Monograph

Comparación de Estrategias de Recuperación Activa y por Electroestimulación Después de la Realización de un Ejercicio Fatigante

Marc Vanderthommen, Souleyma Makrof y Christophe Demoulin

Department of Motricity Sciences, Liege University, 4000 Liege, Belgium.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue comparar una estrategia de recuperación por electroestimulación con una estrategia de recuperación activa después de la realización de ejercicios isométricos submáximos fatigantes. Diecinueve hombres saludables completaron tres sesiones (separadas por al menos 4 semanas) que incluyeron un ejercicio para la provocación de fatiga en los extensores de la rodilla que consistió de 3 series de 25 contracciones isométricas. El nivel de intensidad de las contracciones se fijó respectivamente en el 60%, 55% y 50% de una contracción voluntaria máxima determinada con anterioridad para la primera, segunda y tercera series. A este ejercicio de provocación de fatiga le siguió una recuperación activa (AR) (25 min de pedaleo en cicloergómetro), una recuperación por electroestimulación (ESR) (25-min de estimulación continua no tetánica (5 Hz) de los cuadriceps) o una recuperación estrictamente pasiva (PR). La evaluación del torque pico de los extensores de la rodilla y la percepción subjetiva del dolor muscular (VAS, 0-10) se llevó a cabo ante (pre-ejercicio), inmediatamente después del ejercicio de provocación de fatiga (post-ejercicio), después del período de recuperación (post-recuperación), y también 75 minutos (1h15) y un día (24h) después de la serie de ejercicios. El transcurso de tiempo del torque pico fue similar entre los diferentes modos de recuperación: ~ 75% de los valores iniciales en el post-ejercicio, ~ 90% en la post-recuperación y a 1h15 en 24h, el torque pico alcanzó un nivel cercano a los valores iniciales (PR: 99.1 ± 10.7%, AR: 105.3 ± 12.2%, ESR: 104.4 ± 10.5%). Los resultados del dolor muscular de LA VAS disminuyeron con rapidez entre el post-ejercicio y la post-recuperación ($p < 0.001$); no hubo diferencias significativas entre los tres modos de recuperación ($p = 0.64$). En conclusión, tras un ejercicio de extensión isométrica submáxima de la rodilla, ni las estrategias de recuperación por electroestimulación ni la activa mejoraron de manera significativa el transcurso de tiempo de la recuperación de la función muscular.

Palabras Clave: estimulación eléctrica, recuperación muscular, contracción isométrica, fatiga muscular

INTRODUCCION

En el siglo pasado, el deporte competitivo se ha vuelto progresivamente más profesional; el avance del progreso tecnológico y el mayor conocimiento de la fisiología del ejercicio han contribuido a mejorar la eficacia del entrenamiento. Las sesiones de entrenamiento actuales (a menudo realizadas dos veces al día) se optimizan de manera cuantitativa y cualitativa a fin de inducir a una carga de entrenamiento máxima o supra-máxima (Barnett, 2006). En consecuencia, es muy importante que los atletas competitivos aprovechen al máximo los períodos de descanso y tengan en cuenta que el

ciclo de carga-recuperación constituye el punto clave del proceso de entrenamiento (Kentta y Hassmen, 1998; Reilly y Ekblom, 2005).

Además de un descanso puramente pasivo, se han propuesto estrategias de recuperación para que los deportistas mejoren la recuperación de la función muscular. A pesar de la popularidad de los masajes en la medicina deportiva para tratar el daño muscular posterior al ejercicio y los desordenes musculares traumáticos (Tiidus y Shoemaker, 1995; Tiidus, 1997; Ogai et al., 2008), existen varias controversias en la comunidad científica sobre sus efectos fisiológicos (Barnett, 2006; Callaghan, 1993; Goats y Keir, 1991; Hemmings et al., 2000; Tiidus, 1997; Vanderthommen et al., 1999; Weerapong et al., 2005). El sauna y la hidroterapia, incluyendo la inmersión en agua caliente o tibia (Nakamura et al., 1996), el masaje hidrojet en agua caliente (Viitasalo et al., 1995) y la inmersión de contraste frío-calor en agua (Cochrane, 2004) se han estudiado confidencialmente y aún se prescriben de manera empírica en base a creencias personales. Sin embargo, dichas técnicas pasivas podrían ser menos efectivas que las estrategias activas para mejorar la recuperación (Gupta et al., 1996; Mika et al., 2007; Spierer et al., 2004). De hecho, la recuperación activa, e.g., correr o pedalear a intensidad moderada, ha demostrado su capacidad para incrementar la tasa de oxidación de lactato después de ejercicios agotadores (Gupta et al., 1996; Hermansen y Stensvold, 1972; Hildebrandt et al., 1992; Mika et al., 2007; Monedero y Donne, 2000; Rontoyannis, 1988) y podría ser más beneficiosa para la preservación del rendimiento durante ejercicios repetidos de máxima intensidad (Thiriet et al., 1993).

Los programas específicos de electro-estimulación neuromuscular (NMES) (estimulación muscular continua no tetánica) diseñados por fabricantes son muy populares para mejorar la recuperación muscular después del ejercicio. No obstante, solo unos pocos estudios evaluaron la eficacia de esta modalidad de estimulación específica, y la mayoría de éstos tuvieron como objetivo la recuperación post-ejercicio después del daño muscular inducido por el ejercicio; informaron que la NMES (estimulación de baja frecuencia) no tuvo ningún efecto (Craig et al., 1996; Martin et al., 2004; Weber et al., 1994) o sólo una influencia moderada (Vanderthommen et al., 2007) sobre la mialgia diferida (DOMS) y la contracción voluntaria máxima (MVC) tras ejercicios excéntricos. Con respecto a los otros estudios, Lattier et al. (2004) compararon varias modalidades de recuperación, incluyendo intervenciones pasivas, activas y de NMES después de un ejercicio fatigante que consiste de una carrera de alta intensidad cuesta arriba (Lattier et al., 2004); la última intervención dio como resultado un mayor rendimiento para un test de carrera de intensidad máxima después del período de recuperación (Lattier et al., 2004). Además, Tessitore et al. informaron que la electroestimulación fue más beneficiosa que los ejercicios aeróbicos acuáticos y el descanso pasivo para reducir el dolor muscular después de un entrenamiento de fútbol (Tessitore et al., 2007). Por lo tanto, parece ser particularmente relevante que se realice una mayor investigación sobre la recuperación por electroestimulación (con muestras más grandes) posteriores a contracciones no excéntricas. Según se sabe, este es el primer estudio que comparó la efectividad de una recuperación por electroestimulación (ESR) y una recuperación activa (AR) de pedaleo después de un ejercicio isométrico específico de provocación de los músculos extensores de la rodilla.

El propósito del presente estudio ha sido comparar ambas estrategias y analizar si son o no más eficaces que una recuperación puramente pasiva (PR) en el patrón de recuperación del torque y los cambios en la percepción subjetiva del dolor muscular. Según la teoría de que EMS aumenta el flujo sanguíneo local (Cramp et al., 2000) y en consecuencia podría mejorar la depuración del metabolito, se ha planteado la hipótesis de que la EMS sería tan efectiva como la recuperación activa en acelerar la disminución del dolor muscular y la restauración de la función muscular y que la recuperación sería más rápida para estas modalidades que después de una recuperación puramente pasiva.

METODOS

Todos los participantes dieron su consentimiento por escrito para participar. El Comité de Ética Médica de la Universidad de Liege, Bélgica, aprobó el protocolo del estudio.

Sujetos y Protocolo

Diecinueve hombres saludables (sin practicar actividad física o practicándola en el tiempo libre) participaron como voluntarios en este estudio. La edad promedio (DE) fue de 23.4 (2.1) años y la masa corporal promedio de 74.1 (11.3) kg. Ninguno de ellos participaba de ningún programa de entrenamiento de fuerza para la parte inferior del cuerpo, con sobrecarga ni de resistencia.
Los sujetos completaron tres sesiones separadas por al menos 4 semanas. Cada sesión incluyó un ejercicio de provocación/fatiga de los extensores de la rodilla de una pierna (izquierda) seguido una recuperación activa (AR) de pedaleo, una recuperación por electroestimulación de los músculos cuadriceps (ESR) o una recuperación estrictamente pasiva (PR). El orden de las tres sesiones se asignó de manera aleatoria. A los sujetos se les ordenó que se abstuvieran de consumir cualquier tipo de medicación y que evitaran realizar ejercicios agotadores desde las 72 hs. previas a la sesión de

provocación hasta las 24 hs. posteriores a cada sesión. Además, se les pidió que no utilizaran ninguna técnica que pudiera influenciar la recuperación muscular (por ej. estiramiento, hidroterapia, masajes) durante cada uno de los períodos posteriores al ejercicio.
En cada sesión, se midieron el torque pico de los extensores de la rodilla y la percepción subjetiva del dolor muscular antes y después del ejercicio fatigante.

Medición de la Contracción Voluntaria Máxima

Luego de una entrada en calor estándar que consistió de 5 min de pedaleo a 75 W en un cicloergómetro (70 rpm) le siguieron 5 minutos de estiramiento de los cuadriceps y los músculos isquiotibiales. Luego, los sujetos se ubicaron en el sillón de evaluación de los extensores de la rodilla con el tronco en posición vertical; la cintura pélvica se estabilizó mediante correas colocadas en las caderas y los muslos. Con la rodilla y la cadera izquierda flexionadas a 60° y 90° respectivamente. Se colocó una almohadilla sobre el brazo de palanca en el sillón y se ajustó para cubrir un espacio a 4 cm por encima del maléolo. El torque de los músculos extensores de la rodilla izquierda se evaluó mediante la utilización de un transductor estático para la evaluación de la tensión (DS Europe, FS100 kg) colocado sobre el brazo de palanca a 49 cm del eje de rotación. Los sujetos se familiarizaron con la prueba mediante la realización de 5 contracciones isométricas submáximas graduales de los músculos extensores de la rodilla por las cuales los sujetos aumentaban hasta un esfuerzo cercano al máximo en la última repetición. Luego los participantes realizaron tres contracciones isométricas voluntarias máximas de la extensión de la rodilla de 4 segundos (MVC) en intervalos de 2 minutos. El mejor resultado de las cuatro contracciones se seleccionó como el verdadero valor de la MVC. Durante el procedimiento de prueba se proporcionaron fuertes estímulos verbales. El torque de gravedad de la pierna también se midió y se tomó en cuenta en la medición de la MVC.

Ejercicio de Provocación/Fatiga

A los sujetos se los ubicó en el sillón de evaluación en la misma posición que para la medición de la MVC. El ejercicio consistió de 3 series de contracciones isométricas de los músculos extensores de la rodilla con un descanso de 30 s entre las series. Cada serie duró 5 min y estuvo compuesta de 25 contracciones isométricas de 6 s con ciclos de descanso de 6 s. El nivel de intensidad de contracción se fijó respectivamente en el 60%, 55% y 50% de la MVC, determinada con anterioridad para la primera, segunda y tercera series. Delante del participante se colocó un sistema de observaciones visuales, que mostraba el torque en tiempo real, para ajustar el torque en el nivel requerido.

Percepción Subjetiva del Dolor Muscular

A los participantes se les pidió que valoraran la intensidad del dolor muscular (cuadriceps) en una escala visual análoga (VAS) graduada de 0 (sin dolor) a 10 (dolor muy severo, máximo).

Transcurso del Tiempo de Prueba

A fin de estudiar la influencia de los modos de recuperación sobre la función muscular, se midieron los resultados del dolor muscular de la MVC y la VAS antes (pre-ejercicio) e inmediatamente después del ejercicio de provocación (post-ejercicio), así como también luego del período de recuperación de 25min (post-recuperación). Las mediciones se repitieron a los 75 minutos (1h15) y un día (24h) después del ejercicio de provocación, con el mismo procedimiento.

Recuperación Activa (AR)

La recuperación activa consistió de 25 min de pedaleo en una bicicleta fija a una velocidad de 60 rpm. La carga (49 ± 9 W) se ajustó de manera individual para que la frecuencia cardiaca fuera cercana a 100 latidos/min (alrededor del 50% de la frecuencia cardiaca máxima teórica). Dicha intensidad de esfuerzo es similar a la utilizada en la literatura (Choi et al., 1994; Crisafulli et al., 2003; Fairchild et al., 2003).

Recuperación por Electroestimulación (ESR)

El sujeto se sentó con la cadera y la rodilla flexionadas a 90° y 60°, respectivamente. Un generador (Compex1, Medicompex, Suiza) proporcionaba impulsos rectangulares simétricos bi-direccionales directamente a la piel a través de electrodos de superficie colocados en el muslo izquierdo. Se emplearon tres canales independientes. Estaban compuestos de dos polos, uno de los cuales estaba conectado a un electrodo "*estimulante*" (5 × 5 cm) y el otro a un electrodo "*dispersivo*" (9 × 5 cm). Los 3 electrodos estimulantes se colocaron sobre los puntos motores del vasto interno, el vasto externo y el recto femoral de los cuadriceps. Los electrodos dispersivos se colocaron en la porción proximal del muslo. El ancho de pulsos fue de 0.25 ms y la frecuencia de pulso de 5 Hz. Las características de pulso (forma, ancho, amplitud y frecuencia) se controlaron con anterioridad por medio de un osciloscopio. Los investigadores ajustaron la intensidad en curso de manera independiente en cada canal a fin de obtener una contracción homogénea no tetánica que el sujeto tolere.

Durante la ESR (25 minutos), la intensidad en curso se incrementó de manera regular para mantener una contracción muscular visible y palpable a fin de reproducir las condiciones de uso tradicionales de dicho programa de NMES. Al final de la simulación, la intensidad en curso promedio (±DE) fue de 47 (± 13), 49 (± 15) y 45 (± 14) mA respectivamente para el vasto interno, el vasto externo y el recto femoral.

Recuperación Pasiva (PR)

El participante se ubicó en la misma posición de sentado que para la ESR y se le dijo que cumpliera un descanso estrictamente pasivo durante 25 min.

Análisis Estadísticos

Los datos del torque pico se normalizaron a los valores iniciales. Los valores están expresados en el presente estudio como media ± DE. Con respecto a los valores de torque, la distribución normal se controló utilizando la *prueba de Normalidad*de *Shapiro-Wilk*. Cada variable se comparó utilizando un ANOVA de dos vías para medidas repetidas. Se aplicó la prueba post-hoc de Scheffé para determinar las diferencias entre los métodos, si el análisis de varianza revelaba un efecto significativo para el tiempo, el modo de recuperación o la interacción (tiempo x modo de recuperación). Se consideró un valor-p ≤ 0.05 para representar la significancia estadística.

RESULTADOS

Torque Pico

Las MVC pre-ejercicio promedio ± DE medidas antes de cada test de provocación no fueron estadísticamente diferentes (AR: 263 ± 35 Nm; ESR: 260 ± 44 Nm; PR: 263 ± 33 Nm).

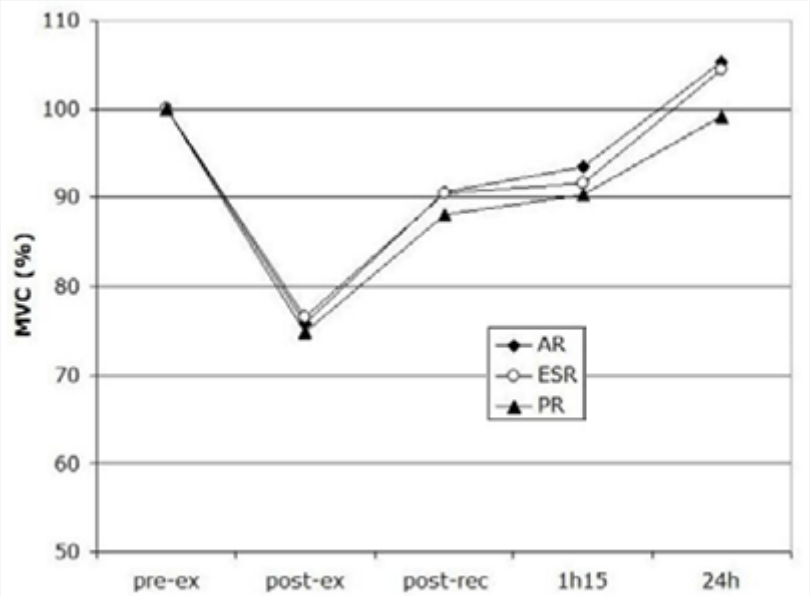

Figura 1. *Cambios en la MVC (en porcentaje de los valores iniciales) después de las tres estrategias de recuperación diferentes (AR: recuperación activa; ESR: recuperación por electroestimulación; PR: recuperación pasiva). Pre-ejercicio= antes del ejercicio de provocación de fatiga; post-ejercicio = inmediatamente después del ejercicio; post-recuperación = después del período de recuperación; 1h15 = 75 min posteriores al período de recuperación; 24h = un día después del período de recuperación.*

En la Figura 1 se ilustran los cambios en la MVC después de las tres estrategias diferentes de recuperación. Los transcursos de tiempo de la MVC parecen ser relativamente similares entre los diferentes modos de recuperación. El análisis de varianza reveló un efecto de "tiempo" ($p < 0.001$): inmediatamente después del ejercicio de provocación de fatiga (post-ejercicio), la MVC promedio disminuyó bruscamente y de manera significativa ($p < 0.001$); alcanzó 75.8 ±

12.4%, 76.5 ± 16.2% y 74.8 ± 11.6% de los valores iniciales respectivamente después de la AR, la ESR y la PR. La MVC promedio aumentó de manera significativa ($p < 0.001$) después de los períodos de recuperación (post-recuperación) (90.7 ± 10.9% (AR), 90.4 ± 13.4% (ESR) y 88.1 ± 8.8% (PR)) y se estancó ($p = 0.6$) 1h15 después del ejercicio de provocación. Otro aumento significativo ($p < 0.001$) apareció 24 hs. después del ejercicio de provocación y los valores de la MVC alcanzaron un nivel cercano a los rendimientos de los valores iniciales, es decir 105.3 ± 12.2% (AR), 104.4 ± 10.5% (ESR) y 99.1 ± 10.7% (PR).

El análisis de varianza indicó que no hubo ningún efecto para el "modo de recuperación" ($p = 0.89$).

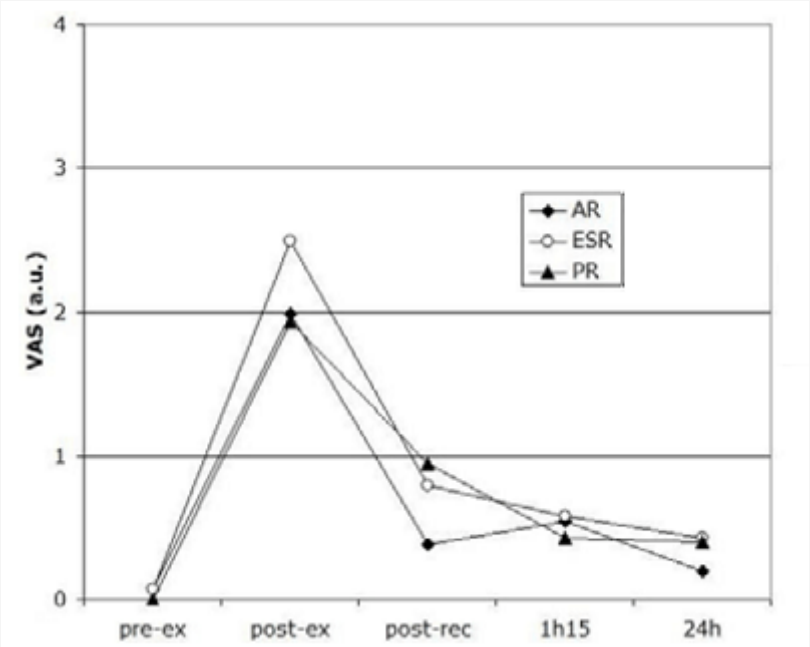

Figura 2. *Cambios en la percepción subjetiva promedio del dolor muscular (VAS, 0-10 a.u.) después de las tres estrategias de recuperación diferentes (AR: recuperación activa; ESR: recuperación por electroestimulación; PR: recuperación pasiva). Pre-ejercicio = antes del ejercicio de provocación de fatiga; post-ejercicio = inmediatamente después del ejercicio; post-recuperación = después del período de recuperación; 1h15 = 75 min después del período de recuperación; 24h = un día después del período de recuperación.*

Percepción Subjetiva del Dolor Muscular

En la Figura 2 se muestra la influencia del ejercicio de provocación sobre la percepción subjetiva del dolor muscular. El análisis de varianza reveló un efecto de "tiempo" ($p < 0.001$): se observó un incremento significativo ($p < 0.001$) en las sensaciones de dolor muscular inmediatamente después del ejercicio (post-ejercicio) (AR: 1.98 ± 2.18 unidades arbitrarias (au); ESR: 2.50 ± 2.39 au; PR: 1.93 ± 1.85 au). Los resultados de la VAS disminuyeron con rapidez y de manera significativa ($p < 0.001$) tras la recuperación (post-recuperación) y permanecieron estables después de este período (1h15, $p = 0.923$). Veinticuatro horas después del ejercicio de provocación, los resultados de la VAS (0.20 ± 0.52 au (AR), 0.43 ± 0.96 au (ESR) y 0.40 ± 0.92 au (PR)) no fueron estadísticamente diferentes a los valores iniciales ($p = 0.712$). El análisis de varianza no indicó ningún efecto significativo para el "modo de recuperación" ($p = 0,64$).

DISCUSION

El propósito de este estudio ha sido comparar, mediante un control longitudinal del torque pico de los extensores de la rodilla y la percepción subjetiva del dolor muscular, tres clases diferentes de estrategias de recuperación después de un ejercicio isométrico fatigante. El cuadriceps constituye un modelo relevante porque este músculo a menudo está involucrado en las actividades deportivas (por ej. el ciclismo (Akima et al., 2005), el esquí (Neumayr et al., 2003), el remo (Yoshiga y Higuchi, 2003), etc.) y por lo tanto los atletas con frecuencia lo electroestimulan a modo de recuperación después de las sesiones de entrenamiento o de una competencia. A fin de evitar cualquier "efecto de serie repetida", las

sesiones estuvieron separadas por al menos 4 semanas y el orden de las tres sesiones se asignó de manera aleatoria. Los torques pico similares medidos antes de cada una de las tres sesiones experimentales confirmaron la ausencia de dicho efecto.

Todos los sujetos lograron completar las 3 series de 25 contracciones en el nivel requerido (50-60% de torque máximo); la disminución en los rendimientos máximos de los extensores de la rodilla promediaron el 25% poco después del ejercicio de provocación, el 10% después de la recuperación y el 0% después de las 24 hs. El rápido descenso de los rendimientos máximos de los extensores de la rodilla ilustra el fenómeno de la fatiga post-ejercicio que, en realidad, se define como una disminución de la capacidad para ejercer la fuerza muscular (Gandevia, 2001). Se sabe bien que las acumulaciones de lactato, ión hidrógeno, fosfatos inorgánicos y del ión potasio plasmático, la disminución de la concentración intracelular del ión potasio, la depleción de los fosfatos de alta energía y glucógeno, la pérdida homeostática de calcio o la isquemia local pueden ser algunos de los factores causantes asociados a la disrupción del ciclo muscular de excitación-contracción (Mika et al., 2007). De hecho, un estudio previo monitoreó los cuadriceps humanos mediante una espectroscopia de 1H y 31P-NMR intercalados durante un protocolo estrictamente similar al presente ejercicio de provocación (25 contracciones isométricas (6s)/descanso (6s) ciclos, nivel de contracción = 50-60% de torque máximo); los resultados revelaron, al final de la serie, que la depleción de fosfocreatina, el pH y la desaturación de la mioglobina alcanzaron el 88%, el 6.64 y el 40%, respectivamente (Vanderthommen et al., 2003). En las presentes condiciones experimentales, las sensaciones de dolor muscular disminuyeron notoriamente un día después del ejercicio de provocación y no fueron estadísticamente diferentes de los valores iniciales, confirmando la hipótesis de que no hubo daño muscular. Por lo tanto, este estudio demuestra que el ejercicio de provocación indujo a una fatiga temprana sin DOMS pero no condujo al agotamiento.

La recuperación activa consistió de pedalear en un biciergómetro con una carga moderada (~50W) que condujo a una frecuencia cardiaca cercana a 100 ppm. Este tipo de ejercicio aeróbico liviano ya ha demostrado su capacidad para mejorar el proceso de recuperación después de contracciones agotadoras en comparación con una recuperación de descanso (Bangsbo et al., 1994; Gupta et al., 1996; Hermansen y Stensvold, 1972; Hildebrandt et al., 1992; Mika et al., 2007; Rontoyannis, 1988). Según algunos autores, un nivel de intensidad que alcanza del 30 al 60% del VO2max es apropiado para los ejercicios de recuperación aeróbicos (Ahmaidi et al., 1996; Hermansen y Stensvold, 1972; Monedero y Donne, 2000). Se cree que las estrategias de recuperación activa cumplen un papel clave en el proceso de recuperación del ejercicio, mediante la mejora en el flujo sanguíneo muscular por medio del “efecto de bombeo muscular” y, en consecuencia, mejorando el despeje del lactato (Bulbulian et al., 1987; Gupta et al., 1996; Monedero y Donne, 2000; Rontoyannis, 1988; Tiidus y Shoemaker, 1995).

La literatura sugiere que la electroestimulación podría ser útil como herramienta de recuperación. Lattier et al (2004) compararon las intervenciones pasivas (sentados), activas (carrera submáxima) y ESR (cuadriceps, músculos isquiotibiales, triceps sural) después de un ejercicio de carrera de alta intensidad cuesta arriba (10 carreras de un minuto al 120% de la velocidad aeróbica máxima a un grado de 18%) (Lattier et al., 2004). No reportaron diferencias entre las intervenciones con respecto a la recuperación de la función neuromuscular (registros de LA MVC y EMG). Sin embargo, hallaron una tendencia hacia un mejor rendimiento posterior de carrera de máxima intensidad después de la electromioestimulación, sin lograr dar explicaciones claras para sus observaciones (Lattier et al., 2004). Un estudio reciente exploró los efectos de una recuperación por electroestimulación idéntica a la utilizada en el presente estudio después de un ejercicio excéntrico máximo que indujo a DOMS severas (Vanderthommen et al., 2007). Mientras que la literatura no informó ningún efecto beneficioso de la ESR después de las contracciones excéntricas (Craig et al., 1996; Martin et al., 2004; Weber et al., 1994), Vanderthommen et al (2007) reportaron que la ESR no tuvo ningún impacto sobre la magnitud de los daños musculares iniciales, aunque pareció ser algo más efectiva que la recuperación pasiva en las DOMS disminuidas, como reflejó la actividad sérica disminuida de la creatina kinasa (Vanderthommen et al., 2007). Como estrategia activa, se supone que el ES acelera la recuperación mediante la mejora en el flujo sanguíneo muscular (Cramp et al., 2000); la secuencia NMES aplicada en el presente estudio estuvo compuesta de una estimulación continua y no tetánica (5 Hz) con un incremento regular de la intensidad en curso (contracción muscular visible y palpable) según los programas que a menudo se utilizan y recomiendan en los deportes y la rehabilitación para facilitar el proceso de recuperación. En animales, estudios previos demostraron que una estimulación de 4-10 Hz indujo a un incremento en la perfusión muscular en el músculo del gato (Johansson, 1962), del perro (Clement y Shepherd, 1974) y de la rata (Hawker y Egginton, 1999). La intensidad en curso utilizada en el presente trabajo se seleccionó a fin de estandarizar la acción en los músculos. De hecho, en la mayoría de los estudios los participantes sólo seleccionaron la intensidad más cómoda (Lattier et al., 2004; Martin et al., 2004; Tessitore et al., 2007), dando como resultado una intensidad potencial excesiva (que podría llevar a una isquemia parcial) o una intensidad que podría no ser suficiente para mejorar el flujo sanguíneo muscular (Martin et al., 2004).

Sorpresivamente, en el presente estudio, no se halló ningún efecto significativo del “modo de recuperación” para la percepción del dolor muscular y el torque pico; un día después del ejercicio de provocación, el último regresó aproximadamente a los valores iniciales sin importar las estrategias de recuperación. La ausencia de diferencias significativas entre la AR o la ESR y la recuperación pasiva, sugiriendo que estas estrategias no mejoraron el proceso regenerativo, podría ser resultado del ejercicio de provocación de agresión leve (3 series de contracciones isométricas

submáximas) diseñado en el presente trabajo. Es preferible este tipo de ejercitación en lugar de esfuerzos que conducen a daños musculares (como en la mayoría de los estudios) a fin de reproducir de mejor manera algunas condiciones del campo. Desafortunadamente el presente protocolo no condujo al agotamiento; por lo tanto, la posterior recuperación probablemente fue muy rápida para mejorarla mediante contracciones activas o electroestimulación.

Al momento, no se puede recomendar específicamente una recuperación activa o por electroestimulación después de un esfuerzo porque aún se desconoce si las estrategias de recuperación son apropiadas para los tipos de esfuerzo o no. Además, Tessitore et al. reportaron una elevada variabilidad interindividual con respecto a la efectividad de varias intervenciones de recuperación (Tessitore et al., 2007), sugiriendo la relevancia de explorar la estrategia de recuperación individual más óptima.

Se reconocen algunas limitaciones potenciales del presente estudio. No se investigó la remoción de metabolitos y la tasa de síntesis de glucógeno post-ejercicio durante y después de los períodos de recuperación. Además, los sujetos que participaron en el presente estudio eran individuos relativamente sin entrenamiento, que podrían manifestar un patrón de fatiga y recuperación diferente en comparación con los atletas altamente entrenados (Barnett 2006).

CONCLUSION

El presente estudio no mostró diferencias significativas entre los efectos de las estrategias de recuperación pasiva, activa o por electroestimulación sobre el dolor muscular y el torque pico después de tres series de contracciones isométricas submáximas al 60%, 55% 50% de la MVC. Dicho protocolo fatigante indujo a una fatiga temprana sin DOMS pero no condujo al agotamiento. Se requieren más investigaciones para comparar la eficacia de la ESR y la AR después de un ejercicio de provocación más intenso que el que se utilizó en el presente estudio pero menos agresivo que los esfuerzos excéntricos máximos, que se sabe que causan DOMS; además sería importante estudiar dichos métodos de recuperación después de esfuerzos de provocación más funcionales (por ej., saltos múltiples) y con evaluaciones que reflejen mejor las situaciones del campo.

Puntos Clave

- Tres series de contracciones isométricas submáximas al 60%, 55% y 50% de la MVC indujeron a una fatiga temprana sin DOMS pero no condujeron al agotamiento.
- En comparación con la recuperación pasiva, la recuperación activa y por electroestimulación no condujeron a torques de la MVC significativamente más elevados 24 hs. después de la serie de ejercicios.
- No se demostraron diferencias significativas entre los efectos de las recuperaciones pasiva, activa y por electroestimulación sobre el dolor muscular después de repetidas contracciones isométricas submáximas.

REFERENCIAS

1. Akima, H., Kinugasa, R. and Kuno, S (2005). Recruitment of the thigh muscles during sprint cycling by muscle functional magnetic resonance imaging. *International Journal of Sports Medicine 26, 245-252*
2. Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H. and Prefaut, C (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 28, 450-456*
3. Bangsbo, J., Graham, T., Johansen, L. and Saltin, B (1994). Muscle lactate metabolism in recovery from intense exhaustive exercise: impact of light exercise. *Journal of Applied Physiology 77, 1890-1895*
4. Barnett, A (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. Does it help?. *Sports Medicine 36, 781-796*
5. Bulbulian, R., Darabos, B. and Nauta, S (1987). Supine rest and lactic acid removal following maximal exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 27, 151-156*
6. Callaghan, M.J (1993). The role of massage in the management of the athlete: a review. *British Journal of Sports Medicine 27, 28-33*
7. Choi, D., Cole, K.J., Goodpaster, B.H., Finck, W.J. and Costill, D.L (1994). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Medicine and Science in Sports and Exercise 26, 992-996*
8. Clement, D. L., and Shepherd, J. T (1974). Influence of muscle afferents on cutaneous and muscle vessels in the dog. *Circulation Research 35, 177-183*
9. Cochrane, D.J (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport 5, 26-32*
10. Craig, J.A., Cunningham, M.B., Walsh, D.M., Baxter, G.D. and Allen, J.M (1996). Lack of effect of transcutaneous electrical nerve stimulation upon experimentally induced delayed onset muscle soreness in humans. *Pain 67, 285-289*

11. Cramp, A.F., Gilsenan, C., Lowe, A.S. and Walsh, D.M (2000). The effect of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin tempera-ture in healthy subjects. *Clinical Physiology 20, 150-157*
12. Crisafulli, A., Orru, V., Melis, F., Tocco, F. and Concu, A (2003). Hemodynamics during active and passive recovery from a single bout of supramaximal exercise. *European Journal of Ap-plied Physiology 89, 209-216*
13. Fairchild, T.J., Armstrong, A.A., Rao, A., Liu, H., Lawrence, S. and Fournier, P.A (2003). Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 35, 595-602*
14. Gandevia, S.C (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews 81, 1725-1789*
15. Goats, G.C. and Keir, K.A (1991). Connective tissue massage. *British Journal of Sports Medicine 25, 131-133*
16. Gupta, S., Goswami, A., Sadhukhan, A.K. and Mathur, D.N (1996). Comparative study of lactate removal in short term massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *International Journal of Sports Medicine 17, 106-110*
17. Hawker, M. J., and Egginton, S (1999). The effect of stimulation frequency on blood flow in rat fast skeletal muscles. *Experimental Physiology 84, 941-946*
18. Hemmings, B., Smith, M., Graydon, J. and Dyson, R (2000). Effect of massage on physiological restoration, perceived recovery, and repeated sports performance. *British Journal of Sports Medicine 34, 109-115*
19. Hermansen, L. and Stensvold, I (1972). Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiologica Scandinavica 86, 191-201*
20. Hildebrandt, W., Schutze, H. and Stegemann, J (1992). Cardiovascular limitations of active recovery from strenuous exercise. *Euro-pean Journal of Applied Physiology and Occupational Physiol-ogy 64, 250-257*
21. Johansson, B (1962). Circulatory responses to stimulation of somatic afferents with special reference to depressor effects from muscle nerves. *Acta Physiologica Scandinavica 198, 1-91*
22. Kentta, G. and Hassmen, P (1998). Overtraining and recovery. A conceptual model. *Sports Medicine 26, 1-16*
23. Lattier, G., Millet, G.Y., Martin, A. and Martin, V (2004). Fatigue and recovery after high-intensity exercise. Part II: Recovery interventions. *International Journal of Sports Medicine 25, 509-515*
24. Martin, V., Millet, G.Y., Lattier, G. and Perrod, L (2004). Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Medicine and science in sports and exercise 36, 1907-1915*
25. Mika, A., Mika, P., Fernhall, B. and Unnithan, V.B (2007). Comparison of recovery strategies on muscle performance after fatiguing exercise. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation 86, 474-481*
26. Monedero, J. and Donne B (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *International Journal of Sports Medicine 21, 593-597*
27. Nakamura, K., Takahashi, H., Shimai, S. and Tanaka, M (1996). Effects of immersion in tepid bath water on recovery from fatigue after submaximal exercise in man. *Ergonomics 39, 257-266*
28. Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G. and Raas, E (2003). Physical and physiological factors associated with suc-cess in professional alpine skiing. *International Journal of Sports Medicine 24, 571-575*
29. Ogai, R., Yamane, M., Matsumoto, T. and Kosaka, M (2008). Effects of petrissage massage on fatigue and exercise performance follow-ing intensive cycle pedalling. *British Journal of Sports Medicine 42, 534-538*
30. Reilly T. and Ekblom B (2005). The use of recovery methods post-exercise. *Journal of Sports Science 23, 619-627*
31. Rontoyannis, G.P (1988). Lactate elimination from the blood during active recovery. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 28, 115-123*
32. Spierer, D.K., Goldsmith, R., Baran, D.A., Hryniewicz, K. and Katz, S.D (2004). Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *International Journal of Sports Medicine 25, 109-114*
33. Tessitore, A., Meeusen, R., Cortis, C. and Capranica, L (2007). Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *Journal of Strength and Conditioning Research 21, 745-750*
34. Thiriet, P., Gozal, D., Wouassi, D., Oumarou, T., Gelas, H., Lacour, J.R (1993). The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise. *The Jour-nal of Sports Medicine and Physical Fitness 33, 118-129*
35. Tiidus, P.M (1997). Manual massage and recovery of muscle function following exercise: a literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy 25, 107-112*
36. Tiidus, P.M. and Shoemaker, J.K (1995). Effleurage massage, muscle blood flow and long-term post-exercise strength recovery. *International Journal of Sports Medicine 16, 478-483*
37. Vanderthommen, M., Duteil, S., Wary, C., Raynaud, J.S., Leroy-Willig, A., Crielaard, J.M. and Carlier, P.G (2003). A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved 1H- and 31P-NMRS in humans. *Journal of Applied Physiology 94, 1012-1024*
38. Vanderthommen, M., Gilles, R., Carlier, P., Ciancabilla, F., Zahlan, O., Sluse, F. and Crielaard, J.M (1999). Human muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by 31P NMR spectroscopy. *International Journal of Sports Medicine 20, 279-283*
39. Vanderthommen, M., Soltani, K., Maquet, D., Crielaard, J.M. and Croisier, J.L (2007). Does neuromuscular electrical stimulation influence muscle recovery after maximal isokinetic exercise?. *Isokinetics and Exercise Science 15, 143-149*
40. Viitasalo, J.T., Niemela, K., Kaappola, R., Korjus, T., Levola, M., Mononen, H.V., Rusko, H.K. and Takala, T.E (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 71, 431-438*
41. Weber, M.D., Servedio, F.J. and Woodall, W.R (1994). The effects of three modalities on delayed onset muscle soreness. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy 20, 236-242*
42. Weerapong, P., Hume, P.A. and Kolt, G.S (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine 35, 235-256*
43. Yoshiga, C.C. and Higuchi, M (2003). Bilateral leg extension power and fat-free mass in young oarsmen. *Journal of Sports Sciences*

21, 905-909