

Monograph

Potenciación Post-Activación y su Aplicabilidad Práctica: Una Breve Revisión

Daniel W Robbins¹

¹*School of Physical Education, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada V8V2Y2, Canadá.*

RESUMEN

Se ha sugerido que la potenciación post-activación (PAP) puede ser manipulada para mejorar las adaptaciones tanto en el rendimiento agudo como en el rendimiento crónico. La PAP hace referencia al fenómeno mediante el cual la producción aguda de tensión muscular es incrementada como resultado de la historia contráctil. Existe evidencia respecto de la existencia de la PAP. Sin embargo, la determinación de métodos para manipular y explotar la PAP continúa siendo difícil de conseguir. Los estudios realizados hasta la fecha parecen indicar que la aplicabilidad práctica de la PAP en términos de mejora del rendimiento deportivo es limitada.

Palabras Clave: potenciación post-activación, entrenamiento complejo, rendimiento, neuromuscular, contráctil

INTRODUCCION

La respuesta contráctil del músculo esquelético es parcialmente determinada por su historia contráctil. La estimulación contráctil repetida resulta en una atenuación del rendimiento debido a la fatiga. Sin embargo, al mismo tiempo en que se instala la fatiga, se induce la potenciación post-activación (PAP) (21, 27). El PAP hace referencia al fenómeno mediante el cual la producción aguda de tensión muscular es incrementada como resultado de la historia contráctil del músculo y es la premisa sobre la cual se basa el "entrenamiento complejo". Se ha postulado que es posible mejorar el rendimiento en movimientos explosivos si estos son precedidos por ejercicios de sobrecarga de alta intensidad (3, 4, 10, 12, 13, 25, 29, 30). Por ejemplo, la ejecución de una serie de sentadillas de alta intensidad previamente a la realización de saltos verticales u horizontales mejora el rendimiento en los saltos. La sobrecarga del sistema neuromuscular provoca un estado de "excitación" o "sensibilidad" en el cual se observa una mejora del rendimiento (13).

La actividad contráctil provoca tanto la fatiga como la PAP, y es el equilibrio entre estos dos factores lo que determina si la respuesta contráctil subsiguiente se verá incrementada, reducida o permanecerá sin cambios (21). El estado post-estímulo depende de la cronología de la PAP y la fatiga. Tanto el PAP como la fatiga pueden incrementarse inmediatamente después de la actividad contráctil y retornar gradualmente al nivel pre-estímulo (27). El tiempo óptimo de recuperación o ventana es dependiente de la tasa de decaimiento de la PAP y de disipación de la fatiga. Esto es, la coexistencia de la fatiga y el PAP puede resultar en un estado potenciado neto, un estado atenuado neto o en un estado constante en comparación con el estado pre-estímulo. En la presente revisión cada vez que se discuta sobre la PAP, la definición operacional del mismo será una respuesta de potenciación neta. La PAP y sus mecanismos han sido examinados en diversos estudios. Si bien hay consenso respecto de la existencia de la PAP, los mecanismos subyacentes no han sido todavía determinados.

Esta revisión proveerá evidencias de la existencia de la PAP (a través de una revisión resumida de la literatura existente) y discutirá la escasez de información respecto de la PAP y la mejora del rendimiento. El principal propósito de este artículo será discutir en forma crítica la aplicabilidad práctica de la PAP y, en particular, aumentar el interés en determinar cuales son los métodos para explotarla de mejor manera. No es la intención, con esta revisión, detractar de cualquier forma la importancia de los estudios llevados a cabo sobre la PAP a nivel fisiológico. Es necesario poseer un claro entendimiento de la PAP y de sus mecanismos para poder sacar el mayor provecho posible de este fenómeno. Sin embargo, para los fisiólogos del ejercicio el objetivo final es mejorar el rendimiento deportivo; y, asumiendo la existencia de la PAP, parecería ser nuestra obligación determinar si es posible y como es posible manipular este fenómeno para alcanzar este objetivo.

EVIDENCIA DE LA PAP

La evidencia que respalda la existencia de la PAP ha sido proporcionada con diversos diseños de investigación. Metzger et al. (22) llevaron a cabo un estudio en el cual examinaron fibras musculoesqueléticas de mamíferos. Estos investigadores observaron potenciación de la contracción en las fibras y concluyeron que la potenciación fue resultado del incremento en la fosforilación de las cadenas livianas de miosina. Diversos estudios también han examinado las propiedades contráctiles de los músculos en condiciones *in vivo* y han descrito consistentemente incrementos en la tensión producida durante la contracción, en la tasa de desarrollo de tensión y una reducción en el tiempo de relajación post estímulo (2, 14, 15, 23, 24). Estos estudios midieron la PAP como la diferencia pre- y post-estímulo, en las características de contracción eléctricamente evocada.

A diferencia de los experimentos con fibras musculares y de los estudios *in vivo* descritos previamente, en los cuales se examinaron las propiedades contráctiles, diversos estudios han exitosamente conseguido provocar la PAP en forma de mejora del rendimiento deportivo. Güllich y Schmidtbleicher (13) provocaron la sobrecarga del sistema neuromuscular de los participantes utilizando 3-5 contracciones voluntarias máximas (MVIC) en forma de press de pierna unilateral. Luego de esta sobrecarga del sistema neuromuscular, los sujetos realizaron saltos con contramovimiento (CMJ) y saltos con caída (DJ) sobre una plataforma dinamométrica Kistler. Se calculó la media de 8 saltos para tres series de saltos pre- y post-sobrecarga. Los investigadores hallaron que los participantes saltaron un 3.3% más luego de realizar 3 MVIC independientes en comparación con la serie de saltos previa a la sobrecarga. Estos resultados representaron una mejora media en la altura del salto vertical significativa ($p < 0.001$). Los investigadores también provocaron la PAP en los miembros superiores, utilizando MVIC en el ejercicio de press de banca como estímulo de sobrecarga y lanzamientos desde posición de press de banca como prueba de rendimiento. Desafortunadamente, el diseño experimental utilizado en este estudio no es del todo claro.

Radcliffe y Radcliffe (25) llevaron a cabo un estudio en el cual se realizaron 5 protocolos de entrada en calor: una entrada en calor estándar, entrada en calor más 4 series de sentadillas al 75-85% de 4 repeticiones máximas (4RM), entrada en calor más 4 series de 4 arranques de potencia al 75-85% de 4RM, entrada en calor más 4 series de 4 saltos con carga con el 15-20% del peso corporal, y entrada en calor más 4 series de 4 saltos sin carga. Estos protocolos de entrada en calor fueron realizados a razón de uno por día, en días no consecutivos y en orden aleatorio. Luego de cada protocolo de entrada en calor, los sujetos realizaron 3 CMJ horizontales máximos. Los resultados indicaron que la distancia en el salto en largo fue mayor luego de que los sujetos realizaran en protocolo de entrada en calor más los arranques de potencia en comparación con el protocolo de entrada en calor estándar. Los investigadores concluyeron que la utilización de arranques de potencia en la entrada en calor mejoraba significativamente el rendimiento en saltos horizontales con contramovimiento. De este estudio solo está disponible el resumen por lo cual se carece de información respecto del diseño experimental y de la metodología utilizada.

Young et al. (30) hallaron una mejora significativa (2.8%) en la altura del salto vertical en una serie de saltos post-sobrecarga en comparación con la serie efectuada pre-sobrecarga. En esta investigación los sujetos realizaron 5 saltos con contramovimiento con carga (LCMJ) antes de realizar 5RM de media sentadillas. Otra serie de LCMJ se realizó 4 min post-carga. La altura del salto vertical alcanzada en la serie de saltos realizados luego de las 5RM de media sentadilla fue estadísticamente mayor que la alcanzada en la serie de saltos precedente a las 5RM de media sentadilla ($p < 0.05$). Sin embargo, se debería señalar que el diseño experimental consistió de 2 series de LCMJ realizados antes de la carga. Por lo tanto, pudieron haber resultado posibles efectos acumulativos sobre la fatiga o la PAP resultantes del orden de las pruebas. Esto es, más que atribuir el incremento en el rendimiento solo a las 5RM de media sentadilla, quizás pueda atribuirse a las 5RM en combinación con las series de LCMJ.

Más recientemente, se ha observado la PAP reflejada en la mejora del rendimiento tanto de los miembros superiores como inferiores. Por ejemplo, se ha observado una mejora del 2.39%, pre- versus post-estímulo, en la altura del salto vertical (12). Los investigadores hicieron que los participantes realizaran 5 series de media sentadilla de 2 repeticiones cada una

con el 20, 40, 60, 80 y 90% de 1RM. Los investigadores también hallaron que los participantes con una mayor fuerza máxima experimentaban mayores incrementos en el salto vertical. Baker (3) investigó la PAP en los miembros superiores y halló un incremento del 4.5% en la producción de potencia luego de que los sujetos ejecutaran 6RM en press de banca con el 65% de 1RM. La producción de potencia fue medida mientras se realizaban lanzamientos desde la posición de press de banca con una carga de 50 kg. El diseño experimental fue similar al utilizado por Young et al. (30), y por lo tanto el efecto potencial del orden pudo haber desempeñado un papel importante en la mejora del rendimiento. Chiu et al. (4) compararon el rendimiento en saltos explosivos antes y después de la realización de 5 series de 1 repetición de sentadillas al 90% de 1RM. Aunque inicialmente no hallaron una mejora significativa en el rendimiento, cuando los sujetos fueron divididos en dos grupos, entrenados en potencia y recreacionalmente activos, y fueron comparados, se hallaron diferencias significativas. Sin embargo, fue la diferencia en el porcentaje de potenciación lo que fue comparado en lugar del cambio en el rendimiento durante los saltos. French et al. (10) valoraron diversos ejercicios dinámicos luego de una secuencia de 3 repeticiones de 3 segundos o 3 repeticiones de 5 segundos de MVIC de extensiones de rodillas. Estos investigadores hallaron incrementos significativos en la altura de salto, en la fuerza máxima y en el impulso de aceleración durante la realización de saltos con caída e incrementos significativos en el torque máximo durante la extensión de rodillas luego del protocolo 3 x 3.

Los estudios que intentaron provocar la PAP medida como el rendimiento en una actividad post-estímulo son mucho menos claros que aquellos que han examinado las propiedades contráctiles durante la contracción. Gossen y Sale (11) llevaron a cabo un estudio en el cual una MVIC de 10 segundos fue seguida de contracciones dinámicas realizadas 15 segundos después. Posteriormente al estímulo el rendimiento, medido mediante extensiones dinámicas de rodilla, no mejoró sino que empeoró. Los investigadores concluyeron que el intervalo de recuperación de 15 segundos entre el ejercicio de sobrecarga y la medición del rendimiento fue insuficiente. Esto es, a los 15 segundos post-estímulo los efectos de la fatiga provocada por la MVIC de 10 segundos fueron mayores que los beneficios de la PAP que pudiera haber sido provocada. Ebben et al. (9) examinaron los efectos de una serie de press de banca de alta intensidad sobre el rendimiento subsiguiente en lanzamientos de potencia con balón medicinal. Estos investigadores no hallaron una mejora significativa en la fuerza máxima de reacción, o en los valores de la electromiografía integrada para los músculos pectoral mayor y tríceps. Los investigadores concluyeron que el acoplamiento de ejercicios biomecánicamente similares en un tipo de "entrenamiento complejo" no ofrece ventajas o desventajas para el entrenamiento. Además sugirieron que la ausencia de una atenuación del rendimiento respalda el postulado de que el entrenamiento complejo puede ser ventajoso en términos de eficiencia y organización, en que permite que se realicen entrenamientos con sobrecarga y entrenamientos pliométricos en la misma sesión.

Hrysmallis y Kidgell (16) llevaron a cabo un estudio en el cual se valoró la PAP de los miembros superiores. El rendimiento, medido mediante la ejecución de extensiones de brazos explosivas, no se vio mejorado como resultado de la realización de 5RM en press de banca. Los autores sugirieron que la ausencia de la PAP podría deberse a varias razones, incluyendo la suposición de que los requerimientos que provocan la PAP en los miembros superiores pueden ser diferentes a los requeridos para provocar la PAP en los miembros inferiores. Jansen y Ebben (17) investigaron los efectos de la realización de 5RM en sentadillas sobre el rendimiento en CMJ ejecutados luego de diferentes períodos de recuperación post-estímulo. Estos investigadores no hallaron ninguna ventaja ergogénica asociada con el entrenamiento complejo y sugirieron que se produce una reducción en el rendimiento inmediatamente post-estímulo, sin que se observe una diferencia significativa en los saltos realizados 1-4 minutos post-estímulo con respecto a los saltos realizados inmediatamente post-estímulo. Kosch et al. (19) compararon los efectos de 3 diferentes rutinas de entrada en calor sobre el rendimiento en salto en largo (SBJ) y no hallaron diferencias significativas entre las rutinas. Las rutinas comparadas fueron, sentadilla con cargas altas y bajas repeticiones; sentadillas de potencia y pocas repeticiones, y estiramientos. Estos hallazgos no respaldan la sugerencia de que el estímulo deber ser impuesto rápidamente y a una intensidad relativamente baja para aliviar cualquier atenuación de tipo neural causada por la baja velocidad de ejecución. Esto es, este estudio no respalda la sugerencia de que los estudios han fracasado en provocar mejoras en el rendimiento debido a que utilizaron un estímulo diferente a una contracción de alta velocidad.

Un estudio llevado a cabo por Duthie et al. (6) también falló en demostrar mejoras en el rendimiento. En este estudio se intentó examinar el rendimiento de potencia durante la ejecución de saltos desde media sentadilla con carga en 3 pruebas consecutivas y utilizando 3 diferentes protocolos. Los 3 protocolos implicaron la combinación de 3 series de 3RM de media sentadilla con 3 series de 4 saltos desde media sentadilla realizados al 30% de 1RM. Con uno de los protocolos se intentó sacar ventaja de la PAP mediante la realización de 3 series de entrenamiento complejo (denominado en este estudio como "entrenamiento de contrastes"). Sin embargo, con ninguno de los protocolos utilizados se observó una mejora en el rendimiento en alguna de las 3 series de 4 saltos desde media sentadilla. Si bien no se detectó una mejora del rendimiento, con el protocolo de entrenamiento complejo se halló una correlación entre la fuerza absoluta y el rendimiento. Específicamente, la fuerza absoluta tuvo una correlación con el pico de potencia y con la fuerza máxima de $r=0.66$ y $r=0.76$, respectivamente. Por lo tanto, el 43.56% de la variabilidad en el pico de potencia y el 57.76% de la variabilidad en la fuerza máxima son directamente predecibles a partir de la variabilidad en la potencia absoluta. Esto deja sin explicar aproximadamente la mitad de la variabilidad, tanto en el pico de potencia como en la fuerza máxima. Es importante señalar

que esta correlación representa una relación más que una causa y efecto. Los sujetos más fuertes, aunque no exhibieron una mejora en el rendimiento, si mostraron una menor reducción en las mediciones luego del ejercicio de sobrecarga (en comparación con los valores medidos previamente al ejercicio de sobrecarga) que los sujetos menos fuertes. Esta sugerencia es respaldada por hallazgos similares de Young et al. (30). La correlación indicó que los sujetos con mayor fuerza absoluta tenían una mayor capacidad para beneficiarse de la modalidad de entrenamiento en la cual los ejercicios de sobrecarga eran seguidos por ejercicios de potencia en forma alternada.

Tres estudios llevados a cabo en la Universidad de Victoria también fallaron en provocar mejoras en el rendimiento luego de la realización de ejercicios de sobrecarga. Scott y Docherty (28) no observaron mejoras en la altura media o máxima del salto vertical ni en la distancia media o máxima del salto horizontal luego de la realización de 5RM de sentadillas. Sin embargo, algunos sujetos de hecho mejoraron su rendimiento post-estímulo, mientras que otros mostraron reducciones en el rendimiento. Esto respalda el postulado de que la PAP es un fenómeno individual y específico. King (18) no halló mejoras en el rendimiento del salto vertical luego de la realización de MVIC de 2.5, 5 o 10 segundos en posición de sentadilla. Este investigador postuló que las contracciones de 10 y 5 segundos pudieron haber provocado una fatiga suficiente que haya excedido cualquier PAP. Con respecto a todas las duraciones de contracción, diversas variables específicas tales como el nivel de entrenamiento y la composición de los tipos de fibras pueden haber sido responsables de la falta de mejora en la medición de rendimiento. Un tercer estudio llevado a cabo en la Universidad de Victoria investigó la PAP en tres series consecutivas y no halló mejoras significativas en el rendimiento (26). En un intento por replicar una sesión característica de entrenamiento complejo, se realizó una MVIC de 7 segundos en posición de sentadilla seguida de series de 5 CMJ. Este par complejo fue llevado a cabo en tres pruebas, y se midieron 6 variables dependientes para las 3 series de CMJ.

La evidencia de la existencia de la PAP con respecto a las propiedades contráctiles es abundante. También existe evidencia de la PAP en mediciones más prácticas del rendimiento. Sin embargo, la evidencia de la PAP en mediciones del rendimiento ha sido un tanto confusa debido a los estudios que han fallado en observar mejoras en el rendimiento post-estímulo. No obstante, si bien la evidencia es escasa y algo confusa, si existe evidencia de la existencia de la PAP con respecto tanto a las propiedades contráctiles como respecto de las mediciones de rendimiento.

APLICACIONES DE LA PAP

Presumiendo que si existe el fenómeno de PAP, los fisiólogos del ejercicio deben determinar si, y como, puede vincularse este fenómeno con la mejora del rendimiento deportivo. Se ha hipotetizado que la PAP puede explotarse para alcanzar una mejora a corto plazo en el rendimiento de potencia o para provocar una adaptación crónica a través del entrenamiento y de esta manera mejorar el rendimiento (6, 13, 30).

Mejora de la Potencia a Corto Plazo

Se ha sugerido que la ejecución de contracciones de alta intensidad previas a la realización de una actividad deportiva puede mejorar el rendimiento durante la actividad (3, 12, 13, 25, 30). Esto es, la PAP puede ser explotada durante la entrada en calor para mejorar el rendimiento subsiguiente. Güllich y Schmidbleicher (13) reportaron que en 1995 un equipo de *bobsléd* utilizaba contracciones voluntarias máximas (MVC) antes de la competencia para provocar la PAP y este equipo ganó el campeonato mundial. Sin embargo, este no fue un estudio controlado y por lo tanto pudo haber un sinnúmero de variables o combinaciones que pudieron ser responsables de que el equipo ganara el campeonato mundial. Quizás la PAP contribuyó a su rendimiento. Sin embargo, parece algo problemático concluir que las MVC realizadas antes de la competencia contribuyeron de manera positiva al rendimiento del equipo. Esto no es decir que la ejecución de contracciones de alta intensidad previas a la competencia no puede mejorar el rendimiento sino que se necesitan investigaciones adicionales antes de extraer cualquier conclusión definitiva.

Se deben realizar diversas consideraciones antes de intentar manipular la historia contráctil con el propósito de mejorar el rendimiento deportivo a través de la PAP. Las variables de entrenamiento que requieren ser consideradas incluyen el tipo de contracción (e.g., isométrica, concéntrica-excéntrica, etc.), la intensidad, el volumen (e.g., repeticiones, series, cadencia, tiempo de tensión), pausa/s entre las múltiples series posibles, pausa entre los pares complejos, y las diversas respuestas posibles de los diferentes grupos musculares. Young et al. (30) y Duthie et al. (6) han sugerido que existe una relación entre la fuerza y la PAP, específicamente sugirieron que los deportistas más fuertes y mejor entrenados pueden estar mejor equipados para beneficiarse de la PAP. Güllich y Schmidbleicher (13) concluyeron que la temporalidad de la PAP varía en gran proporción entre los individuos. Este postulado sugiere una alta variabilidad interindividual respecto de la PAP y adiciona otro factor de confusión a cualquier intento de manipular la historia contráctil con el propósito de mejorar el rendimiento. Asumiendo que haya una gran variabilidad interindividual entonces se deberían considerar una multitud de variables categóricas. Estas incluyen el nivel de entrenamiento, el tiempo de entrenamiento, la edad

cronológica, la genética (e.g., composición de los diferentes tipos de fibras), la antropometría, el sexo, la fuerza relativa y la fuerza absoluta. Se requieren de investigaciones adicionales antes de realizar cualquier conclusión respecto de la eficacia de explotar la PAP durante una entrada en calor diseñada para mejorar el rendimiento.

Adaptación Crónica

Se ha sugerido que la PAP puede ser manipulada en el entrenamiento para producir una mayor adaptación crónica (6, 13, 30). La manipulación de la PAP dentro del protocolo de entrenamiento a menudo se denomina entrenamiento complejo. El entrenamiento complejo combina el entrenamiento tradicional con sobrecarga con el entrenamiento pliométrico en un intento de transferir las ganancias de fuerza a la potencia (5). El entrenamiento complejo utiliza ejercicios biomecánicamente comparables en forma conjunta (8). Comúnmente, se combina un ejercicio de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen con un ejercicio pliométrico para el mismo grupo muscular, y este apareamiento de ejercicios se denomina par complejo (5). Por ejemplo, a la realización de sentadillas por detrás puede seguirle la realización de saltos con caída para intentar de esta manera desarrollar la potencia de los miembros inferiores. Se han utilizado e investigado diversas combinaciones de ejercicios de sobrecarga y ejercicios pliométricos. En una revisión realizada por Ebben (7) se concluyó que el entrenamiento complejo (combinación de un ejercicio de sobrecarga de alta intensidad con un ejercicio pliométrico biomecánicamente similar) era tan efectivo, y posiblemente superior a otras combinaciones de ejercicios de sobrecarga y ejercicios pliométricos. El entrenamiento pliométrico es realizado a la máxima velocidad para entrenar al atleta para que compita a una mayor velocidad (5). La potencia es importante para el rendimiento en la mayoría de los deportes, y se ha sugerido que el entrenamiento complejo puede ser significativo para su desarrollo.

El fenómeno de la PAP es la base del entrenamiento complejo, aunque también pueden estar involucrados otros mecanismos que medien la mejora del rendimiento a través del entrenamiento complejo. El entrenamiento complejo intenta capitalizar la PAP resultante del entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad. La fase pliométrica, que se realiza luego de la serie con carga alta, es ejecutada mientras el sistema se encuentra en “estado excitado”. De esta manera se mejora el rendimiento de potencia y el entrenamiento puede ser llevado a cabo a un mayor nivel. Aunque sin investigar directamente la PAP, diversos estudios han proporcionado evidencia científica que respalda la superioridad del entrenamiento complejo como método para entrenar y desarrollar la potencia (1, 29), concluyendo que es una forma ventajosa para desarrollar la potencia y mejorar el rendimiento deportivo. Los estudios llevados por Verkhoshansky y Tatyán (29) y Adams et al. (1) concluyeron que el entrenamiento complejo era superior para desarrollar la potencia que el entrenamiento de sobrecarga o el entrenamiento pliométrico por si solos. En un segundo estudio, Verkhoshansky y Tatyán (29) concluyeron que el entrenamiento complejo era superior al entrenamiento de sobrecarga, pero menos efectivo que el entrenamiento solo con saltos con caída para desarrollar la potencia en el salto vertical. Estos 3 estudios respaldan la hipótesis de que el entrenamiento complejo es una forma ventajosa para desarrollar la potencia.

Lyttle et al. (20) también sugirió que el entrenamiento complejo era superior al entrenamiento de sobrecarga o al entrenamiento pliométrico por si solo como herramienta para desarrollar la potencia. Lyttle et al. (20) compararon los efectos sobre el rendimiento del entrenamiento complejo y del entrenamiento de la potencia máxima asumiendo que ambas modalidades eran superiores al entrenamiento de sobrecarga o al entrenamiento pliométrico respecto del desarrollo de la potencia. Aunque se determinó que no hubo diferencias significativas entre los 2 programas, esto no es en si mismo una conclusión desfavorable respecto del entrenamiento complejo. De hecho, sugiere que el entrenamiento complejo es tan efectivo como el entrenamiento dinámico para desarrollar la potencia. Se debería señalar que el término “entrenamiento complejo” ha sido utilizado para describir diversas combinaciones de ejercicios de sobrecarga y ejercicios pliométricos y solo se podría considerar que la PAP pudo haber mejorado el rendimiento si la actividad fue realizada post-estímulo en la misma “serie compleja”.

La literatura indica que el entrenamiento complejo es tan efectivo, si no es más efectivo que otros protocolos de entrenamiento, con respecto del desarrollo de la potencia. Una posible explicación para esto podría ser la exitosa manipulación de la PAP, lo cual permitiría que el atleta entrene a un mayor nivel y consecuentemente obtenga mejoras superiores. Sin embargo, es importante señalar que estos estudios relativos al entrenamiento complejo no examinaron de forma directa el fenómeno de PAP. Por lo tanto, es imposible extraer cualquier conclusión respecto de la PAP en estos estudios. En varios estudios se ha provisto evidencia de la existencia de la PAP medida en pruebas de rendimiento. Si bien hay consenso respecto de la existencia del fenómeno de PAP, todavía quedan cuestiones por resolver acerca de la mejor forma de provocarlo y de cual es la mejor forma de capitalizarlo. En particular, los protocolos para provocar PAP y explotarla para mejorar el rendimiento deportivo son difíciles de hallar, y por lo tanto, se le debería dar especial importancia a este fenómeno.

CONCLUSION

En el presente artículo se ha realizado un intento no solo por proveer evidencia de la existencia de la PAP sino también por presentar algunos de los factores que deben ser considerados cuando se intenta manipular la PAP con la intención de mejorar el rendimiento deportivo. Hay abundante literatura respecto de la comparación entre las propiedades contráctiles post-estímulo y pre-estímulo. Asimismo un número mayor de estudios ha examinado los mecanismos por el cual se produce el fenómeno de PAP. Sin embargo, la literatura respecto de la manipulación de las variables de entrenamiento para la provocación y la explotación de la PAP expresada como la mejora en el rendimiento deportivo es escasa. El postulado que plantea que la PAP tiene asociada una alta variabilidad interindividual dificulta la determinación de los parámetros de las variables de entrenamiento. De esta manera, el problema que surge es la identificación de los parámetros específicos para cada variable de entrenamiento para un deportista individual o para un grupo homogéneo de deportistas. Para determinar los valores óptimos para las 6 variables de entrenamiento discutidas previamente, los deportistas deberían ser primero agrupados de acuerdo a las 8 variables categóricas discutidas previamente. Luego de esto, se deberían realizar una serie de experimentos para determinar si la PAP puede ser explotada con el propósito de mejorar el rendimiento. Esto es, una vez que el atleta ha sido categorizado, se deben establecer los valores óptimos para el tipo de contracción, la intensidad, el volumen y la/s pausa/s, a través de una serie de experimentos de prueba y error. Es posible que sea necesario repetir este proceso para los diferentes grupos musculares y las diferentes actividades deportivas. De esta manera se pueden establecer los parámetros para cada grupo homogéneo de individuos, permitiendo así la mejora aguda del rendimiento deportivo. Esto es asumiendo que la PAP puede ser provocada en todas las actividades deportivas. Es posible que ciertos individuos o grupos de individuos no respondan. Se ha sugerido que los sujetos más fuertes están mejor predispuestos para responder a este tipo de entrenamiento (6, 12, 13, 30), y por lo tanto podría ser recomendable la prescripción de ejercicios para el entrenamiento de la fuerza antes de prescribir ejercicios para el entrenamiento complejo.

Asumiendo que la historia contráctil pueda ser manipulada para mejorar el rendimiento, entonces surge la cuestión de la factibilidad. Sería una tarea considerable determinar los parámetros de las variables de entrenamiento para los incontables perfiles deportivos. Si se asume que se pueden determinar las variables de entrenamiento conjuntamente con las variables categóricas, entonces surgirían otras innumerables implicaciones. Por ejemplo, si se determina que un única MVIC de 5 segundos realizada en posición de sentadilla es el estímulo óptimo para mejorar el rendimiento en el salto en alto, los posibles problemas de practicidad podrían incluir (a) la variabilidad del equipamiento para realizar MVIC en el sitio de competencia, (b) la coordinación del desarrollo temporal de la PAP/fatiga con el desarrollo temporal de la competencia y (c) los efectos acumulativos que pudieran provocar los saltos subsiguientes. También podría surgir el problema de la transferencia. Esto es, mientras que la MVIC, como la mencionada en el ejemplo previo, puede actuar para mejorar el rendimiento en el salto en alto, podría no mejorar el rendimiento en actividades tales como la carrera de 100 m o el rugby. Nuevamente, sería necesario llevar a cabo una serie de experimentos de prueba y error para determinar la posible aplicabilidad de la PAP en las diferentes actividades deportivas.

El concepto de manipulación de la PAP en una modalidad de entrenamiento, tal como el entrenamiento complejo, requiere de mayor investigación científica. La mayoría de los estudios han comparado el entrenamiento complejo con otras modalidades de entrenamiento, pero no han examinado específicamente el fenómeno de la PAP. Dos estudios han investigado el fenómeno de la PAP a través de múltiples series (6, 26). Sin embargo, en estos estudios se investigó la respuesta aguda y por lo tanto sus resultados no pueden extrapolarse a la adaptación crónica resultante de la PAP. Si se pudieran determinar los parámetros de las variables de entrenamiento para un determinado perfil deportivo, estos quizás podrían ser aplicados a las múltiples series realizadas a lo largo de un macrociclo de entrenamiento. Esta modalidad de entrenamiento (entrenamiento complejo) podría compararse con otras modalidades de entrenamiento que tienen el propósito de desarrollar la potencia y de esta manera podrían extraerse algunas conclusiones referentes a la eficacia de la PAP en relación a las adaptaciones crónicas. Sin embargo, es posible que los parámetros óptimos determinados para mejorar el rendimiento agudo (asumiendo su existencia) no puedan ser aplicados a la realización de series múltiples. También es posible no pueda provocarse un estado de potenciación neta en series consecutivas. Por lo tanto, nuevamente habría que realizar una serie de pruebas para determinar si y como el entrenamiento complejo es superior a otros modos de entrenamiento en términos del desarrollo de la potencia.

Asumiendo que se pudiera explotar la PAP de manera tal que permitiera que la modalidad de entrenamiento complejo resultara en mayores incrementos en la potencia en comparación con otras modalidades similares de entrenamiento, entonces surgirían otros obstáculos. Por ejemplo, si se determinara que para desarrollar óptimamente la potencia de los miembros inferiores en una actividad deportiva dada se deberían realizar 4 series de un par complejo con pausas de 5 minutos entre los ejercicios del par y entre cada par, entonces la eficiencia podría ser una complicación. Los atletas y entrenadores pueden no estar dispuestos a utilizar 40 minutos aproximadamente para realizar solo 4 series de entrenamiento complejo.

Aplicaciones Prácticas

El propósito de esta revisión no ha sido proveer evidencia acerca del fenómeno de la PAP, sino más bien, asumiendo la existencia de este fenómeno, el propósito fue examinar la aplicabilidad práctica de la PAP con respecto a la mejora del rendimiento deportivo. En el presente artículo se ha discutido la hipótesis de que las contracciones alta intensidad realizadas antes de una única actividad (e.g., carrera de 100 metros llanos) pueden mejorar el rendimiento en dicha actividad. Los resultados encontrados en la literatura publicada respecto de la mejora del rendimiento agudo son controversiales, y la tarea de determinar los posibles parámetros que permiten una mejora consistente del rendimiento es desalentadora. La hipótesis de que la ejecución de contracciones de alta intensidad previamente a la realización de una actividad prolongada (e.g., un juego de rugby) mejora el rendimiento no ha sido examinada en la literatura, y por lo tanto, cualquier conclusión carece de respaldo científico. Con respecto a la adaptación crónica, cierta evidencia sugiere que el entrenamiento complejo es al menos tan beneficioso como otros métodos de entrenamiento diseñados para desarrollar la potencia. Sin embargo, como se discutiera previamente, es imposible especular acerca de la significancia de la PAP en estos estudios. En la actualidad, el cuerpo de conocimientos existente parece sugerir que la aplicabilidad práctica de la PAP con respecto a la mejora del rendimiento deportivo es limitada.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Daniel Robbins, correo electrónico: sakuradevelopments@shaw.ca

REFERENCIAS

1. Adams, K., J. O'Shea, K. O'Shea, and M. Climstein (1992). The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 6:(1) 36-41
2. Alway, S.E., H.J. Hughson, H.J. Green, A.E. Patla, and J.S. Frank (1987). Twitch potentiation after fatiguing exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56:461-466
3. Baker, D (2003). Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *J. Strength Cond. Res.* 17:493-497
4. Chiu, L.Z.F., A.C. Fry, L.W. Weiss, B.K. Schilling, L.E. Brown, and S.L. Smith (2003). Postactivation potentiation responses in athletic and recreationally trained individuals. *J. Strength Cond. Res.* 17:671-677
5. Chu, D (1996). Explosive Power and Strength: Complex Training for Maximal Results. *Champaign, IL: Human Kinetics*
6. Duthie, G.M., W.B. Young, and D.A. Aitken (2002). The acute effects of heavy loads on jump squat performance: An evaluation of the complex and contrast methods of power development. *J. Strength Cond. Res.* 16:530-538
7. Ebben, W.P (2002). Complex training: A brief review. *J. Sports Sci. Med.* 1:42-46
8. Ebben, W.P., and P.B. Watts (1998). A review of combined weight training and plyometric training modes: Complex training. *Strength Cond. J.* 20:(5) 18-27
9. Ebben, W.P., P.B. Watts, R.L. Jensen, and D.O. Blackard (2000). EMG and kinetic analysis of complex training exercise variables. *J. Strength Cond. Res.* 14:451-456
10. French, D.N., W.J. Kraemer, and C.B. Cooke (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *J. Strength Cond. Res.* 17:678-685
11. Gossen, E.R., and D.G. Sale (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83:524-530
12. Gourgoulis, V., N. Aggeloussis, P. Kasimatis, G. Mavromatis, and A. Garas (2003). Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.* 17:342-344
13. Hamada, T., D.G. Sale, and J.D. Macdougall (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:(3) 403-411
14. Hamada, T., D.G. Sale, J.D. Macdougall, and M.A. Tarnopolsky (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* 88:(6) 2131-2144
15. Hrysmallis, C., and D. Kidgell (2001). Effect of heavy dynamic resistive exercise on acute upper-body power. *J. Strength Cond. Res.* 15:426-430
16. Jensen, R.L., and W.P. Ebben (2003). Analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 17:345-349
17. King, A (2003). The effect of various durations of maximal voluntary isometric contractions on subsequent power performance. *Master is thesis, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada*
18. Koch, A.J., H.S. O'Bryant, M.E. Stone, K. Sanborn, C. Proulx, J. Hruba, E. Shannonhouse, R. Boros, and M.H. Stone (2003). Effect of warm-up on the standing broad jump in trained and untrained men and women. *J. Strength Cond. Res.* 17:710-714
19. Lyttle, A., G. Wilson, and K. Ostrowski (1996). Enhancing performance: Maximal power versus combined weights and plyometric training. *J. Strength Cond. Res.* 10:173-179
20. MacIntosh, B.R., and D.E. Rassier. D.E (2002). What is fatigue. *Can. J Appl. Physiol.* 27:(1) 42-55
21. Metzger, J.M., M.L. Greaser, and R.L. Moss (1989). Variations in crossbridge attachment rate and tension with phosphorylation of

- myosin in mammalian skinned skeletal muscle. *J. Gen. Physiol.* 93:855-883
22. Paasuke, M., J. Ereline, and H. Gapeyeva (2000). Changes in twitch contractile characteristics of plantarflexor muscles during repeated fatiguing submaximal static contractions. *Biol. Sport.* 17:(3) 169-177
 23. Petrella, R.J., D.A. Cunningham, A.A. Vandervoort, and D.H. Paterson (1989). Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius in young and elderly men. *Euro. J. Appl. Physiol.* 58:395-399
 24. Radcliffe, J.C., and J.L. Radcliffe (1996). Effects of different warm-up protocols on peak power output during a single response jump task [Abstract]. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:S189
 25. Robbins, D.W (1994). The effect of loading on the enhancement of counter movement jumps over three consecutive trials. *J. Strength Cond. Res. (in press)*
 26. Sale, D.G (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 30:(3) 138-143
 27. Scott, S., and D. Docherty (2004). Acute effects of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 18:201-205
 28. Verkhoshansky, Y., and V. Tatyana (1973). Speed-strength preparation of future champions. *Legkaya Atleika.* 2:12-13
 29. Young, W.B., A. Jenner, and K. Griffiths (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.* 12:82-84

Cita Original

Robbins D. W. Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. *J. Strength Cond. Res.* 19(2):453-458. 2005