



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

EFFECTO DE LA NEUROESTIMULACIÓN VASCULAR SOBRE EL MÚSCULO LISO EN LA RECUPERACIÓN POST EJERCICIO EN ATLETAS

Ana Luisa Ospina Castro

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina

Maestría en Fisioterapia del Deporte y Actividad Física

Ciudad, Colombia

2015

EFECTO DE LA NEUROESTIMULACIÓN VASCULAR SOBRE EL MÚSCULO LISO EN LA RECUPERACIÓN POST EJERCICIO EN ATLETAS

Ana Luisa Ospina Castro

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Fisioterapia del Deporte y Actividad Fisca

Director (a):
Doctor Mauricio Serrato Roa

Línea de Investigación:
Deporte y Salud

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Maestría en Fisioterapia del Deporte y Actividad Fisca
Ciudad, Colombia
2015

Dedicatoria

A mis padres, por su amor y sus bendiciones que me acompañan todos los días; a mis hermanas, Gabriel y mis amigos por su apoyo incondicional en el logro de esta importante etapa de mi vida.

Agradecimientos

A todas las personas que apoyaron, con sus valiosos aportes y tiempo, la elaboración de este proyecto de grado; en especial al Dr. Juan Carlos Quiceno, coordinador del Centro Ciencias del Deporte, por facilitar los espacios, personal médico y gestión endparticipantes del estudio. Al Ps. Fernando Rivera, psicólogo del deporte, por su aporte en la revisión del trabajo de grado, al Ps. Jairo Andrés Piñeros y a la Dra. Sophie Romero Rodríguez, por su apoyo incondicional en la toma de mediciones.

Resumen

Este estudio, evaluó la efectividad de la aplicación de la neuroestimulación vascular Bodyflow®, sobre el músculo liso vascular en el corto plazo (2 horas) en deportistas de resistencia. Esta estimulación, se aplicó en 18 atletas hombres, evaluado el efecto sobre la recuperación mediante indicadores bioquímicos CPK; indicadores de rendimiento salto contra-movimiento (CMJ), fuerza explosiva (velocidad máxima, velocidad media propulsiva, duración de la fase propulsiva, potencia media y potencia pico); e indicadores psicológicos. Se aplicó un protocolo fatigante, al máximo ritmo de trabajo posible para cada repetición. Posteriormente se realizó una intervención pasiva o con neuroestimulación vascular de 1,52 Hz, ancho de pulso de 6ms, 2 aplicaciones de 20 min cada una. Los datos fueron analizados por medio del test no paramétrico de Wilcoxon. Resultados: no se encontraron diferencias significativas para las pruebas funcionales, CMJ ($p=0,5$); velocidad media propulsiva (m/s) ($p= 0,3006$); Velocidad Máxima (m/s) ($p= 0,5$); Duración Fase Propulsiva (ms) ($p=0,5$); Potencia Media (W) ($p= 0,0536$); Potencia Máxima (Pico) (W) ($p=0,4309$); indicadores Bioquímicos, CPK ($p= 0,0005$) se encontró una diferencia significativa en los niveles sanguíneos; la percepción de la fatiga no fue significativa entre las intervenciones ($p=0,3032$). El uso de la neuroestimulación vascular reduce los niveles de la CPK, favoreciendo el aumento del flujo sanguíneo mediante la contracción de la musculatura lisa de los vasos, facilitando la remoción de metabolitos; lo que se traduce en mejora de indicadores bioquímicos, los atletas de resistencia tienen un perfil fisiológico de fatiga diferente.

Palabras claves: recuperación, neuroestimulación vascular, fatiga neuromuscular, indicadores de rendimiento, bioquímicos, psicológico.

Abstract

This study evaluated the effectiveness of the implementation of the neurovascular stimulation Bodyflow® on vascular smooth muscle in the short term in endurance athletes (2 hour). This stimulation was applied to 18 male athletes, measuring the impact on recovery using biochemical indicators; CPK, performance physiological test; performance indicators, CMJ, explosive strength (maximum speed, propulsive average speed, duration of the propulsive phase, average power and peak power) and psychological indicators. An exhausting protocol to the maximum exercise capacity for each time in each repetition was performed, then a passive or neurovascular stimulation 1.52 Hz, pulse width of 6 ms, 2 applications of 20 min each intervention were performed. Data were analyzed using a

test Wilcoxon nonparametric. Results; no significant differences we found in Counter-movement jump (CMJ) ($p = 0,5$); propulsive average speed (m / s) ($p = 0,3006$); Maximum speed (m / s) ($p = 0,5$); Propulsive phase duration (ms) ($p = 0,5$); Average Power (W) ($p = 0,0536$); Maximum Power (Peak) (W) ($p = 0,4309$). Statistical significance were found in levels of total CPK ($p = 0,0005$); perception of fatigue showed a non significant tendency ($p = 0,3032$). The use of neuro stimulation enhances vascular removal of CPK, it increasing the blood flow thorough vascular smooth muscle contraction of the vessels, facilitating the removal of metabolites; resulting in improved biochemical markers, endurance athletes have different physiological fatigue profile.

Keywords: recovery neurovascular stimulation, neuromuscular fatigue, biochemical indicators, performance indicators, psychological indicators, endurance athletes.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de abreviaturas.....	XV
Introducción	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 Definición del problema	19
1.2 Pregunta	20
1.3 Delimitación del problema.....	21
1.4 Hipótesis nula	21
1.5 Hipótesis alterna.....	21
2. JUSTIFICACIÓN	23
3. OBJETIVOS.....	27
3.1 Objetivo general	27
3.2 Objetivos específicos.....	27
4. MARCO TEÓRICO.....	28
4.1 Fatiga muscular.....	28
4.2 Recuperación muscular.....	31
4.3 Electroterapia y Neuroestimulación vascular	32
4.4 Estudios relacionados electroterapia	37
5. MARCO DE REFERENCIA.....	44
6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	45
6.1 Neuroestimulación vascular Bodyflow®.....	45
6.2 Fatiga muscular.....	45
6.3 Recuperación	45
6.4 Indicadores bioquímicos y rendimiento.....	46
6.5 Indicadores psicológicos	46
7. MARCO METODOLÓGICO	47
7.1 Tipo de estudio.....	47

7.2 Aspectos éticos.....	48
7.3 Consentimiento informado	49
7.4 Población objeto	49
7.5 Criterios de inclusión.....	50
7.6 Criterios de exclusión.....	50
7.7 Metodología.....	52
7.7.1 Convocatoria de voluntarios y socialización de estudio.....	52
7.7.2 Valoración.....	52
7.7.3 Pre test	52
7.7.4 Protocolo fatigante	55
7.7.5 Post test.....	56
7.7.6 Intervención	56
7.8 Instrumentos de recolección de información	57
7.9 Análisis estadístico.....	57
8. RESULTADOS	58
9. DISCUSIÓN.....	67
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
10.1 Conclusiones	75
10.2 Recomendaciones	76
10.3 Limitaciones.....	76
A. Anexo: Consentimiento informado.....	77
Bibliografía.....	81

Lista de figuras

	Pág.
Figura 4-1 Forma de la onda Neuroestimulación vascular Bodyflow® fuente propia	33
Figura 4-2 Vía esquemática efectos electroestimulación	37
Figura 7-1 Equipo de Reflotron ® Plus. (2008, Roche Diagnostics, S.L)	53
Figura 7-2 Test de saltabilidad CMJ, equipo Axon Jump	53
Figura 7-3 Prueba de fuerza explosiva T-Force Dynamic Measuremet	54
Figura 7-4 Software del TEAD-R, Centro de Servicios Biomédico	55
Figura 7-5 Aplicación de electrodos. Protocolo estandarizado por Bodyflow®.....	56
Figura 8-1 Parámetro de rendimiento salto CMJ pre intervención y post recuperación pasiva y/o neuroestimulación vascular	62
Figura 8-2 Parámetro de rendimiento velocidad media propulsiva (m/s) pre intervención y post recuperación pasiva y/o neuroestimulación vascular	62
Figura 8-3 Parámetro de rendimiento velocidad máxima (m/s) pre intervención y post recuperación pasiva y/o neuroestimulación vascular	63
Figura 8-4 Parámetro de rendimiento Duración fase propulsiva (ms) pre intervención y post recuperación pasiva y/o Neuroestimulación vascular.....	63
Figura 8-5 Parámetro de rendimiento potencia media (W) pre intervención y post recuperación pasiva y/o Neuroestimulación vascular	64
Figura 8.6 Parámetro de rendimiento potencia máxima (W) pre intervención y post recuperación pasiva y/o Neuroestimulación vascular.....	64
Figura 8-7 Parámetro bioquímico, CPK pre intervención y post recuperación pasiva y neuroestimulación vascular	65
Figura 8-8 Parámetro percepción de la fatiga posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular.....	66

Lista de tablas

		Pág.
TABLA	4.1	Revisión
sistemática.....		30
Tabla 4.2 Características de la Neuroestimulación y aplicación de electrodos.....		35
Tabla 4-3: Diferencias entre musculatura lisa y estriada [14].....		36
Tabla 4-4. Artículos relacionados con neuroestimulación de baja frecuencia.....		40
Tabla 7-1 Modelo de la metodología aplicada.....		48
Tabla 7-2: Variables dependientes.....		51
Tabla 7-3: Variables independientes.....		52
Tabla 8-1: Datos demográficos.....		58
tabla 8-2: Prueba de Shapiro-Wilk.....		58
tabla 8-3: Prueba de Shapiro-Wilk.....		58
Tabla 8-4: Parámetros de rendimiento valor p con una cola posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular.....		60
Tabla 8-3: Parámetros Bioquímicos CPK valor p con una cola posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular.....		65
Tabla 8-4: Parámetros percepción de la fatiga mediana y Desviación Estándar posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular.....		66

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>CPK</i>	Fosfocreatinquinasa
<i>CMJ</i>	Salto Contramovimiento
<i>DOMS</i>	Dolor tardío del ejercicio
<i>Hz</i>	Hertz
<i>Ma</i>	Miliamperios
<i>Ms</i>	Milisegundos
<i>mmol/L</i>	mili Moles por litro
<i>m/s</i>	Metros sobre Segundo
<i>W</i>	Potencia
<i>NES</i>	Neuroestimulación

Introducción

La práctica del deporte implica la utilización de múltiples grupos musculares, al interior de los cuales se desencadenan diversos procesos bioquímicos y fisiológicos orientados a la generación de energía. En deportistas entrenados o de alto rendimiento, la exigencia realizada sobre la fibra muscular ocasiona microdaño de las miofibrillas, depleción de substratos y acumulación de metabolitos, consecuencia de todos los procesos requeridos para generar la contracción muscular. Eventualmente, la exigencia muscular desencadena una paulatina disminución en la capacidad de respuesta de los grupos musculares sometidos a la actividad, de tal manera que la eficiencia con la que el sistema neuromuscular responde al estímulo se reduce. Esta afectación en la capacidad de respuesta se interpreta como fatiga muscular. Desde el año de 1979, Asmussen definió la fatiga como “la disminución transitoria de la capacidad de trabajo del músculo esquelético durante la actividad física”. (López Chicarro & Fernandez Vaquero, 2006)

Los nuevos métodos de entrenamiento emplean grandes cargas de entrenamiento agrupadas en cortos periodos de tiempo, haciendo que nunca el atleta se encuentre en completo estado de recuperación, es decir que siempre existe un remanente de fatiga acumulada, la cual si es excesiva alterara el proceso del entrenamiento deportivo. Esta fatiga neuromuscular causa pérdida transitoria de la capacidad para generar fuerza, lo que a su vez implica errores en la táctica y técnica en un deporte específico. Esta afectación en el corto plazo posterior a una competencia en las horas siguientes al esfuerzo es un tiempo crítico que permite modular la recuperación la cual no ha sido tomada en cuenta en los estudios de investigación. La intensidad y la duración del ejercicio son factores asociados a la fatiga y al daño muscular, los cuales ocasionan cambios morfológicos en el músculo, se desencadena una respuesta inflamatoria aguda y dolor; consecuencias que sin lugar a duda, alteran el rendimiento y la práctica deportiva y en casos desafortunados, puede generar lesiones que limitan el rendimiento en la competencia. (Highton, Twist, & Eston, 2009)

En el deporte de alto rendimiento, es necesario recuperar las condiciones físicas, tácticas y técnicas rápidamente; debido a la frecuencia de las competencias o simplemente a la necesidad de optimizar la recuperación y en consecuencia la adaptación a la carga de entrenamiento. (Zhelyazkov, 2006). La mayoría de estudios en neuroestimulación vascular revisados en la base de datos de Pubmed se han realizado en deportes acíclicos o de potencia, en los cuales el perfil de fatiga es mucho más acentuado, pero no

se sabe si en los deportes de resistencia las mediciones de fatiga y las medidas de recuperación funcionan de igual manera (Lepers, et al, 2002)

A fin de mitigar los efectos nocivos asociados a la fatiga neuromuscular y preparar al músculo para una nueva y posterior demanda, se debe recurrir a las estrategias de recuperación, entendidas estas como la variedad de estrategias disponibles para reparar el microdaño muscular en el menor tiempo posible y restablecer el equilibrio alterado por la fatiga así como la recuperación de las reservas energéticas. Dentro de las diversas estrategias, se ha empleado el uso de baños de inmersión en frío y en calor, además de otras modalidades terapéuticas como ultrasonido, electroterapia y masaje sedativo. (Torres, Ribeiro, Alberto Duarte, & Cabri, 2012)

En el marco de la constante búsqueda de estrategias cada vez más eficaces para recuperar las cualidades miocinéticas en deportistas, la casa alemana de equipos médicos PHYSIOMED, ha motivado el desarrollo de un método que utiliza la estimulación eléctrica del músculo liso, BodyFlow®. El método busca contraer la túnica media de las arterias y venas, como medio facilitador para el transporte de la linfa y la sangre. (Sostaric et al 2007) La estimulación se aplica sobre el músculo, utilizando ventosas y electrodos ubicados en diferentes segmentos corporales

El propósito de este estudio, es evaluar el efecto de la neuroestimulación vascular sobre el músculo liso, en la recuperación post ejercicio en atletas de resistencia; utilizando Bodyflow® y aplicando un protocolo extenuante para observar los efectos en los indicadores de rendimiento, bioquímicos y psicológicos de la fatiga a corto plazo (2 horas).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Definición del problema

El entrenamiento deportivo moderno, ha centrado sus esfuerzos en las estrategias de recuperación, debido a que son estas las que garantizan la adaptación a las altas cargas de entrenamiento o permite que se pueda competir de manera repetida manteniendo el rendimiento deportivo (Cormack, 2008). Cada día evolucionan más métodos para recuperación y la evidencia científica es mayor. Unos de los métodos ampliamente empleados en el deporte de alto rendimiento y más específicamente en pruebas ciclisticas como el Tour de France son las corrientes de baja frecuencia; sin embargo, las investigaciones no son lo suficientemente claras en la utilización de este tipo de corrientes en los indicadores de rendimiento, bioquímicos y psicológicos en el corto plazo (primeras 4 horas) para acelerar los procesos recuperativos post ejercicio en el músculo.

En el ámbito deportivo, es común encontrar que los profesionales utilizan las diversas técnicas de recuperación disponibles; sin embargo, las estrategias de recuperación se aplican de manera empírica sin soportar su aplicación en la evidencia científica. Este tipo de prácticas son comunes, debido a la escasa estandarización de los métodos de recuperación. Se requiere una mayor evidencia sobre los diversos métodos de recuperación, en especial de los que emplean corrientes de baja frecuencia.

La revisión sistemática realizada en el buscador Pubmed arroja 9 estudios del uso de corrientes de baja frecuencia para la recuperación post ejercicio; sin embargo solo se han realizado 4 estudios en neuroestimulación vascular Bodyflow® de los cuales solo 2 son estudios realizados en recuperación post ejercicio a las 24 y 48 horas; los cuales miden indicadores de rendimiento, bioquímicos y dolor.

La neuroestimulación vascular, utiliza corrientes de baja frecuencia estimulan la musculatura lisa de los vasos sanguíneos y linfáticos aumentando la velocidad venosa (24%) y el flujo sanguíneo en (19,5%) (Parsi et al 2007). Además la neuroestimulación vascular redujo de líquidos y volumen del miembro por 30% y 15% respectivamente, en pacientes con linfedema (Piller et al, 2007). En teoría el NES acelera la recuperación tras el daño muscular a través de un incremento de flujo sanguíneo y linfático. Sortaric, 2007 investigo sobre el uso de este tipo de corrientes posterior a un ejercicio fatigante a las 24 horas; Sin embargo no hay estudios que reporten el uso de la neuroestimulación

vascular Bodyflow® en deportistas de resistencia el corto plazo y la evidencia en indicadores de rendimiento no es clara.

Debido a que la mayoría de las investigaciones presentadas en este trabajo se han realizado en deportes acíclicos en fútbol, rugby, fútbol australiano en donde el proceso de fatiga es diferente, no se sabe que sucede en deportistas de resistencia, como se comporta tanto la fatiga como la recuperación debido a que por su especialización deportiva la resistencia a la fatiga es mucho mayor en estos deportistas, los cuales por su predominio de fibras oxidativas pueden tener un perfil diferente en la fatiga neuromuscular y por tanto su recuperación.

Durante la práctica deportiva de alto rendimiento, la exigencia, la periodicidad de las competencias deportivas y la alta carga de entrenamiento, genera afectaciones importantes en cualidades miocinéticas, como la potencia y la fuerza (Lineamientos en Fuerza y potencia, Coldeportes. In press). En el deporte moderno y en algunas modalidades deportivas, es necesario competir nuevamente y en mayor nivel de exigencia, antes de que el periodo fisiológico de recuperación se haya terminado (Gathercole, 2015).

Por lo tanto, el deporte ha demandado el desarrollo de técnicas y modalidades que permitan acelerar la recuperación y mantener el rendimiento para el siguiente entrenamiento. De esta manera, la recuperación en el corto plazo (antes de las 24 horas), ha cobrado una evidencia superlativa en el deporte (Mujika, 2012). Finalmente si se inicia antes el proceso de recuperación en cualquier modalidad deportiva esto garantizará una mejor y más rápida adaptación a la carga de entrenamiento realizada (Mujika, 2012).

En la fatiga neuromuscular, esta serie de alteraciones fisiológicas y bioquímicas, deberían ser manejadas por medio de técnicas que permitan una pronta recuperación, por cuanto el deportista dispone de cortos periodos de tiempo antes de tener que enfrentar una nueva competencia o entrenamiento. En su mayoría, las técnicas de recuperación son utilizadas a mediano y largo plazo (días a semanas), no obstante, se requiere estar recuperado en un periodo muy corto con el fin de bloquear los mecanismos que desencadenan la fatiga y no se ha investigado como sucede la recuperación en sus primeras horas.

1.2 Pregunta

¿Cuál es el efecto de la aplicación de la neuroestimulación vascular sobre músculo liso en la recuperación post ejercicio en el corto plazo (2 horas) en deportistas de resistencia?

1.3 Delimitación del problema

El presente estudio se realizó con atletas de resistencia (practicantes de atletismo fondo y actividades subacuáticas), sexo masculino, con edades comprendidas entre 19 a 35 años. A esta población se le practicó un protocolo fatigante. Posteriormente se cuantifico la recuperación en el corto plazo (2 hora), posterior al uso de la neuroestimulación vascular con el equipo Bodyflow®.

El tema está circunscrito únicamente, al efecto sobre la recuperación en los indicadores de rendimiento, bioquímicos y psicológicos de la fatiga en deportistas de resistencia.

1.4 Hipótesis nula

No existen diferencias significativas en los marcadores de rendimiento, bioquímicos y psicológicos, luego de la neuroestimulación vascular sobre el músculo liso en la recuperación aguda post ejercicio en atletas de resistencia.

1.5 Hipótesis alterna

Existen diferencias significativas en los marcadores de rendimiento, bioquímicos y psicológicos, luego de la neuroestimulación vascular sobre el músculo liso en la recuperación aguda post ejercicio en atletas de resistencia.

2. JUSTIFICACIÓN

La capacidad de recuperarse de episodios de altas intensidades o volúmenes de entrenamiento, es un requisito previo para el éxito en muchas situaciones deportivas. La recuperación inadecuada en el corto plazo, puede ser un factor limitante para el rendimiento (Higgins et al. 2011) y conducir a la lesión tisular o el síndrome de sobreentrenamiento (Barnett 2006). Factores fisiológicos, bioquímicos y psicológicos ocasionan esta pérdida, motivo por el cual la recuperación se convierte en pieza estratégica para maximizar el rendimiento en los atletas. Esta necesidad, ha llevado a un sin número de investigaciones en el área de la recuperación deportiva, con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo.

Los deportistas élite que participan en deportes de tiempo y marca, combate y conjunto, son expuestos a un sinnúmero de competencias en corto tiempo, inclusive posterior a la segunda hora; requiriendo recuperaciones rápidas y eficientes, que permitan al deportista utilizar sus condiciones físicas, técnicas y tácticas de manera oportuna. En deportistas de resistencia se requieren procesos de recuperación para afrontar una nueva carga, con el fin de minimizar la fatiga residual. En ese orden de ideas, la recuperación adecuada permitirá reducir la fatiga aguda y acumulada, la sobrecarga, el riesgo de lesiones y asegurar el mejor estado de competición (Serrato, 2008). En consecuencia, la aplicación de estrategias innovadoras que propendan por la recuperación muscular, constituyen un activo invaluable antes, durante y después de la competencia. La búsqueda de métodos que aceleren y optimicen la recuperación muscular, es un reto en el ámbito de las ciencias aplicadas.

El uso de la electroterapia, ha ganado popularidad en los deportistas para mejorar la fuerza muscular y el rendimiento deportivo; sin embargo, son pocos los estudios que apoyan este criterio. (Babault et al., 2011) Se ha sugerido que el uso de la electroterapia, podría ser eficaz para la eliminación de metabolitos musculares posterior a un esfuerzo supra-máximo, secundario a un aumento del flujo sanguíneo y drenaje linfático (Neric et al., 2009). Se cree que mejora la percepción de dolor y rango de movimiento; (McLoughlin et al., 2004) sin embargo, hasta la fecha, las investigaciones no son concluyentes sobre el uso de la electroterapia en la segunda hora de recuperación y sus efectos en comparación con otras estrategias de intervención debido a que no hay suficientes estudios que evalúen el efecto sobre los indicadores de la fatiga y rendimiento. Falta evidencia en la literatura referente a la fatiga en el corto plazo y mucho más la recuperación en este periodo, debido a la gran dificultad en la precisión de los métodos utilizados para monitorizar la fatiga. Adicionalmente los atletas de resistencia

tienen especializaciones que hacen que su proceso de fatiga y recuperación sean diferentes y no se han estudiado.

Un nuevo método que utiliza la electroterapia como medio recuperación, es el uso de corriente de baja frecuencia que incorpora la neuroestimulación eléctrica del músculo liso vascular, Bodyflow®. Este tratamiento de recuperación, fue desarrollado a mediados de los 90' con el fin de mejorar procesos de recuperación en deportistas, tras un ejercicio de gran esfuerzo. La neuroestimulación vascular constituye un tratamiento novedoso con importantes potencialidades, a fin de estimular la musculatura esquelética de forma superficial este tratamiento no solo genera contracción muscular evidente, además permite el estímulo de la musculatura lisa que hace parte de la trama vascular, la cual se propaga a lo largo del vaso sanguíneo y linfáticos. Adicionalmente, un proceso de succión por vacío se suma a los efectos de drenaje linfático de los miembros fatigados. En estudios realizados con el equipo Bodyflow® se encontró un aumento la velocidad venosa (24%) y el flujo sanguíneo en (19,5%) (Parsi et al 2007). Además redujo de líquidos y volumen del miembro por 30% y 15% respectivamente, en pacientes linfedema (Piller et al, 2007). En ese orden, Bodyflow® es una estrategia innovadora para acelerar el proceso de recuperación en atletas, permitiendo que aumente el aporte de nutrientes, oxígeno, hormonas, modula la inflamación y permite la reparación muscular.

La revisión sistemática realizada en el buscador Pubmed arroja 9 estudios del uso de corrientes de baja frecuencia para la recuperación post ejercicio; sin embargo solo se han realizado 2 estudios en neuroestimulación vascular Bodyflow® en recuperación post ejercicio a las 24 y 48 horas; los cuales miden indicadores de rendimiento, dolor y bioquímicos.

La preparación de deportistas de élite implica realizar importantes inversiones económicas, lo cual se refleja en equipos, profesionales de la salud y el deporte, uso de infraestructura y escenarios deportivos, entre otros aspectos. La comprobación de técnicas orientadas a optimizar la recuperación, debe ser un ejercicio académico y de investigación riguroso, en virtud de la gran cantidad de factores asociados. Bodyflow® es un equipo de alto costo que aparentemente brinda un sin número de beneficios durante la práctica deportiva, beneficios que bien vale la pena documentar a través de un proceso de investigación metódico y riguroso, que permita validar sus efectos sobre la fisiología muscular. Además, vale es importante destacar que la gran mayoría de estudios orientan sus objetivos a dilucidar los alcances y efectos de la recuperación completa, en contraste, el presente estudio busca establecer los beneficios que ofrece la neuroestimulación vascular Bodyflow® en el corto plazo (2 hora), lo cual hace muy difícil evidenciar efectos mediante mediciones de diversas índoles, debido a los cambios sutiles que se puede presentar en tan poco tiempo, razón por la cual se evaluará la fuerza explosiva como parte de las herramientas sensibles para cuantificar el rendimiento neuromuscular, ya que este se ve afectado primariamente en el corto plazo. Otra dificultad estriba en que los estudio se deben realizar con atletas de élite, con el fin de que los resultados puedan ser aplicados en el contexto del deporte competitivo, se sabe

que los estudios con estas poblaciones ofrecen grandes dificultades logísticas y establecen un gran reto a la investigación.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la efectividad de la aplicación de la neuroestimulación vascular Bodyflow® sobre el músculo liso en la fatiga en el corto plazo (2 horas) en atletas de resistencia hombres, después de la realización de un ejercicio fatigante, mediante indicadores de rendimiento, bioquímicos y psicológicos.

3.2 Objetivos específicos

Analizar la respuesta de la recuperación en el corto plazo (segunda hora), entre la aplicación de la neuroestimulación vascular Bodyflow® y la recuperación pasiva a fin de conocer las diferencias entre las intervenciones.

Aplicar neuroestimulación vascular Bodyflow® y recuperación pasiva a los participantes, con el objeto de contrastar los resultados obtenidos en la recuperación, con los indicadores bioquímicos.

Utilizar neuroestimulación vascular Bodyflow® y recuperación pasiva en los participantes, a fin de comparar el efecto en la recuperación mediante indicadores de rendimiento.

Aplicar neuroestimulación vascular Bodyflow® y recuperación pasiva a los participantes, con el objeto de comparar los resultados obtenidos en la recuperación, con los indicadores psicológicos de fatiga.

Diseñar y aplicar el protocolo fatigante a los individuos, de manera estandarizada, para posteriormente realizar una intervención con neuroestimulación vascular Bodyflow® y recuperación pasiva.

Medir el proceso de fatiga en el corto plazo en atletas de resistencia junto con el efecto de la intervención.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Fatiga muscular

La fatiga muscular se define como la incapacidad de mantener el nivel requerido o esperado de la fuerza (Edwards, 1981), durante y después de una prolongada o repetida actividad muscular (Place et al, 2010). Esta incapacidad se debe a la alteración del sistema neuromuscular al iniciar el ejercicio. La fatiga se desarrolla progresivamente hasta que el músculo no puede sostener la tarea solicitada (Boyas & Guével, 2011). Numerosos factores influyen durante el ejercicio prolongado, tales como el volumen, la velocidad y la duración de la contracción muscular (Enoka & Stuart, 1992).

La fatiga puede dividirse en dos grandes grupos. La fatiga central, implica el deterioro de la activación voluntaria de los músculos y se cree que ocurre en las contracciones de baja intensidad o sub-máximas; podría deberse a una disminución de la excitación de la corteza motora y/o una disminución en la actividad de las neuronas motoras. La fatiga periférica, corresponde a una alteración en la contracción muscular, puede ser inducida por perturbaciones de transmisión neuromuscular, propagación del potencial de acción muscular, acoplamiento excitación –contracción y mecanismos contráctiles (Boyas & Guével, 2011).

Boyas & Guével (2011) refieren que la aparición de la fatiga neuromuscular, está asociada con cambios en varios de estos mecanismos, centrales o periféricos. Las interacciones entre estos, conducen a una cascada de eventos que aceleran o disminuyen la capacidad de generación de fuerza del músculo. (Skurvydas et al, 2010) el ejercicio excéntrico, extenuante o prolongado causa un deterioro de la función muscular, debido a la pérdida de la integridad de la membrana muscular tras demandas metabólicas y mecánicas (Snieckus et al., 2013; Simon Sostaric et al., 2008). La demanda metabólica es el resultado de hipoxia o isquemia durante un ejercicio prolongado, se considera que esta isquemia causa cambio en la concentración de iones, acumulación de metabolitos y deficiencia de ATP. La hipótesis mecánica, se produce como consecuencia de la carga mecánica sobre las miofibras (Howatson & Van Someren, 2008). Estos mecanismos causan la interrupción de la estructura intracelular muscular, sarcolema y de la matriz extracelular (Snieckus et al., 2013); dolor muscular, inflamación (Córdova, 2010) reducción de la fuerza y velocidad de acortamiento (Allen et al. 1995) e incremento de la CPK sérica total (Chen, Serfass, & Apple, 2000)

El ejercicio extenuante daña la estructura celular del músculo esquelético, lo que conduce a un cambio de la permeabilidad de la membrana y liberación de la CPK al espacio intersticial, posteriormente la CPK es absorbida por el sistema linfático y devuelto al torrente sanguíneo. Se ha reportado que la más alta actividad enzimática en suero post ejercicio se presenta en ejercicios competitivos de fondistas, maratonistas o triatletas. Durante las 24 horas posteriores al ejercicio la CPK continúa elevada hasta el 4 al 10 día, la disminución de los niveles de CPK depende del periodo de descanso posterior al ejercicio; debido a que en corto plazo la recuperación pasiva puede reducir el transporte linfático de la CPK; otro medio de recuperación de los niveles de CPK es el drenaje linfático, el cual está asociado a la recuperación acelerada de los niveles séricos de las enzimas del músculo (Brancaccio, Maffulli, Limongelli, 2007)

Existe una fuerte evidencia de que la fatiga causa pérdida de proteínas en el músculo lesionado, aparición de dolor tardío del ejercicio, rigidez, disminución de la amplitud de movimiento, economía del movimiento y alteraciones en el patrón de activación muscular (Skurvydas, Brazaitis, Kamandulis, & Sipaviciene, 2010), deterioro de la función del músculo y disminuciones en el tiempo de reacción, propiocepción. (Highton et al., 2009)

El daño muscular hace que los leucocitos se filtren, iniciando un complejo de activación de citoquinas inflamatorias que coordina la fagocitosis de los macrófagos para la eliminación de los desechos celulares. Estos macrófagos también liberan prostaglandinas que estimulan los nociceptores. El aumento de los niveles de PCR es un indicador de una respuesta inflamatoria y proporciona información fundamental sobre la cascada inflamatoria de citoquinas y leucocitos. (Ferguson et al, 2014)

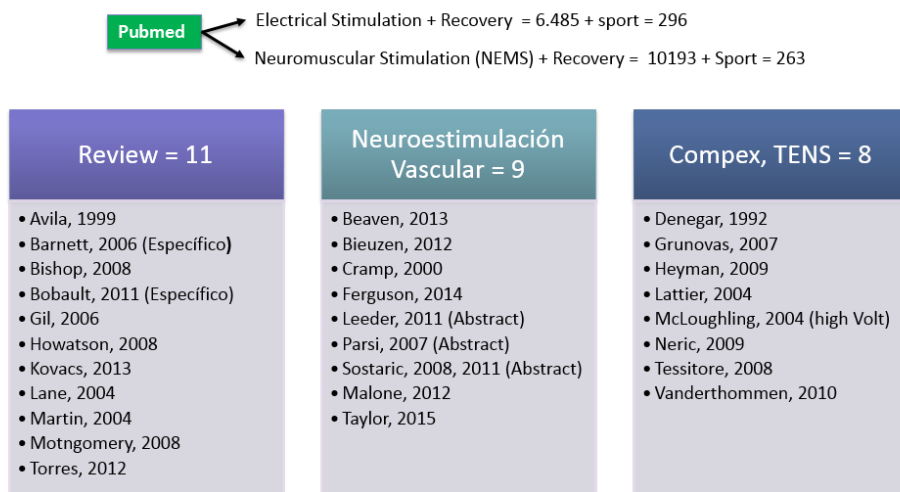
Chiu, Fry, Schilling, Johnson, and Weiss (2004), estudiaron las respuestas agudas neuromusculares en dos sesiones de entrenamiento de alta intensidad, uno de los indicadores de rendimiento del estudio fue una sentadilla al 70% de 1RM. El resultado del estudio muestra que los mecanismos de la fatiga causan una disminución inicial de la tasa de producción de fuerza, por causa de una disminución de la fuerza máxima. Indicando un deterioro transitorio de los iones de calcio cuando el nivel de activación de la unidad motora es baja, reflejado en la curva fuerza-tiempo. Este estudio tiene relación con los datos encontrados por Linnamo, Häkkinen, and Komi (1997).

Los deportistas de élite requieren altas frecuencias, volúmenes e intensidades de entrenamiento (Babault, Cometti, Maffiuletti, & Deley, 2011). Un exhaustivo entrenamiento y la competencia, pueden fatigar el sistema músculo-esquelético, nervioso y metabólico; en consecuencia, el rendimiento de los atletas se reduce. Este estado de fatiga transitoria, puede durar desde varios minutos a varios días posterior al ejercicio (Martin, Millet, Lattier, & Perrod, 2004), depende de los cambios periféricos que ocurren dentro del aparato contráctil distal al punto motor y/o sobre los cambios centrales que conducen a la reducción de la actividad de la unidad motora. Múltiples mecanismos pueden estar involucrados, tales como trastornos metabólicos, depleción del glucógeno muscular o daño muscular, (Gandevia 2001; Allen et al. 2008; Ament y Verkerke 2009)

Durante ejercicios prolongados con una misma intensidad se ha encontrado disminución de las propiedades neuromuscular, esta reducción se debe a cambios de los mecanismos centrales y periféricos. Lepers, et al, (2002) investigo los cambios de las propiedades neuromusculares en atletas de resistencia tras 5 horas de pedaleo al 55% de máxima fuerza aeróbica. Los resultados indican un deterioro de la activación muscular que es la responsable en la disminución de la producción de la fuerza asociada a la fatiga muscular. Los mecanismos precisos de la disminución de las propiedades neuromusculares no se conocen, varios procesos pueden deberse afectados, incluyendo una disminución de la liberación de Calcio desde el retículo sarcoplasmático y una reducción de la capacidad de los puentes para formar enlaces fuertes. Esta alteración puede deberse a los cambios metabólicos inducidos por el ejercicio. En el estudio de Lepers las propiedades neuromusculares se redujeron en la primera hora mientras que la excitabilidad y manejo central fueron más deteriorados hacia las últimas etapas. Esta reducción neural puede ser debido a los mecanismos espinales y supraespinales por agotamiento de neurotransmisores.

La revisión sistemática realizada en el buscador Pubmed arroja 6.485 artículos con los términos Mesh electroestimulación y recuperación; al incluir el término deporte los estudios arroja 296. Al filtrar estudios del uso de la neuroestimulación muscular (NEMS) para la recuperación post ejercicio el buscador filtra 10193 al incluir el término Mesh deporte arroja 263 artículos. Al analizar la pertinencia de los artículos, 11 de ellos se utilizaron para la revisión general de la electroestimulación; 8 estudios utilizaron TENS, Compex o alta frecuencia; 9 artículos utilizaron neuroestimulación vascular de los cuales 3 resúmenes se encontraron en la literatura con el uso de la neuroestimulación vascular Bodyflow®.

Tabla 4-1 Revisión sistemática



4.2 Recuperación muscular

Al identificar que la fatiga excesiva es perjudicial para el rendimiento Barnett (2006) citado (Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, & Beilby, 2009), menciona que los atletas buscan estrategias de recuperación para mantener un óptimo rendimiento, a fin de reducir el tiempo de recuperación y lograr objetivos propuestos. (Ingram et al., 2009) la falta de una apropiada recuperación puede ser traducida en la incapacidad para lograr una intensidad requerida durante un entrenamiento o para completar la carga solicitada en un próximo entrenamiento. Por lo tanto, una recuperación completa es necesaria para una forma óptima de la táctica y la técnica en una competición y/o entrenamiento (Ingram et al., 2009) (Ávila, 1999)

Una revisión de la literatura, muestra 3 tipos de recuperaciones. Bishop et al. (2008) las define como: a) recuperación inmediata, es la que se produce rápidamente, en esfuerzos finitos en un tiempo-próximo, por ejemplo en una carrera una pierna se encuentra en recuperación entre cada zancada; cuanto más rápida sea la recuperación de cada pierna, el atleta lograra mejores resultados durante la competencia; b) recuperación en el corto plazo, es la recuperación entre intervalos o series, los tiempos de esta recuperación pueden varía de acuerdo a la actividad; c) y la recuperación de entrenamiento, tiempo de espera para una nueva competencia y/o entrenamiento (Bishop, Jones, & Woods, 2008)

Hoy en día, los atletas usan una gran variedad de estrategias de recuperación a corto plazo y particularmente, entre competencia. Los fisioterapeutas aplican diferentes estrategias para mejorar la capacidad de trabajo de los atletas, entre las cuales se destacan masajes terapéuticos, crioterapia, terapia de contrastes, (Ingram et al., 2009) (Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008) estiramiento, ejercicios activos (Barnett, 2006) y electroestimulación (Babault et al., 2011); sin embargo, la eficacia de estas intervenciones no son lo suficientemente claras (Cheung et al., 2003; Ernst, 1998; OConnor & Hurley, 2003). Citado por (Ingram et al., 2009)

Torres et al. (2012) en su revisión sistemática y meta-análisis, demostraron que el masaje terapéutico es la única intervención que tiene un efecto positivo en la recuperación de "dolor muscular" y función, posterior a 24 horas; sin embargo, su efecto es demasiado pequeño para ser considerado clínicamente relevante. Por otra parte, el autor en su revisión indica la existencia de pruebas concluyentes que aprueban el uso de crioterapia, así como estiramientos y ejercicios de baja intensidad.

Un estudio aleatorizado realizado por (Lane & Wenger, 2004), demostró el efecto de la recuperación activa, inmersión en agua fría y el masaje posterior a 24 horas. Luego de completar un protocolo de sprint, los sujetos realizaron una de las modalidades de

recuperación por 15 min. Después de las primeras 24 horas de la sesión de ejercicios, el protocolo de sprint fue repetido. Los autores concluyeron que los métodos de recuperación utilizados, pueden facilitar la recuperación entre dos series de ejercicios de alta intensidad, luego de 24 horas. Sin embargo, la recuperación realizada en inmersión en agua fría, proporciona una mejora en el rendimiento. Por tanto, todas las modalidades pueden contribuir en la recuperación muscular. En comparación con la recuperación pasiva, estos métodos podrían acelerar la recuperación del atleta (Gill, Beaven, & Cook, 2006).

Son diversos los mecanismos por los cuales los métodos de recuperación causan efectos positivos en performance del atleta, tales como aumento del flujo sanguíneo y por lo tanto la remoción de subproductos metabólicos, tras una recuperación activa (Tessitore et al., 2008), disminución del dolor, disminución del metabolismo y la reducción de la inflamación y el edema (Plaja, 2003)

La importancia de los métodos de recuperación radica en sus efectos sobre el rendimiento durante sesiones posteriores al ejercicio. Dentro de las intervenciones activas, se destaca la electroestimulación (Babault et al., 2011), donde algunos electroestimuladores incluyen programas específicos que podrían facilitar los procesos de recuperación al aumentar el flujo sanguíneo y la remoción de metabolitos en músculos (Tessitore et al., 2008).

4.3 Electroterapia y Neuroestimulación vascular

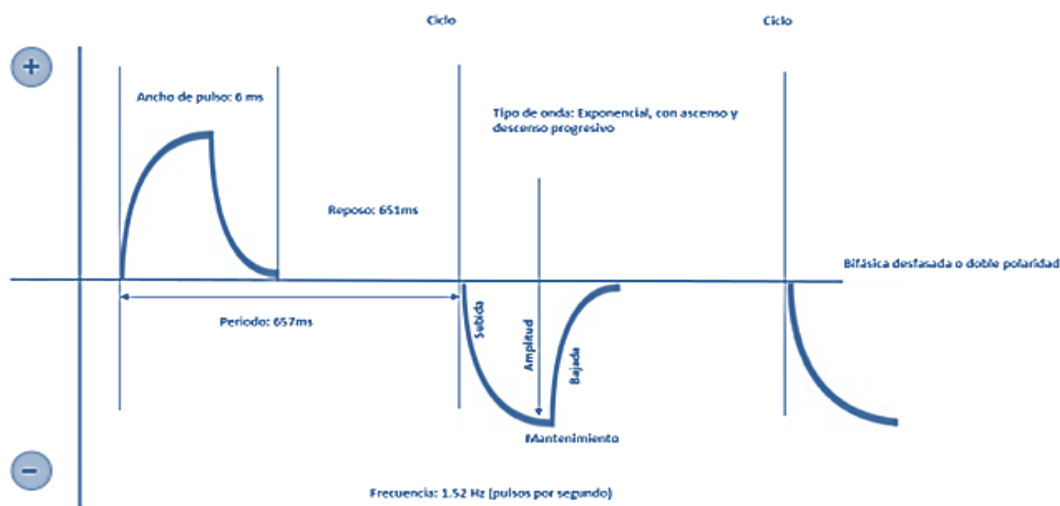
La electroterapia implica la transmisión de estímulos eléctricos a través de electrodos de superficie sobre el músculo. (Kovacs & Baker, 2014) (Gondin, Guette, Jubeau, Ballay, & Martin, 2006). Esta modalidad terapéutica, se puede aplicar en lesiones musculares o en la primera fase de rehabilitación. Las diversas formas de electroterapia son utilizadas para disminuir el dolor, aumentar el flujo de sangre, amplitud de movimiento, fuerza muscular, reeducación muscular, facilitar la absorción de anticuerpos anti-inflamatorios, analgesia, suministro de analgésicos a la zona lesionada y promover la curación de heridas (Reid, 1993)

Según Rodríguez Martín (2004), "la electroterapia puede clasificarse en diferentes formas: 1. Efecto sobre el organismo: efecto electroquímico, efectos motores sobre el nervio y el músculo, efecto sensitivo sobre el nervio sensitivo, efectos por aporte energético para mejorar el metabolismo; 2. Según modo de aplicación: pulsos aislados, trenes o ráfagas, aplicación mantenida o frecuencia fija, corrientes con modulaciones; 3. Según frecuencia: baja frecuencia 0 a 1000 Hz, media frecuencia de 1.000 a 500. 000 Hz (utilizadas de 2.000 a 10.000), alta frecuencia: de 500.00 Hz hasta el límite de ultravioleta; 4. Según la forma de onda: de flujo constante y polaridad mantenida (galvánica), de flujo interrumpido y mantenida polaridad (interrumpidas galvánicas), de

flujo constante e invertida la polaridad (alternas), de flujo interrumpido e invertida polaridad (interrumpidas alternas), modulando amplitud (interferenciales), entre otras”.

Las corrientes de baja frecuencia, tienen un “efecto analgésico y motor” (Plaja, 2003). El estimulador eléctrico Bodyflow®, utiliza una baja frecuencia patentada de 1,52 Hz y un ancho de pulso de 6ms. Al calcular el periodo con la formula periodo: $1\text{seg} / F$ (Rodríguez, 2004) se identificó que el periodo es de 657ms y el tiempo de reposo es de 651ms, como se ilustra en la figura 4-1. Este equipo fue fabricado en Alemania por PHYSIOMED, para optimizar el tiempo de recuperación de los atletas.

Figura 4-1 Forma de la onda Neuroestimulación vascular Bodyflow® fuente propia¹



Los microprocesadores de las corrientes de baja frecuencia, controlan las formas y tipos de onda, así como los tiempos de reposo. Bodyflow®, para conseguir la despolarización de la membrana nerviosa y muscular, utiliza corrientes bifásicas o también llamadas de doble polaridad (Rodríguez, 2004; Plaja, 2003; Vanderthommen et al 2007). Las corrientes bifásicas pueden ser consecutivas o desfasadas, en el caso de Bodyflow®, se utilizan bifásicas desfasadas. Las corrientes del Bodyflow®, son impulsos aislados y cada uno consigue su propio trabajo. Por último, el equipo utiliza una forma de onda exponencial, con ascenso y descenso progresivo, este tipo de onda tiene menor capacidad de despolarización de la membrana. En cuanto a la dosificación de la intensidad, se tiene en cuenta dos condiciones, si se quiere tener respuesta sensitiva, el baremo lo indica la subjetividad del usuario; si el objetivo es tener una respuesta motora, dependerá de la palpación y la consideración sobre el nivel de contracción muscular

¹ . Bodyflow®, frecuencia de 1,52 Hz, periodo del impulso: 657ms con ancho de pulso: 6ms y un tiempo de reposo: 651ms. Tipo de onda exponencial, bifásica desfasada o de doble polaridad.

alcanzado (Rodríguez, 2004). En el caso de Bodyflow® la intensidad se fija teniendo en cuenta las dos condiciones antes mencionadas.

La aplicación de la corriente eléctrica, en el equipo Bodyflow®, se puede realizar a través de electrodos adhesivos o por medio de electrodos de vacío. En el año de 1950, Nemeç, creó un sistema de vacío relativo sobre una ventosa, este sistema transmite la succión del aire contenido en el interior y permite la trasmisión de la corriente a través de una placa metálica, separada de la piel por su correspondiente esponja humedecida. En corrientes de media frecuencia, se ha demostrado que cuando mayor es la presión entre el electrodo y la piel, la resistencia eléctrica es reducida y la intensidad aumenta. En caso de que el estimulador trabaje en tensión constante o en intensidad constante, se presentarán las siguientes circunstancias: - en tensión constante, cuanto más humedecidas estén las esponjas, se conseguirán rápidamente los efectos y no será necesario subir excesivamente la intensidad. – en tensión constante, si la presión es fija, la intensidad no varía, incluso, irá aumentando lentamente. En intensidad constante, la intensidad se mantiene, pero el voltaje puede cambiar si la resistencia de los electros cambia. – en intensidad constante, se usan electrodos convencionales y en tensión constante se usan ventosas (Rodríguez, 2004).

Los electrodos de ventosa son utilizados con frecuencia en corriente interferencial tetrapolar, especialmente en zonas extensas y poco curvadas, como la espalda, el muslo, la cadera. Los electrodos adhesivos, toleran una resistencia de 30 ohmios; cuando el electrodo es pequeño, es más selectivo, pero requiere mayor intensidad para conseguir la misma respuesta que el grande, lo que aumenta el riesgo de quemadura. La colocación del electrodo se realiza de forma bipolar (desde el origen al final de la masa muscular), normalmente los electrodos en este tipo de aplicación son del mismo tamaño, aunque el electro activo puede ser más pequeño que el neutro (el neutro en este caso pierde su importancia como masa y puede comportarse como activo); la respuesta será más efectiva al colocar el activo como distal, si es negativo y si es más pequeño. En aplicaciones longitudinales, se consigue mejor respuesta si el distal es negativo y el proximal positivo (Rodríguez, 2004).

La neuroestimulación vascular utiliza electronos de ventosa las cuales son colocadas sobre los ganglios a una velocidad de 6 a 8 pulsaciones por minuto y electrodos adhesivos en los músculos estriados a fin de lograr una bomba de ganglionar eficaz y obtener vaciamiento linfático completo. Puesto que los ganglios linfáticos no contienen los músculos lisos los electros de ventosa realizan una presión negativa que permite movilizar los líquidos contenidos en los ganglios y evitar que la congestión ganglionar ocurra (Sostaric et al, 2007)

En la recuperación post ejercicio, la estimulación eléctrica se utiliza por dos razones. El primer efecto está relacionado con aumento del flujo sanguíneo, el cual acelera la eliminación de metabolitos; para este propósito los electrodos son colocados en el musculo sobre el punto motor. El segundo efecto, es la reducción del dolor; para este fin,

los electrodos se colocan sobre el sitio de la lesión o contralateral. (Babault et al., 2011)
 Figura 4.2 características de la electroestimulación y aplicación de electrodos

4.2 Características de la electroestimulación y aplicación de electrodos

Name	Current characteristics	Electrode placement
MENS Microcurrent electrical neuromuscular stimulation	10 min at 30 Hz+10 min at 0.3 Hz	Muscle belly
HVPC High-volt pulsed current	30 min at 120 Hz (impulse duration=40 μ s)	Site of pain
TENS Low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation	20 min at 4 Hz (impulse duration=200 μ s)	Site of pain
TENS High-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation	20 min at 110 Hz (impulse duration=200 μ s)	Site of pain
MHVS Monophasic high-voltage stimulation	30 min at 120 Hz (impulse duration=100 μ s)	Muscle belly
LFES Low-frequency electrical stimulation	20 min at 5 Hz (impulse duration=250 μ s)	Muscle motor point

Adapted from Babault *et al.*⁴⁹
 HVPC, high-volt pulsed current; LFES, low-frequency electrical stimulation; MENS, microcurrent electrical neuromuscular stimulation; MHVS, monophasic high-voltage stimulation; TENS, transcutaneous electrical nerve stimulation.

Características de la electroestimulación y aplicación de electrodos (Kovacs, 2014).

La intensidad del estímulo debe aumentarse siempre que se posible por el atleta, con el fin de despolarizar nuevas y más profunda fibras musculares. Además los electrodos deben moverse entre una misma sesión o entre sesiones, con el fin de cambiar la superficie de las fibras activadas por las corrientes de baja frecuencia Maffioletti, (2011).

La respuesta fisiológica de las corrientes de baja frecuencia, es similar a las respuestas de media frecuencia. Los impulsos de subida progresiva, tienen menor capacidad de despolarización sobre la membrana, que los de subida rápida. En frecuencias inferiores a 10 Hz las contracciones son vibratorias.

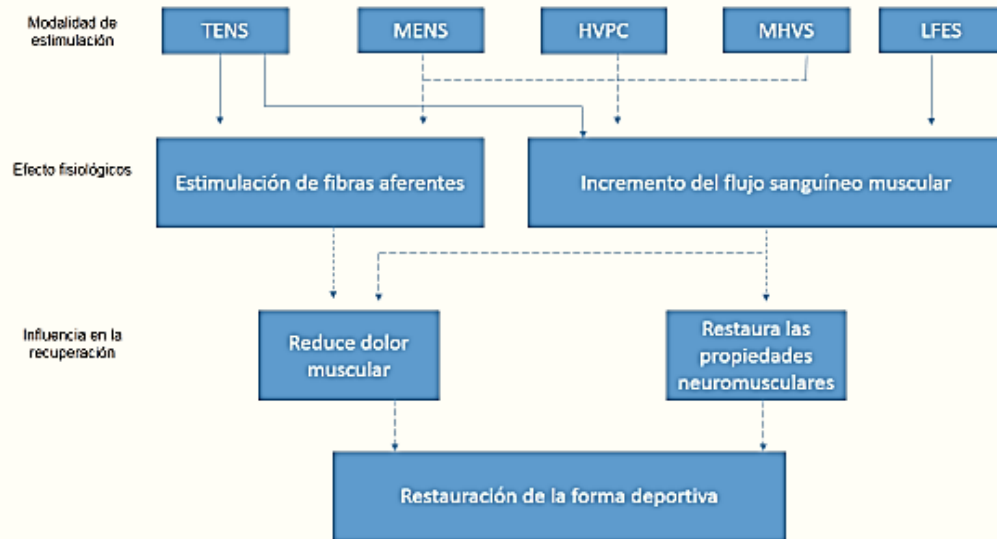
La musculatura lisa es de respuesta mecánica, mucho más lenta que la estriada, como se expone en la tabla 4.3

Tabla 4-3 Diferencias entre musculatura lisa y estriada.

Musculatura estriada	Musculatura lisa
Dispuesta en sentido longitudinal y fibras paralelas	Dispuesta en forma circular y transversal a lo largo de los distintos conductos y esfínteres
	Las fibras contraídas inducen contracción a las siguientes y relajación a las anteriores, dando lugar a una “ola de contracción” que avanza por el órgano tubular correspondiente, dejando sus pausas de relajación
Repolarización de la fibra lisa es de 20 ms	Repolarización de la fibra lisa es de 100 a 1000 ms
Las frecuencias cercanas a los 100Hz contraen a la musculatura estriada y pone en movimiento los líquidos contenidos en ellos.	Con frecuencia de 1 Hz, los músculos entran en una lenta vibración que moviliza los líquidos contenidos y próximos. Los vasos sanguíneos y linfáticos, pueden ser contraídos directamente generando un bombeo activo.
Con frecuencia de 50 Hz, el músculo estriado entra en una fuerte contracción de su fibra para mantener tenso al tejido afectado, a fin de elongarlo y liberar articulaciones junto con otros tejidos.	Con 1Hz de frecuencia, los músculos entran en una lenta vibración que moviliza todas las fibras de colágeno afectadas por las tensiones musculares, para desbridarlas y elastificarlas.
	Al contraer los músculos de forma rítmica y vibratoria, se trasmite a los tendones, capsula, ligamentos, fascias, cicatrices entre otras; deformaciones repetitivas en distintos sentidos que tienden a dar elasticidad, desplazamiento entre planos tisulares y liberación del medio intersticial.

Diferencias de la contracción muscular lisa y estriada (Rodríguez., 2004)

Dependiendo de las características de la electroestimulación, se altera el flujo de sangre; es así como la Electroestimulación transcutánea (TENS), aumenta el flujo de sangre cutáneo (Cramp et al. 2000), las corrientes de baja frecuencia (LFE) inducen contracciones musculares responsables para un efecto de bomba muscular y por lo tanto mejora el flujo de sangre (Vanderthommen et al. 2010), Sin embargo, para obtener este efecto, la estimulación tiene que ser entregada adecuadamente. Autores han demostrado que la estimulación eléctrica podría ser un medio eficaz para aumentar el retorno venoso (Grunovas et al. 2007). Además del aumento del flujo sanguíneo, la estimulación eléctrica reduce los síntomas asociados al dolor tardío del ejercicio (DOMS). (Babault et al., 2011) figura 4.2.

Figura 4-2 Vía esquemática efectos electroestimulación ²

Vista esquemática de efectos conocidos en electroterapia (Babault et al., 2011)

4.4 Estudios relacionados electroterapia

Malone, Coughlan, Crowe, Gissane, and Caulfield (2012), examinaron el efecto fisiológico de la electroestimulación de baja frecuencia (NMES), en la recuperación en el corto plazo de ejercicios supra-umbrales en triatletas. La prueba consistió en realizar durante 30 minutos un protocolo fatigante y posteriormente 30 minutos de recuperación activa, pasiva o MNES. Los resultados sugieren que el uso del NMES no es la mejor alternativa, comparativamente con otros métodos de recuperación tradicional en el corto plazo. Sin embargo, recomiendan el uso de la electroterapia en lugares donde no se pueda realizar una recuperación activa, ayudando además a reducir el dolor percibido.

Vanderthommen, Makrof, and Demoulin (2010) el objetivo del estudio fue comparar la electroestimulación y la recuperación activa posterior a un protocolo fatigante de ejercicios isométricos sub-máximos (60-55-50%). Para la recuperación activa se utilizó un cicloergómetro; la recuperación con electroestimulación se aplicó por 25 min a 5 Hz con

² Vista esquemática de efectos conocidos (flecha continuas) y esperado (flechas discontinua) de formas diferentes de estimulación eléctrica utilizados para recuperación. TENS: estimulación nerviosa eléctrica transcutánea, MENS estimulación neuromuscular eléctrica, HVPC alta voltios corriente pulsada, MHVS estimulación de alta tensión monofásica, LFE estimulación eléctrica de baja frecuencia. (Babault et al., 2011)

impulsos simétricos rectangulares; la recuperación pasiva consistió en permanecer sentado por espacio de 25 min. Los resultados no arrojaron diferencia significativa al comparar los tres métodos, el protocolo utilizado indujo a una fatiga temprana pero no al DOMS.

Neric, Beam, Brown, and Wiersma (2009) en su estudio evaluaron la eficacia de tres (3) métodos de recuperación para la remoción de lactato en sangre después de un máximo esfuerzo. En la recuperación activa los sujetos nadaron al 65% de la velocidad solicitada para alcanzar un máximo de 200 yardas; en la recuperación pasiva los participantes permanecieron sentados por 20 min y en la recuperación con electroestimulación de baja frecuencia, se utilizó una frecuencia de 2 Hz, bifásica exponencial, la intensidad de incremento cada 2 a 3 min. Los resultados arrojaron una reducción del lactato en sangre significativa con el uso del TENS, en comparación con la recuperación de reposo. ($p=0,05$), luego de 10 min y 20 min. Sin embargo, es significativamente mayor la remoción del lactato con la recuperación activa.

Denegar and Perrin (1992) buscaron comparar los cambios en la movilidad articular en la extensión de codo, fuerza muscular y dolor percibido en sujetos que experimentaban DOMS, luego de una intervención con TENS, crioterapia, métodos combinados o recuperación pasiva por 20 min. Los sujetos realizaron ejercicios excéntricos con el brazo no dominante y retornaron al laboratorio 48 horas después. Al azar se aplicó a los sujetos uno de los métodos de recuperación; para la aplicación de TENS un ciclo continuo, la intensidad se ajustó para proporcionar una sensación de hormigueo. Los resultados arrojaron que participantes que recibieron crioterapia, TENS o combinado disminuyeron la percepción del dolor ($p<0,05$) que los que recibieron TENS simulado o recuperación pasiva, la extensión de codo fue mayor en los sujetos que recibieron crioterapia, las modalidades de recuperación no fueron significativas para la recuperación de la fuerza.

Heyman, De Geus, Mertens, and Meeusen (2009) evaluaron el efecto de cuatro modalidades de recuperación al azar en deportistas de rendimiento de escalada, posterior a un protocolo fatigante con el gesto deportivo. En la intervención pasiva, los sujetos permanecieron sentados. En la activa, se utilizó un cicloergómetro con una carga constante de 30 a 40 W con frecuencia de pedaleo entre 50 y 70 rpm; inmersión en agua fría, con 3 periodos de 5 min de inmersión y 2 min fuera del agua. Por último, para la electroestimulación se utilizó TENS bifásico, con frecuencia de 9Hz, la cual se redujo 1 Hz cada 2 min hasta los 7 Hz, allí se redujo la frecuencia 1 Hz cada 3 min, hasta alcanzar 2Hz. Se fijó una intensidad entre 15 y 20 mA en músculos flexores del brazo. Los resultados no arrojaron una diferencia significativa en la fuerza de agarre entre los cuatro métodos de recuperación, la sensación térmica fue mayor en la recuperación activa y significativamente más baja en la recuperación en inmersión. El lactato disminuyó en las cuatro intervenciones; sin embargo, el mayor descenso se logró con la recuperación activa.

McLoughlin, Snyder, Brolinson, and Pizza (2004) en su estudio aleatorizado, examinaron la eficacia de la estimulación neuromuscular eléctrica monofásica de alto voltaje (MHVS), luego de una lesión muscular. Un grupo experimental realizó contracciones excéntricas de codo hasta el agotamiento, luego de aplicación de MHVS a los 5min, 3,6,24,48,72,96 y 120 horas después de la lesión. En el grupo control se realizó el mismo protocolo fatigante, luego se colocaron los electrodos sin corriente en los mismos tiempos que los experimentales. Los resultados muestran una mejora en la percepción de dolor y el rango de movimiento en un corto plazo; el estudio no mostró mejora en la fuerza muscular.

Parsi et al (2007) en su estudio investigo el efecto de la neuroestimulación vascular con un dispositivo portátil Bodyflow® diseñado principalmente para mejorar el flujo linfático, factores hemostáticos con un énfasis en la fibrinólisis a 23 voluntarios, la aplicación se realizó por 45 min. Los resultados mostraron un aumentado la velocidad venosa (24%) y el flujo sanguíneo en (19,5%) y mejora de la fibrinólisis.

Piller et al (2007) en su estudio en 30 pacientes con linfedema se aplicó Bodyflow® o un tratamiento pasivo por 3-4 veces por semana durante 4 semanas. Los resultados arrojan una redujo de líquidos y volumen del miembro por 30% y 15% respectivamente, en pacientes con linfedema

Babault et al. (2011), realizaron una revisión en la literatura de la estimulación eléctrica sobre la capacidad de producción de fuerza y la disminución de la percepción del dolor muscular posterior a un ejercicio fatigante. Los resultados de la revisión muestran que la estimulación eléctrica tiene algunos efectos positivos en la remoción del lactato y en la actividad de CPK; sin embargo, en la evidencia sobre la restauración de la fuerza muscular, no es clara. El autor refiere que la falta de cualquier efecto positivo, podría atribuirse a problemas metodológicos, como la elección arbitraria de la intensidad de la estimulación. La mayoría de estudios, han obtenido efectos positivos con el uso de electroestimulación en parámetros subjetivos, como la percepción del dolor. Esta estrategia de recuperación podría, por tanto, mejorar la sensación subjetiva de bienestar y también podría ayudar a la actitud de los atletas frente a la competencia (Tessitore et al., 2008). Por último, aunque no se obtuvo ningún efecto para el rendimiento, la estimulación eléctrica parecía ser un tratamiento alternativo válido para la recuperación después del ejercicio, cuando el dolor es el factor limitante más importante.

Tabla 4- 4 Artículos relacionados con neuroestimulación de baja frecuencia

Estudio	Modalidad de recuperación	Número de participantes	Ejercicio fatigante	resultado
Sostaric et al. (2007)	-Neuroestimulación vascular- Bodyflow® (20 min) en la primera hora, 1°, 2°, 3°, 4° y 7° día, la intensidad vario de 15 a 32 mA -Neuroestimulación vascular - simulada (tratamiento falso)	16 voluntarios (11 hombres - 5 mujeres) entre las edades 18 a 40 años	Step por 45 min personalizado a cada individuo, de acuerdo al punto medio de la rótula.	Disminución de la CKP Disminución de la percepción del dolor No se presentaron cambios significativos en el salto vertical 1, 2, 3, 4 y 7 día
Leeder J et al. (2011)	-Neuroestimulación vascular- Bodyflow® (3 x 20 min) en una pierna -Recuperación pasiva	8 voluntarios (5 hombres y 3 mujeres) entre las edades de 20 a 30 años	5 series de 20 Drop Jumps (10s entre salto y 2 min entre serie) de 60cm en hombres y 40cm en mujeres	tendencia a la recuperación acelerada de la fuerza No se encontró diferencia en la percepción del dolor 48 horas
Malone et al. (2012)	-Neuroestimulación eléctrica de baja intensidad (NMES): 20 min, 1Hz (2:6 s ON:OFF) Intensidad de acuerdo a resistencia de los participantes y visible contracción muscular en cuádriceps -Recuperación activa: pedaleo 30% VO2max -30min -Recuperación pasiva: sentado por 30 min	13 hombres triatletas entre los 18 y 40 años	30 segundos -test anaeróbico de Wingate (30 WanT)	A los 20 min la recuperación con NMES fue significativamente mayor que la recuperación pasiva (p=0,05) en el ritmo cardiaco El NMES podría ayudar a reducir el dolor percibido

Vanderthommen et al. (2010)	<p>-Estimulación eléctrica de baja frecuencia 25 min, 5Hz, la intensidad fue 47 (\pm 13), 49 (\pm 15) y 45 (\pm 14) mA en bazo media, bazo externo y recto femoral respectivamente</p> <p>-Recuperación pasiva: sentado por 25 min</p> <p>-Recuperación activa: 25 min de pedaleo en una bicicleta estática a una velocidad de 60 rpm</p>	19 hombre sanos (sin o con un nivel de actividad física)	3 x 25 contracciones isométricas submáximas de los extensores de la rodilla	<p>No hay diferencias significativas en los tres métodos de recuperación en la contracción isométrica ($p=0.89$) y en la percepción del dolor muscular ($p=0,64$)</p> <p>1 hora</p>
Neric et al. (2009)	<p>-Estimulación eléctrica de baja frecuencia: 20 min, Bifásico exponencial, frecuencia 2 Hz, la intensidad se aumentó cada 2 min para provocar contracciones musculares visibles.</p> <p>-Recuperación pasiva: sentado por 20 min</p> <p>-Recuperación activa: 25 min de pedaleo en una bicicleta estática</p>	30 voluntarios del equipo de la secundaria de natación (19 hombres y 11 mujeres)	200 yardas en estilo libre	Reducción del lactato en sangre significativa con el uso de la estimulación eléctrica de baja frecuencia, en comparación con la recuperación de reposo. ($p=0,05$)
Heyman et al. (2009)	<p>-Recuperación pasiva: 20 min sentado</p> <p>-Recuperación activa: cicloergometro con una carga constante de 30 a 40 W</p> <p>-Electroestimulación transcutánea (TENS) intensidad de 15 a 20 mA, frecuencia inicial 7 Hz y final 2 Hz</p> <p>-Inmersión en agua fría: 5 min de inmersión</p>	13 deportistas voluntarios	Escarar hasta el agotamiento	<p>No se encuentra una diferencia significativa en la fuerza de agarre</p> <p>Se encontró una reducción del lactato en sangre en comparación a la recuperación pasiva</p>

Martin et al. (2004)	<p>-Recuperación activa: 30 min, caminadora al 50% del consumo máximo de oxígeno de cada participante</p> <p>-Recuperación pasiva 30 min sentado</p> <p>-Neuroestimulación de baja frecuencia: frecuencia de 8 Hz, intensidad auto-elegida (20 a 30 mA)</p>	8 hombres entrenados	15 min de carrera con una sola pierna (1 min de duración / 30 s de recuperación)	No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los métodos de intervención en la recuperación de las propiedades contráctiles
Lattier et al. (2004)	<p>-Recuperación pasiva: 20 min sentado</p> <p>-Recuperación activa: 20 min de carrera sub-máxima correspondiente al 50% del consumo máximo de oxígeno</p> <p>-Neuroestimulación de baja frecuencia: posición supina, 8 Hz, intensidad de 20 a 30 mA</p>	8 hombres entrenados	10 min de carrera de ascenso de alta intensidad	No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los métodos de intervención en la recuperación de las funciones neuromusculares
Bieuzen et al (2012)	<p>Recuperación pasiva: 1 hora sentado</p> <p>Neuroestimulación vascular Veinoplus: 20 min pulsos rectangulares frecuencia (1,75 Hz) duración de impulso de 240 microsegundos</p>	26 hombres deportistas de futbol	2 set de 10 min separados por 10 min de recuperación cada set consistió en 30 seg de CMJ y 30 seg ejercicio de remo	Mejora rendimiento anaeróbico No se encontraron diferencia en los indicadores de CPK y LDH
Ferguson et al (2014).	<p>Recuperación pasiva Medias de compresión por espacio de 12 horas</p> <p>Neuroestimulación: frecuencia de 1 Hz por espacio de 12horas</p>	21 hombres deportes de conjunto	2 secciones de 45 min separada por 15 min de recuperación 3x20 mts marcha 1x20 mts sprint máximo 4 seg recuperación 3x20 mts a una	Efecto el dolor percibido lo que sugiere que tiene un efecto analgésico No hay diferencias entre los tratamientos a la hora en los niveles de IL-6 y CRP No hay diferencias en la

			<p>velocidad correspondiente al 70 % VO 2max 3x20 mts velocidad correspondiente al 100% VO 2max</p>	<p>producción de fuerza entre los tratamientos 1 hora 24 y 48 horas</p>
<p>Taylor, et al (2015)</p>	<p>Media de compresión por 8 horas Neuroestimulación: Firefly frecuencia a 1 Hz por espacio de 8 horas</p>	<p>28 hombres jugadores de rugby (n = 12) and football (n = 16)</p>	<p>6 m x 50 m sprints, con un período de recuperación de 5 minutos entre cada sprints.</p>	<p>Reducción significativa de la CPK y una más rápida recuperación de la altura del salto. Primera hora y 24 horas</p>
<p>Beaven et al (2013)</p>	<p>Medias de compresión Neuroestimulación: sobre el nervio peroneo frecuencia 1 Hz combinada con medias de compresión</p>	<p>16 hombres profesionales en rugby</p>	<p>estudio cross over, durante un ciclo corto de 3 bloques de entrenamiento</p>	<p>reducción acelerada de la CPK con la intervención combinada de compresión con neuroestimulación vascular, en comparación con solo la compresión</p>

5. MARCO DE REFERENCIA

Sostaric et al. (2007), en la Universidad de Victoria en Melbourne, Australia, realizaron un estudio aplicando la neuroestimulación vascular en deporte. Los objetivos del estudio consistían en identificar el efecto del tratamiento con Bodyflow® en la función del músculo esquelético, establecer si Bodyflow® disminuye los síntomas del daño muscular y la aparición de índices de inflamación e identificar si en el tratamiento con Bodyflow® ayuda a conservar la función muscular, el rendimiento posterior y el estado de recuperación. 16 voluntarios (11 hombres - 5 mujeres) entre las edades 18 a 40 años. Los participantes asistieron 8 veces por 11 días al laboratorio y fueron asignados al azar a un grupo experimental o control. El protocolo fatigante consistió en realizar step por 45 min personalizado a cada individuo, de acuerdo al punto medio de la rótula. El tratamiento fue eficaz para la reducción CPK y la PCR (proteína c-reactiva), indicando que el flujo sanguíneo aumentó con el tratamiento con Bodyflow® por tanto se redujo la inflamación, se disminuyó el dolor y el edema indicando que se realizó una recuperación acelerada de la fuerza isocinetica de los miembros inferiores. Finalmente Bodyflow® no presentó cambios en la Mb, LDH y el rendimiento de ejercicios de alta intensidad o potencia en los miembros inferiores.

Leeder J et al (2011) examinaron la eficacia de Bodyflow® para la recuperación posterior a un ejercicio extenuante en 8 voluntarios (5 hombres y 3 mujeres) entre las edades de 20 a 30 años. El protocolo fatigante consistió en 5 series de 20 Drop Jumps (10s entre salto y 2 min entre serie) de 60cm en hombres y 40cm en mujeres. Los resultados mostraron que la percepción del dolor tardío del ejercicio (DOMS) no mejora tras la aplicación de Bodyflow®, pero si hay tendencia a la recuperación acelerada de la fuerza isométrica de los extensores de la rodilla.

6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

6.1 Neuroestimulación vascular Bodyflow®

Es un tratamiento que utiliza la electroestimulación de baja frecuencia para tratar trastornos hemodinámicos, incluyendo lesiones deportivas; acelerando la recuperación a través del aumento del flujo sanguíneo y el drenaje linfático. El equipo terapéutico Bodyflow® utiliza un sistema de ventosas y electrodos adhesivos para su aplicación (Sostaric, 2007)

6.2 Fatiga muscular

Es considerada como un conjunto de manifestaciones sintomáticas producidas por trabajo o por un ejercicio prolongado (Rossi, Tirapegui, 1999), o una deficiencia en sustentar un nivel particular de desempeño durante un ejercicio físico (Davis, Bailey, 1997). Generalmente, la fatiga muscular está asociada a la incapacidad del músculo esquelético de generar elevados niveles de fuerza muscular (Enoka, Stuart, 1992; Green, 1997).

En el caso del presente estudio se tiene en cuenta que la fatiga inmediata mediada por el esfuerzo intenso y repetido durante tiempos prolongados, causa una reducción de la capacidad del sistema neuromuscular para controlar el movimiento, producir aceleraciones y saltar en contra-movimiento. Esta fatiga se refiere en el texto también como fatiga en el corto plazo. (Maestu, 2006)

Cuando se haga referencia a la fatiga en el corto plazo se hace referencia a la fatiga neuro-muscular.

6.3 Recuperación

Consiste en reaprovisionar las fuentes energéticas reducidas, reparar el tejido dañado y remover metabólicos acumulados, lo cual resulta en menos fatiga y permite maximizar los efectos del entrenamiento al servir de señal bioquímica y molecular para inducir las adaptaciones. (Hamlin, 2007).

6.4 Indicadores bioquímicos y rendimiento

El control bioquímico y fisiológico es considerado como un medio complejo pero eficaz, para conseguir una correcta dirección del entrenamiento deportivo. El objetivo principal de este control, es ayudar a los entrenadores a conseguir el rendimiento máximo y evitar el sobreentrenamiento

Para el estudio se utilizarán como indicadores bioquímicos la creatina quinasa (CPK), que es una isoenzima que cataliza la reacción que genera ATP a partir de ADP y fosfocreatina; además, desempeña un papel central en el metabolismo energético del músculo miocárdico y esquelético. Durante el ejercicio la CPK sérica total aumenta. (Chen et al., 2000).

En los indicadores de rendimiento, la valoración de la saltabilidad “permite establecer las condiciones de potencia, fuerza reactiva y curva fuerza velocidad” (Serrato 2008) para el estudio se utilizará salto contra movimiento (CMJ); el objetivo es valorar la fuerza explosiva, reutilización de la energía elástica, coordinación intra e intermuscular y el ciclo de estiramiento-acortamiento muscular.

La fuerza explosiva, es la capacidad de desarrollar altos niveles de fuerza para acelerar o desacelerar una extremidad. (Abernethy y Jürimäe, 1996), es un factor determinante del rendimiento; por lo tanto, la curva de fuerza- velocidad y potencia, indica el estado en que se encuentra el deportista y como se acerca o aleja del óptimo para su deporte.

6.5 Indicadores psicológicos

Permiten un seguimiento longitudinal de los estados de ánimo de las diferentes etapas del entrenamiento deportivo (Moreno, 2005), uno de los instrumentos utilizados con mayor frecuencia para medir estados de ánimo en relación con el rendimiento es el TEAD-R; el cual mide hostilidad, confusión, depresión, fatiga, tensión y vigor. Para el caso del estudio se tomarán las subescalas de fatiga y vigor.

Fatiga: representa un estado caracterizado por cansancio o desgaste psicológico. La escala de la fatiga está compuesta por los ítems 5, 11, 12 correspondientes a los enunciados fatigado, exhausto y muy cansado. (Moreno, 2005)

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 Tipo de estudio

Según Thomas et al, (2007) .este estudio es de alcance explicativo de tipo cuasi-experimental con autocontroles. Se caracteriza porque el investigador controla las variables. Para el estudio se llevaron a cabo cuatro mediciones, a saber: pre-post con recuperación neuroestimulación vascular y pre-post recuperación pasiva.

Los participantes iniciaron el estudio con valoración médica, a fin de encontrar los criterios de inclusión. Al siguiente día, los sujetos regresaron al centro para la primera intervención; la cual consiste en mediciones basales de indicadores bioquímico, de rendimiento y psicológico. Posteriormente, se realizó la aplicación de un protocolo fatigante y un método de recuperación pasiva o con neuroestimulación vascular por espacio de una hora y nuevamente se midieron a las 2 horas los indicadores del estudio. Por último, transcurridos 2 días, los participantes asistieron en una 3 ocasión al centro para la segunda aplicación del protocolo descrito. Con información obtenida, se comparan los datos obtenidos con la recuperación pasiva vs los encontrados con la recuperación bajo neuroestimulación vascular. Tabla 7.1

Tabla 7-1 Modelo de la metodología aplicada.

Intervención 1.	
Medición CPK test de saltabilidad (CMJ) Fuerza explosiva Medición TEAD-R	Pre test
Protocolo fatigante	
Recuperación pasiva o con neuroestimulación vascular	
Medición CK test de saltabilidad (CMJ) Fuerza explosiva Medición TEAD-R	Post test
Intervención 2.	
Medición CPK test de saltabilidad (CMJ) Fuerza explosiva Medición TEAD-R	Pre test
Protocolo fatigante	
Recuperación pasiva o con neuroestimulación vascular	
Medición CK test de saltabilidad (CMJ) Fuerza explosiva Medición TEAD-R	Post test

Protocolo del estudio. Periodo de pre intervención, periodo de intervención y periodo post intervención.

7.2 Aspectos éticos

En el presente trabajo se realizaron los procedimientos en estricto orden de acuerdo con la Ley, considerando que la presente investigación tiene riesgo mínimo, según el numeral b del artículo 11 de la Resolución N° 008430 de 1993 del Ministerio de Salud. La misma dice: “investigación con riesgo mínimo: investigación en seres humanos, masculinos mayores de edad, deportistas de alto rendimiento, con un muestreo no probabilístico, en la cual los sujetos serán

sus propios controles”. La intervención realizada con el equipo BodyFlow® según los reportes de la literatura, lo hacen un método seguro en la cual no se reportan efectos secundarios significativos, relacionados con una marca de hematoma superficial en el sitio de succión. La toma de sangre no se hace por venopunción, se toma una muestra de sangre capilar del lóbulo de la oreja de acuerdo con el método estándar descrito en los procedimientos del Centro de Ciencias del Deporte, los cuales son menores al comparar con la venopunción. En 19 años de utilización de este método no se han reportado eventos adversos. El centro de Ciencias del Deporte está habilitado para estos procedimientos por la Secretaría de Salud y posee todos los protocolos de bioseguridad y disposición de residuos hospitalarios. Adicionalmente, se dispone de los profesionales capacitados para la realización de los test y pruebas, descritos en el protocolo. En ese orden de ideas, se considera un protocolo de riesgo mínimo, se diseñó el formato de consentimiento informado para mayores de edad de acuerdo con el artículo 15 de dicha resolución. El Centro cuenta con un procedimiento de manejo de emergencias, incluyendo el área protegida para transporte y tratamiento de las mismas. No se manipularon ningún tipo de patógenos o muestras biológicas, los test a realizar se consideran de screening con sangre capilar en un volumen total de 75 microlitros por muestra. Además, se contó con un consentimiento informado de conformidad con la ley; así como la aprobación de la institución para el desarrollo de la investigación.

7.3 Consentimiento informado

A los deportistas que participaron voluntariamente en el estudio, se les informó sobre el objetivo del proyecto, intervención, beneficios y riesgos esperados a través de un consentimiento informado; previamente aprobado y avalado por el comité de ética de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Además, los participantes obtuvieron los resultados de la investigación y tuvieron la libertad de abandonar el estudio en cualquier momento. (Anexo 1)

7.4 Población objeto

Dieciocho (n=18) atletas de rendimiento hombres voluntarios entre las edades de 19 - 35 años, entrenados en deportes de resistencia, en las modalidades de atletismo fondo (n=15) y actividades subacuáticas (n=3). Todos los participantes realizaron un consentimiento informado, previamente avalado y revisado por el comité de ética de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

7.5 Criterios de inclusión

Para el estudio se tomaron atletas hombres con un rango de edad entre los 19 y 35 años, pertenecientes a deportes de resistencia, IMC entre 19 y 24, nivel de entrenamiento mayor a 6 meses, intensidad de entrenamiento superior a 10 horas/semana y aptitud física óptima de acuerdo a valoración médica. Todos se consideraron atletas de élite por participar con éxito en eventos de categoría mundial.

7.6 Criterios de exclusión

No hicieron parte de este estudio aquellas personas con antecedentes de desórdenes renales, tromboembolismo venoso, alteraciones hematológicas, diabetes, hipertensión y/o desordenes cardiacos que se hayan detectado en la valoración médica. Además, serán criterios de exclusión fumadores activos o consumidores de sustancias psicoactivas y sujetos inmune suprimidos. También se tendrán en cuenta lesiones osteomusculares que estén en proceso de consolidación o en fase aguda.

Tabla 7-2: Variables dependientes

Tipo	Nombre de la variable	Definición operacional	Unidad	Naturaleza	Escala de medición
VARIABLES DEPENDIENTE	CPK	Concentración de creatina kinasa plasmática.	U/l	Cuantitativa	Razón
	TEAD-R	Perfil del estado de ánimo.	0 Nada 1 Poco 2 Moderado 3 Bastante 4 Muchísimo	Cualitativa	Ordinal
	Test de Salto (CMJ)	Índice del porcentaje de energía elástica en un salto contra movimiento (CMJ)	Altura alcanzada cm Tiempo vuelo ms Velocidad de despegue m/s	Cuantitativa	Razón
	Velocidad media propulsiva (VMP)	Es la velocidad media sólo de la fase propulsiva de un movimiento. Será siempre mayor o igual a la velocidad media del total de la fase concéntrica	m/s	Cuantitativa	Razón
	Velocidad máxima	Es la mayor velocidad registrada durante la fase concéntrica de un movimiento	m/s	Cuantitativa	Razón
	Duración fase propulsiva	Es aquella parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración (a) es mayor que la ejercida por la gravedad (g), i.e., $a > g$ ($-9,81 \text{ m/s}^2$)	Ms	Cuantitativa	Razón
	Potencia media	Es la potencia promedio de la fase concéntrica	W	Cuantitativa	Razón
	Potencia máxima pico	Es la máxima potencia registrada durante la realización de un test de fuerza con cargas crecientes.	W	Cuantitativa	Razón

Variables de medición de indicadores Bioquímicos, Psicológicos y de rendimiento pre test y post test del estudio

Tabla 7- 3: variables independientes

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	NIVEL DE MEDICION
Independiente	Tipo Recuperación	Pasiva Neuroestimulación vascular Bodyflow®	Nominal

Variable independiente del estudio

7.7 Metodología

7.7.1 Convocatoria de voluntarios y socialización de estudio

Se convocó a capacitación a entrenadores y un grupo primario del Centro de Servicios Biomédico, con el fin de socializar los objetivos y metodología del estudio, al igual que resaltar la importancia de la colaboración del grupo.

Se realizó un desplazamiento hasta el sitio de entrenamiento, con el fin de motivar a los atletas en la participación en la investigación, mostrando objetivos, beneficios y metodología de la misma.

Al finalizar, se realizó una reunión con los sujetos que voluntariamente participaron en el estudio para la recolección de datos y diligenciamiento del consentimiento informado.

7.7.2 Valoración

Los participantes asistieron al Centro de Servicios Biomédicos, con el fin de realizar una valoración médica inicial; se recogieron datos personales y antecedentes, nivel de entrenamiento, examen físico, medición de talla y peso.

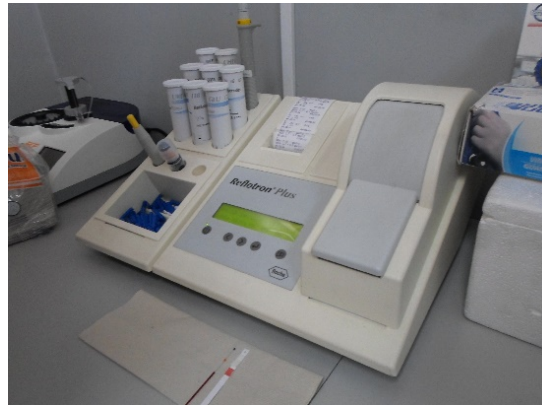
7.7.3 Pre test

Se aplicaron pruebas bioquímicas, de rendimiento y prueba Psicológica, realizadas en el siguiente orden:

Bioquímica: la medición de CPK, se realizó a través del equipo Reflotron ® Plus. (2008, Roche Diagnostics, S.L) Figura 7.1. Para la toma de la muestra sanguínea, se efectúa una punción en el lóbulo de la oreja a fin de obtener sangre capilar; posteriormente el

análisis se ejecuta por medio de tiras reactivas de prueba Reflotron. Los valores de referencia en la CPK van desde 200 a 250 U/L en hombres (Orrego & Monsalve, 2006).

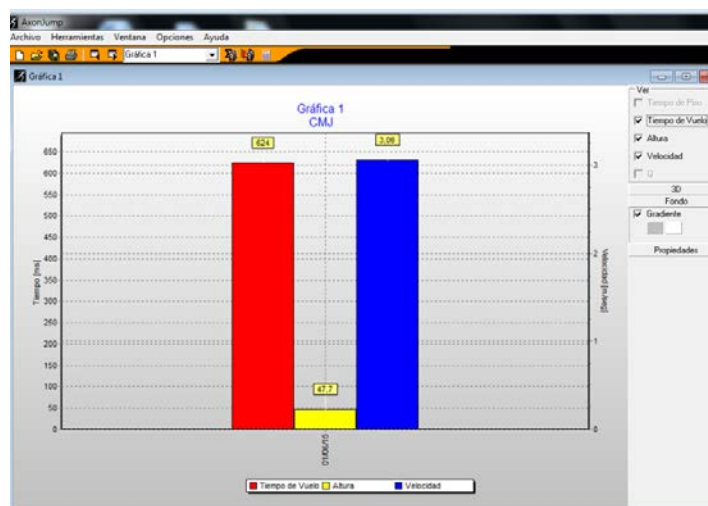
Figura 7-1 Equipo de Reflotron® Plus. (2008, Roche Diagnostics, S.L)



Pruebas de rendimiento, medición de Test de saltabilidad contramovimiento (CMJ) y Fuerza explosiva, descrita a continuación:

Test de saltabilidad (CMJ) para esta prueba se utilizó el equipo Axon Jump. Los sujetos realizaron un calentamiento previo, el cual incluye 5 minutos de trote seguido de movilidad articular; posteriormente, se instruyó al deportista sobre cómo se realizar el movimiento. Se inicia desde la posición vertical, a partir de la cual se hace una flexión hasta un ángulo de 90° e inmediatamente se realiza el salto sin soltar las manos de la cintura, cayendo con las piernas extendidas. (Serrato 2008) Figura 7.2

Figura 7-2 Test de saltabilidad CMJ, equipo Axon Jump



Para medición de velocidad máxima, velocidad media de propulsión, fase media propulsiva, potencia media y potencia máxima pico, se utilizó el equipo T-Force Dynamic Measurement System 2.28. Figura 7.3 Se inicia con calentamiento de 5 minutos que incluye trote suave seguido de movilidad articular del tren inferior (cadera, rodillo y tobillo); a continuación, 3 series de sentadilla partiendo sólo con el peso de la barra (27 kg). Técnica de ejecución: espalda recta, mirada al frente, pies separados justo debajo de la proyección del peso de la barra y el ritmo de ejecución (bajada controlada y subida a máxima velocidad; gesto natural, sin parar abajo). Incremento de carga de una serie a otra: de 10 a 20 kg hasta lograr un 70% de 1RM. Tiempo de recuperación pasiva entre series: 3 minutos. El T-Force es un dispositivo denominado encoder de movimiento lineal, que mide los cambios de distancia en función del tiempo en milisegundos. La frecuencia de medición es de 1000 Hz. Con este dispositivo se espera que se puedan censar los pequeños cambios sucedidos en milisegundos por la fatiga de corto plazo.

Figura

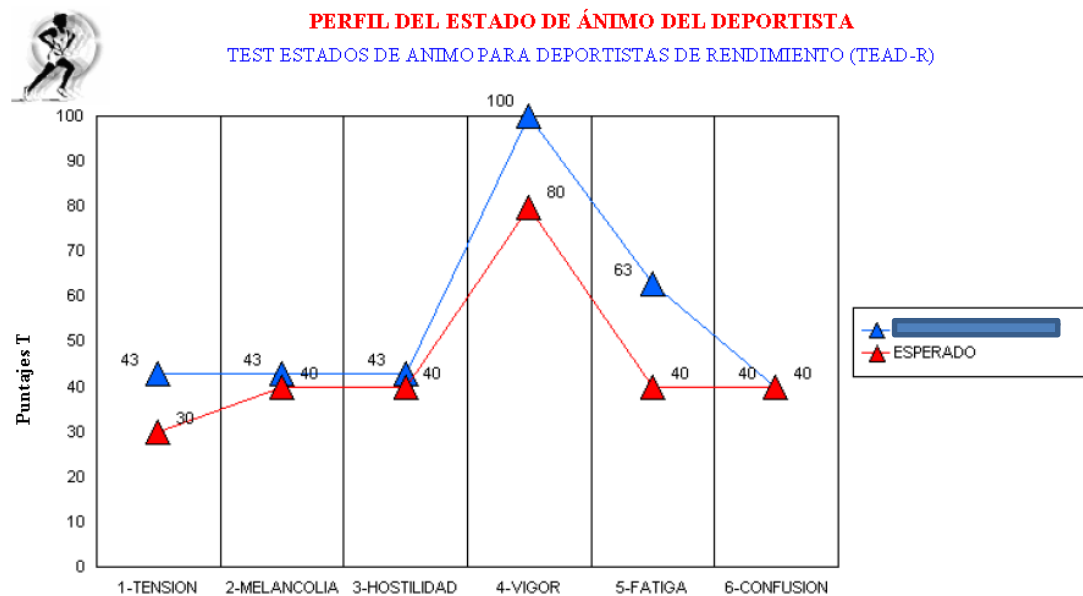
7-3



Prueba de fuerza explosiva T-Force Dynamic Measurement

Prueba subjetiva: se utilizó la escala del TEAD-R, en los ítems de fatiga (ítems 5, 11 y 12). En un espacio libre de ruido y orientado por un psicólogo del deporte; posteriormente los datos son analizados a través del Software del TEAD-R. Valor del percentil 40 puntos (Moreno, 2005) Figura 7-4

Figura 7-4 Software del TEAD-R, Centro de Servicios Biomédico



Percentil esperado percepción de la fatiga 40 puntos

7.7.4 Protocolo fatigante

Deportistas de natación subacuática: se inicia con un calentamiento de 1500 mts libre, patada y mariposa, seguido de 5 minutos de recuperación. Posteriormente, se realiza 300 mts libre, 200 mts patada, 300 mts hipoxico y 6x50 mts. El tiempo total de la prueba son 17 minutos.

Deportistas de fondo: 6 tramos de 2000 mts, con pausas de 2 minutos entre cada tramo a máximo ritmo posible y con el gesto específico de la modalidad deportiva. El tiempo de cada tramo varía de acuerdo con las condiciones de cada deportista (4:10 K a 4:50k)

Todas las actividades se realizaron al máximo ritmo posible para el tiempo de cada repetición, que son por encima del ritmo de carrera, estos protocolos fueron diseñados con participación del entrenador nacional, de acuerdo con la intensidad y duración que más fatiga producía habitualmente en los atletas. El objetivo es causar la máxima fatiga posible mediada por intensidad específica no por volumen de entrenamiento. Independientemente de la modalidad el objetivo es causar fatiga neuromuscular.

7.7.5 Post test

Se realizó medición de rendimiento, bioquímicas y psicológicas bajo los mismos parámetros iniciales, posterior a la aplicación de un protocolo fatigante y/o de un método de recuperación pasiva o de neuroestimulación vascular Bodyflow®.

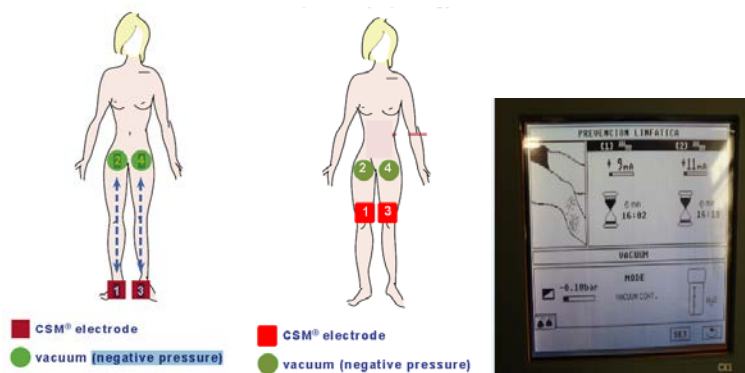
7.7.6 Intervención

Se realizaron 2 intervenciones, separadas cada una por 2 días, posterior a la aplicación de un protocolo fatigante. La recuperación pasiva, consistió en estar sentado por espacio de 1 hora. En el caso de la recuperación con neuroestimulación vascular Bodyflow®, se llevó a cabo una primera aplicación por 20 min posterior al ejercicio, finalizada esta, se otorgó un periodo de reposo por 20 min y se efectuó una segunda aplicación por otros 20 min. Debido a que no existe evidencia del efecto de la posición sobre la curva de recuperación de la CPK, no se colocaron los sujetos en posición supina, con el fin de que el protocolo de recuperación pasiva fuera exactamente igual al utilizado en los demás estudios realizados con la neuroestimulación vascular.

Se utilizó un electroestimulador Bodyflow® (Physiomed Elektromedizin AG Hutweide 10, 91220 Schnaittach / Laipersdorf, Alemania). El dispositivo Bodyflow® emite un ancho de pulso de 6ms, periodo de 657 ms con tiempo de reposo de 651 ms, frecuencia de 1,52Hz, corriente de polaridad invertida o bifásica desfasada, onda de tipo exponencial. La intensidad varía de acuerdo a la resistencia de los tejidos de los participantes ($\pm 7\text{mA}$ a $\pm 20\text{mA}$), vale la pena resaltar que solo 1 de los participantes reporto una intensidad de 7 mA; los demás voluntarios se encontraban en un rango entre ($\pm 12\text{mA}$ a $\pm 20\text{mA}$).

La succión emitida por los electros de ventosa se fijó a -0,10 bares. Se utilizaron ventosas de vacío de 9 cm y electrodos adhesivos en las piernas de 8 X 13 cm, durante las dos aplicaciones. Para la primera aplicación, los electrodos de vacío se ubicaron en la parte proximal de los cuádriceps y electrodos adhesivos en la parte distal. Una segunda aplicación, se realizó con electrodos de vacío en la región proximal del cuádriceps y electrodos adhesivos en cara externa de la pierna. Figura 7.5

Figura 7-5 Aplicación de electrodos. Protocolo estandarizado por Bodyflow®



7.8 Instrumentos de recolección de información

La información se recolecta en dos momentos: una primera toma de información se realiza en estado de reposo (pre-test) y posterior a un método de recuperación, se procede a realizar una nueva recolección de datos (post-test).

De acuerdo a las variables de medición se utilizaron para el almacenamiento y recolección de la información, los siguientes test:

Test de saltabilidad (CMJ), los datos son almacenados a través del Software que utiliza el equipo Axon Jump. La confiabilidad de los datos depende de la técnica (Serrato, 2008) y se confirma su validez en diferentes estudios para evolución de la potencia (Bosco, 1994) (Gathercole, Sporer, Stellingwerff, & Sleivert, 2014)

Los datos de velocidad media propulsiva, velocidad máxima, duración de la fase propulsiva, potencia media y potencia máxima, son almacenados en el Software del T-Force Dynamic Measurement System 2.28. Posteriormente, los datos son exportados a Excel para ser analizados. Los transductores lineales de posición y/o velocidad confirman su validez en diferentes estudios para el entrenamiento y la evaluación de la fuerza (John B. Cronin, 2004)

Test de estados de ánimo TEAD-R, tiene un nivel de confiabilidad en hombres de 0.87 en fatiga. Los datos son analizados y almacenados a través del Software del TEAD-R. (Moreno, 2005)

Para el almacenamiento de datos bioquímicos de CPK se utiliza el Software del equipo Reflotron® Plus. (2008, Roche Diagnostics, S.L); los resultados son presentados en el monitor de LC y el perfil es impreso a través de una impresora integrada. Los datos arrojados son confiables.

La totalidad de información recopilada se almaceno en Excel, para posteriormente procesarse por medio del software estadístico.

7.9 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software estadístico SPSS versión 22. Los resultados se reportan como media \pm desviación estándar (DS), la significancia estadística se establece cuando $p \leq 0.05$.

Las diferencias en los parámetros de rendimiento, bioquímicos y psicológicos posterior a una intervención con recuperación pasiva o con neuroestimulación vascular, se analizaron a través de la prueba no paramétrica de Wilcoxon, este tipo de prueba, se utiliza para comparar dos grupos relacionados, cuando no se cumple con el supuesto de distribución normal de los datos o cuando la variable es ordinal (Cáceres, 1994).

8. RESULTADOS

Los dieciocho sujetos que participaron voluntariamente en el estudio, son deportistas de resistencia. Con un rango de edad entre los 19 y 35 años, todos los deportistas entrenan más de 10 horas/semana y compiten regularmente en sus modalidades en competencias internacionales representando al país. Los datos descriptivos se relacionan en la tabla 8.1

Tabla 8-1 Datos demográficos

	Edad	Talla (cm)	Peso (kg)	IMC
Promedios	24,44	1,70	61,65	21,22
Desviación Estándar	5,07	0,06	8,40	1,74
C. Variación	21%	4%	14%	8%

Los participantes del estudio son homogéneo en edad, talla, peso e IMC.

Al realizar la prueba de Shapiro-Wilk se considera que algunas variables se comportan normalmente; el análisis de esta variable se relaciona en la tabla 8-2

Tabla 8-2 Prueba de Shapiro-Wilk

	Shapiro-Wilk	
	gl	Sig.
Vel. Máxima Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,74
Vel. Máxima Post Recuperación Pasiva	17,00	0,38
Acel. Media Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,98
Acel. Media Post Recuperación Pasiva	17,00	0,85
Duración Fase Propulsiva Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,35
Potencia Máxima (Pico) Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,09
Potencia Máxima (Pico) Post Recuperación Pasiva	17,00	0,09
Vel. Media Fase Propulsiva Pre Neuroestimulación	17,00	0,89
Vel. Media Fase Propulsiva Post Neuroestimulación	17,00	0,93
Vel. Máxima Pre Neuroestimulación	17,00	0,50
Vel. Máxima Post Neuroestimulación	17,00	0,95
Potencia Media Post Neuroestimulación	17,00	0,16
Potencia Máxima (Pico) Post Neuroestimulación	17,00	0,23

Sin embargo, no todas las mediciones se comportan según la distribución de Gauss, como se muestra en la tabla 8-3

Tabla 8-3 Prueba de Shapiro-Wilk

	Shapiro-Wilk	
	gl	Sig.
CPK Post Recuperación Pasiva	17,00	0,00
CMJ Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,01
CMJ Post Recuperación Pasiva	17,00	0,00
CPK Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,00
CPK Post Recuperación Pasiva	17,00	0,00
CMJ Pre Neuroestimulación	17,00	0,03
CMJ Post Neuroestimulación	17,00	0,00
Duración Fase Propulsiva Post Recuperación Pasiva	17,00	0,00
Potencia Media Pre Recuperación Pasiva	17,00	0,02
Potencia Media Post Recuperación Pasiva	17,00	0,03
Acel. Media Pre Neuroestimulación	17,00	0,00
Acel. Media Post Neuroestimulación	17,00	0,00
Duración Fase Propulsiva Pre Neuroestimulación	17,00	0,04
Duración Fase Propulsiva Post Neuroestimulación	17,00	0,01
Potencia Media Pre Neuroestimulación	17,00	0,03
Potencia Máxima (pico) Pre Neuroestimulación	17,00	0,04

En los indicadores de rendimiento el valor de p tuvo significancia estadística entre el pre y el post de CMJ con recuperación pasiva ($p=0,05$), se encontraron diferencia estadística entre pre y el post de CMJ con Neuroestimulación vascular ($p= 0,03$); sin embargo no se encontraron diferencia entre los delta de recuperación pasiva versus Neuroestimulación vascular ($p=0,50$). (Gráfica 8.1). estos resultados pueden indicar que el salto no se ve normalmente afectado por la fatiga aguda ha sido considerado un indicador de fatiga dudoso, debido a que hay estudios que muestran que incluso post ejercicio se produce una facilitación post estimulación que puede mantener e incluso aumentar el valor del salto CMJ aun en presencia de fatiga neuromuscular. El resultado del presente estudio es congruente con estos resultados.

No se encontraron diferencias significativas en la fuerza, entre el pre y post de la velocidad media fase propulsiva con recuperación pasiva ($p=0,07$), se encontró diferencias entre el pre y post de la velocidad media fase propulsiva con Neuroestimulación ($p= 0,01$), no se encontraron diferencias entre los delta de la recuperación pasiva versus Neuroestimulación vascular ($p=0,30$) (Gráfica 8.2), en cuanto la velocidad máxima no se encontraron diferencias entre el pre y el post de la

recuperación pasiva ($p=0,12$), Neuroestimulación ($p=0,18$) y deltas de las intervenciones ($p=0,5$) (Gráfica 8.3), duración fase propulsiva no se encontraron significancia estadística en el pre y post de la recuperación pasiva ($p= 0,21$), Neuroestimulación ($p= 0,27$) y deltas ($p=0,5$) (Gráfica 8.4) Potencia media no se encuentra diferencia entre el pre y post con recuperación pasiva ($p=0,14$), se encontraron significancia estadística entre el pre y el post con Neuroestimulación vascular ($p=0,003$), se encontraron diferencias entre el pre y post de la potencia media ($p=0,05$) (Gráfica 8.5), y la Potencia Máxima (Pico) no se encontraron diferencias entre el pre y post con Recuperación pasiva ($p=0,27$) Neuroestimulación ($p=0,19$) y deltas ($p=0,43$) (Gráfica 8.6) (Tabla 8.4)

No se evidencian cambios en la velocidad media de la fase propulsiva, en la velocidad pico de ejecución, duración de la fase propulsiva, potencia media y potencia máxima. Estos son índices neuromusculares del desempeño en la producción de fuerza, que al parecer no fueron sensiblemente afectados por la intervención con excepción de la potencia media que fue significativa para el uso de la recuperación pasiva, estos resultados pueden deberse a la relajación que causa el uso de la neuroestimulación vascular

Tabla 8-4: Parámetros de rendimiento valor de p con una cola posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular

	Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon			DS	IC
	Valor p (una cola)	Diferencias significativa (P=<0,05)	Suma de rangos + /-		
CMJ Pre Pasiva vs CMJ Post Pasiva	0,05	*	111.5 , - 41.50	2,4	95%
CMJ Pre NES vs CMJ Post NES	0,03	*	129.0 , - 42.00	4,2	95%
Delta CMJ NES VS DELTA CMJ Pasiva	0,50	Ns	76.50 , - 76.50		95%
Vel. Media Fase Propulsiva Pre Pasiva vs Vel. Media Fase Propulsiva Post Pasiva	0,07	Ns	119.5 , - 51.50	0,1	95%
Vel. Media Fase Propulsiva Pre NES VS Vel. Media Fase Propulsiva Post NES	0,01	*	137.0 , - 34.00	0,1	95%
DELTA Vel. Media Fase Propulsiva Pasiva VS DELTA Vel. Media Fase Propulsiva NES	0,30	Ns	98.00 , - 73.00		95%
Vel. Máxima Pre Pasiva vs Vel. Máxima Post Pasiva	0,12	Ns	112.0 , - 59.00	0,1	95%
Vel. Máxima Pre NES VS Vel. Máxima Post NES	0,18	Ns	96.00 , - 57.00	0,2	95%
DELTA Vel. Máxima Pasiva VS DELTA Vel. Máxima NES	0,50	Ns	86.00 , - 85.00		95%
Duración fase propulsiva Pre Pasiva vs Duración fase propulsiva Post Pasiva	0,21	Ns	67.00 , - 104.0	74,5	95%
Duración fase propulsiva Pre NES VS Duración fase propulsiva Post NES	0,27	Ns	71.00 , - 100.0	84,7	95%
DELTA Duración fase propulsiva Pasiva VS DELTA duración fase propulsiva NES	0,50	Ns	85.00 , - 86.00	0,466	95%
Potencia Media Pre Pasiva vs Potencia Media Post Pasiva	0,14	Ns	110.0 , - 61.00	27,2	95%
Potencia Media Pre NES VS Potencia Media Post NES	0,003	**	147.0 , - 24.00	116,0	95%
DELTA Potencia Media Pasiva VS DELTA Potencia Media NES	0,05	*	123.0 , - 48.00		95%
Potencia Máxima Pre Pasiva vs Potencia Máxima Post Pasiva	0,27	Ns	100.0 , - 71.00	106,18	95%
Potencia Máxima Pre NES VS Potencia Máxima Post NES	0,19	Ns	106 - 65.00	287,3	95%
DELTA Potencia Máxima Pasiva VS DELTA Potencia Máxima NES	0,43	Ns	90.00 , - 81.00		95%

Figura 8-1 Parámetro de rendimiento salto CMJ pre intervención y post recuperación pasiva y/o neuroestimulación vascular

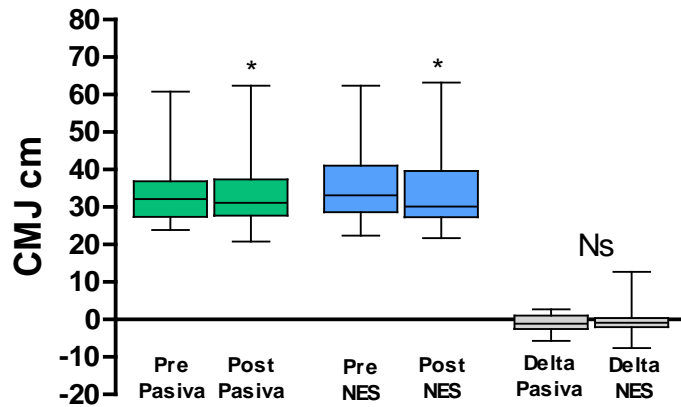


Figura 8-2 Parámetro de rendimiento velocidad media fase propulsiva (m/s) pre intervención y post recuperación pasiva y/o neuroestimulación vascular

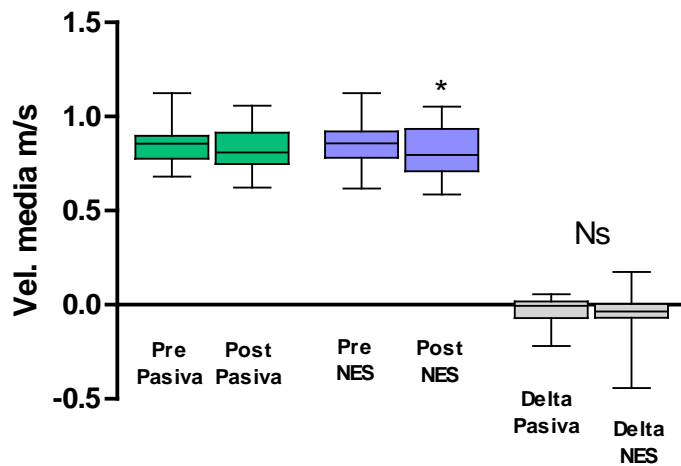


Figura 8-3 Parámetro de rendimiento velocidad máxima (m/s) pre intervención y post recuperación pasiva y/o neuroestimulación vascular

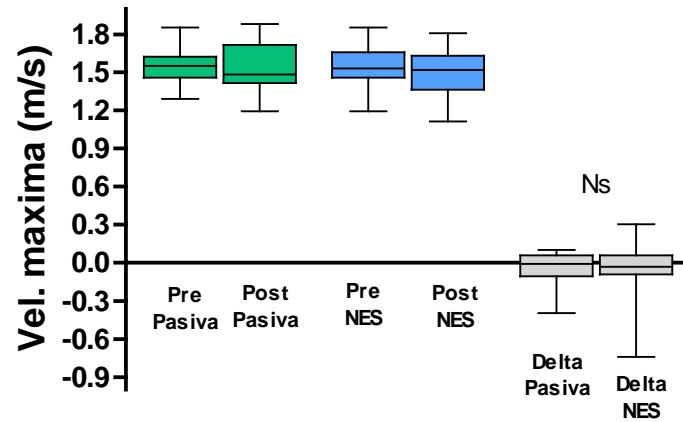


Figura 8-4 Parámetro de rendimiento Duración fase propulsiva (ms) pre intervención y post recuperación pasiva y/o Neuroestimulación vascular

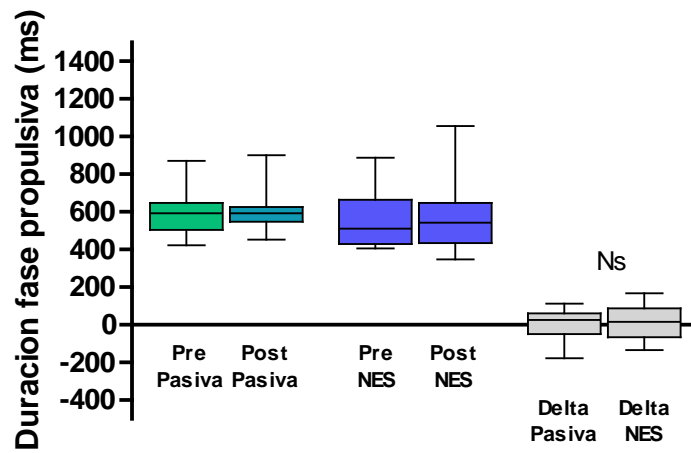


Figura 8-5 Parámetro de rendimiento potencia media (W) pre intervención y post recuperación pasiva y/o Neuroestimulación vascular

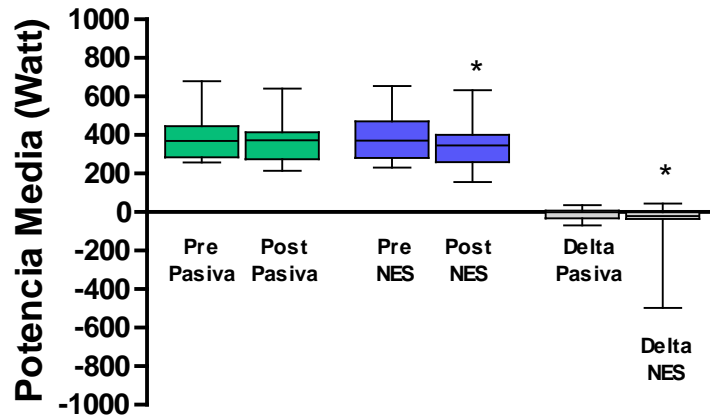
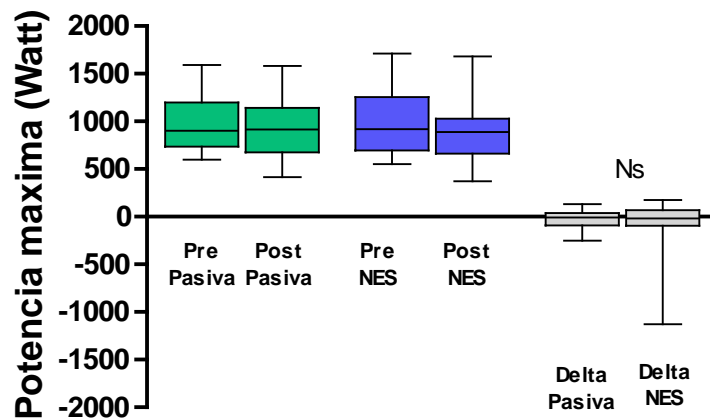


Figura 8-6 Parámetro de rendimiento potencia máxima (W) pre intervención y post recuperación pasiva y/o Neuroestimulación vascular



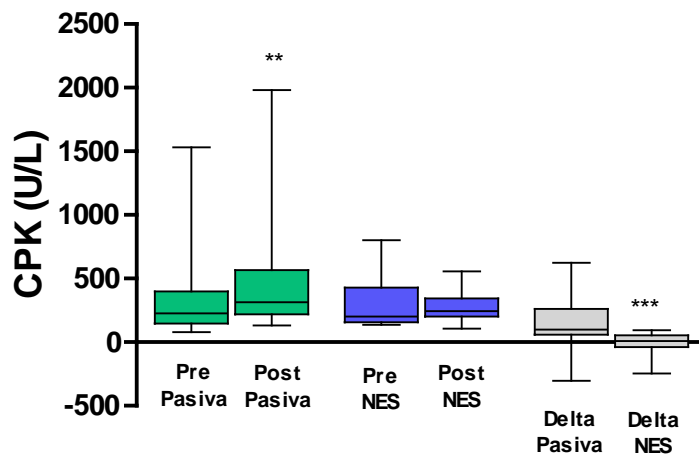
En los indicadores Bioquímicos la concentración sanguínea de CPK no se encontraron diferencias significativas entre el pre y el post con Neuroestimulación ($p=0,40$), se encontraron diferencias significativas entre el pre y el post con Recuperación pasiva ($p=0,001$) y entre deltas con un valor de p de $0,0005$ (Gráfica 8.7) (Tabla 8.5) indicando el efecto de la neuroestimulación vascular sobre el periodo agudo post ejercicio, debido a que se considera un indicador de fatiga y recuperación. Indica que acelera el drenaje linfático, debido a que es por este mecanismo que se remueve la CPK liberada post

ejercicio. Se evidencia que los niveles de CPK son buenos indicadores para valorar el efecto de las intervenciones de la recuperación en el corto plazo y se pueden asociar a nuevas mediciones del desempeño en el salto como estándar para el monitoreo de la fatiga neuromuscular aguda.

Tabla 8-5: Parámetros Bioquímicos CPK valor de p con una cola posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular

	Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon			DS	IC
	Valor p (una cola)	Diferencias significativa (P=<0,05)	Suma de rangos + /-		
CPK Pre Pasiva vs CPK Post Pasiva	0,001	**	16.00 , -155.0	200,5	95%
CPK Pre NES vs CPK Post NES	0,406	Ns	71.00 , -82.00	99,6	95%
Delta CPK NES VS Delta CPK Pasiva	0,0005	***	162.0 , -9.000		95%

Figura 8-7 Parámetro bioquímico, CPK pre intervención y post recuperación pasiva y neuroestimulación vascular



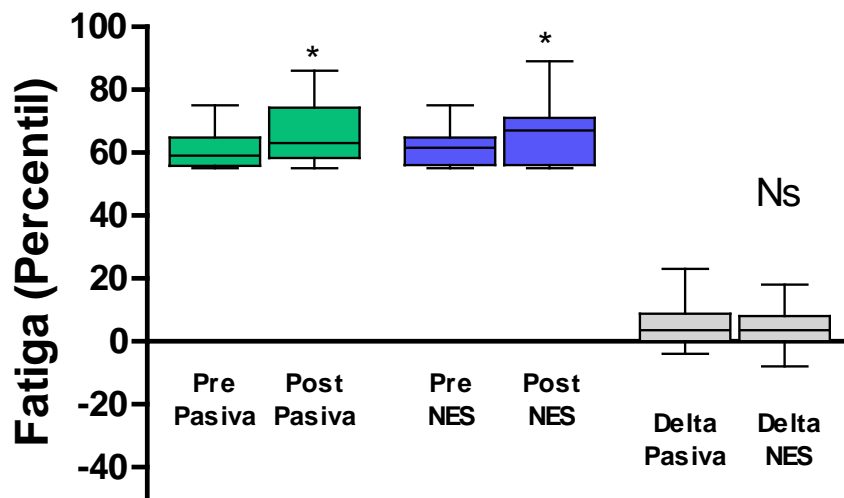
En el indicador psicológicos de sensación de fatiga medida con el test TEAD-R se encontraron significancia estadística en el pre y post de la percepción de la fatiga con recuperación pasiva (p= 0,01) Neuroestimulación (p= 0,01); sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas en las dos intervenciones (p= 0,30) (tabla 8-6) (figura 8-8). Los resultados del test muestran que el protocolo si causo fatiga en ambos grupos; sin embargo no se logró mejorar la percepción de la fatiga entre el pre y el post de la recuperación pasiva y entre el pre y el post de la recuperación con NES. No se

encontró diferencias entre la recuperación pasiva y Neuroestimulación vascular, es probable que la sensación de fatiga no se afecte por las intervenciones debido a que en el corto plazo no se puedan percibir diferencias sutiles.

Tabla 8-6 Parámetros percepción de la fatiga valor de p con una cola posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular

	Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon			DS	IC
	Valor p (una cola)	Diferencias significativa (P=<0,05)	Suma de rangos + /-		
Fatiga Pre Pasiva vs Fatiga Post Pasiva	0,01	*	13.50 - 77.50	8,2	95%
Fatiga Pre NES VS Fatiga Post NES	0,016	*	11.50 - 66.50	6,6	95%
Delta Fatiga Pasiva VS Delta Fatiga NES	0,30	Ns	69.50 - 50.50		95%

Figura 8-8 Parámetro percepción de la fatiga mediana y Desviación Estándar posterior a intervención pasiva y/o con Neuroestimulación vascular



9. DISCUSIÓN

Las altas cargas de entrenamiento empleadas por los métodos de entrenamiento moderno, utilizan grandes volúmenes e intensidades para mejorar el rendimiento, ocasionando niveles elevados de fatiga aguda y fatiga acumulada; las cuales coexisten en el proceso de la adaptación y rendimiento. (Coutts, Reaburn, Piva, & Rowsell, 2007). Esto ha propiciado que en el deporte de alto rendimiento, se busquen los mecanismos de la fatiga y recuperación, para poder modificar su curso y mantener y mejorar el rendimiento. (Halson & Jeukendrup, 2004)

Los componentes estresantes del entrenamiento y competición pueden alterar temporalmente la capacidad del atleta para rendir. Esta disminución es transitoria y dura minutos a horas después de la competición e incluso por periodos más largos hasta de días. Los resultados de la disminución en corto plazo resultan en alteraciones neuromusculares y metabólicas después del entrenamiento de alta intensidad (Lepers, 2002). La mayoría de investigaciones se han centrado en los cambios metabólicos de la fatiga y solo recientemente se ha investigado el efecto de la fatiga neuromuscular en el rendimiento.

Las cargas de entrenamiento de alta intensidad producen un estrés mecánico, oxidativo y metabólico que lleva a la aparición de microlesiones en el músculo que causan múltiples procesos resultantes de la interacción entre la fatiga y la recuperación conducen a cambios inflamatorios que se terminan en la aparición de lo que se conoce como dolor muscular de inicio tardío o DOMS. Debe existir un buen balance entre el estrés del entrenamiento y la recuperación a lo largo del plan de entrenamiento con el fin de lograr los cambios adaptativos esperados (Barnett, 2006).

La falta de un adecuado proceso de recuperación puede resultar en que el atleta sea incapaz de entrenar a las intensidades requeridas o de completar la carga requerida en la siguiente sesión de entrenamiento. Mayores niveles de fatiga llevan a predisponer el atleta a lesiones (Barnett, 2006). Además, la recuperación completa es necesaria para competir en condiciones óptimas de rendimiento. Por lo tanto, se debe monitorizar el proceso de fatiga y recuperación para intervenirlo, con el fin de restaurar el balance y así poder tolerar las altas cargas de entrenamiento (intensidad, frecuencia y volumen) o de incrementar el efecto de una carga de entrenamiento dada. La fatiga estará presente en todo momento y hace parte del proceso de adaptación y recuperación ya que de su interacción dependerán los resultados adaptativos. El problema resulta en que no se sabe cuanta fatiga es suficiente y cuanta debe ser eliminada. Por lo tanto, implementar

medidas que aceleren la recuperación resulta crítico en el entrenamiento deportivo moderno. No obstante, si se intervienen los procesos de fatiga en el corto plazo, es decir menos de 2-4 horas, es probable que se eviten las causas iniciales de los procesos que se hacen evidentes a las 24 o 48 horas. El daño muscular evidenciado por la elevación de la CPK, junto con el inicio de una secuencia de eventos inflamatorios mediados por citoquinas, pueden ser afectados positivamente por el aumento del flujo sanguíneo y linfático que se produce con el uso del NES. El mayor problema de la evidencia es que la gran mayoría de estudios no se han realizado en atletas de rendimiento posiblemente porque los efectos negativos del entrenamiento se inducen más fácilmente en individuos no entrenados y porque los atletas son reacios a participar en los estudios controlados que alteren su plan de entrenamiento. Una población debe tener características similares a la muestra del estudio para que los resultados puedan ser aplicados a esta población con alguna certeza razonable. Debido a su constitución genética, su historia de entrenamiento, los atletas de elite responden de manera diferente al estrés del entrenamiento y posiblemente al proceso de recuperación. Por lo tanto, para que los resultados del estudio se apliquen de manera convincente a los atletas de élite los sujetos del estudio deben ser atletas de élite. Este estudio se realizó en atletas de rendimiento evaluando la recuperación en el corto plazo, estrategia que en el futuro puede ser prometedora, ya que se bloquea parcialmente el proceso inflamatorio que inicia las cascadas de inflamación relacionados con la fatiga (Motngomery, 2008).

Una de las modalidades de intervención para acelerar la recuperación, es el uso de la neuroestimulación vascular Bodyflow®, Veinoplus® y Firefly™. Esta modalidad es ampliamente utilizada en el deporte de alto rendimiento, especialmente en las grandes carreras de ciclismo de ruta como el tour de Francia. Estos equipos utilizan una corriente de baja frecuencia, onda exponencial bifásica desfasada, electrodos adhesivos y algunos adicionalmente emplean dispositivos de succión, con el fin de facilitar el aumento del flujo sanguíneo, aumento del retorno venoso y aumento del flujo linfático, permitiendo acelerar la reparación muscular aumentando el aporte de O₂, la llegada de hormonas y factores anabólicos, nutrientes así como reducción de la inflamación (Barnett, 2006). El efecto es mediado por la estimulación simpática de los vasos y la contracción del músculo liso vascular. La intervención busca acelerar el proceso de fatiga aguda y acumulada, ayudando a mejorar la adaptación y rendimiento en el atleta (Sostaric, 2007, Vanderthommen, 2007, Tucker, 2010, Breuszen, 2012, Taylor, 2015).

Un estudio reciente realizado por Sostaric (2007), evidenció la eficacia del uso del Bodyflow® para la reducción de la fatiga en el mediano plazo, midiendo tanto CPK como la proteína reactiva C (PCR) como marcadores bioquímicos, los resultados indicaron que el flujo sanguíneo y linfático aumentaron, disminuyó el dolor percibido y el edema; además, se presentó recuperación acelerada de la fuerza isocinética de los miembros inferiores a las 48 horas. Se evidenció una reducción en los marcadores de inflamación, los cuales están relacionados con la aparición tardía de fatiga (DOMS). Este estudio se realizó para ver la fatiga a mediano plazo (1 al 7 días) y presentó sesgos de muestra debido a que el grupo de intervención tenía significativamente mayores valores de

potencia que el grupo control. El estudio no midió las variables , en el corto plazo, periodo fundamental para competir varias veces en un solo día y para frenar de manera temprana los efectos de la fatiga, en especial sobre su componente neuromuscular (Gathercole, 2015) así como el proceso inflamatorio secundario (Chiu et al., 2004. Tidball, 2005). El proceso inflamatorio desencadenado por el estrés y lesión ocurrido en el músculo puede activar linfocitos y macrófagos que pueden en un momento destruir o inducir la reparación de las células musculares (Tidball, 2005. Lapointe, 2002), ayudar a modular esta respuesta inmune puede ser una estrategia muy prometedora de recuperación en el corto plazo. Una de estas estrategias es el uso de la neuroestimulación vascular. En nuestro estudio se evaluó la recuperación en el corto plazo, en atletas de resistencia y no se midieron marcadores inflamatorios que permitan comparar sus resultados.

Al evaluar el efecto de la neuroestimulación vascular sobre las variables bioquímicas, se evidenció una diferencia significativa en las concentraciones de CPK post intervención con el equipo Bodyflow ® a las 2 horas del ejercicio fatigante, este efecto que se correlaciona con el encontrado por Sostaric (2007). Este estudio demostró que el uso de la neuroestimulación vascular, favorece a la estimulación de la musculatura lisa de los vasos sanguíneos (Rodríguez, 2004) y aumenta el flujo sanguíneo (Rodríguez, 2004; Plaja 2003; Babault et al 2011; Grunovas et al, 2007). La estimulación percutánea del musculo liso vascular provoca una diseminación a lo largo del vaso del efecto despolarizante iniciado por el dispositivo. Por lo tanto, se acelera la remoción de la CPK sanguínea que se libera como producto de la lesión muscular. Beaben (2013), utilizando el equipo Fisrt kind ®, de neuroestimulación vascular sobre el nervio peroneo, mostró como los jugadores de Rugby en un estudio cross over, durante un ciclo corto de 3 bloques de entrenamiento presentaron una reducción acelerada de la CPK con la intervención combinada de compresión con neuroestimulación vascular, en comparación con solo la compresión. Esta reducción de la CPK se asoció con cambios significativos en los estados de ánimo 36 horas después del entrenamiento. Aunque evidente el efecto positivo, los resultados no son comparables debido a la especificidad del Rugby y a que no son resultados en el corto plazo.

Estos resultados en la reducción de la CPK, evidencian que hay un aumento del flujo sanguíneo y linfático, que conduce a una disminución de la respuesta inflamatoria y el daño tisular como un evento que se desencadena desde la primera hora pos ejercicio. El modular tempranamente la recuperación permite optimizar el proceso carga-recuperación-adaptación, el cual se considera fundamental en el entrenamiento deportivo. Debe tenerse en cuenta que la adaptación es el producto de la interacción simultánea de la recuperación y fatiga acumulada.

No se han publicado suficientes estudios que evalúen la fatiga en el corto plazo, es decir un periodo definido en la literatura entre la 1 y cuarta horas (Barnett, 2007), este hecho se debe probablemente debido a la gran dificultad técnica, la falta de dispositivos precisos en la medición del trabajo mecánico, el poco conocimiento sobre la fatiga neuromuscular y la falta de mecanismos de evaluación que sean suficientemente

sensibles para evaluarla (Gathercole, 2015). Aún más preocupante resulta el hecho que los estudios de fatiga se han realizado principalmente en sujetos no entrenados, Este estudio se constituye en uno de los primeros trabajo sobre el efecto de la neuroestimulación vascular, que considera la fatiga en el corto plazo, midiendo indicadores, psicológicos, bioquímicos y de rendimiento, especialmente en deportistas de resistencia, en donde el proceso de fatiga es diferente debido a su alta especialización en las fibras musculares, patrones de movimiento, y economía de la técnica de ejecución.

En un estudio similar, se evaluó la efectividad del uso de la neuroestimulación vascular en la recuperación del corto plazo (1 hora), midiendo como indicador bioquímico la concentración de lactato, se encontró que la recuperación activa mejora la remoción de lactato significativamente en comparación con la recuperación con neuroestimulación muscular eléctrica y pasiva en el corto plazo en ejercicios supra máximos a realizar sesiones con Wingate repetidos. Sin embargo, estos resultados no se traducen en una mejora significativa del rendimiento en la potencia pico, potencia promedio e índice de fatiga (Malone, 2012). Adicionalmente no se considera que el lactato sea un indicador de fatiga (Westerblad, 2002), lo que la recuperación activa hace es utilizar el lactato como substrato haciendo que se remueva más rápidamente, siendo un error considerable considerarlo un factor causante de fatiga (Williams, 2009, Brooks, Fahey, & White, 1996). Quizás por esta razón no se encontraron diferencias significativas en el desempeño, concluye Malone que es de todos modos una intervención práctica para la recuperación de los triatletas debido a que es similar a las demás modalidades, pero además se asoció con menos dolor muscular y mejor sensación subjetiva y es más práctica en el corto plazo. En contraste con la presente investigación, la medición de indicadores de rendimiento se realizó con el test de CMJ y de fuerza explosiva con encoder de posición lineal, los cuales se han empleado para medir la fatiga neuromuscular (Gathercole, 2015), la cual está más relacionada con el inicio temprano del proceso de fatiga y respuesta inmune asociada al DOMS. Lamentablemente en nuestra investigación no se evaluó el dolor quizás porque en el corto plazo se consideró que el proceso inflamatorio no había comenzado.

El salto CMJ, es una herramienta de monitoreo para examinar el estado neuromuscular en el ciclo acortamiento estiramiento. La recuperación posterior a la fatiga de este ciclo, se considera bifásica, con una disminución inmediata en la función neuromuscular en el corto plazo 1-2 horas (Gathercole et al., 2015). Los estudios muestran una disminución del test a las 0 horas posterior al ejercicio (McLean, Coutts, Kelly, McGuigan, & Cormack, 2010); sin embargo existen estudios que controvierten este postulado, demostrando que el CMJ no disminuyo post ejercicio aún en presencia obvia de fatiga (Hoffman et ál., 2003); por lo tanto la altura del salto en el CMJ no es el mejor indicador consistente de la fatiga. En presente el estudio no se encontraron diferencias significativas en el test CMJ en la segunda hora post intervención con Neuroestimulación y recuperación pasiva, estos resultados se sustentan en el aumento del desempeño en el salto post-ejercicio debido a una potenciación de post-activación que puede mantener o incluso aumentar el valor del salto CMJ aun en presencia de fatiga neuromuscular (Boullosa et ál., 2011). El resultado

del presente estudio es congruente con estas conclusiones, y revela la importancia de buscar nuevos indicadores de fatiga neuromuscular.

El salto CMJ al aumentar post ejercicio debido a una respuesta de post activación que afecta la medición de la fatiga neuromuscular, es fundamental un adecuado calentamiento dinámico previo que permita aumentar la altura del CMJ en unos 4,7 cm (Schmitz et ál., 2014); además, se debe tener en cuenta el número de intentos por salto, Hara et ál. (2006) mostro como entre 5 y 6 saltos de CMJ son más sensibles a la fatiga que uno solo. En el estudio se realizaron 3 saltos por cada pre y post test, además se estandarizaron en el calentamiento en el pre test, sin embargo, el calentamiento y el número de repeticiones pudieron ser insuficientes para causar una adecuada activación muscular en las valoraciones pre-ejercicio.

Tessitore et al. (2007) y Tessitore et al. (2008) no encontraron diferencias en sus estudios en el salto vertical posterior a la intervención con corrientes de baja frecuencia; evaluaron juegos sucesivos de futbol sala, en un diseño crossover. Se evaluaron variables fisiológicas y psicológicas en la recuperación en el corto plazo. Estos resultados son congruentes con los encontrados en el presente estudio. Sin embargo, se encuentra un efecto psicológico de mejor condición con la electroestimulación que los autores atribuyen a un efecto de relajación. En nuestro estudio se encontró una reducción en el valor de la potencia media en el grupo de intervención, si bien las otras variables neuromusculares no tuvieron diferencias, esta reducción se puede atribuir a un efecto de relación de la neuroestimulación. Lepers (2001), en un estudio realizado en ciclistas que realizaron un ejercicio extenuante por 4 horas al 55% del VO_{2max} , demuestra que la fuerza isocinética se reduce progresivamente con el tiempo, mientras que la actividad electromiográfica se redujo significativamente demostrando una reducción en el influjo motor, que puede estar asociado con la disminución de la capacidad de fuerza encontrado en nuestro estudio. Se requieren más estudios que permitan corroborar los datos (Babault et al. 2011). No sabemos si el efecto de relajación y analgesia asociado también a este tipo de corrientes pueda haber afectado el desempeño neuromuscular en el corto plazo.

Adicionalmente como este estudio se evaluó la aceleración y velocidad de ejecución cada milisegundo durante un ejercicio de media sentadilla, en un intento por valorar la fatiga neuromuscular, a pesar de lo extenuante del protocolo fatigante, los valores no se afectaron significativamente 2 horas después. Quizás el ejercicio previo depleta reservas, deshidrata, pierde electrolitos y acumula algunos metabolitos, sin que ninguno de estos esté asociado con el factor de fatiga neuromuscular. No existen reportes del uso del encoder lineal para valorar la fatiga en el corto plazo. Adicionalmente los atletas de resistencia parecen tener un patrón diferente de fatiga aguda (Snieckus et al., 2013; Sostaric et al., 2007) Se debe proponer un nuevo estudio en donde se realice un protocolo fatigante específico, con cargas de alta intensidad y duración significativa, que afecten el desempeño neuromuscular (Martin, 2004)

En el estudio no se evidencian cambios significativos en la velocidad media de la fase propulsiva, en la velocidad pico de ejecución, duración de la fase propulsiva, y en la potencia máxima. En el diseño del estudio se buscó tener un indicador del desempeño neuromuscular, ya que se ha demostrado que la capacidad de producir fuerza por unidad de tiempo, es decir la fuerza explosiva y la velocidad de ejecución han sido postulados como buenos indicadores del desempeño y probablemente de la fatiga neuromuscular (Cormie et ál., 2007). En este estudio Cormie evidencia que el uso de los transductores lineares de posición o encoders (LPT) son útiles para el monitoreo de la fatiga neuromuscular cuando se asocian a plataformas de fuerza de manera integrada. Es probable que se deban realizar estudios con plataformas de fuerza para la evaluación el desempeño en el salto y poder valorar los cambios sutiles que suceden cuando se evalúa la fatiga en un periodo tan corto como 2 horas post ejercicio. Se sabe que el músculo con fatiga neuromuscular puede compensar la disminución de la fuerza/tiempo mediante modificaciones sutiles en la forma como se contrae; por ejemplo a la reducción de la pendiente de la curva de la RFD se aumenta el tiempo de contracción, para lograr un salto con un desempeño similar. Estos cambios sutiles pueden evaluarse en la plataforma de fuerza (Gathercole, 2015), cambios que no se pudieron estudiar debido a que no se utilizaron plataformas de fuerza en nuestro estudio.

En un estudio reciente, Taylor (2015), usando un dispositivo portátil (Firefly®), que aplica una corriente similar al Bodyflow® sobre el nervio peroneo, logrando una estimulación del flujo sanguíneo, estudió futbolistas profesionales a quienes se les aplicó un ejercicio extenuante específico de velocidad. Se monitorizó la CPK, relación cortisol/testosterona salival y se monitorizó el CMJ, después de 8 horas de aplicación del dispositivo, se encontró que a las 2 y 24 horas los jugadores presentaban una mayor reducción significativa de la CPK y una más rápida recuperación de la altura del salto. Se encuentra evidencia que aumentó el flujo sanguíneo y que la intervención por un periodo de 8 horas aplica unas 28.800 contracciones mientras que solo se aplican 1600 en unos 20 minutos. Se atribuyen los mejores resultados a la duración del tratamiento y se considera una estrategia práctica e inmediata de recuperación para los jugadores de futbol. En nuestro estudio se aplicaron dos periodos de 20 minutos de estimulación lo que equivale a 3648, los cuales pudieron ser insuficientes para lograr efectos en el desempeño de la fuerza y salto, se debe evaluar el uso del dispositivo portátil Bodyflow® por mayores periodos de tiempo. Es claro que las poblaciones de futbolistas tienen un patrón de fibras musculares más fibras intermedias (FO) y glicolíticas (FG), que los fondistas, hecho que se debe tener en cuenta en las comparaciones. Otro estudio hecho con el mismo dispositivo evaluó el efecto de la neuroestimulación vía el nervio peroneal, en deportistas de resistencia a la 1, 24, 48 y 72 horas sin encontrar diferencias en los marcadores bioquímicos, de inflamación, ni de rendimiento, sin embargo, el dolor muscular percibido si fue significativamente menor en comparación con las medias de compresión (Ferguson, 2014). En otro estudio Bieuzen (2012), comparó la efectividad de la neuroestimulación vascular con el equipo firefly® en jugadores de futbol profesional a la 1 y 24 horas post ejercicio intermitente extenuante. Es un estudio clínico controlado, que

encuentra una mejoría en la recuperación en el test de “all out” de 30 segundos, sin evidenciar cambios significativos en los marcadores bioquímicos ni de desempeño en el salto CMJ. Estos resultados son congruentes con los datos obtenidos en nuestro estudio, ya que el CMJ no se modificó, sin embargo, es llamativo que una prueba supramáxima en 30 segundos fue significativamente afectada por la intervención, haciendo que recomienden esta modalidad de recuperación. En nuestro estudio no se realizaron pruebas de velocidad que pudieran haber mostrado otro perfil de recuperación además que se emplearon deportistas de resistencia cuyos patrones de fatiga son diferentes.

Estudios realizados para medir la fuerza post recuperación con estimulación neural transcutánea no han reportado diferencias significativas. Denegar (1992), no encontró diferencias en la fuerza de agarre, luego de intervención con estimulador eléctrico trascutáneo; resultado similar al estudio de Heyman, (2009). Sin embargo, los estudios reportados estudiaron la recuperación posterior a las 24 y 72 horas; además, los métodos utilizados por los estudios no midieron la fuerza explosiva y se emplearon equipos de TENS, no de baja frecuencia y por lo tanto sin efecto sobre el flujo sanguíneo. Se requieren estudios que realicen mediciones de la fuerza explosiva en términos de velocidad y potencia, posterior a una recuperación con neuroestimulación vascular a las 2 horas post intervención.

Vanderthommen et al., (2007) comparó el efecto de la electroestimulación de baja frecuencia con la recuperación pasiva posterior a un ejercicio fatigante en tres sesiones diferentes de ejercicios isométricos, se evaluó la recuperación activa, pasiva y electroestimulación. No se encontraron diferencias en los perfiles psicológicos percepción del dolor, ni el torque pico entre las tres modalidades evaluadas a los 17 minutos y 24 horas posejercicio. En este estudio se utilizó un equipo de neuroestimulación vascular (Compex1 ®) cuyas frecuencias son superiores a 5Hz, demostrando que la especificidad de la aplicación de la corriente es necesaria para lograr un efecto de aumento del flujo sanguíneo, razón por la cual probablemente no se encontró ningún resultado.

Leeder, et al (2011), estudiaron la recuperación con neuroestimulación vascular Bodyflow® en comparación con la recuperación pasiva, mediante test isométrico en extensores y flexores de rodilla, encontrando una tendencia a la recuperación acelerada de fuerza de los extensores de la rodilla a las 48 horas. Los datos obtenidos en el citado estudio, no evalúan la fatiga neuromuscular, además la población del estudio no son deportistas de rendimiento, en contraste al presente estudio que buscó evaluar la fatiga neuromuscular y se realizó con deportistas de resistencia los cuales por su predominio de fibras lentas oxidativas se desconoce cómo se comporta la fatiga neuromuscular y la recuperación en el corto plazo.

En este estudio, se apoya la teoría que la neuroestimulación vascular aumenta el flujo sanguíneo y el flujo linfático, demostrado en las diferencias significativas entre la recuperación con neuroestimulación y la recuperación pasiva. Este resultado es similar a los encontrados en el estudio de Sortaric (2007), en el cual se demostró una reducción

del edema y la inflamación en el grupo experimental. Las corrientes bifásicas de baja frecuencia de 1 Hz, despolarizan la membrana del músculo liso vascular, causando un efecto motor (Plaja., 2003) y los músculos entran en una lenta vibración, que favorece la movilización de las fibras de colágeno y tensión muscular (Rodríguez., 2004)

Se evidencia que los niveles de CPK son buenos indicadores para valorar el efecto de las intervenciones de la recuperación en el corto plazo y se pueden asociar a nuevas mediciones del desempeño en el salto como estándar para el monitoreo de la fatiga neuromuscular aguda, las cuales se deben acompañar de mediciones más precisas con plataformas de fuerza.

Este estudio no mostró diferencias significativas en la percepción de la fatiga entre las dos intervenciones, es probable que la sensación de fatiga no se afecte por las intervenciones debido a que en el corto plazo no se puedan percibir diferencias sutiles; estos resultados pueden deberse a que las perturbaciones en los estados de ánimo, se consiguen luego de un entrenamiento de alta intensidad (Halsón & Jeukendrup, 2004). Se requieren estudios que permitan dar conclusiones exactas sobre la percepción de la fatiga en la segunda hora utilizando escalas de percepción del esfuerzo y fatiga (TQR total quality of recovery)/(RPE (rated perceived exertion)) (Feitas, 2014)

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

Los hallazgos del presente estudio, sugieren que no se pudieron medir diferencias significativas entre el uso de la neuroestimulación vascular y la recuperación pasiva durante la segunda hora, en indicadores de rendimiento como la velocidad máxima, velocidad media, duración de la fase propulsiva y potencia máxima pico, Es probable que se deban realizar estudios con plataformas de fuerza asociada a encoder de posición lineal para la evaluación el desempeño en el salto y la fuerza explosiva; con el fin de poder valorar los cambios sutiles que suceden cuando se evalúa la fatiga en un periodo tan corto como 2 horas post ejercicio. Se requieren más estudios para obtener resultados concluyentes especialmente en deportistas de resistencia, cuyos procesos de fatiga son diferentes.

Se presentaron cambios significativos en la potencia media a favor de la recuperación pasivas, estos resultados pueden ser debidos al efecto de relajación que causa las corrientes de baja frecuencia (Tessitore et al. 2007 y 2008)

En el estudio no se encontraron diferencias significativas en el test CMJ en la segunda hora post intervención con Neuroestimulación y recuperación pasiva, estos resultados se deben al aumento del salto post-ejercicio debido a una potenciación de post-activación que puede mantener o incluso aumentar el valor del salto CMJ aun en presencia de fatiga neuromuscular (Boullosa et ál., 2011).

Se encontró diferencia estadística significativa, en el indicador bioquímico de CPK, posterior a una intervención con neuroestimulación, lo que sugiere que el uso de este tipo de intervención puede tener ventajas en lugares donde no se pueda realizar otro tipo de intervención y se requiera disminuir los niveles de concentración de CPK para acelerar la recuperación de la fatiga neuromuscular. Este tipo de corrientes favorecen el aumento del flujo sanguíneo y la contracción de la musculatura lisa de los vasos, lo que se traduce a un aumento en el aporte de oxígeno, nutrientes, hormonas y modulación de la inflamación.

No se encontraron diferencias significativas en los indicadores de percepción de la fatiga, entre la recuperación pasiva y neuroestimulación vascular; sin embargo la percepción de la fatiga aumento en las dos intervenciones lo que demuestra que el protocolo utilizado

causo la fatiga. Se requieren estudios que permitan comprender cómo y cuáles factores determinan la fatiga en el corto plazo (2 horas) con escalas psicológicas diferentes.

10.2 Recomendaciones

Es necesario realizar estudios con deportistas de resistencia, en los cuales se realice un protocolo fatigante enfocado a la fatiga neuromuscular en el corto plazo. Resultará importante e interesante evaluar el efecto de la intervención sobre la modulación del sistema nervioso autónomo y así ver como este está implicado en el proceso, con el fin de identificar los beneficios de la neuroestimulación vascular en la segunda hora.

El test que se utilizó para medición de la percepción de la fatiga quizás no permitió conocer cambios significativos entre los dos tipos de recuperación. Los estudios muestran que el uso de escalas como TQR y RPE para valorar la carga y la fatiga, en conjunto con el uso de plataformas uniaxiales de fuerza, para valorar las variables de desempeño en el salto, permite la estimación exacta de la fatiga neuromuscular.

10.3 Limitaciones

La consecución de la población para este tipo de estudio es compleja, en la medida que implica disponer de un tiempo importante para la aplicación de las pruebas por parte de los participantes cuando se requieren atletas de alto rendimiento. En esa medida, el número de personas deseable para el proyecto, es difícil de obtener. Adicionalmente, el hecho de que la población requerida fueran deportistas de rendimiento, ocasionaba una dificultad más para el adecuado desarrollo del estudio, por cuanto estas personas tienen un tiempo limitado y en algunos casos son incrédulos frente a los beneficios que puedan obtener, derivados de su participación.

Una gran limitación hace referencia a los métodos de medición de variables fisiológicas en el corto plazo, debido a que los cambios son sutiles y se requieren de mejores instrumentos de medición para detectar los efectos fisiológicos de la recuperación. Es quizás por esta razón de la dificultad técnica que no existen suficientes estudios similares que se atrevan a medir la recuperación en el corto plazo.

La medición de la fatiga neuromuscular en el corto plazo es muy difícil y requiere tecnologías muy precisas.

Anexo: Consentimiento informado

EFFECTO DE LA NEUROESTIMULACIÓN VASCULAR SOBRE EL MÚSCULO LISO EN LA RECUPERACION POST EJERCICIO EN ATLETAS

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Investigador: FT. Ana Luisa Ospina Castro

Coinvestigador: MD. Mauricio Serrato Roa

Maestría en Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física

INTRODUCCION

Este documento ha sido elaborado conforme a las previsiones contenidas en la Ley 23 de febrero 18 de 1.981 "Por la cual se dictan normas en materia de ética médica" y la Resolución 13437 de 1.991 del Ministerio de salud, por la cual se adopta el Decálogo de Derechos de los Pacientes aprobado por la Asociación médica Mundial en Lisboa, 1.981.

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La capacidad de recuperarse de episodios de altas intensidades de ejercicio, es un requisito previo para el éxito en muchas situaciones deportivas. Inadecuadas recuperaciones en el corto plazo, puede ser un factor limitante para el rendimiento (Higgins et al. 2011), y puede conducir a la lesión tisular o el síndrome de sobreentrenamiento (Barnett 2006). Tomado de (JK Malone, GF Coughlan, L Crowe, GC Gissane, & B Caulfield, 2012) Factores fisiológicos, bioquímicos y psicológicos ocasionan esta pérdida, motivo por el cual la recuperación se convierte en pieza estratégica para maximizar el rendimiento en los atletas.

Un nuevo método que utiliza la electroterapia como medio de recuperación, es el uso de corriente de baja frecuencia que incorpora la neuroestimulación eléctrica del músculo liso vascular Bodyflow®. Este tratamiento de recuperación, fue desarrollado a mediados de los 90' con el fin de mejorar procesos de recuperación en deportistas, tras un ejercicio de gran esfuerzo. La neuroestimulación vascular constituye un tratamiento novedoso con importantes potencialidades, a fin de estimular la musculatura esquelética de forma superficial; este tratamiento no solo genera contracción muscular evidente, además permite el estímulo de la musculatura lisa que hace parte de la trama vascular. Adicionalmente, un proceso de succión por vacío se suma a los efectos de drenaje linfático de los miembros fatigados.

El objetivo del estudio es evaluar la efectividad de la aplicación de la neuroestimulación vascular Bodyflow® sobre el músculo liso en el corto plazo (2 hora) en atletas hombres, después de la realización de un ejercicio extenuante, mediante indicadores bioquímicos, de rendimiento y psicológicos.

METODOLOGIA

Se realizara valoración médica, a fin de indicar criterios de inclusión. Al siguiente día, los sujetos regresaran al centro para la primera intervención; la cual consiste en mediciones basales de indicadores bioquímico, de rendimiento y psicológico. Posteriormente, se realizará la aplicación de un protocolo fatigante y un método de recuperación pasiva o con neuro-estimulación vascular por espacio de una hora y nuevamente se medirán a las 2 horas los indicadores del estudio. Por último, transcurridos 2 días, los participantes asistirán en una 3 ocasión al centro para la segunda aplicación del protocolo descrito. Con información obtenida, se compararan los datos obtenidos con la recuperación pasiva vs los encontrados con la recuperación bajo neuro-estimulación vascular.

INTERVENCION

Se realizaran dos intervenciones, separadas cada una por 2 días, posterior a la aplicación de un protocolo fatigante. La recuperación pasiva, consistirá en estar sentado por espacio de 1 hora y para la recuperación con neuroestimulación vascular Bodyflow® se realizará una primera aplicación por 20 min posterior al ejercicio, finalizada esta, se otorgará un periodo de reposo por 20 min y se llevará acabo una segunda aplicación por otros 20 min.

Se utilizará un electroestimulador Bodyflow® (Physiomed Elektromedizin AG Hutweide 10, 91220 Schnaittach / Laipersdorf, Alemania). El dispositivo Bodyflow® emite un ancho de pulso de 6ms, una frecuencia de 1,52Hz, la onda es de tipo exponencial y la corriente es de polaridad invertida o bifásica desfasada. La intensidad variará de acuerdo a la resistencia de los tejidos de los participantes. Se utilizarán ventosas de vacío y electrodos adhesivos en las piernas durante las dos aplicaciones. Para la primera aplicación, los electrodos de vacío se ubicarán en la parte proximal de los cuádriceps y los electrodos adhesivos en la parte distal. Una segunda aplicación, se realizará con electrodos de vacío en la región proximal del cuádriceps y electrodos adhesivos en tibial anterior

MOLESTIAS Y RIESGOS

Los riesgos que se pueden presentar son:

- Quemaduras no galvánicas pero con posibles ulceraciones en los puntos de contacto más o menos intensa.
- Dolor intenso en las zonas afectadas
- Contracturas musculares durante el paso de la corriente

CONTRAINDICACIONES

Terapia Bodyflow® no debe utilizarse en usuarios que presenten algunas de las siguientes condiciones:

- Que tengan un dispositivo cardíaco interno como un marcapasos permanente o desfibrilador interno
- Mujeres embarazadas
- Sospechas de padecer trombosis venosa o trombosis venosa profunda
- Diagnóstico de enfermedad maligna activa
- Proceso infeccioso

En cuanto a los electrodos de vacío no se deben utilizar en:

- Proximidad de las venas varicosas
- Casos de inflamaciones venosas y otras enfermedades vasculares

Tiene derecho a prestar consentimiento para la intervención, si así lo decide o retirar su consentimiento en cualquier momento, previo a la realización de las pruebas o durante ellas.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

ATLETA

Nombre: _____ C.C. _____

He leído la información que ha sido explicada en cuanto al consentimiento. He tenido la oportunidad de hacer preguntas sobre la intervención a realizar. Firmando abajo consiento que se me apliquen las pruebas que se me han explicado de forma suficiente y comprensible.

Entiendo que tengo el derecho de rehusar parte o todo el examen en cualquier momento. Entiendo el procedimiento a seguir y consiento en ser tratado por un fisioterapeuta.

Declaro no encontrarme en ningún de los casos de las contraindicaciones especificadas en este documento.

Declaro haber facilitado de manera leal y verdadera los datos sobre estado físico y salud de mi persona que pudiera afectar las pruebas que se me van a realizar.

Autorizo mi participación en la investigación, con pleno conocimiento de la naturaleza de los procedimientos, beneficios y riesgos a los cuales seré sometido, con la capacidad de libre elección y sin coacción alguna.

Firma: _____

Testigo

Nombre: _____

Dirección: _____

Testigo

Nombre: _____

Dirección: _____

FISIOTERAPEUTA Investigador

Nombre: **Ana Luisa Ospina**, identificada con CC 32.905.980 de Cartagena; estudiante de la Maestría en Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física de la Universidad Nacional de Colombia. Declaro haber facilitado al atleta y/o persona autorizada, toda la información necesaria para la realización de la intervención y pruebas explicitadas en el presente documento y declaro haber confirmado, inmediatamente antes de la aplicación de la técnica, que el atleta no incurre en ninguno de los casos de contraindicación relacionados anteriormente, así como haber tomado todas las precauciones necesarias para que la aplicación de las pruebas sea correcta y en condiciones de salud óptima.

Firma: _____

Bibliografía

- Abernethy, P. J., & Jürimäe, J. A. A. K. (1996). Cross-sectional and longitudinal uses of isoinertial, isometric, and isokinetic dynamometry. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(9), 1180-1187.
- Allen D, Lamb G, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008;88:287–332.
- Ament, W., & Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Avila, R. C. (1999). Recuperación física y psicológica en los deportistas de élite, en un balneario. *Fisioterapia*, 21(3), 148-156.
- Babault, N., Cometti, C., Maffiuletti, N. A., & Deley, G. (2011). Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery? *European journal of applied physiology*, 111(10), 2501-2507.
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports Medicine*, 36(9), 781-796.
- Beaven, C. M., Cook, C., Gray, D., Downes, P., Murphy, I., Drawer, S., ... & Gill, N. (2013). Electrostimulation's enhancement of recovery during a rugby preseason. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(1), 92-98.
- Bieuzen, F., Pournot, H., Roulland, R., & Hausswirth, C. (2012). Recovery after high-intensity intermittent exercise in elite soccer players using VEINOPLUS sport technology for blood-flow stimulation. *Journal of athletic training*, 47(5), 498.

- Bishop, P. A., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review: brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 1015-1024.
- Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 54(2), 88-108.
- Bosco, C. (1994). La valoración de la fuerza con el test de Bosco: Paidotribo.
- Boullosa, D. A., Tuimil, J. L., Alegre, L. M., Iglesias, E., & Lusquiños, F. (2011). Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(1), 82-93
- Brancaccio, P., Maffulli, N., & Limongelli, F. M. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British medical bulletin*, 81(1), 209-230.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & White, T. P. (1996). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications*: Mayfield publishing company.
- Cáceres, R. Á. (1994). *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud*. Ediciones Díaz de Santos.
- Coutts, A. J., Reaburn, P., Piva, T. J., & Rowsell, G. J. (2007). Monitoring for overreaching in rugby league players. *European journal of applied physiology*, 99(3), 313-324.
- Córdova, A. (2010). Los inmunomoduladores frente a la inflamación y daño muscular originados por el ejercicio. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 45(168), 265-270.
- Chen, Y., Serfass, R. C., & Apple, F. S. (2000). Alterations in the expression and activity of creatine kinase-M and mitochondrial creatine kinase subunits in skeletal muscle following prolonged intense exercise in rats. *European journal of applied physiology*, 81(1-2), 114-119.

- Cramp, A. F., Gilseman, C., Lowe, A. S., & Walsh, D. M. (2000). The effect of high-and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Clinical Physiology*, 20(2), 150-157.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007b). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of applied biomechanics*, 23(2), 103
- Chiu, L. Z. F., Fry, A. C., Schilling, B. K., Johnson, E. J., & Weiss, L. W. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European journal of applied physiology*, 92(4-5), 385-392.
- Davis, J. M., & Bailey, S. P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, (29), 45-57.
- Denegar, C. R., & Perrin, D. H. (1992). Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation, cold, and a combination treatment on pain, decreased range of motion, and strength loss associated with delayed onset muscle soreness. *Journal of athletic training*, 27(3), 200.
- Edwards, R. H. (1981). Human muscle function and fatigue. *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*, 1-18.
- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*, 72(5), 1631-1648.
- Ferguson, R. A., Dodd, M. J., & Paley, V. R. (2014). Neuromuscular electrical stimulation via the peroneal nerve is superior to graduated compression socks in reducing perceived muscle soreness following intense intermittent endurance exercise. *European journal of applied physiology*, 114(10), 2223-2232.

- Freitas, V. H., Nakamura, F. Y., Miloski, B., Samulski, D., & Bara-Filho, M. G. (2014). Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players. *Journal of sports science & medicine*, 13(3), 571.
- Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 2001;81:1725–89.
- Gill, N., Beaven, C., & Cook, C. (2006). Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *British journal of sports medicine*, 40(3), 260-263.
- Gondin, J., Guette, M., Jubeau, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2006). Central and peripheral contributions to fatigue after electrostimulation training. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(6), 1147-1156.
- Grunovas, A., Silinskas, V., Poderys, J., & Trinkunas, E. (2007). Peripheral and systemic circulation after local dynamic exercise and recovery using passive foot movement and electrostimulation. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 47(3), 335-343.
- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? *Sports medicine*, 34(14), 967-981
- Hamlin, M. J. (2007). The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance. *Journal of science and medicine in sport*, 10(6), 398-402.
- Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., & Fukashiro, S. (2006). The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *Journal of biomechanics*, 39(13), 2503-2511
- Heyman, E., De Geus, B., Mertens, I., & Meeusen, R. (2009). Effects of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(6), 1303.

- Highton, J. M., Twist, C., & Eston, R. G. (2009). The effects of exercise-induced muscle damage on agility and sprint running performance. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 7(1), 24-30.
- Higgins TR, Heazlewood IT, Climstein M (2011) A random control trial of contrast baths and ice baths for recovery during competition in U/20 Rugby union. *J Strength Cond Res* 25:1046–1051
- Hoffman, J. R., Nusse, V., & Kang, J. (2003). The effect of an intercollegiate soccer game on maximal power performance. *Canadian journal of applied physiology*, 28(6), 807-817
- Howatson, G., & Van Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 38(6), 483-503.
- Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2007). Convergent evidence for construct validity of a 7-point likert scale of lower limb muscle soreness. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(6), 494-496.
- Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K., & Beilby, J. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 417-421.
- John B. Cronin, R. D. (2004). Reliability And Validity Of A Linear Position Transducer For Measuring Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 590,591,592,593.
- Kovacs, M. S., & Baker, L. B. (2014). Recovery interventions and strategies for improved tennis performance. *British journal of sports medicine*, 48(Suppl 1), i18-i21.
- Lane, K. N., & Wenger, H. (2004). Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 855-860.

- Lapointe, B. M., Frémont, P., & Côté, C. H. (2002). Adaptation to lengthening contractions is independent of voluntary muscle recruitment but relies on inflammation. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282(1), R323-R329.
- Lattier, G., Millet, G. Y., Martin, A., & Martin, V. (2004). Fatigue and recovery after high-intensity exercise Part II: recovery interventions. *International journal of sports medicine*, 25(7), 509-515.
- Lepers, R., Maffiuletti, N. A., Rochette, L., Brugniaux, J., & Millet, G. Y. (2002). Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1487-1493.
- Leeder, J., Spence, J., Taylor, E., Harrison, A., & Howatson, G. (2011). The effect of electrical stimulation on recovery from exercise-induced muscle damage. *British Journal of Sports Medicine*, 45(15), A21-A21.
- Linnamo, V., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1997). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77(1-2), 176-181.
- Lopez Chicarro, J., & Fernandez Vaquero, A. (2006). *Fisiologia del ejercicio* (3 edición ed.).
- Malone, J., Coughlan, G., Crowe, L., Gissane, G., & Caulfield, B. (2012). The physiological effects of low-intensity neuromuscular electrical stimulation (NMES) on short-term recovery from supra-maximal exercise bouts in male triathletes. *European journal of applied physiology*, 112(7), 2421-2432.
- Martin, V., Millet, G. Y., Lattier, G., & Perrod, L. (2004). Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(11), 1907-1915.

- Maffiuletti, N. A., Minetto, M. A., Farina, D., & Bottinelli, R. (2011). Electrical stimulation for neuromuscular testing and training: state-of-the art and unresolved issues. *European journal of applied physiology*, 111(10), 2391-2397.
- McLean, B. D., Coutts, A. J., Kelly, V., McGuigan, M. R., & Cormack, S. J. (2010). Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 367-383.
- McLoughlin, T., Snyder, A., Brolinson, P., & Pizza, F. (2004). Sensory level electrical muscle stimulation: effect on markers of muscle injury. *British journal of sports medicine*, 38(6), 725-729.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., Cox, A. J., Hopkins, W. G., Minahan, C. L., & Hunt, P. H. (2008). Muscle damage, inflammation, and recovery interventions during a 3-day basketball tournament. *European Journal of Sport Science*, 8(5), 241-250.
- Moreno, A. Manual estados de animo para deportistas de rendimiento TEAD-R 2005
- Mujika, I. (2012). *Endurance Training: Science and Practice*: Iñigo Mujika.
- Neric, F. B., Beam, W. C., Brown, L. E., & Wiersma, L. D. (2009). Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2560-2567.
- Orrego, M. L., & Monsalve, D. C. (2006). Laboratorio clínico y ejercicio. *F. Marino, O. Cardona, & LE Contreras, Medicina del deporte (págs. 93-94). Medellín: Corporación para Investigaciones Biológicas.*
- Parsi, K., Exner, T., Connor, D., Whittaker, S., Joseph, JE and Ma, D. (2007). Blood flow, fibrinolysis and anti-procoagulant activity after treatment with a portable electrostimulation device (Bodyflow) in healthy subjects. Abstract. Aust. College of Phlebology. Scientific meeting and workshop, 19-21 Sept 2007, Syd, Australia.

- Piller, N., Moseley, A., Heidenreich, B and Douglass, J. (2007). Results of a single blinded placebo controlled trial of the Bodyflow technique for the treatment of lymphoedema of the legs. Abstract. Aust. College of Phlebology. Scientific meeting and workshop, 19-21 Sept 2007, Syd, Australia.
- Place, N., Yamada, T., Bruton, J. D., & Westerblad, H. (2010). Muscle fatigue: from observations in humans to underlying mechanisms studied in intact single muscle fibres. *European journal of applied physiology*, 110(1), 1-15.
- Plaja, J. (2003). *Analgesia por Medios Físicos*, Editorial Mc Graw-Hill.
- Reid, D. C. (1993). Sports injury, assessment and rehabilitation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(10), i.
- Rodriguez Martin, J.M. (2004). *Electroterapia en fisioterapia*: Ed. Médica Panamericana.
- Rossi, L., & Tirapegui, J. (1999). Aspectos atuais sobre exercício físico, fadiga e nutrição. *Rev Paul Educ Fis*, 13(1), 67-82.
- Serrato Roa, M. (2008). *Medicina del deporte*: Universidad del Rosario.
- Skurvydas, A., Brazaitis, M., Kamandulis, S., & Sipaviciene, S. (2010). Peripheral and central fatigue after muscle-damaging exercise is muscle length dependent and inversely related. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 655-660.
- Skurvydas, A., Sipaviciene, S., Krutulyte, G., Gailiuniene, A., Stasiulis, A., Mamkus, G., et al. (2006). Dynamics of indirect symptoms of skeletal muscle damage after stretch-shortening exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(6), 629-636.
- Snieckus, A., Kamandulis, S., Venckūnas, T., Brazaitis, M., Volungevičius, G., & Skurvydas, A. (2013). Concentrically trained cyclists are not more susceptible to

- eccentric exercise-induced muscle damage than are stretch–shortening exercise-trained runners. *European journal of applied physiology*, 113(3), 621-628.
- Schmitz, R. J., Cone, J. C., Copple, T. J., Henson, R. A., & Shultz, S. J. (2014). Lower-extremity biomechanics and maintenance of vertical-jump height during prolonged intermittent exercise. *Journal of sport rehabilitation*, 23(4), 319-329
- Sostaric, S., Pearce, A., Gatt, B., McKenna, M., Stathis, C., & Goodman, C. (2007). Effects of mild electro-stimulation (Bodyflow™) treatment on healthy humans following exercise induced muscle damage. *Centre for Ageing, Rehabilitation, Exercise & Sport. Victoria University, Melbourne, Australia.*
- Sostaric, S., Pearce, A., Gatt, B., McKenna, M. J., Stathis, C., & Goodman, C. (2008). Effects of mild electro-stimulation () treatment on healthy humans following exercise induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc*, 40, S76.
- Tessitore, A., Meeusen, R., Pagano, R., Benvenuti, C., Tiberi, M., & Capranica, L. (2008). Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1402-1412.
- Taylor, T., West, D. J., Howatson, G., Jones, C., BraCPKen, R. M., Love, T. D., ... & Kilduff, L. P. (2015). The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 328-332.
- Tidball, J. G. (2005). Inflammatory processes in muscle injury and repair. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 288(2), R345-R353.
- Thomas, J. R., Nelson, J. K., & Cruz, C. M. A. (2007). Métodos de investigación en actividad física.

- Torres, R., Ribeiro, F., Alberto Duarte, J., & Cabri, J. M. (2012). Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 13(2), 101-114.
- Tucker, A. T., Maass, A., Bain, D. S., Chen, L. H., Azzam, M., Dawson, H., & Johnston, A. (2010). Augmentation of venous, arterial and microvascular blood supply in the leg by isometric neuromuscular stimulation via the peroneal nerve. *The International journal of angiology: official publication of the International College of Angiology, Inc*, 19(1), e31.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int J Sports Med*, 29(7), 539-544. doi: 10.1055/s-2007-989267
- Vanderthommen, M., Makrof, S., & Demoulin, C. (2010). Comparison of active and electrostimulated recovery strategies after fatiguing exercise. *Journal of Sports Science & Medicine [= JSSM]*, 9.
- Vanderthommen, M., & Duchateau, J. (2007). Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exercise and sport sciences reviews*, 35(4), 180-185.
- Williams, C. A., & Ratel, S. (2009). Definitions of muscle fatigue. *Human Muscle Fatigue*, 1.
- Zhelyazkov, T. (2006). *Teoría y metodología del entrenamiento deportivo*. Escuela Nacional del Deporte. Feriva.