está dirigida a enseñar al atleta a minimizar el tiempo de contacto. Durante cualquier ejercicio pliométrico rápido, las piernas deben actuar como un resorte rígido y rebotar con un retraso mínimo luego de hacer contacto con el suelo. Esto puede llevarse a cabo utilizando ejercicios pliométricos rápidos de baja intensidad tales como los *skippings*, en donde se debe hacer foco en realizar contactos muy cortos sobre el suelo ("*imaginar que el suelo es una superficie caliente*"). Se debe instruir a los atletas a mantenerse sobre las puntas de los pies y a pre-tensar los músculos de la pierna antes de hacer contacto con el suelo para asistir con esta acción.

La progresión continúa haciendo que los atletas salten sobre una serie de vallas bajas haciendo foco en minimizar el tiempo de contacto y sobrepasar la valla. Aquí se le proporciona a los sujetos los valores del tiempo de contacto como forma de retroalimentación. Una vez que los atletas pueden sobrepasar las vallas con un tiempo de contacto bajo, se puede incrementar la altura de las vallas para así incrementar la carga. En estos ejemplos, la altura se controla mediante la altura de la valla por lo que el foco es enseñar a los atletas a realizar los ejercicios pliométricos con el mínimo tiempo de contacto.

Fase 1: <i>Salto excéntrico</i>	Fase 2: <i>Ejercicios Pliométricos Rápidos de Baja Intensidad</i>	Fase 3: <i>Salto a Vallas</i>	Fase 4: <i>Salto con Caída</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Concentrarse en la mecánica de la toma de contacto durante los saltos. • Realizar tomas de contacto en forma rígida. • Minimizar la flexión en rodillas y cadera. • "Congelarse" al tomar contacto con el suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rebotes y Skippings. • Hacer énfasis en tiempos de contactos cortos; la altura del salto no es importante. • Imaginar que las piernas son "resortes rígidos". • "Mantenerse sobre la punta de los pies". 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de salto fija. • Hacer énfasis en tiempos de contactos cortos y en cierto grado en la altura de salto. • Utilizar el CT como herramienta de retroalimentación. • Se puede incrementar la altura de las vallas cuando el valor del CT indica un SSC rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el tiempo de contacto y maximizar la altura de salto. • Indicar "saltar alto y rápido". • Utilizar el RSI como herramienta de retroalimentación. • Utilizar el RSI para optimizar la altura de caída y para monitorear el rendimiento.

Tabla 1. Progresión de 4 etapas para desarrollar el ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) rápido e introducir el tiempo de contacto (CT) y el índice de fuerza reactiva (RSI) como herramientas de retroalimentación.

Una vez que los jugadores han aprendido a realizar estos ejercicios pliométricos rápidos con tiempos de contacto cortos, se

pueden introducir los saltos con caída en donde el foco será tanto minimizar el tiempo de contacto como maximizar la altura de salto. En este caso, la variable utilizada para proveer la retroalimentación es el RSI, que también puede utilizarse como herramienta para optimizar el entrenamiento pliométrico o para monitorear el rendimiento de los atletas.

REFERENCIAS

1. Arampatzis A, Schade F, Walsh M, and Bruggemann GP (2001). Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyog Kinesiol* 11: 355-364
2. Bobbert MF, Huijing PA, and Van Ingen Schanau GJ (1987). Drop jumping I. the influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc* 19: 332-338
3. Bobbert MF, Huijing PA, and Van Ingen Schanau GJ (1987). Drop jumping II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc* 19: 339-346
4. Bobbert MF, Gerritsen KGM, Litjens MCA, and Van Soest AJV (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Med Sci Sports Exerc* 28: 1402-1412
5. Brooks GA, Fahey TD, White TP, and Baldwin KM (2000). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications. *Mountain View, CA: Mayfield Publishing*, pp 391-392
6. Carlock M, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Cirosan DA, Pierce KC, Newton RU, Harman EA, Sands WA, and Stone MH (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res* 18:534-539
7. Cavagna GA, Dusman B, and Margaria R (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 24:21-32
8. Comyns TM, Harrison AJ, Hennessy L, and Jensen RL (2007). Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomech* 6:59-70
9. Cronin JB and Hansen KT (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res* 19:349-357
10. Flanagan EP (2007). An examination of the slow and fast stretch shortening cycle in cross country skiers and runners. In: Proceedings of the XXV International Symposium of Biomechanics in Sports. H.-J. Menzel and M.H. Chagas, eds. *Ouro Preto, Brazil, 23-27 August. Department of Sports, Federal University of Minas Gerais, Brazil*, pp. 51-54
11. Flanagan EP and Harrison AJ (2007). Muscle dynamics differences between legs, in healthy adults. *J Strength Cond Res* 21: 67-72
12. Ishikawa M and Komi PV (2004). The effect of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch shortening cycle exercise. *J Appl Physiol* 96: 848-852
13. Komi PV (1986). The stretch-shortening cycle and human power output. In: Human Muscle Power. N. L. Jones, N. McCartney, and A. J. McComas. *Champaign, IL: Human Kinetics*, pp. 27-39
14. Komi PV (1992). Stretch-shortening cycle. In: Strength and Power in Sports. P.V. Komi. *Oxford: Blackwell*, pp. 169-179
15. Komi PV (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech* 33:1197-1206
16. Komi PV and Bosco C (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 10: 261-265
17. Kotzamandis C (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J Strength Cond Res* 20:441-445
18. Kyrolainen H, Komi PV, and Belli A (1999). Changes in muscle activity patterns and kinetics with increasing running speed. *J Strength Cond Res* 13: 400-406
19. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, and Fu FH (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* 25:130-137
20. Luebbbers PE, Pottteiger JA, Hulver MW, Thyfault JP, Carper MJ, and Lockwood RH (2003). Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *J Strength Cond Res* 17:704-709
21. McClymont D (2008). The use of the reactive strength index as an indicator of plyometric training conditions. In: Reilly T, Cabri J, and Araujo D, eds. *Science and Football V: The Proceedings of the Fifth World Congress on Sports Science and Football. Lisbon, Portugal, 11-15 April 2003. New York: Routledge*; pp. 408-416
22. Miller MG, Herniman JJ, Ricard MD, Cheatham CC, and Michael TJ (2006). The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *J Sports Sci Med* 5: 459-465
23. Potach DH and Chu DA (2000). Plyometric training. In: Essentials of Strength Training and Conditioning. R.W. Earle and T.R. Baechle. *Champaign, IL: Human Kinetics*, 27-470
24. Riemann B and Lephart S (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train* 37:71-79
25. Salmoni AW, Schmidt RA, and Walker CB (1984). Knowledge of results and motor learning: a review of critical reappraisal. *Psych Bull* 95:355-386
26. Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Peltola EM, Cunningham RB, Gore CJ, and Hawley JA (2006). Short-term plyometric training improved running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res* 20: 947-954
27. Sawyer DT, Ostarello JZ, Suess EA, and Dempsey M (2002). Relationship between football playing ability and selected performance measures. *J Strength Cond Res* 16:611-616
28. Schmidtbleicher D (1992). Training for power events. In: The Encyclopedia of Sports Medicine. Vol 3: Strength and Power in Sport. P.V Komi. *Oxford, UK: Blackwell*, pp. 169-179
29. Turner AM, Owings M, and Schwane JA (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training in highly

- trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res* 17: 60-67,
30. Van Ingen Schenau GJ, Bobbert MF, and De Hann A (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch shortening cycle?. *J Appl Biomech* 13: 389-415
 31. Walsh M, Arampatzis A, Schade F, and Bruggemann G-P (2004). The effect of drop jump starting height on contact time, work performed and moment of force. *J Strength Cond Res* 18; 561-566
 32. Walshe AD, Wilson GJ, and Ettema GJC (1998). Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *J Appl Physiol* 84: 97-106
 33. Wilson GJ, Wood GA, and Elliott BC (1991). Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J Appl Physiol* 70: 825-833
 34. Young W (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Stud Athlete* 10: 88-96
 35. Zatsiorsky VM and Kraemer WJ (2007). Science and Practice of Strength Training. *Champaign, IL: Human Kinetics, pp 28*

Cita Original

Eamonn P. Flanagan and Thomas M. Comyns. The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*; 30(5):32-38; 2008.