

**Subgerencia de Fomento
y Desarrollo Deportivo**

Programa: "Por su salud,
muévase pues"

Edición 1 - 2023



Actividad Física y Salud

Revista Académica

XSSMP

¡Por su salud,
**MUÉVASE
PUES!**



Visión 2040: Antioquia corazón verde de América.
Equitativa, educada, competitiva, sostenible, multicultural y en paz.

Créditos

Investigación, elaboración y contenidos

FELIPE ZAPATA BALLESTEROS
Profesional en Deporte

Politécnico Jaime Isaza Cadavid
Especialista en actividad Física y Salud
Universidad de Antioquia
Promotor departamental
Programa "Por su salud, muévase pues"
INDEPORTES Antioquia

Coordinación editorial

MÓNICA MARÍA ARENAS SOSA
Líder Departamental

Programa "Por su salud, muévase pues"
INDEPORTES Antioquia

Programa "Por su salud, muévase pues"
2023

¡Por su salud,
**MUÉVASE
PUES!**

Variables fisiológicas

durante el entrenamiento de resistencia

Inicialmente, se destaca la importancia de la práctica del ejercicio físico de manera regular y sus consecuentes adaptaciones a nivel fisiológico, ya sea con objetivos de salud o de mejorar el rendimiento. Para Valdivieso (1998), la resistencia es la capacidad de soportar la fatiga a esfuerzos prolongados y/o para recuperarse más rápidamente después de dichos esfuerzos. Existen algunos elementos importantes que componen la planeación como el volumen (total del entrenamiento realizado, sea en tiempo, series, repeticiones o distancia), frecuencia (número de sesiones semanales), densidad (relación entre el esfuerzo y la recuperación) y la intensidad (% de esfuerzo). Siendo este último, el parámetro que hace referencia al grado de exigencia, el cual está estrechamente relacionado con el principio pedagógico de la individualidad.

Un método sencillo y accesible para todos, es la medición de la intensidad por medio de la frecuencia cardiaca (FC). Cabe destacar, que la Fc de reserva (FC MÁX - FC RESPOSO), es una forma de individualizar aún más las sesiones de entrenamiento ya que a diferencia de prescribir por medio de la FC máxima que tiene en cuenta solo la edad, la FC de reserva tiene en cuenta la FC en reposo del individuo donde a "X porcentaje" de la FC de reserva, le corresponde aproximadamente el mismo valor para el Vo2max. Según "Karvonen", los beneficios a nivel cardiovascular se dan entre el 60% y 75% del VO2max, entonces si nos proponen que "X %" de la fc de reserva corresponde al mismo valor para Vo2max, podríamos entenderlo mejor con el siguiente ejemplo práctico:

Cristian Camilo Hernández Mesa - 24 años. Sus sesiones de entrenamiento entre 140ppm y 161ppm se asocian a intensidad entre el 60% y 75% del VO2MAX.

FC reserva (140ppm) * el porcentaje a entrenar, 60% (0,6) + Fc reposo (56ppm)
= 140ppm (60%VO2MAX).

FC reserva (140ppm) * el porcentaje a entrenar, 75% (0,75) + Fc reposo (56ppm)
=161ppm (75% VO2MAX).

Sus sesiones de entrenamiento entre 140ppm y 161ppm se asocian a intensidad entre el 60% y el 75% del VO2MAX.

Aunque la FC puede variar por múltiples factores ajenos al ejercicio físico (temperatura, estado emocional, edad, patologías, entre otros), como se mencionó anteriormente, es una herramienta útil, accesible y alcanzable. De igual manera se pueden utilizar algunas otras fórmulas con más evidencia para hallar la FC máxima:

- **Robson 1938 FC máxima = 212 - (0,775 x edad)**
- **Tanaka 2001 FC máxima = 208 - (edad x 0,7)**

Si realizamos el anterior ejercicio matemático, existe una variación de aproximadamente 4 pulsaciones por minuto entre las 3 fórmulas.

El entrenamiento de la resistencia modifica algunas variables fisiológicas en los sistemas corporales, como lo son:



Cardiovasculares

Aumento de las pulsaciones por minuto, inhibición del sistema parasimpático ubicado en el bulbo raquídeo (protuberancia superior de la médula espinal), ya que este por medio del nervio vago predomina en estado de reposo teniendo un efecto depresor de la Fc y fuerza de contracción del corazón.

Se da aumento del sistema simpático al subir los niveles de la presión arterial sistólica y también bajando la sensibilidad de los baroreceptores (ubicados en las arterias aorta y carótida. Estos se activan para regular la presión arterial). Además, se da también un aumento de la circulación sanguínea para el transporte de oxígeno y nutrientes necesarios para cumplir con dicha demanda energética y contracciones musculares. Por otro lado, el plasma sanguíneo constituye el 55% del volumen de sangre total. Este está compuesto por H₂O en un 90%, proteínas en un 7% y nutrientes en un 3%. Puede disminuir en aproximadamente un 10% cuando se realiza ejercicio físico o deporte

en ambientes calurosos, pero con el entrenamiento de resistencia puede adaptarse para aumentar en un 10% aproximadamente.

Al mismo tiempo, el 45% del volumen restante de la sangre hace referencia a la parte “sólida”, la cual contiene glóbulos rojos (transporte de oxígeno) en un 99%, glóbulos blancos (sistema inmune) y plaquetas (papel importante en la coagulación de la sangre) en el 1% restante.

Resulta oportuno mencionar que el VO₂MAX hace referencia al volumen máximo de oxígeno que puede procesar el organismo durante un ejercicio. Sirve para identificar el rendimiento deportivo y igual forma, funciona como **un predictor de la salud.**

El Vo₂max, aumenta por el volumen sistólico y la cantidad de glóbulos rojos presentes en la sangre, depende del transporte de oxígeno por medio del gasto cardiaco y de la extracción de oxígeno, producto de las adaptaciones a nivel capilar y mitocondrial que se dan con el entrenamiento de resistencia.

Su unidad de medición es el MET

(Cantidad de energía que consume un individuo en situación de reposo y corresponde a 3,5ml/kg/min) es decir, el mínimo de oxígeno que el organismo necesita para mantenerse con vida.

Hombres sedentarios (20-40 añ)	35-45mL·kg ⁻¹ min ⁻¹
Mujeres sedentarias (20-40 añ)	30-40mL·kg ⁻¹ min ⁻¹
Esquí fondo (varones)	*94mL·kg ⁻¹ min ⁻¹
Esquí fondo (mujeres)	*75mL·kg ⁻¹ min ⁻¹
Corredores (varones)	80mL·kg ⁻¹ min ⁻¹
Ciclistas (varones)	74,3mL·kg ⁻¹ min ⁻¹
Corredoras (mujeres)	65mL·kg ⁻¹ min ⁻¹

***Valores máximos.
El resto son promedios.**

Se resalta entonces, que en investigaciones con cohortes de 1452 hombres y 741 mujeres participantes, encontraron que por cada aumento de un MET en la capacidad aeróbica, existe una reducción de los eventos cardiovasculares hasta en un 25%.

Un método indirecto pero accesible para realizar control y seguimiento, es el famoso test de Léger.

Respiratorias

- Suben ventilaciones por minuto (movilización de aire hacia y desde los pulmones).
- Difusión pulmonar (intercambio y transporte de oxígeno y dióxido de carbono).
- Difusión capilar (intercambio de O_2 y CO_2 entre capilares y tejidos).

Otro aspecto importante, es la mayor captación de O_2 por parte del tejido muscular modificando así la diferencia arteriovenosa, donde en reposo las arterias contienen 20ml de O_2 por cada 100ml de sangre y las venas entre 15ml y 16ml de O_2 por cada 100ml de sangre (diferencia de 4 a 5ml de O_2). Con la práctica del ejercicio físico no hay modificaciones en las arterias, pero en las venas se pasa a tener 5ml de O_2 por cada 100ml de sangre, aumentando la diferencia arteriovenosa (diferencia de 15 a 16ml de O_2). Lo anterior, por la participación muscular.

Neuroendocrinas

Las catecolaminas, que son producidas por las glándulas suprarrenales, tienen una funcionalidad activadora, pues vasodilatan los tejidos activos, para aumentar la circulación sanguínea y cumplen funciones de transporte. Entre las principales, están:



Noradrenalina:

Aumenta la presión arterial, el ritmo cardíaco y actúa como neurotransmisor.

Dopamina:

Ayuda a regular las funciones motoras.

Adrenalina:

Incrementa la frecuencia cardíaca, contrae los vasos sanguíneos y dilata las vías aéreas.



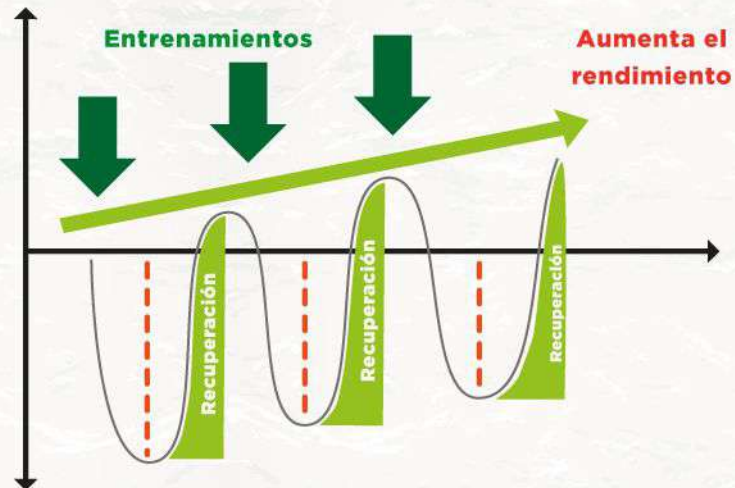
Neuromusculares

Los músculos esqueléticos están controlados por motoneuronas alfa que se encuentran en el asta anterior de la médula espinal. Por lo tanto, toda actividad motora supone la necesidad de que las motoneuronas generen potenciales de acción (mensajes por medio de impulsos eléctricos), para conseguir provocar la tensión interna de las fibras musculares, y con ello garantizar la fuerza para el desplazamiento. Es decir, esta conexión (motoneuronas y fibras musculares), denominadas unidades motoras, hacen posible desarrollar la fuerza que se necesita en los grupos musculares involucrados en el entrenamiento.

En un proceso de adaptación al ejercicio físico, lo ideal es tener en cuenta el principio pedagógico de la progresión. Por esta razón, se debería emplear un método inductivo (de lo fácil a lo complejo), que contribuya a direccionar de manera correcta el entrenamiento físico para alcanzar de manera segura las adaptaciones anteriormente mencionadas. Estas adaptaciones, serán garantías para posteriormente aumentar la intensidad, la dificultad y la exigencia en las sesiones de entrenamiento, buscando así, un mayor rendimiento y la disminución en la probabilidad de lesiones.

Ley de Seyle

Síndrome General de Adaptación (supercompensación).



Modelo trifásico del entrenamiento de resistencia

La fase 1 del entrenamiento de resistencia, pasa desde un estado de reposo hasta llegar al umbral aeróbico, ósea al 60%-65% del Vo_{2max} (aproximadamente 6 en escala de esfuerzo percibido Borg). Existe un predominio en el consumo de grasas como fuente de energía y de la utilización de fibras tipo 1, se habla de unidades motoras ó motoneuronas alfa (células del sistema nervioso central) donde sus axones inervan fibras musculares, al inervar las fibras tipo 1. Estos axones son de pequeño calibre, baja excitación, pero alta resistencia.

Se tienen en cuenta las siguientes variaciones :

- El aumento del sistema simpático y la inhibición del sistema parasimpático aparecen simultáneamente a la hora de ejecutar el ejercicio físico.
- La frecuencia cardiaca aumenta de manera lineal, respecto a la intensidad del ejercicio para predisponer al organismo en cuanto al aumento del transporte de oxígeno y nutrientes.
- El volumen sistólico aumenta por el incremento en el llenado diastólico, que a su vez se incrementa por el óptimo retorno venoso (gracias al bombeo muscular, frecuencia respiratoria y vasoconstricción) , mejorando así el mecanismo de Frank Starling (cuanto más se llena de sangre un ventrículo durante la diástole, mayor será el volumen de sangre expulsado durante la subsecuente contracción sistólica).

- El gasto cardíaco (Volumen sistólico X Fc) aumenta de 5 a 6 litros/min en hombres, y de 4 a 5 Litros/min en mujeres promedio en reposo, hasta más de 5 veces por el volumen sistólico y la frecuencia cardíaca hasta aproximadamente el 50% Vo2max. Luego de este porcentaje, la Fc es la responsable de este aumento.
- La ventilación pulmonar aumenta de manera lineal, respecto a la intensidad del ejercicio por medio del sistema nervioso central. También, los quimiorreceptores (células especializadas en detectar sustancias químicas y transmitir esa información al sistema nervioso central) captan la modificación que sufren los gases sanguíneos ya que aumenta la captación de O2 por parte de los tejidos activos.

Tabla de percepción del esfuerzo



Adaptaciones Fisiológicas en fase 1

- | | |
|--|---|
| <p>1</p> <p>La descarga motora a baja frecuencia, adapta las contracciones de las fibras tipo 1 para obtener mayor resistencia.</p> | <p>4</p> <p>Aumenta la intensidad, pero la fatiga puede concebirse como menor.</p> |
| <p>2</p> <p>Mayor tolerancia al lactato.</p> | <p>5</p> <p>Aumento del retorno venoso.</p> |
| <p>3</p> <p>Aumento del tamaño y número de mitocondrias.</p> | <p>6</p> <p>Mayor liberación de óxido nítrico que funciona como vasodilatador.</p> |



Fase 2 del entrenamiento de resistencia

La fase 2 del entrenamiento de resistencia, denominado como la transición aeróbica - anaeróbica o umbral aeróbico ocurre cerca al 65%-70% del Vo₂Max, y aproximadamente en 7-8 en la escala de Borg. Existe un aumento en la intensidad del ejercicio físico y se reclutan motoneuronas que inervan fibras musculares tipo 2 (mayor velocidad de contracción) para así poder satisfacer a nivel muscular la demanda que provoca la actividad que se viene realizando, ya que con las fibras tipo 1 no es suficiente.

A la fase 2, se le denomina ejercicio mixto por su combinación entre lo aeróbico y lo anaeróbico, se pasa de ácidos grasos a hidratos de carbono como fuente de energía predominante y las fibras tipo 1 tendrán ayuda de las fibras tipo 2 para generar movimiento. Estas, se reclutan proporcionalmente a la intensidad del ejercicio físico, y en el caso de las fibras tipo 2 el retículo sarcoplasmático está diseñado para albergar más calcio. Lo anterior con el fin de ejecutar contracciones rápidas y óptimas para participar activamente durante más tiempo, retrasando la fatiga.

Asímismo, las motoneuronas se reclutarán de forma progresiva y por medio de sus axones inervarán las fibras musculares a medida que sube la intensidad del ejercicio practicado. Se debe tener en cuenta, que estas, son de mayor calibre, fuerza y velocidad funcional, pero que a su vez, no son tan resistentes. Por consiguiente se da un aumento en la cantidad de catecolaminas presentes en el torrente sanguíneo, estimulando aún más el sistema simpático. Por las señales aferentes que envían las fibras musculares tipo 2 se genera más adenosín trifosfato (ATP) (moneda energética), ya que se activa la glucólisis (vía metabólica para oxidar glucosa) , y por ende hay también aumento del lactato.

Aumento de la intensidad
%

FC

95%

90%

80%

70%

60%

50%



Puntos claves del entrenamiento en fase 2

- Mayor estimulación del sistema nervioso central, produciendo así mayor actividad simpático-adrenal y teniendo mayor cantidad de catecolaminas en el torrente sanguíneo.
- La insulina en esta fase del ejercicio va descendiendo y hay menos producción por parte del páncreas, pero igual captación de glucosa por parte del tejido muscular.
- La frecuencia de las motoneuronas sobre las fibras musculares, disminuye a medida que se fatigan.
- Los mecanorreceptores ubicados en músculos y articulaciones, envían señales al centro vasomotor vía aferente (sube) ubicado en el tronco encefálico, para luego producir acciones motoras por vía eferente (baja).
- Concentración del producto final de la glucólisis (lactato). Por ende, se estimula la gluconeogénesis (manera de obtener energía por medio de otros mecanismos que no sean la glucosa). En síntesis, la reutilización de lactato como fuente energética.

Adaptaciones Fisiológicas en fase 2

- 1 Incremento en la velocidad de acortamiento de las fibras musculares.
- 2 Realizar una misma carga de trabajo con menos activación simpático - adrenal.
- 3 Menor acidosis metabólica ya que se incrementa la capacidad oxidativo.
- 4 Mayor tolerancia al lactato.
- 5 Optimización de la musculatura respiratoria.
- 6 Eficiencia en el transporte de oxígeno y nutrientes al tejido muscular.
- 7 Disminución de la presión diastólica para facilitación de la postcarga.
- 8 Mayor capacidad del contráctil del corazón (Mecanismo Frank Starling)
- 9 FC en reposo más baja.

Fase 3 del entrenamiento de resistencia

La fase 3 del entrenamiento de resistencia, caracterizada por la mayor intensidad alcanzada y percibida, hace que el reclutamiento de las fibras musculares tipo 2X, sean las que marquen la diferencia a la hora de llevar a cabo las contracciones musculares que demandan las actividades que componen el entrenamiento en esta etapa. Ocurre a partir del 85% del Vo₂max promedio, y en una escala de Borg se ubica entre 9 y 10 aproximadamente.

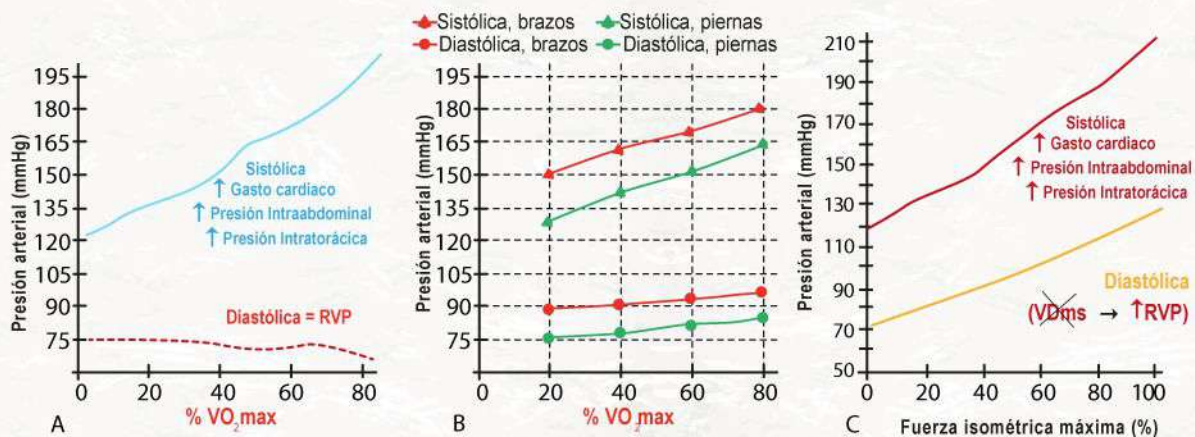
Se refleja entonces, una mayor participación de unidades motoras que inervan las fibras musculares dependientes de la vía glucolítica anaeróbica, y existe un aumento considerable de la concentración de lactato (a mayor velocidad en un ejercicio aeróbico mayor probabilidad de que el aumento del lactato en sangre sea lineal).

Al activarse la glucólisis y la gluconeogénesis para producir energía, esta producción va a superar el “reciclaje” de dicho producto por parte del tejido muscular, ya que el sistema de “taponamiento” no abastece las necesidades que la intensidad implica, y hay por lo tanto un desequilibrio acido-base que representa una próxima e inminente fatiga. En consecuencia de la intensidad, existe una clase de “competencia” por el oxígeno entre los músculos que participan en el ejercicio y los músculos respiratorios. Sin lugar a duda, lo que repercutirá en un bajo rendimiento.

Por otra parte, la frecuencia respiratoria puede aumentar hasta 45 respiraciones por minuto promedio y hasta 70 en deportistas élite. La ventilación por minuto hasta 100 lt/min promedio y hasta 200 litros en deportistas élite. Se resalta, que la capacidad de aumentar el gasto cardiaco es lo que hace la diferencia en cuanto a la condición física entre las personas, aunque en reposo es aproximadamente lo mismo tanto para sedentarios como para personas activas.

Finalmente, la FC aumenta, dependiendo de los grupos musculares involucrados durante el ejercicio físico, por ejemplo en miembros inferiores sube mucho más pero finalmente se estabiliza en la presente fase. Existe también, una respuesta hipertensiva al ejercicio, por la presión arterial sistólica pero la presión arterial diastólica, por la gran vasodilatación que genera el ejercicio físico, hace que la resistencia vascular sea menor y tienda a mantenerse o incluso a bajar.

Respuestas de la presión arterial al ejercicio de resistencia e isométrico



Respuesta de la PA al ejercicio: A: dinámico incremental; B: dinámico incremental con brazos y piernas; C: estático o isométrico (RVP: resistencias vasculares periféricas; VD ms: vasodilatación muscular)



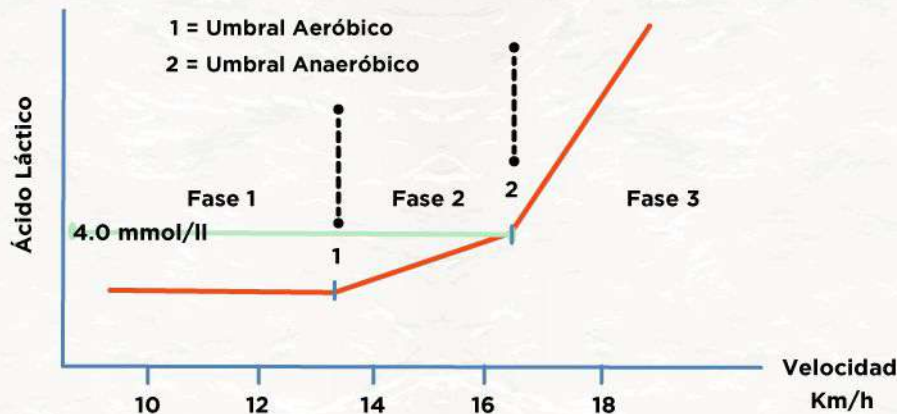
El umbral aeróbico (1), corresponde a la intensidad del ejercicio en la que el lactato empieza a acumularse en el torrente sanguíneo. Es decir, aún cuando estamos en la capacidad de tolerar y resistir dichas concentraciones hasta un punto determinado.

En cambio, cuando este comienza a producirse de manera significativa, hacemos referencia al **umbral anaeróbico (2)** o también conocido como **umbral de lactato**. Este, a pesar de no ser la causa directa de la fatiga muscular, está estrechamente relacionada con los iones de hidrógenos, causantes de la acidez, y por ende de la fatiga. Se resalta entonces que la fase 3 inicia al superar la carga de trabajo correspondiente al umbral anaeróbico (2).

En un ejemplo práctico, podríamos entender este fenómeno de la siguiente manera : El punto de cohorte para el lactato puede ser de 4.0 mmol/l, mantenemos un registro de este a lo largo del tiempo, y mientras mayor sea la velocidad o el esfuerzo para llegar a producir esta cantidad de lactato en sangre, más eficiente es el sistema. Esta puede ser una de las tantas diferencias entre el rendimiento de 2 o más personas.

Cabe resaltar también, que el lactato además de ser un producto secundario del ejercicio, también es un combustible para ello.

Tabla de Lactato



Características de las fibras musculares

Características	Fibras de contracción lenta (tipo I)	Fibras de contracción intermedia (tipo IIa)	Fibras de contracción rápida (tipo IIb)
Diámetro	Intermedio	Intermedio	Intermedio
Gresor de la línea Z	Gruesa	Intermedia	Estrecho
Contenido de glucógeno	Moderado	De moderado a elevado	De moderado a elevado
Resistencia a la fatiga	Elevada	Intermedia	Poca
Tiempo de contracción	< 30 ms	30 - 100 ms	100 ms y más
Tétanos perfecto	20 por segundo	50 por segundo	100 por segundo
Número de capilares por fibra	Muchos	Muchos	Pocos
Contenido de mioglobina	Elevado	Elevado	Escaso
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Actividad ATPásica de la miofibrilla	Baja	Elevada	Elevada
Actividad de las enzimas glucogenolíticas	Baja	Elevada	Elevada
Actividad de las enzimas mitocondriales	Elevada	Baja	Baja
Sistema energético predominante	Aeróbico	Combinación	Anaeróbico

Una de las adaptaciones a resaltar en esta fase es la de poner el umbral anaeróbico más cerca del 100% del Vo₂max, teniendo datos de 90% para umbral anaeróbico y hasta 93% en ciclistas profesionales. Cuando se llega a la fase 3 del ejercicio, a nivel neuromuscular se reclutan todas las motoneuronas disponibles de forma paulatina. Es claro entonces, que solo se puede llevar a cabo este tipo de entrenamiento en periodos de tiempos cortos, ya que por dicha demanda se presentan rápidamente niveles de acidosis que producen inevitablemente la fatiga muscular. Al mismo tiempo, se registran las más altas tasas del gasto cardiaco, diferencia arterio - venosa y activación sistema simpático-adrenal, al igual que la máxima ventilación pulmonar con el objetivo de oxigenar la sangre y aportar al equilibrio ácido-base.

Adaptaciones Fisiológicas

en fase 3

1

Mayor velocidad de acortamiento muscular para movimientos técnicos y rápidos.

2

Mejora de la tolerancia, aclaración y reutilización del lactato.



3

Capacidad de aumentar la glucólisis, más rápidamente.

4

Recuperación veloz de los músculos respiratorios.

5

Capacidad de mantener un alto gasto cardíaco y de distribuir flujos sanguíneos a la zona específica que lo necesita (músculos).

6

Hipertrofia de la glándula adrenal, para suplir dichas demandas de intensidad a nivel de catecolaminas.

Referencias Bibliográficas

Fisiología del entrenamiento aeróbico, una visión integrada.

Autor: J. López Chicharro.

Umbral del lactato y su relación con el entrenamiento deportivo.

Revista digital. Buenos Aires, año 16, N° 165, febrero de 2012.

www.efdeportes.com

Bases del entrenamiento deportivo en la etapa postobligatoria: La adaptación.

Autor: Rogelio Macías Sierra.

I.E.S. Miguel de Cervantes, Lucena (Córdoba)

E-mail: askrim@hotmail.com

Evaluación de la escala Borg de esfuerzo percibido aplicada a a rehabilitación cardiaca.

<https://www.scielo.br>

La sorprendente historia de la ecuación (FC máx. = 220 - edad)

Robert A. Robergs¹ y Roberto Landwehr¹

Exercise physiology laboratories, Exercise science program,

Department of physical performance and development,

The University of New México, Albuquerque, New México 87131.

Fibra muscular - 2015

<https://g-se.com/fibra-muscular-bp-J57cfb26dbc0d7>

Aspectos fisiológicos del ejercicio físico

Almudena Fernández Vaquero

Departamento de Ciencias Biomédicas Básicas.

Universidad Europea - Madrid. España.

