

UNIVERSIDAD DE OVIEDO.  
FACULTAD DE MEDICINA.  
DEPARTAMENTO DE MORFOLOGÍA Y BIOLOGÍA CELULAR.



**VALIDEZ Y FIABILIDAD DEL MÉTODO DE LA  
FRECUENCIA CARDIACA PARA LA VALORACIÓN  
DEL METABOLISMO AERÓBICO-ANAERÓBICO  
EN REMEROS DE ALTO NIVEL.**



**Autor.**

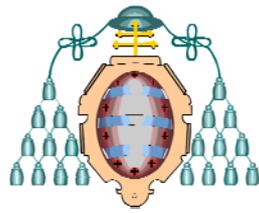
Jorge Villamil Cabo.

**Directores.**

Miguel del Valle Soto.

Blanca Méndez Suárez.

**TESIS DOCTORAL.**



Reservados todos los derechos  
© El autor

Edita: Universidad de Oviedo,  
Biblioteca Universitaria, 2009  
Colección Tesis Doctoral-TDR nº 64  
ISBN: 978-84-692-8948-8  
AS. 02297-2009











## AGRADECIMIENTOS.

Escribir esta tesis doctoral ha supuesto mucho tiempo y esfuerzo. Pero todo esto no hubiera sido posible, sin la colaboración desinteresada, de un gran número de personas a las que van dirigidos estos agradecimientos.

Me gustaría agradecer, en primer lugar, a los entrenadores del Club de Mar de Castropol, Enrique López, Cesar Quintana y José Antonio Rodríguez, por su gran paciencia y colaboración altruista.

Mi más sincero agradecimiento también, a Felipe García Pertierra, antaño máximo responsable de la sección de remo del Centro de Tecnificación de Trasona por la gran ayuda prestada en la realización de este trabajo.

No me puedo olvidar tampoco de todos los deportistas, que con su participación han hecho posible que este proyecto saliera adelante.

A mis directores de tesis, Miguel del Valle y Blanca Méndez Suárez, por su apoyo y confianza en mi trabajo.

A la Federación Asturiana de Remo y a la Dirección General De Deportes del Principado, por la ayuda material prestada, en la realización de las distintas pruebas.



## ABREVIATURAS.

<b>mmo/l.</b>	<b>Milimoles por litro.</b>
<b>VO2.</b>	<b>Consumo de oxígeno.</b>
<b>VO2max.</b>	<b>Consumo máximo de oxígeno.</b>
<b>Gc.</b>	<b>Gasto cardiaco.</b>
<b>HR.</b>	<b>Frecuencia cardiaca.</b>
<b>HRmax.</b>	<b>Frecuencia cardiaca máxima.</b>
<b>VT.</b>	<b>Umbral ventilatorio.</b>
<b>VT1.</b>	<b>Primer umbral ventilatorio.</b>
<b>VT2.</b>	<b>Segundo umbral ventilatorio.</b>
<b>W.</b>	<b>Trabajo.</b>
<b>VCO2.</b>	<b>Volumen de dióxido de carbono.</b>
<b>VE.</b>	<b>Ventilación.</b>
<b>LT.</b>	<b>Umbral láctico.</b>
<b>Vd.</b>	<b>Velocidad de deflexión.</b>
<b>FR.</b>	<b>Frecuencia respiratoria.</b>
<b>ATHR.</b>	<b>Umbral de frecuencia cardiaca.</b>
<b>Sd.</b>	<b>Velocidad de deflexión.</b>
<b>S.</b>	<b>Velocidad de la embarcación.</b>
<b>S max.</b>	<b>Velocidad máxima.</b>
<b>SR.</b>	<b>Frecuencia de paladas.</b>
<b>CT.</b>	<b>Test de Conconi.</b>
<b>CRT.</b>	<b>Retest de Conconi.</b>
<b>SRCT.</b>	<b>Frecuencia de paladas en el test de Conconi.</b>
<b>SRCRT.</b>	<b>Frecuencia de paladas en el retest de Conconi.</b>
<b>HRCT.</b>	<b>Frecuencia cardiaca en el test de Conconi.</b>
<b>HRCRT.</b>	<b>Frecuencia cardiaca en el retest de Conconi.</b>
<b>VO2CT.</b>	<b>Consumo de oxígeno en el test de Conconi.</b>
<b>VO2CRT.</b>	<b>Consumo de oxígeno en el retest de Conconi.</b>
<b>SCT.</b>	<b>Velocidad en el test de Conconi.</b>
<b>SCRT.</b>	<b>Velocidad en el retest de Conconi.</b>



## **INTRODUCCIÓN**

<b>1. Prólogo. Orígenes e historia del remo.</b>	<b>17</b>
<b>2. El deporte del remo.</b>	<b>21</b>
<b>2.1. Definición de las especialidades.</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Diferencias entre banco fijo y móvil.</b>	
<b>Aspectos técnicos y reglamentarios</b>	<b>24</b>
<b>2.3. Factores limitantes del rendimiento</b>	
<b>en remo.</b>	<b>28</b>
<b>2.4. Características del entrenamiento</b>	
<b>en remo.</b>	<b>31</b>
<b>3. Análisis biomecánico del remo.</b>	<b>35</b>
<b>3.1. Análisis biomecánico de la técnica en</b>	
<b>banco móvil. Fases de la palada.</b>	<b>37</b>
<b>3.2. Cinemática y dinámica del remo en</b>	
<b>banco móvil.</b>	<b>42</b>
<b>3.3. Anatomía funcional aplicada al remo</b>	
<b>en banco móvil.</b>	<b>45</b>
<b>4. Fisiología aplicada al remo.</b>	<b>51</b>
<b>4.1. Resistencia aeróbica y anaeróbica.</b>	<b>53</b>
<b>4.2. Parámetros dependientes de la</b>	
<b>capacidad aeróbica y anaeróbica.</b>	<b>55</b>
<b>4.3. Valoración de la transición aeróbica-</b>	
<b>anaeróbica.</b>	<b>62</b>

<b>4.3.1. Umbral láctico. Valoración de la transición aeróbica-anaeróbica mediante el análisis de lactato.</b>	<b>62</b>
<b>4.3.2. Umbral ventilatorio. Valoración de la transición aeróbica-anaeróbica mediante el análisis del intercambio gaseoso.</b>	<b>69</b>
<b>4.3.3. Umbral de frecuencia cardiaca. Método de la frecuencia cardiaca para la determinación de la transición aeróbica-anaeróbica. Test de Conconi.</b>	<b>73</b>

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

<b>5. Estudios realizados.</b>	<b>77</b>
--------------------------------	-----------

## **OBJETIVOS**

<b>6. Objetivos</b>	<b>87</b>
---------------------	-----------

## **MATERIAL Y METODOS**

<b>7. Muestra.</b>	<b>95</b>
<b>8. Método.</b>	<b>96</b>
<b>9. Material.</b>	<b>104</b>
<b>10. Protocolos.</b>	<b>108</b>
<b>11. Análisis estadístico.</b>	<b>113</b>

## **RESULTADOS**

**12. Resultados.** \_\_\_\_\_ **115**

**DISCUSIÓN**

**13. Discusión.** \_\_\_\_\_ **125**

**CONCLUSIONES**

**14. Conclusiones.** \_\_\_\_\_ **141**

**BIBLIOGRAFÍA**

**15. Bibliografía** \_\_\_\_\_ **145**

## **INTRODUCCIÓN.**

## 1.1. Orígenes e historia del remo.

Los orígenes del remo son poco conocidos, Virgilio describe por primera vez una regata de remos (Eneida V).

Como deporte, comienza a principios del siglo XVI, cuando Gran Bretaña contaba apenas con seis millones de habitantes y no menos de 400.000 "watermen" se ganaban la vida en el Támesis, llevando mercancías, entre Windsor y Gravesend. Naturalmente, ello fue creando un clima de competición en el río. Los recorridos rápidos se remuneraban muy bien, y pronto empezaron a tener lugar competiciones, con premios en especies, entre los "watermen" profesionales y los jóvenes de la región. En 1555 se crea una compañía, con barqueros de uniforme, que se convierte en un servicio urbano de transporte. Una noche el actor Thomas Dogget se había retrasado en la "Taberna del Cisne", cerca del puente de Londres, y tuvo muchas dificultades en encontrar un barquero que le cruzara el Támesis, muy agitado por el viento. Por fin un joven, recién terminado su aprendizaje, lo embarcó y en plena travesía Thomas Dogget tuvo la idea de fundar una regata que consagrara todos los años al mejor barquero de la ciudad. La primer competición se llevo a cabo en 1715 y se ha perpetuado, hasta nuestros días con el nombre de "Dogget's Coat and Badge".

Sin embargo, hubo que esperar hasta 1793 para que el Colegio de Eton inaugurara sus "Cursos de remo". Oxford siguió el ejemplo en 1815. Fue en esta época cuando surgieron las competiciones escolares y universitarias.

Los primeros clubes de remo fueron fundados, en el siglo XIX, por jóvenes deportistas amateurs que utilizaban el mismo tipo de embarcaciones que los "watermen". Muchas veces llamaban al club con el nombre de su embarcación. Una de las más prestigiosas sociedades de remo que existe todavía en Gran Bretaña, el "Leander Club".

La primera regata entre Oxford y Cambridge se disputó en 1829 en Henley-on-Thames, ante más de 20.000 espectadores. Semejante éxito incitó a los habitantes de Henley a organizar diez años después su propia regata que desde 1851 se llama "Henley Royal Regatta". Los remeros llevaban puesta la famosa chaqueta y sombrero de copa durante la carrera. Las "Henley Royal Regatta" empezaron tímidamente en 1839 con la "Grand Challenge Cup" reservada a los equipos de ocho remeros en la distancia Temple - Henley Bridge. Las demás categorías de embarcaciones irían surgiendo con el tiempo. El ejemplo de Inglaterra fue seguido por EE.UU. El río Charles fue el escenario de la primera competición entre Yale y Harvard en 1852. El primer club francés fue fundado en París en 1885 por un grupo de franco-ingleses; se llamó "Rowing Club de París". Le siguieron Lyon y Tours (1863). En Alemania, empezó en Hamburgo, sobre el Aister; posteriormente en Berlín, cinco alemanes y un francés, Emile Bister, fundaron el "Berliner Ruder Verein". En Rusia en 1842, un residente inglés de San Petersburgo (Leningrado) ofreció a la colonia británica un trofeo, preludio de la creación del "Arrow Boat Club" en 1864. El edificio social se construyó en un terreno donado por el Zar Alejandro II, confiscado como propiedad burguesa en 1918.

La aparición de clubes, asociaciones y sociedades provocó enseguida la creación de federaciones nacionales. En 1892 se crea la Federación Internacional de Remo (FISA) que da el impulso definitivo para la popularización de este deporte en todo el mundo. Esta federación es la encargada de organizar los campeonatos del mundo en las categorías

senior, senior pesos ligeros y júnior para ambos sexos siendo olímpica solo la primera. La FISA organiza los campeonatos internacionales en 1893, solamente para hombres. Las carreras con participación femenina fueron añadidas en 1954 y para la categoría júnior en 1968.

La primera competición internacional se desarrolla en 1832, en Hamburgo, entre británicos y alemanes.

Las embarcaciones se fueron perfeccionando poco a poco, pasando de la canoa a la yoal, de la yoal al wherry, del wherry al gig, del gig al outrigger. El asiento móvil tiene su origen en EE.UU. y apareció en Inglaterra en 1873. En 1958 se introduce la pala tipo "Macon".

Los primeros campeonatos de Europa tienen lugar en 1896 y es por primera vez olímpico en París (1900). En las olimpiadas de Montreal (1976) se incorporan las competiciones femeninas en unos juegos olímpicos.

Los programas de entrenamiento y las técnicas de remo comienzan a desarrollarse en las primeras décadas de siglo XX. Steve Fairbairn revoluciona la técnica del remo proponiendo un modelo (actual) que utiliza mayoritariamente el uso de las piernas en favor de las extremidades superiores del remo tradicional. En 1950, Karl Adams introduce el entrenamiento en intervalos (Intervall training). El éxito de los equipos de Adams en 1960 estimula las investigaciones sobre la fisiología del remo por todo el mundo.

En España, este deporte surgió de las embarcaciones utilizadas inicialmente para la pesca de bajura, las cuales se adaptaron, con la llegada de las lanchas a motor, a las competiciones deportivas. Existen documentos que prueban la existencia de embarcaciones de remo para la pesca en el siglo XVI (Martín Elcano, Villa de Tolosa, 1559).



## **EL DEPORTE DEL REMO.**



## EL DEPORTE DEL REMO.

### 2.1. Definición de las especialidades.

Se denomina remo al conjunto de disciplinas deportivas en las que se utiliza una embarcación impulsada por uno o varios remeros y que compete con otras similares para obtener un título o premio.

Se diferencia principalmente del piragüismo en las características del remo, de las embarcaciones y en la posición y movimientos del deportista sobre la embarcación, que en el caso del remo es de espaldas a la dirección de avance.

En este deporte existen dos especialidades claramente diferenciadas, **el banco fijo y el banco móvil**. La evolución de un deporte va unida en gran medida al desarrollo de la tecnología. En el remo este hecho se puede observar claramente.

El **banco fijo**, forma más primigenia de este deporte como tal. En España tiene su origen en las labores de pesca de los pueblos costeros del norte. Hoy en día, aun es común, ver competiciones ligadas a los festejos populares de estos pueblos. Se puede considerar como el precursor del banco móvil.

En líneas generales, las embarcaciones están poco evolucionadas técnicamente y las diferencias fundamentales con respecto al banco móvil, son la ausencia de la fuerza impulsora de las extremidades inferiores para propulsar la embarcación, la duración de las pruebas que suelen superar los 20 minutos y el tipo de embarcaciones mucho más pesadas y toscas.

En el **banco móvil**, especialidad olímpica, la técnica del remero tiene un papel decisivo.

Las embarcaciones, muy evolucionadas técnicamente, incorporan materiales de última generación, como el carbono o el kevlar, que las dota de gran ligereza. Las regatas se desarrollan sobre una distancia fija de 2000 m.

Las principales diferencias con respecto al banco fijo son la flexo-extensión de las extremidades inferiores durante la palada, la duración de las pruebas, el peso y el tamaño de las embarcaciones.

## **2.2. Diferencias entre banco fijo y móvil. Aspectos técnicos y reglamentarios.**

### **2.2.1. Banco fijo.**

Nos limitamos, tan solo a resumir las modalidades que existen dentro de esta especialidad y sus principales características (tabla 1).

	<b>Traineras</b>	<b>Trainerillas</b>	<b>Bateles</b>
<b>Peso min. (Kg)</b>	200	100	70
<b>Tripulación</b>	1 patrón 13 remeros	1 patrón 6 remeros	1 patrón 4 remeros
<b>Distancia (m)</b>	5556	3500	2000
<b>Eslora (m)</b>	12	9.50	7

Tabla 1. Distintas modalidades existentes en la especialidad del banco fijo con las características específicas de cada una de ellas (peso, tripulación, distancia de la prueba, eslora de la embarcación).

La regata de traineras constituye la modalidad reina. La distancia que cubren (5556 m) se realiza en cuatro largos, con tres ciabogas o giros, con una duración aproximada de 20-21 min.

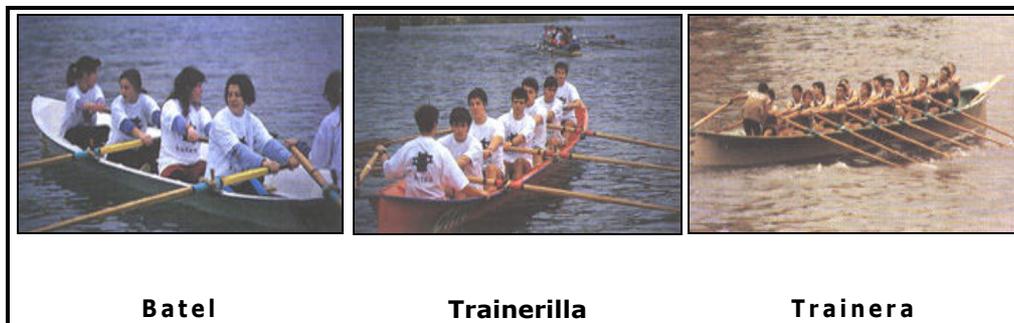


Foto 1. Distintas modalidades del banco fijo.

La velocidad media de una trainera de alto nivel es de aproximadamente 4,63 m/s y el ritmo medio de paladas de 36 a 40 pal/min. con lo que la duración media de la palada es de 1,66 -1,50 seg. para una duración media de 20 min. (Steinacker, J.M, 1993)<sup>2</sup>. Se trata pues de un ejercicio cíclico en el que los remeros ejercen una fuerza de empuje discontinuo en el agua con un tiempo que supone la mitad del tiempo total de la palada. Esto provoca un movimiento pulsátil en la embarcación con unas fuerzas positivas que impulsan la embarcación hacia proa y unas negativas que la frenan, como consecuencia de la fase aérea o recobro (Ver fig.4).

### **2.2.2. Banco móvil.**

Las competiciones en esta modalidad se disputan sobre una distancia de 2000 m en categoría senior y 1500 m para los júnior con una

duración que oscila entre los 5 y los 7 min. en la alta competición internacional.

La velocidad media de un ocho con timonel de élite es de 5,55 m/s siendo el ritmo de paladas de 32-38 pal/min., mientras que la duración de ésta se sitúa entre 1,87-1,57 s/pal para una prueba con una duración media de 6 min.<sup>2</sup>.

Las distintas modalidades y categorías existentes dentro de esta especialidad se resumen en la tabla 2.

Categoría	Skiff	Doble Scull	Dos en punta con timonel	Dos en punta sin timonel	Cuatro Scull sin.	Cuatro Scull con.	Cuatro en punta con.	Cuatro en punta sin.	Ocho en punta con.
Hombres	•	•	•	•	•		•	•	•
Hombres peso ligero	•	•						•	•
Mujeres	•	•	•			•	•		•
Mujeres peso ligero	•	•						•	

Tabla 2. Distintas modalidades del banco móvil según sexo y peso.

<b>Embarcaciones de scull (doble remo).</b>		
<b>Skiff</b>	<b>Doble Scull</b>	<b>Cuatro Scull</b>
		
Eslora: 7 metros Peso: de 14 a 20 kilos Tripulación: un remero	Eslora: 10'20 metros Peso: de 25 a 30 kilos Tripulación: dos remeros	Eslora: 13 metros Peso: de 50 a 60 kilos Tripulación: cuatro remeros
<b>Embarcaciones "en punta" (un remo).</b>		
<b>Doble con timonel</b>	<b>Dos sin timonel</b>	<b>Cuatro con timonel</b>
		
Eslora: 10' 50 metros Peso: de 35 a 40 kilos Tripulación: dos remeros y timonel	Eslora: 10'20 metros Peso: de 25 a 30 kilos Tripulación: dos remeros	Eslora: 14 metros Peso: de 55 a 60 kilos Tripulación: cuatro remeros y timonel
<b>Cuatro sin timonel</b>	<b>Ocho con timonel</b>	
		
Eslora: 13 metros Peso: de 50 a 60 kilos. Tripulación: cuatro remeros.	Eslora: 18 metros Peso: 90-110 kilos. Tripulación: ocho remeros y timonel	

Foto 2. Modalidades del banco móvil con uno y dos remos por tripulante.

## **2.3. Factores limitantes del rendimiento en remo.**

El remo se enmarca dentro del grupo de los deportes cíclicos, en donde un patrón de movimiento se repite de forma continua desde el inicio hasta el final de la regata. Además de esto, es un deporte donde las capacidades físicas juegan un papel crucial en el éxito del deportista, incluso por encima de la técnica en el caso del banco fijo.

En banco móvil, la técnica se encuentra a la par que el rendimiento físico y desempeña un papel muy importante como veremos más adelante. En cuanto a la estrategia y a la táctica su papel es reducido, limitándose únicamente, a dosificar los esfuerzos durante las pruebas. A este respecto Rodríguez y cols <sup>1</sup> analizan los parámetros cinemáticos en la final olímpica de doble scull, en Barcelona 92, encontrando que la embarcación española realizó un dispendio energético por encima de sus posibilidades lo dos primeros parciales de 500 metros, con lo que bajó su rendimiento de forma notable en los siguientes parciales para, finalmente quedar últimos en la clasificación.

En una regata de remo olímpico sobre una distancia de 2000 metros, los remeros de elite tardan en realizar la prueba entre 5,5 y 7 minutos, dependiendo del tipo de bote y de las condiciones ambientales. Se puede considerar el remo, como un deporte de resistencia mixta o de duración media (aeróbico- anaeróbico). La máxima potencia por palada puede alcanzar como máximo 1200 W y de media se sitúa en torno a 450-550 W <sup>2</sup>. Según diversos estudios, se observa que al comienzo de la prueba existe una predominancia del metabolismo anaeróbico láctico, hasta el primer parcial de 500 metros y a partir de aquí cobra especial relevancia la vía

oxidativa, hasta los 1800 metros aproximadamente. En los últimos 200 metros, la vía anaeróbica protagoniza el final de la prueba, en lo que se denomina sprint final. Las contribuciones aeróbicas y anaeróbicas propuestas por diversos autores se encuentran representadas en la tabla 3.

Estudios	N	% E. Aeróbica	% E. Anaeróbica
Secher y col. (1982) <sup>4</sup> .	7	70-86	14-30
Roth y cols. (1983) <sup>3</sup> .	10	67	33
Rusell y col. (1998) <sup>8</sup> .	19	84	16
Mickelson y col. (1982) <sup>9</sup> .	25	72	28
Hartmann y cols. (1987) <sup>10</sup> .	17	82	18
Messonier y cols. (1997) <sup>11</sup> .	13	86	14

Tabla 3. Contribución energética del metabolismo aeróbico-anaeróbico durante una regata de 2000 m según distintos autores.

Por tanto, el remero depende principalmente de su metabolismo aeróbico, puesto que los almacenes de energía y la glucólisis son limitados para cubrir la energía demandada durante aproximadamente 2 minutos <sup>2</sup>. Según Roth y cols.<sup>3</sup>, la energía necesaria para una regata de 2000 m es proporcionada un 67% aeróbicamente y un 33% anaeróbicamente y de ésta un 21% es aláctica y un 12% láctica. En cambio Secher y col. (1982)<sup>4</sup> encuentran que la energía aeróbica puede sobrepasar el 86%.

Como se puede observar en la fig. 1 son muchos los factores que afectan al rendimiento durante el remo. Los factores condicionales, expresados en las capacidades físicas básicas, son decisivos en el éxito del deportista. La técnica, es otro de los factores clave en el rendimiento del remero, pues es la forma de canalizar el potencial físico del deportista.

La talla y el peso del remero, se muestra como otro de los aspectos claves en el rendimiento. De este modo, una buena envergadura, permite realizar paladas más amplias y por tanto la aplicación de fuerzas durante más tiempo.

Otros factores, como la estrategia, táctica en las regatas, las capacidades psicológicas y las condiciones ambientales juegan un papel secundario en el rendimiento, aunque en momentos puntuales pueden llegar a ser determinantes.

La fuerza, depende del equilibrio entre la energía suministrada aeróbica-anaeróbicamente, de la eficiencia y de la técnica del remo<sup>5</sup>. La eficiencia se puede expresar como la relación entre la energía gastada y la velocidad del bote. La eficiencia depende de múltiples factores entre los que destacan la técnica del remero y los reglajes de la embarcación. Hay estudios que indican que la eficiencia varía de un 16% a un 21% del remoergómetro al foso de remo<sup>6, 7</sup>.

Entre remeros, un estudio, comparó la eficiencia entre remeros de peso ligero seleccionados para un campeonato del mundo y otros no seleccionados encontrando que no existía diferencia en ergómetro<sup>7</sup>. Aun así, los indicadores de eficiencia sobre remoergómetro son estimaciones alejadas de la técnica sobre el bote<sup>5</sup>.

La potencia aeróbica puede ser definida como el máximo consumo de oxígeno estimado durante un ejercicio de 2 a 10 minutos de duración<sup>5</sup>.

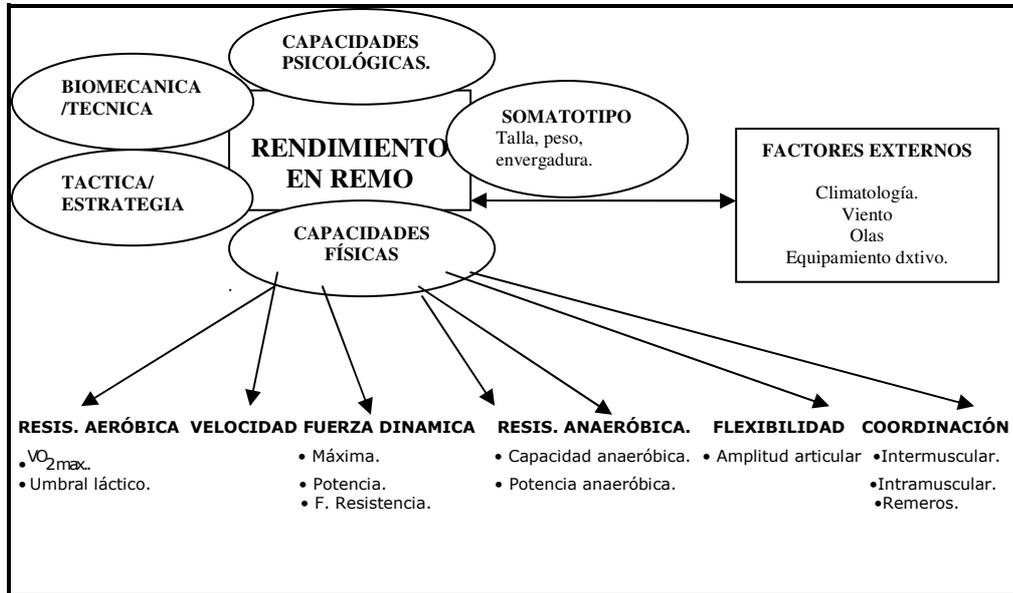


Fig. 1. Esquema de los principales factores de rendimiento en remo.

## 2.4. Características del entrenamiento en remo.

Durante una regata de remo (aprox. 5,5-7 min., potencia media por palada 450-500 W) las capacidades anaeróbicas alácticas y lácticas son llevadas al máximo<sup>2</sup>. La contracción muscular es baja con una frecuencia de 32-38 paladas por minuto. Por tanto, el entrenamiento en remo debe centrarse en el entrenamiento de la resistencia aeróbica, con un adecuado equilibrio del entrenamiento de la fuerza y de resistencia anaeróbica. Según Howald, 1988<sup>12</sup>; Mahler y col. 1984<sup>13</sup>; Secher 1983<sup>14</sup>, 1993<sup>15</sup>; Steinacker 1988<sup>16</sup>, 1993<sup>2</sup> el entrenamiento de resistencia a una concentración de entre 2-4 mmol/l es el principio del éxito en remo. De

esta forma el entrenamiento de remeros de élite está caracterizado por un entreno de resistencia extensivo e intensivo, donde aproximadamente, el 70-80% es realizado en el agua<sup>5,17,16</sup>. El entrenamiento de resistencia, por encima del umbral anaeróbico, debe ser importante para mejorar el  $VO_{2\text{ max}}$  durante las sesiones del periodo competitivo, pero no debe exceder del 10% del volumen total de entrenamiento<sup>2</sup>. Al finalizar la temporada, el porcentaje de entrenamiento específico de remo en el agua, debe ser de 52-55% para los 18 años, 55-60% para los 21 años y por encima del 65% para edades superiores. El entrenamiento de fuerza, debe estar entorno al 20% en los 18 años y el 16% en adultos y el entrenamiento atlético general, entre el 26-23% respectivamente<sup>18</sup>. Según Steinacker<sup>2</sup>, es importante ir aumentando el porcentaje de entrenamiento específico a la par que se gana experiencia en el entrenamiento. El periodo de preparación de los remeros, comienza normalmente en Octubre, donde el principal objetivo es conseguir una buena base aeróbica extensa (90% del tiempo total de entrenamiento). Durante el periodo de preparación, los remeros deben desestimar el entrenamiento de fuerza a bajas velocidades y enfatizar el entreno de la fuerza a altas velocidades<sup>19</sup>. El principal periodo para desarrollar la fuerza, es desde Enero a Marzo<sup>20</sup>. El periodo competitivo, comienza en Marzo y culmina para atletas de élite a finales de Setiembre o principios de Agosto con el Campeonato del Mundo de Remo. Durante el periodo competitivo, el entrenamiento aeróbico comprende la mayor parte de la duración del entrenamiento (cerca del 70%), aproximadamente el 25% de la duración del entrenamiento es aeróbico-anaeróbico (concentración de lactato 2-4 mmol/l) y el resto es puramente anaeróbico (concentración de lactato por encima de 8 mmol/l)<sup>20</sup>.

En remo, el problema para estudiar los efectos del entrenamiento es la complejidad de objetivos, ya que deben ser mejoradas diferentes capacidades (aeróbica, anaeróbica, potencia, fuerza, técnica, etc.)<sup>16</sup>. Por

ejemplo, no es recomendable el entrenamiento de resistencia y la velocidad en la misma sesión. Según Bell y col. 1993,<sup>21</sup> para los remeros uno de los objetivos más importantes, es el de mantener la fuerza ganada mientras entrenan el aumento de la resistencia aeróbica. Numerosos estudios en remo, han demostrado, que para una sesión, puede ser preferible un entrenamiento de la fuerza antes que uno de resistencia <sup>22,23</sup>. En este sentido Bell y cols. 1993,<sup>21</sup> realizaron un estudio donde encontraron ganancias de fuerza para un entrenamiento de 10 semanas de duración, 3 sesiones por semana y en donde la fuerza fue mantenida al mínimo, entrenada dos veces por semana, siendo el objetivo principal el desarrollo de la resistencia aeróbica. Se necesitarían más investigaciones para determinar si la fuerza puede ser mantenida durante más de 6 semanas mientras se realizan entrenamientos de resistencia.

Muchos remeros realizan entrenamientos inespecíficos para aumentar la tolerancia al entrenamiento y evitar el sobreentrenamiento. Por ejemplo, durante un entrenamiento de carrera, diferentes grupos musculares son reclutados, lo cual permite la recuperación funcional de otros grupos y parece ser que el entrenamiento de carrera tiene efectos beneficiosos sobre factores periféricos, ganando o manteniendo fuerza y también centrales, disminuyendo la monotonía del entrenamiento<sup>16</sup>. A nivel internacional, la relación entre entrenamientos específicos e inespecíficos, esta entre el 70% y el 30% respectivamente <sup>18,20</sup>.



## **ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL REMO.**



## ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL REMO.

### 3.1. Análisis biomecánico de la técnica en banco móvil. Fases de la palada.

La técnica, se puede definir, como la representación ideal de un movimiento deportivo. Es la secuencia total de los movimientos que realiza ese deportista con el objeto de emplear sus fuerzas lo más eficazmente posible para conseguir una alta potencia deportiva <sup>24</sup>.

La técnica varía sensiblemente en función de la especialidad practicada. De esta forma en el banco fijo, al tener el asiento fijo las extremidades inferiores no juegan un papel tan importante como en el banco móvil. En el banco móvil es decisiva la coordinación del movimiento del carro (asiento) con la palada, con el fin de frenar lo mínimo posible el avance de la embarcación.

Nosotros nos centramos exclusivamente en el análisis biomecánico en banco móvil por ser la especialidad elegida en este estudio.

Los objetivos básicos que persigue la técnica en el remo son:

1. La velocidad media del bote sea la más alta posible.
2. El remero debe poder desarrollar toda su potencialidad física.
3. La potencia desarrollada por el remero debe ser proporcional al empuje para buscar la máxima efectividad.

4. El remero debe ser capaz de adaptarse a las influencias externas (olas, viento, problemas técnicos del propio bote etc.).

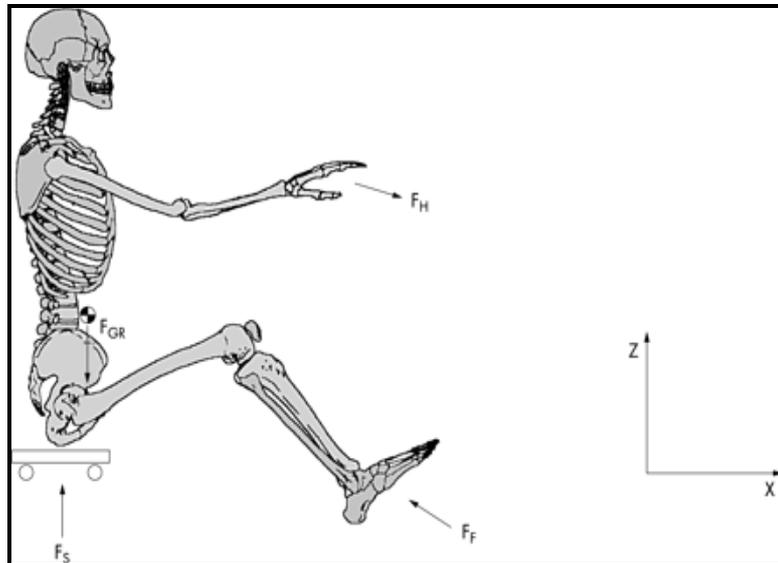


Fig.2. Diagrama de las distintas fuerzas que actúan sobre el remero donde FGR (fuerza de la gravedad), FS (fuerza sobre el asiento), FF (fuerza sobre los pies) y FH (Fuerza sobre las manos). Tomado de Badouin A y Hawkins D<sup>25</sup>.

La ejecución del gesto técnico de la palada en remo se puede dividir en dos fases bien diferenciadas, con objetivos totalmente contrarios, puesto que si la *fase acuática* trata de transmitir la máxima fuerza sobre la embarcación por el contrario la *fase aérea* trata de minimizar las fuerzas con el objeto de frenar el bote lo mínimo posible.

## 1. Fase acuática.

Recorrido de la pala debajo del agua y donde el remero debe aplicar la fuerza propulsiva a la embarcación. Dentro de esta fase distinguimos las siguientes subfases:

**1.1 Preparación:** Paso de la fase aérea a la acuática. El remero se encuentra a popa con las caderas y rodillas flexionadas, brazos extendidos y tronco inclinado hacia delante.

Esta fase es muy importante, para realizar la palada con una óptima amplitud, para preparar un buen ataque. Debe realizarse, lo suficientemente rápida para no frenar el bote, evitando transmitir el peso del cuerpo sobre las pedalinas. También es importante la coordinación de esta fase con la siguiente (ataque).

**1.2 Ataque:** Entrada de la pala en el agua e inicio de la tracción. Las piernas comienzan a empujar las pedalinas, con lo que se empieza a desplazar el cuerpo, acompañado por la fuerza de espalda y brazos.

Se produce una extensión de caderas y rodillas, los brazos permanecen extendidos.

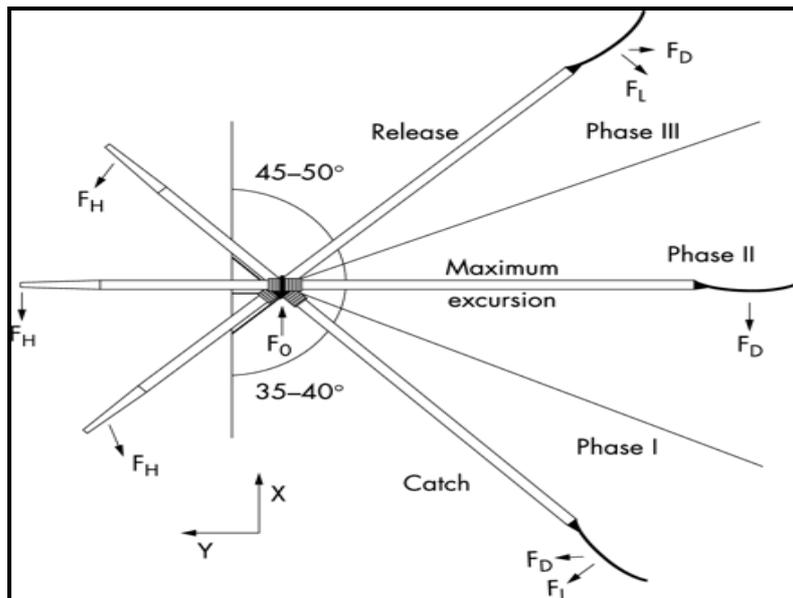


Fig. 3. Fuerzas que actúan sobre la pala durante la fase acuática, donde  $F_H$  es la fuerza aplicada por las manos del remero,  $F_D$  la resistencia que ejerce el agua sobre la pala,  $F_L$  la fuerza que tiende a levantar la pala del agua,  $F_0$  las fuerzas de reacción en el anclaje del remo. Tomado de Badouin A y Hawkins D<sup>25</sup>.

**1.3 Palada o impulsión:** Recorrido de los remos por el agua. Es importante que la transmisión de la fuerza sea continua. Primeramente son las piernas las que realizan el mayor esfuerzo, y, a continuación, la espalda, hombros y brazos se encargan de completar la palada.

**1.4 Salida:** Paso de la fase acuática a la aérea. Es fundamental, la habilidad de las manos para que la pala salga limpiamente del agua y no suponga un freno a la embarcación.

Las rodillas se encuentran en extensión al igual que brazos, el tronco se encuentra ligeramente inclinado hacia atrás.

## **2. Fase aérea o de recuperación.**

La pala sale del agua, alcanzando la embarcación su máxima velocidad. Siendo menos decisiva que la anterior, también tiene su importancia al reducir al máximo las resistencias aerodinámicas, hidrodinámicas e inerciales de todo el conjunto. Dentro de esta fase distinguimos las siguientes subfases:

**2.1 Pasamanos:** Acción de las manos de dirigir el remo hacia delante del cuerpo, seguido de los brazos y encadenándolo con el resto del cuerpo. Se debe intentar echar el peso del cuerpo hacia proa para favorecer el deslizamiento y frenar lo menos posible la embarcación.

**2.2 Recuperación:** Comienza cuando los brazos se encuentran en extensión, desplazamiento del cuerpo hacia delante sobre el carro adquiriendo poco a poco la posición correcta para la siguiente palada. Es importante en esta fase, una buena relajación del remero, para no frenar la embarcación, puesto que éste se está desplazando en sentido inverso al sentido de la marcha.

## 3.2. Cinemática y dinámica del remo en banco móvil.

### 3.2.1. Cinemática del remo.

Es muy importante el estudio detallado de la variación de la velocidad y aceleración del bote, así como del movimiento vertical de éste (cabeceo), para conocer si la técnica del remero se está aplicando correctamente <sup>26</sup>.

La eficiencia mecánica es un factor, muy a tener en cuenta en la valoración funcional del remero, para que los datos sean lo mas fiables posible. Hoy en día, los aparatos para simular el remo en condiciones de laboratorio, los remoergómetros, gozan de una fiabilidad bastante alta en cuanto a reproducir las condiciones de remo reales.

**A. Variación de la velocidad:** Es obvio que, durante la palada, el bote variará su velocidad en función de la fase de ésta. Cuanta menor diferencia exista entre la velocidad mínima y la máxima mayor será la eficiencia técnica del remero.

**B. Variación de la aceleración:** Paralelamente a la variación de la velocidad, la aceleración alcanza su punto más alto al final de la fase acuática, justo antes de la salida de la pala del agua. Por el contrario el punto más bajo se produce al final de la fase aérea, justo antes de iniciar la fase acuática.

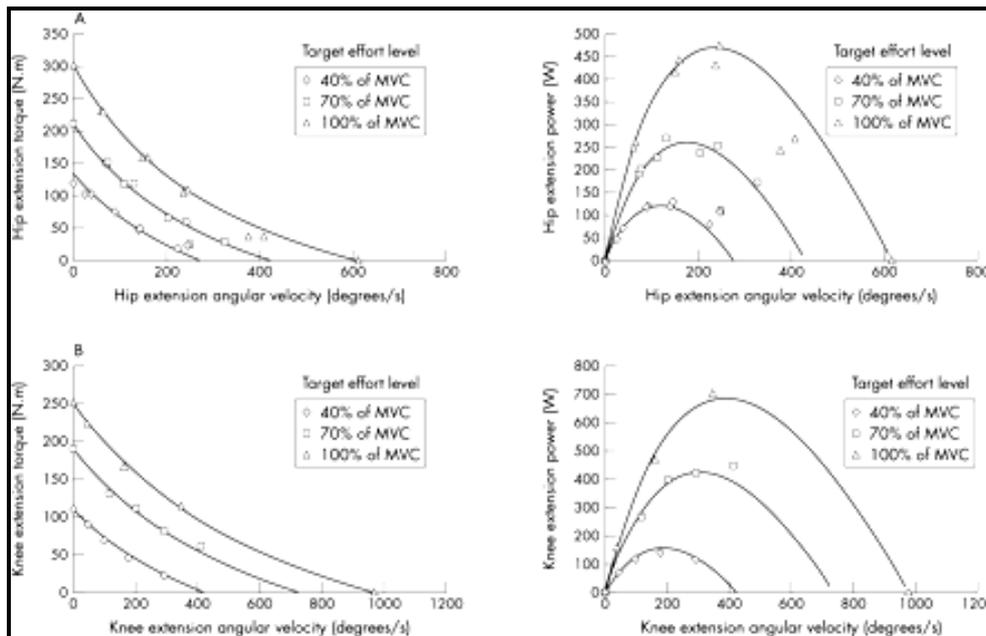


Gráfico 1. Relación velocidad angular-potencia en la rodilla y cadera del remero durante la palada. Tomado de Badouin A y Hawkins D<sup>25</sup>.

### C. Movimientos verticales de la embarcación (cabecéo):

El balanceo del bote en sentido longitudinal, frena la velocidad media del bote, puesto que aumenta la resistencia hidrodinámica del casco. Una mala técnica puede provocar que estos movimientos aumenten considerablemente, frenando el avance del bote y perjudicando enormemente el rendimiento final del remero.

### 3.2.2. Dinámica del remo. Fuerzas positivas y negativas.

El remero, al moverse sobre la embarcación de adelante hacia atrás, origina unas fuerzas positivas y negativas. La media de velocidad resultante de las fuerzas propulsivas generadas por el sistema biológico del

remo, se oponen a las fuerzas de resistencia que actúan sobre el sistema mecánico <sup>25</sup>. (Fig. 4).

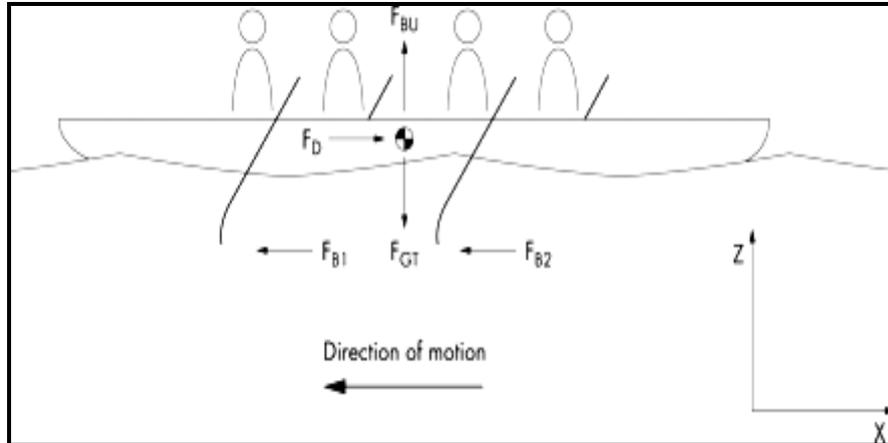


Fig. 4. Diagrama del sistema de fuerzas casco-remero-remo, donde FBU (fuerza de flotación), GT (fuerza de la gravedad que actúa sobre casco-remero y remo), FD (fuerza de resistencia), FB (fuerzas que actúan sobre cada pala). Tomado de Badouin A y Hawkins D<sup>25</sup>.

Cuando el remero se desplaza hacia la popa de la embarcación, genera sobre las pedalinas, una fuerza negativa que frena la velocidad del bote. En cambio, cuando se desplaza hacia proa ejerce unas fuerzas propulsivas sobre el remo, equivalentes a 40-45 Kg. de carga por remada, que hacen que la embarcación se desplace hacia delante. En consecuencia, el remero debe intentar maximizar las fuerzas positivas y minimizar las negativas. En este sentido, Vera <sup>25</sup>, cuantificó los efectos negativos de la falta de eficiencia mecánica durante la remada, en la cual, durante una regata sobre 2000 m, se realizan del orden de 220-250 paladas y suponiendo una pérdida mínima de 5 cm de velocidad de desplazamiento por palada, se traduce al final de la regata en una diferencia de 12,5 m.

### 3.3. Anatomía funcional aplicada al remo en banco móvil.

El análisis anatómico y funcional de los principales músculos y grupos musculares que actúan en cada una de las fases del remo es de gran importancia en la planificación de los entrenamientos en remo. Dividimos la palada en tres fases principales.

#### 1. Ataque. (Foto 3).

Las acciones musculares se producen principalmente en las articulaciones del hombro, cadera y columna vertebral (Tabla 4).



Foto 3. Fase de ataque en remo.

ARTICULACIONES IMPLICADAS	MUSCULOS PRINCIPALES	ACCIÓN MUSCULAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Escapulohumerales.</li> <li>•Acromioclaviculares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deltoides (porción anterior).</li> <li>•Coracobraquial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de hombros.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Vértebrae lumbares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Transverso espinoso.</li> <li>•Interespinosos.</li> <li>•Espinoso dorsal.</li> <li>•Dorsal largo.</li> <li>•Dorsal Ancho.</li> <li>•Serrato menor.</li> <li>•Iliocostal.</li> <li>•Rectos del abdomen.</li> <li>•Tranversos del abdomen.</li> <li>•Oblicuos mayor y menor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estabilizar zona lumbar.</li> <li>•Estabilizar pelvis.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Coxofemorales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Recto anterior.</li> <li>•Psoas-Iliaco.</li> <li>•Isquiotibiales.</li> <li>Glúteos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estabilizar cadera.</li> </ul>

Tabla 4. Articulaciones, músculos y acciones musculares principales que intervienen en la fase de ataque.

## 2. Impulsión. (Foto 4).

Las acciones musculares se centran fundamentalmente en las articulaciones de la rodilla, cadera, tobillo, columna vertebral y hombro (Tabla 5).



Foto 4. Fase de impulsión en remo.

ARTICULACIONES IMPLICADAS	MUSCULOS PRINCIPALES	ACCIÓN MUSCULAR
•Tibiotarsianas.	•Gemelos. •Soleo. •Flexor común de los dedos. •Flexor del dedo gordo.	•Extensión de tobillos.
•Rodillas.	Cuádriceps crural.	•Extensión de rodillas.
•Coxofemorales.	•Glúteo mayor. •Glúteo mediano. •Glúteo menor. •Isquiotibiales.	•Extensión caderas.
•Vértabras lumbares. •Vértabras dorsales.	•Transverso espinoso. •Interespinosos. •Espinoso dorsal. •Dorsal largo. •Dorsal Ancho. •Serrato menor. •Iliocostal.	•Extensión de tronco.
•Escapulohumerales. •Acromioclaviculares.	•Redondo mayor. •Triceps braquial. •Trapecio. •Romboides mayor y menor.	•Extensión de hombros.
•Radiocarpianas. •Mediocarpianas.	•Cubital Posterior. •Radiales.	•Extensión de muñecas.
•Humerocubitales. •Humeroradiales.	•Biceps braquial. •Supinador largo. •Braquial anterior.	•Flexión de codos.

Tabla 5. Articulaciones, músculos y acciones musculares principales que intervienen en la fase de Impulsión.

### 3. Fase de recobro.

En esta parte, se realiza una extensión de codos, abducción de escápulas, flexión de tronco, flexión de caderas, rodillas y tobillos (Tabla 6).



Foto 5. Fase de recobro en remo.

ARTICULACIONES IMPLICADAS	MUSCULOS PRINCIPALES	ACCIÓN MUSCULAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Escapulohumerales.</li> <li>•Acromioclaviculares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deltoides.</li> <li>•Coracobraquial.</li> <li>•Pectoral mayor.</li> <li>•Trapecio.</li> <li>•Serrato mayor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de hombros.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rodillas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Semimembranoso.</li> <li>•Semitendinoso.</li> <li>•Bíceps femoral.</li> <li>•Sartorio.</li> <li>•Recto interno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de rodillas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tibiotarsianas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Extensor común de los dedos.</li> <li>•Peroneo anterior.</li> <li>•Extensor propio del dedo gordo.</li> <li>•Tibial anterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de tobillos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Coxofemorales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Psoas-Ilíaco.</li> <li>•Sartorio.</li> <li>•Recto anterior.</li> <li>•Tensor de la fascia lata.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de caderas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Vértebras lumbares.</li> <li>•Vértebras dorsales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Recto abdominal.</li> <li>•Abdominales oblicuos (Externo e Interno).</li> <li>•Transverso del abdomen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de tronco.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Radiocarpianas.</li> <li>•Mediocarpianas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexores del carpo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Flexión de muñecas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Humerocubitales.</li> <li>•Humeroradiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bíceps braquial.</li> <li>•Supinador largo.</li> <li>•Braquial anterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Extensión de codos.</li> </ul>

Tabla 6. Articulaciones, músculos y acciones musculares principales que intervienen en la fase de recobro.



## **FISIOLOGÍA APLICADA AL REMO.**



## FISIOLOGÍA APLICADA AL REMO.

### 4.1. Resistencia aeróbica y anaeróbica.

#### 4.1.1. Concepto de resistencia aeróbica.

La resistencia aeróbica es la capacidad de producir la mayor cantidad de energía por vía aeróbica a lo largo del tiempo. Según diversos estudios, esta vía metabólica proporciona, para el deporte del remo, el 70-86 % según Rodríguez<sup>27</sup>, el 71% de acuerdo con Fain y Heal, o el 86% según Leibar y cols<sup>28</sup>, del aporte energético total.

El músculo esquelético obtiene la energía necesaria para su contracción muscular de diferentes fuentes energéticas. La utilización de una fuente u otra dependerá del tiempo y de la intensidad de la actividad física en cuestión. De esta forma, para esfuerzos de más de 120 segundos el sistema aeróbico u oxidativo será el soporte fundamental de estas demandas energéticas. En la práctica, no se puede hablar de un metabolismo único como responsable de un esfuerzo físico determinado sino que se suelen solapar las distintas vías energéticas con predominancia de una de ellas.

Estudios recientes señalan que la barrera entre metabolismo aeróbico-anaeróbico se encuentra en los 60 segundos donde el metabolismo anaeróbico pierde gran parte del protagonismo en beneficio del metabolismo aeróbico (Yamamoto y Kanehisa 1995)<sup>29</sup>.

Por otro lado, el concepto de resistencia aeróbica se encuentra estrechamente ligado al de *capacidad aeróbica*, que se entiende como la cualidad para sostener una determinada intensidad de trabajo durante un tiempo prolongado y depende, entre otros factores, de la capacidad metabólica, cardiovascular y pulmonar.

#### **4.1.2. Concepto de resistencia anaeróbica.**

Es la capacidad para producir la mayor cantidad de energía posible utilizando la vía energética anaeróbica durante el máximo tiempo posible (capacidad anaeróbica). Son variables indicativas de esta vía, una alta concentración de lactato en sangre, un déficit de oxígeno importante y el trabajo total realizado.

Es importante en este apartado, diferenciar capacidad y potencia anaeróbica; el término capacidad guarda relación con el trabajo total realizado independientemente del tiempo empleado, mientras que el término potencia se reserva para la velocidad o intensidad a la cual se ha desarrollado el trabajo<sup>32</sup>.

Podemos definir *capacidad anaeróbica*, como sugiere Green (1993)<sup>33</sup>, como la cantidad máxima de ATP resintetizada por el metabolismo anaeróbico (de la totalidad del organismo) durante un tipo específico de esfuerzo máximo, de corta duración.

La *potencia anaeróbica* se define como la velocidad máxima o intensidad a la cual el metabolismo anaeróbico puede resintetizar ATP, durante un esfuerzo máximo de corta duración<sup>33</sup>.

En el deporte del remo se utiliza, de una forma prioritaria la capacidad anaeróbica, de modo que hay estudios que indican que aproximadamente el 30% de la energía necesaria para completar una regata es suministrada por el metabolismo anaeróbico. Los valores de ácido láctico al final de una regata pueden llegar hasta los 18-22 mmol./l e incluso 25 mmol./l, lo que refleja la alta participación de esta capacidad<sup>19</sup>.

## **4.2. Parámetros dependientes de la capacidad aeróbica y anaeróbica.**

### **4.2.1. Consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ).**

La terminología que se emplea para denominar el  $VO_{2m\acute{a}x}$ . es variada, así podemos encontrarnos con términos como potencia aeróbica máxima, capacidad aeróbica máxima o simplemente resistencia aeróbica para definir lo mismo<sup>31</sup>.

El consumo máximo de oxígeno o potencia aeróbica máxima es uno de los parámetros más importantes a la hora de determinar el rendimiento en actividades de resistencia.

Se puede definir como la máxima cantidad de oxígeno que es capaz de utilizar un sujeto durante un trabajo de intensidad creciente. Generalmente es considerado como un buen indicador de la capacidad del sistema cardiovascular de enviar sangre a todo el organismo (gasto cardiaco) y de la capacidad tisular de extraer oxígeno (dif. arterio-venosa de  $O_2$ ). Este es el fundamento de la ecuación de Fick:

$$\mathbf{VO_2 = G_C \times Dif. \text{ arterio-venosa } O_2.}$$

$$\mathbf{G_C = H_R \times V_S.}$$

Fig.5. Factores de los que depende el consumo de oxígeno. Donde,  $VO_2$  es el consumo de oxígeno;  $G_C$ , el gasto cardiaco;  $H_R$ , la frecuencia cardiaca y  $V_S$ , el volumen sistólico.

Según esto, el consumo de oxígeno guardaría una relación lineal con la frecuencia cardiaca, pero solo se cumple en intensidades submáximas, en valores cercanos al 80% del  $VO_{2 \text{ máx.}}$ . A partir de este punto, la frecuencia cardiaca se ralentiza o mesetiza, aunque esto depende en gran medida del protocolo de valoración utilizado.

Es frecuente observar las intensidades de esfuerzo físico expresadas en porcentajes de  $VO_{2 \text{ máx.}}$ ; de esta forma, existen unos límites teóricos que expresan la duración máxima de un esfuerzo en función de un tanto por ciento de  $VO_{2 \text{ máx.}}$ . Así para sujetos entrenados la duración de un esfuerzo al 100 % del  $VO_{2 \text{ máx.}}$  se sitúa entre 6-10 min, 30 min para un 95 % y 60,120, 180 para un consumo de 85%,80% y 75% del  $VO_{2 \text{ máx.}}$  respectivamente <sup>30</sup>.

En varones adultos sedentarios los valores normales de  $VO_{2 \text{ máx.}}$  se encuentran entre 40-50 ml/kg/min., las mujeres 30-40 ml/kg/min. <sup>30</sup>.

El consumo de oxígeno proporciona información relevante sobre la capacidad de la vía aeróbica y como tal es uno de los factores de éxito más importantes en deportes de resistencia. De esta forma, los remeros con grandes  $VO_{2 \text{ máx.}}$  suelen tener elevados niveles de masa corporal, mostrando altos valores absolutos de  $VO_{2 \text{ máx.}}$  (6 o 7 l/min.) y bajos consumos relativos 65-70 ml/kg/min. Por el contrario los que tienen baja masa corporal (remeros ligeros) mostrarán valores absolutos más discretos,  $VO_{2 \text{ máx.}}$  de 5 l/min. y altos consumos relativos del orden de 80-90 ml /kg/min<sup>15</sup>.

González y cols.<sup>31</sup> han observado durante una regata que se alcanzan valores cercanos al máximo (80-90 %) al comienzo, manteniéndose durante el resto de la regata y llegando a valores máximos al final de ésta.

La llegada a la meseta que supone alcanzar el  $VO_{2max}$ , requiere sujetos muy motivados con esfuerzos donde participen grandes grupos musculares<sup>30</sup>.

Existen estudios que nos indican que, en campeonatos del mundo, el  $VO_{2max}$  oscila entre 6 y 6,6 l/min. (65-70 ml/kg/min.). Un remero de nivel internacional senior difícilmente bajara de 70 ml/kg/min., en pesos ligeros, llegando a los 6 l/min. en términos absolutos<sup>15</sup>.

Por otro lado los  $VO_{2max}$  relativos en remeros, son generalmente menores que en otros deportes de resistencia como el atletismo, debido a un peso corporal más elevado de los primeros. Solamente en algunos remeros de peso ligero el  $VO_{2max}$  relativo alcanza los 75 ml/kg/min<sup>15</sup>.

Los métodos para cuantificar el  $VO_{2max}$  pueden ser directos (utilizando analizadores de gases) o indirectos. Los analizadores de gases han evolucionado mucho en los últimos años, haciéndose más precisos y disminuyendo en tamaño. Actualmente existen analizadores portátiles que permiten la medición de gases en pruebas de campo, lo que permite una mayor especificidad de los resultados y su facilidad para extrapolarlos al entrenamiento. Por otro lado, los métodos indirectos suelen basarse en pruebas con protocolos estandarizados. Uno de los procedimientos indirectos más común es el de asociar una determinada frecuencia cardiaca con un determinado  $VO_2$ . De esta forma, Marion y cols.<sup>30</sup>, establecieron una relación entre los porcentajes de frecuencia cardiaca máxima y de  $VO_{2max}$  respectivamente de, 50%-28%, 60%-42%, 70%-56%, 80%-70%, 90%-83%, 100%-100%<sup>30</sup>.

#### **4.2.2. Concentración de ácido láctico en plasma.**

##### **Umbral anaeróbico.**

Desde que Hermann en 1871 observó que un músculo se podía contraer durante un tiempo prolongado sin necesidad de un aporte suplementario de oxígeno, se han realizado muchos estudios tratando de aclarar las bases fisiológicas del metabolismo muscular en condiciones de déficit de oxígeno.

Wasermann<sup>34</sup> define el umbral anaeróbico como "la carga de trabajo o consumo de oxígeno a partir del cual se comienza a instaurar un estado de acidosis metabólica y ocurren cambios en el intercambio gaseoso".

El umbral anaeróbico sería la intensidad de trabajo físico por encima de la cual comienza a aumentar de manera progresiva la concentración de lactato en sangre, a la vez que se intensifica la ventilación de forma desproporcionada en relación al O<sub>2</sub> consumido ( Lacour y cols)<sup>35</sup>.

Durante la realización de ejercicio físico de intensidad ligera o moderada, la concentración sanguínea de ácido láctico se mantiene a unos niveles bajos, casi similares a los encontrados en condiciones basales de reposo absoluto (Aunola y cols., 1982)<sup>36</sup>. A partir de una determinada intensidad de esfuerzo los niveles sanguíneos de ácido láctico se incrementan de forma progresiva.

El umbral es el parámetro más sensible a los cambios con el entrenamiento de resistencia anaeróbica, siendo muy utilizado en la valoración funcional del deportista. Cuanto más tarde aparezca el umbral anaeróbico en función del VO<sub>2max</sub>. mayor capacidad aeróbica tendrá el sujeto. De esta forma, mientras que en sujetos sedentarios se identifica al

50% del  $VO_{2max}$ , en deportistas de élite, de especialidades de fondo, se encuentra al 80-95% del  $VO_{2max}$ . (Mac Ardlel).

El concepto umbral es un término comprometido y polémico puesto que muchos estudios señalan que el ácido láctico ya empieza a acumularse desde las primeras fases de trabajo (Campbell y col, 1989<sup>37</sup>; Chirtel y col, 1984<sup>38</sup>; Yeh y col, 1983<sup>39</sup>). Otros autores sin embargo, señalan que una concentración de lactato de 4 mmol/l alcanzada durante un test incremental, puede ser considerada como un criterio de umbral anaeróbico<sup>40</sup>. Este valor, es muy utilizado hoy en día en múltiples estudios, como punto de referencia del umbral anaeróbico, aunque numerosas investigaciones se decantan más hacia la existencia de un umbral anaeróbico individual para cada deportista.

En cuanto al término anaeróbico, existen estudios que señalan que no es necesaria la ausencia de oxígeno para que se acumule ácido láctico en la célula. De esta forma, Svedahl y Macintosh<sup>42</sup> demostraron que aunque la hipoxia puede ser un factor que estimule la formación de ácido láctico, no es un prerrequisito para su formación.

A largo de estos últimos años, han proliferado múltiples investigaciones en torno a este tema y las distintas denominaciones para describir este fenómeno aparecen reflejadas en la Tabla 7.

Autores.	Umbrales que indican el comienzo de la producción de lactato.
Hollman. Waserman y Mc Ilroy. Kinderman y cols. Pesenhofer y cols. Farell y cols. Davis y cols. Orr y cols.	-Punto de óptima eficiencia respiratoria <sup>43</sup> . -Umbral de metabolismo anaeróbico <sup>44</sup> . -Umbral aeróbico <sup>45</sup> . -Transición anaeróbica individual <sup>46</sup> . -OPLA (Inicio del acumulo de lactato en plasma) <sup>47</sup> . -Umbral Láctico <sup>48</sup> . -Umbral ventilatorio 1 (VT1) <sup>49</sup> .
Autores.	Umbrales que indican un máximo estado estable de lactato en sangre.
Mader y cols. Kinderman y col. Keul y col. Sjödín y Jacobs. Orr y col.	-Umbral aeróbico-anaeróbico <sup>50</sup> . -Umbral anaeróbico <sup>45</sup> . -LT (umbral anaeróbico individual) <sup>51</sup> . -OBLA(inicio del acúmulo de lactato en sangre) <sup>52</sup> . -Umbral ventilatorio 2 (VT2) <sup>49</sup> .

Tabla 7. Distintos conceptos sobre el umbral anaeróbico. Tomado de J.L Chicharro.

Cuando comienza a producirse ácido láctico de forma importante en el músculo abandona la célula muscular, disociándose rápidamente debido a su bajo pH. Esto provoca una liberación de H<sup>+</sup>, los cuales son amortiguados rápidamente por los sistemas tampón del organismo. La reacción de los H<sup>+</sup> con el bicarbonato provoca una producción extra de CO<sub>2</sub> (Fig. 6).

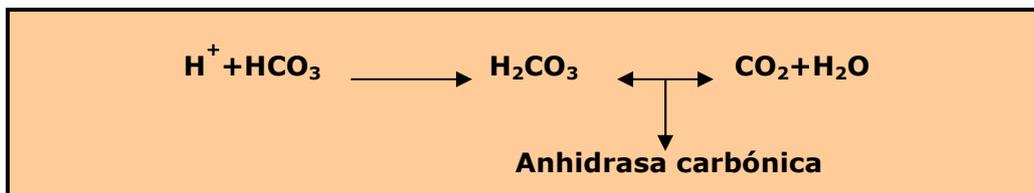


Fig.6. Formación "extra" de CO<sub>2</sub> como resultado de la amortiguación del ácido láctico por el bicarbonato.

El CO<sub>2</sub> producido, más el producido por la vía aeróbica, provoca un aumento de la ventilación pulmonar contribuyendo a la regulación del pH corporal.

### 4.2.3. Frecuencia cardiaca.

La frecuencia cardiaca es un parámetro muy utilizado en el día a día de los deportistas para controlar la intensidad de sus entrenamientos.

El sistema respiratorio y el circulatorio se comportan de manera análoga durante la realización de un ejercicio físico. En la tabla se puede observar como la frecuencia cardiaca y el VO<sub>2</sub> max. mantienen una estrecha relación entre sí. Por tanto es posible, asignar un porcentaje de la frecuencia cardiaca para desarrollar, según las necesidades, la resistencia aeróbica o anaeróbica (Tabla 8).

<b>% HR. max.</b>	<b>% VO<sub>2</sub> max.</b>
50	28
60	42
70	56
80	70
90	83
100	100

Tabla 8. Relación entre porcentaje de frecuencia cardiaca Máxima (% HR max.) y porcentaje de consumo de oxígeno máximo (% VO<sub>2</sub> max.).

Como norma general la resistencia aeróbica mejora si la intensidad de ejercicio es suficiente para alcanzar el 70% de la frecuencia cardiaca máxima.

En cuanto a la capacidad anaeróbica, esta depende del estado de forma o condición física del sujeto. Individuos con una condición física más alta, tendrán un umbral anaeróbico más elevado y una capacidad anaeróbica mayor. (Mc ardle). Como norma general entre el 70% y el 90% de la frecuencia cardiaca máxima se encontrará el umbral anaeróbico (Mc ardle).

## **4.3. Valoración de la transición aeróbica-anaeróbica.**

### **4.3.1. Umbral láctico. Valoración de la transición aeróbica-anaeróbica mediante el análisis del lactato.**

#### **4.3.1.1. Bases fisiológicas.**

Al realizar un ejercicio físico de intensidad creciente, se producen una serie de reacciones metabólicas, que se pueden determinar si tomamos unas muestras de lactato en sangre. La mayor producción de lactato de las fibras glucolíticas (FT), junto con la disminución del flujo sanguíneo al hígado y riñones (órganos clave en su aclaramiento) y la dificultad de los músculos que realizan el ejercicio para extraer y oxidar el lactato son las principales causas que provocan un aumento exponencial de la concentración de lactato en sangre, en un momento determinado. Se sabe que el hígado es el responsable de convertir en glucógeno entre el 50-60% del lactato producido durante la realización de un ejercicio extenuante <sup>41</sup>. Por tanto, cuando se realiza un ejercicio incremental, existe un punto de deflexión de la curva del lactato debido a un aumento exponencial de este en la sangre; este punto es el umbral láctico.

Estudios recientes señalan al sistema B-adrenérgico, y en particular las catecolaminas, como uno de los responsables directos del acumulo de ácido láctico en sangre. De esta forma, Mazzeo y Marshall en 1989 <sup>53</sup>, encontraron una alta correlación entre las concentraciones de lactato sanguíneo y catecolaminas, habiendo descrito un umbral de catecolaminas.

#### **4.3.1.2. Métodos de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica mediante el análisis del lactato.**

Los métodos utilizados para determinar el umbral láctico son muy variados por lo que nos centraremos en los más usuales. Unos se centran en el inicio del acumulo de lactato en sangre (umbral láctico) y otros tratan de establecer el punto de máximo equilibrio de lactato en plasma (OPLA).

#### **4.3.1.3. Umbral láctico.**

Se define como la intensidad de ejercicio que precede inmediatamente al punto donde comienza un incremento continuo de lactato sanguíneo desde los valores de reposo <sup>54</sup>.

Los métodos de determinación son diversos pero se basan en enfrentar las concentraciones de lactato a la intensidad de ejercicio o al  $VO_2$  desarrollados durante un test incremental progresivo escalonado, con una duración de al menos tres minutos cada escalón.

Para establecer el punto de ruptura coincidente con el umbral láctico existen diversas variantes, pero en general se acuerda la necesidad de que exista un aumento mayor de 0,5 mmol/l con respecto a la toma anterior <sup>52</sup>. Los valores obtenidos en el escalón anterior a ese punto serán los correspondientes al umbral láctico. Existen otras variantes, donde se establecen líneas de regresión para determinar el punto <sup>55</sup>. Otra variante aplica una tangente de  $45^\circ$  a la curva de lactato estableciendo el punto donde la recta corta la curva del lactato <sup>56</sup>.

#### **4.3.1.4. Máximo equilibrio de lactato en sangre.**

##### **Inicio del acumulo de lactato en sangre (OBLA).**

También conocido como el máximo estado estable de lactato (MLSS), expresa la mayor intensidad de trabajo o el máximo  $VO_2$  que puede mantenerse sin un incremento continuado de la concentración de lactato en sangre. Es independiente de los valores de reposo y se busca el equilibrio entre los procesos de producción y aclaramiento de lactato. Los protocolos utilizados para determinar este punto suelen estar basados en ejercicios de larga duración (30 min.) a intensidad constante.

Mader y cols<sup>40</sup> establecieron las bases metodológicas para determinar el OBLA, diseñando dos test, uno incremental y otro de carga constante durante 25 min. con el objetivo de mantener constante la velocidad, con tomas de lactato cada 5 min. El máximo estado estable lo determinaban de la media de las ultimas cuatro mediciones del test de carga constante. De sus resultados, concluyeron que la concentración de lactato en máximo estado estable era de 4,021 mmol/l. Este valor, ha sido tomado como referencia en muchos estudios para establecer el máximo estado estable de lactato, pero como ya comentamos anteriormente, es del todo impreciso generalizar un valor para todas las personas independientemente del deporte realizado, edad, sexo, etc.

La metodología para determinar el punto de máximo equilibrio (MLSS) se basa en llevar a cabo dos test, uno incremental para hallar la carga correspondiente al umbral láctico y otro de carga estable durante 30 min. comenzando con intensidades correspondientes al umbral calculado previamente, tomando muestras de láctico cada 5 min. Posteriormente se compara la muestra del minuto 5 con la última y debe de haber una diferencia mayor de 1mmol/l para establecer que esta carga es mayor que

el máximo equilibrio de lactato en sangre. Esto obligará para mayor precisión la realización de otro test con un 10% menos de carga para establecer la carga en el máximo equilibrio de lactato. En el caso de que la diferencia de las muestras fuera menor de 1mmol/l se tendría que llevar a cabo otro test con un 20% más de carga. A partir de aquí se halla la media de los últimos cuatro valores tomados pudiéndose expresar también como W, potencia, velocidad, VO<sub>2</sub> o frecuencia cardíaca <sup>52</sup>.

### **Inicio del acumulo de lactato en sangre (OPLA).**

Introducido por Farrel en 1979 <sup>47</sup> es la intensidad de ejercicio que produce un aumento del lactato a nivel plasmático. El método de determinación se basa en contrastar las concentraciones pre-ejercicio con las post-ejercicio.

#### **4.3.1.5. Umbral anaeróbico individual (I.A.T).**

Es definido como el punto donde la tasa de eliminación de lactato es máxima e igual a la tasa de producción del mismo. Keul y col.<sup>51</sup> observaron que la intensidad de ejercicio correspondiente a 4 mmol/l era muy mal tolerada en deportistas y bien tolerada en no deportistas, por lo que pensaron que debía influir el nivel de resistencia del individuo. De esta forma establecen el IAT en el punto que una tangente corta la curva con una angulación de 51°. Este umbral se sitúa por término medio por debajo de 4 mmol/l para personas entrenadas en resistencia y por encima para las desentrenadas.

Otros autores, establecen una concentración fija de lactato como referencia para determinar la intensidad o VO<sub>2</sub> en umbral. De esta forma Aunola y Rusko, 1986 <sup>58</sup> la establecen en 2 mmol/l, Marcinik y cols. 1991 <sup>59</sup> en 3,3 mmol/l y Kindermann y cols. <sup>60</sup>, Heck y cols. <sup>61</sup>, Komi y cols <sup>62</sup>, y

otros en 4 mmol/l. Esta metodología, aunque puede conllevar muchos errores por la diversidad de factores que afectan al umbral, es muy útil cuando se trata de valorar grandes grupos de población por la rapidez y simplicidad del método.

#### **4.3.1.6 Factores que afectan en la determinación del umbral anaeróbico.**

##### **4.3.1.6.1. Tipo de ergómetro.**

Diferentes investigaciones han estudiado la influencia del tipo de ergómetro durante las pruebas de esfuerzo en la concentración de lactato. Comparando el tapiz rodante con el cicloergómetro se ha constatado que a una concentración fija de 4 mmol/l en sangre se alcanzan mayores consumos de oxígeno en tapiz rodante (Hermansen y cols. <sup>63</sup>, Kinderman y cols. <sup>64</sup>). Esta diferencia puede deberse a un reclutamiento de mayor masa muscular en el tapiz.

Respecto al remo Beneke y col, 2001 <sup>65</sup> encontraron que el MLSS en remeros era mucho menor en remoergómetro (2,7 mmol/l) que en cicloergómetro (4,5 mmol/l) si bien no encontraron diferencias en cuanto al  $VO_2$ , W y frecuencia cardiaca.

##### **4.3.1.6.2. Duración y potencia de los test.**

La potencia debe programarse con sumo cuidado en los protocolos puesto que el lactato necesita un tiempo para que sea liberado al torrente sanguíneo y unas subidas bruscas de intensidad pueden falsear la intensidad de trabajo a la que acontece el umbral (Jacobs, 1986) <sup>66</sup>. Por otra parte se ha demostrado que acortar los escalones facilita la

determinación del umbral anaeróbico (Wasserman, 1979). Los escalones cortos tienen la ventaja de favorecer que el lactato no sea aclarado por los distintos órganos del cuerpo. En este sentido, los test que emplean escalones de 1-2 min. de duración, han demostrado ser útiles y fiables con una elevada correlación test-retest (Davies, 1986) <sup>67</sup>.

En general las duraciones de escalones suele oscilar entre 3 y 5 min. este intervalo es adecuado para determinar el umbral láctico pero se consideran demasiado cortos para determinar el MLSS.

#### **4.3.1.6.3. Edad.**

Se ha demostrado que los niños presentan menores concentraciones de lactato sanguíneo que los adultos en ejercicios submáximos (Tanaka y Shindo, 1985) <sup>68</sup>. Estos estudios demuestran que los niños prepúberes y púberes (<15 años) tienen un mayor umbral anaeróbico que individuos desentrenados mayores de 18 años y los mismos valores que jóvenes entrenados de 16 años.

Este fenómeno se asocia en parte a una menor capacidad glucolítica y un menor nivel de testosterona de los niños en relación con los adultos. Se ha demostrado que la testosterona aumenta el número de fibras glucolíticas.

#### **4.3.1.6.4. Género.**

Komi y cols.<sup>62</sup> demostraron que el músculo esquelético de las mujeres presentan una mayor capacidad oxidativa y una menor capacidad glucolítica que el de los hombres debido, posiblemente a la diferencia en

contenidos de testosterona. Sin embargo Jacobs<sup>66</sup> no encontró diferencias al comparar concentraciones de lactato intramuscular entre hombres y mujeres al realizar un test de Wingate.

#### **4.3.1.6.5. Estado de entrenamiento.**

Se ha estudiado los efectos del entrenamiento de resistencia sobre las concentraciones de lactato en la sangre en donde se comprobó que una persona altamente entrenada en resistencia presentaba menores concentraciones de lactato en sangre que otra persona no entrenada. Esta disminución se supone que es debida a una menor utilización de los hidratos de carbono durante el ejercicio, una mejora de los mecanismos de aclaramiento del lactato y una menor producción de lactato durante el ejercicio <sup>52</sup>.

#### **4.3.1.6.6. Tipo de ejercicio.**

Es un factor importante a tener en cuenta cuando se analiza el umbral anaeróbico siguiendo el método del MLSS. Se ha comprobado que el umbral anaeróbico fluctúa en función del tipo de ejercicio realizado. De esta forma, para el ciclismo y la carrera se ha encontrado un MLSS de 4 mmol/l <sup>40</sup>, para otros deportes Beneke y Duvillard, 1996<sup>65</sup> encontraron unos MLSS de lactato para el remo, triatletas, y patinadores de velocidad de 3,1; 5,4 y 6,6 mmol/l respectivamente. Esto puede ser debido a las diferencias entre los volúmenes de masa muscular implicada y a la especificad del deporte. Establecer una concentración fija de lactato (4 mmol/l) en sangre no parece ser óptimo para todos los deportes.

#### **4.3.1.6.7. Tipo de fibra muscular.**

Se ha comprobado que la proporción de fibras rápidas o lentas influye sobre el umbral láctico, se ha visto que una mayor proporción de fibras tipo I y IIa retrasa el umbral láctico apareciendo en cargas mayores de trabajo <sup>69</sup>.

### **4.3.2. Umbral ventilatorio. Valoración de la transición aeróbica-anaeróbica mediante el análisis del intercambio gaseoso.**

#### **4.3.2.1. Bases fisiológicas.**

Waserman y col.<sup>34</sup>, encontraron en 1974 que durante un ejercicio de tipo incremental, llega un punto donde la demanda de oxígeno solicitada por los músculos es mayor que el aporte de oxígeno a las mitocondrias. Este fenómeno provoca la transformación de piruvato a lactato en el citosol de la célula y debido al bajo PH del medio, el lactato sale de la misma y se disocia rápidamente en H<sup>+</sup>, neutralizándose a continuación por el sistema bicarbonato. Como consecuencia de este fenómeno se genera CO<sub>2</sub> adicional, que al ser eliminado a través de la respiración se detecta un aumento no lineal del CO<sub>2</sub> espirado (VCO<sub>2</sub>) en relación con el volumen de oxígeno espirado (VO<sub>2</sub>), también se observa un aumento de la ventilación (VE).

Otros autores, Skinner y McLellan, 1980 <sup>70</sup>, señalan la presencia de tres fases bien diferenciadas durante un ejercicio de tipo incremental, teniendo en cuenta además de los volúmenes de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, las concentraciones fraccionadas del O<sub>2</sub> (FEO<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub> (FECO<sub>2</sub>) en aire espirado. De esta forma, durante el comienzo de un ejercicio de baja intensidad el

músculo esquelético demanda oxígeno, por lo que aumenta el  $\text{VO}_2$  y desciende el  $\text{FEO}_2$ . La tasa de  $\text{VCO}_2$  aumenta ligeramente, con lo que aumentará también la  $\text{FECO}_2$ . Esta fase se denomina fase I o aeróbica.

Durante la fase II, con el aumento continuo de la intensidad del ejercicio y una vez alcanzado aproximadamente el 60% del  $\text{VO}_{2 \text{ máx.}}$ , comienzan a reclutarse fibras musculares glucolíticas, lo que provoca un incremento de lactato en plasma, con un valor que rondará los 2 mmol/l. Los  $\text{H}^+$  producidos en la disociación del lactato son amortiguados por el sistema bicarbonato, manteniéndose el equilibrio ácido-base. En esta fase se manifiesta un aumento continuo de  $\text{FECO}_2$  como consecuencia del aumento de la concentración de lactato en sangre, la VE aumentará para eliminar el  $\text{CO}_2$  extra, por lo que aumentará consecuentemente el  $\text{VCO}_2$ . El  $\text{VO}_2$  se mantiene estable aunque la  $\text{FEO}_2$  aumenta como consecuencia de un aumento de la VE. En esta fase se produce un aumento significativo del equivalente ventilatorio para el oxígeno ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) sin un incremento en el equivalente ventilatorio para el  $\text{CO}_2$  ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ). Esta fase se identifica con el umbral ventilatorio 1 ( $\text{VT}_1$ ) y coincide generalmente con el umbral láctico.

En la fase III se rompe el equilibrio ácido-base como consecuencia de que los sistemas de aclaramiento del organismo no son capaces de amortiguar todo el ácido láctico producido ( $\sim 4 \text{ mmol/l}$ ). La señal más clara es un aumento exponencial de la concentración de lactato en plasma. A nivel respiratorio la VE se intensifica aún más respecto al  $\text{VCO}_2$ , la  $\text{FECO}_2$  disminuye, mientras que la  $\text{FEO}_2$  continua aumentando. También se observan aumentos en el  $\text{VE}/\text{VCO}_2$  y en el  $\text{VE}/\text{VO}_2$ . Esta fase se identifica con el umbral ventilatorio 2 ( $\text{VT}_2$ ) y es en esta donde se da el MLSS.

#### 4.3.2.2. Metodologías de determinación.

Existen múltiples formas de calcular el VT1, no obstante, nosotros emplearemos la desarrollada por Beaver y col, en 1986<sup>71</sup> conocida como V-Slope, es la mas conocida y aplicada en la actualidad, apareciendo por defecto en la mayoría de los programas informáticos que calculan el VT. Se basa en la observación de la relación entre  $VO_2$  y  $VCO_2$  (cociente respiratorio) en el final de la espiración. En las cargas iniciales de un esfuerzo incremental el  $VO_2$  y  $VCO_2$  aumentan progresivamente estableciendo una relación lineal, el punto de la gráfica donde se modifica la pendiente corresponde con el VT1.

Otra metodología, comúnmente aplicada es la conocida como la de los equivalentes respiratorios. Según esta, el VT se produce cuando existe un aumento en el equivalente ventilatorio del oxígeno ( $VE/O_2$ ) sin un aumento en el equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ( $VE/CO_2$ )

Diversos estudios investigaron la validez de este método comparándolo con otros existentes. De esta forma Gaskill y col, 2001<sup>72</sup> compararon los métodos de equivalentes ventilatorios, el exceso de  $VCO_2$  y el V-Slope junto con los valores del umbral láctico (LT). Las correlaciones entre el LT y VT calculado por los tres métodos anteriores fueron de  $r = 0.98$ ,  $r = 0.97$  y  $r = 0.95$ .

Existen otras metodologías para calcular el VT, entre las que cabe resaltar el método de la frecuencia respiratoria y el método de Cusum que tienen escasa utilización.

#### **4.3.2.3. Factores que pueden influir en la determinación del umbral ventilatorio (VT).**

Se ha observado que la ingesta de cafeína previa a un esfuerzo estable incrementa la ventilación. En este sentido, Berry y col, 1999 <sup>73</sup> estudiaron la relación entre la ingesta de cafeína y el VT estableciendo dos grupos, uno placebo y otro al cual se le administro 7 mg de cafeína x Kg. Observaron que el grupo que había ingerido cafeína mostró el VT a mayores cargas de trabajo respecto al grupo que control.

El tipo de protocolo parece ser un factor influyente y a tener en cuenta a la hora de determinar el VT. De esta forma Smith y col. 1996 <sup>74</sup> compararon la respuesta del  $VO_2$  pico y umbrales ventilatorios (VT1, VT2) en distintos tipos de ergómetro. El estudio mostró que el mayor  $VO_2$  pico correspondió al tapiz rodante seguido del ergómetro de escalera, esquí, remoergómetro y cicloergómetro. La misma relación se estableció para los  $VO_2$  pico en VT1 y VT2.

### **4.3.3 Umbral de frecuencia cardiaca. Valoración de la transición aeróbica-anaeróbica mediante el análisis de la frecuencia cardiaca. Test de Conconi.**

#### **4.3.3.1. Bases fisiológicas.**

Los orígenes de esta técnica se remontan a los años 50, destacando por la sencillez del método y de los recursos necesarios para su determinación. En 1948, Wahlund <sup>75</sup> observó que la tasa de la frecuencia cardiaca disminuía a intensidades de trabajo elevadas. Posteriormente Conconi, 1982 <sup>76</sup> retomó estos trabajos testando a 210 corredores. Conconi encontró en corredores, que a intensidades de trabajo moderadas, la frecuencia cardiaca (HR) y la velocidad de carrera (V) mantienen una relación lineal. A medida que la velocidad de carrera aumenta (intensidad de ejercicio) existe un punto donde la frecuencia cardiaca se mesetiza (punto de deflexión), es decir, no mantiene la relación lineal con la velocidad de carrera, que si ocurría con cargas inferiores. Este punto donde la relación lineal HR-V se modifica, corresponde con el umbral láctico (LT) según Conconi. A partir del punto de deflexión, se puede observar como la frecuencia cardiaca aumenta de forma curvilínea. Este fenómeno se ha observado en otros deportes como, natación, remo, ciclismo, patinaje, esquí de fondo, etc.

La justificación fisiológica de este fenómeno se debe, según Conconi, al efecto Bohr, por el cual durante la realización de ejercicios físicos de alta intensidad y como consecuencia de la acidosis metabólica, se produce una liberación extra de oxígeno por parte de la hemoglobina provocando una mejor eficiencia cardiocirculatoria.

El aspecto negativo de esta metodología es la baja reproducibilidad, ya que en numerosos estudios no se observa el punto de deflexión (Vd) y cuando se determina, no coincide con el LT. En este sentido Petit y cols. 1997 <sup>77</sup> calcularon el Vd sobre 10 km de carrera encontrando coincidencias fisiológicas en cuanto al VT1 y Vd, determinando que el Vd es válido para esta prueba.

De todas formas Conconi y cols. <sup>78</sup>, destacan la importancia de seguir unas recomendaciones prácticas para la determinación del umbral anaeróbico y de esta forma poder detectar el Vd de forma eficaz, como son:

1. El aumento de la velocidad debe ser uniforme, para ello es preciso aplicar protocolos en rampa progresivos, no escalonados.
2. El aumento de la velocidad debe estar basado en el tiempo no en la distancia.
3. En los aumentos de velocidad, en cada periodo, no debe haber un aumento en la frecuencia cardiaca mayor de 8 p/m.
4. En intensidades elevadas el aumento de velocidad se sustituye por un aumento de la aceleración hasta alcanzar la velocidad máxima. Este punto se establece cuando el deportista presenta síntomas evidentes de hiperventilación marcada, agarrotamiento muscular.

#### **4.3.3.2. Metodologías para determinar el punto de deflexión cardiaca.**

Uno de los métodos consiste en monitorizar la frecuencia cardiaca (HR) de forma continua y establecer la relación entre HR/carga de trabajo y mediante regresiones lineales.

Otra metodología se basa en la técnica D-max, según la cual hasta la fecha es la que mejores resultados ha obtenido en cuanto a determinar

el punto de deflexión cardiaca, Kara y col, 1996 <sup>79</sup>. La técnica D-max también es un método utilizado para el cálculo del umbral láctico y consiste en realizar una regresión de tipo curvilínea entre todos los valores; a partir de ahí trazar una recta que una los dos extremos. El punto de la curva más distante a la recta coincide con el umbral de frecuencia cardiaca (ATHR).

La ventaja de esta metodología respecto a otras es que se trata de un método sencillo de aplicar, no invasivo y con unos requerimientos materiales mínimos. Sus características posibilitan que sea un método idóneo para la valoración del umbral anaeróbico en pruebas de campo y en deportes que por sus características sea complicado la aplicación de otras técnicas como el remo, piraguismo, surf, etc.



## **ESTUDIOS REALIZADOS.**



## ESTUDIOS REALIZADOS.

El remo, es un deporte, que debido a su estructura cíclica, ha sido ampliamente estudiado desde los campos de la fisiología y la biomecánica. La mayoría de estos estudios se han realizado en laboratorio debido a la dificultad que entraña estandarizar las condiciones en el medio en el que se desarrolla. Es sabido, que el remo depende en gran medida de factores externos, viento, olas, lluvia y corrientes. La mayoría de los test de campo que se realizan en esta modalidad deportiva, se centran en el registro de la frecuencia cardiaca y la toma de muestras de sangre para su posterior análisis en laboratorio, con el fin de determinar concentraciones de lactato en sangre, u otros parámetros bioquímicos como nivel de catecolaminas, urea, cortisona, testosterona etc. Existen muy pocos trabajos de campo que estudien el intercambio gaseoso del remero en el agua. Uno de los más relevantes es el realizado por Chenier y col. (1991)<sup>80</sup>. Por otro lado, solamente encontramos un estudio llevado a cabo por Droghetti y col. en 1985<sup>81</sup> que aborda un test de Conconi en agua para remeros. El resto de investigaciones relacionadas con el metodo de Conconi en el remo se han desarrollado bajo condiciones de laboratorio.

La valoración funcional del remero comenzó por los años cuarenta, siendo la Alemania del Este el gran referente en este campo. Desgraciadamente, la guerra fría, provocó que las investigaciones no salieran a la luz hasta 1990, concretamente en Ulm, donde se intercambiaron por primera vez, experiencias y trabajos realizados durante cuarenta años. Casi todas las investigaciones se centran en el estudio del umbral anaeróbico, empleando para ello distintas metodologías de determinación. Destacan los trabajos realizados por Steinacker y cols.<sup>82, 83,</sup>

<sup>84</sup>, donde se realiza un análisis minucioso de los factores fisiológicos determinantes en las competiciones de remo olímpico.

Urhausenb y cols.<sup>85</sup>, con su estudio "Heart Rate, Blood Lactate and Catecholaminas During Ergometer and on Water Rowing" comparan el comportamiento de la frecuencia cardiaca, concentración de lactato sanguíneo y catecolaminas en scull y en remoergómetro, concluyendo que los valores obtenidos en el umbral anaeróbico de frecuencia cardiaca, lactato sanguíneo, y catecolaminas son similares en el remoergómetro y en el agua, salvo la noradrenalina y la frecuencia cardiaca que fue mas alta en el test de agua; los autores lo achacan a la mayor duración del test de agua. Cabe resaltar también los trabajos de Lormes y cols.<sup>86</sup> "Performance and Blood Lactate on Gjessing and Concept II Rowing Ergometer" donde comparan dos modelos de remoergómetro durante un ejercicio incremental. Se centran en el rendimiento expresado en potencia (vatios), frecuencia de paladas y concentración de lactato en sangre, encontrando diferencias significativas entre ambos. Concluyen que el Gjessing provoca un mayor esfuerzo anaeróbico. También conviene resaltar por lo inédito, el estudio realizado por Hanel y col.<sup>87</sup> sobre la capacidad de difusión pulmonar en función de la intensidad y duración del ejercicio físico en remo.

Fuera de Alemania también se realizaron estudios interesantes sobre la valoración funcional del remero. Szal y col. en 1989 <sup>86</sup>, compararon dos test llevados a cabo por remeros en remoergómetro y cicloergómetro obteniendo valores significativamente más altos, en la frecuencia respiratoria y volumen tidal en el remoergometro. Especialmente interesante por ser un trabajo de campo, fue el realizado, en la universidad de Montreal, por Chenier y col. 1991 <sup>80</sup>, donde se comparan los valores ergoespirométricos obtenidos en tres test realizados, dos en ergómetros marca Gjessing y Concept II y otro llevado a cabo en el agua. En dicho estudio los datos obtenidos fueron muy similares con coeficientes de correlación significativamente altos entre ambos. Es

interesante destacar también el trabajo de Thor Nilsen, "Basic rowing physiology" <sup>89</sup> donde se repasan los factores fisiológicos que determinan un óptimo rendimiento en remo.

En los últimos años han proliferado numerosos estudios, que tratan de determinar y predecir el rendimiento sobre la distancia de una regata olímpica (2000m); de ahí surgen los test máximos de 6 minutos. Destacan las investigaciones llevadas a cabo por Cosgrove y col. 1999 <sup>90</sup>, donde encuentran una fuerte correlación entre el  $VO_{2\text{ max.}}$ , el porcentaje de  $VO_2$  en relación a la masa magra y a la velocidad media. Para ello, comparan dos pruebas de 2000 m, una realizada en agua y otra en remoergómetro. Otro trabajo en la misma línea es el publicado por Ingham y col. 2002 <sup>91</sup>.

En nuestro país, existe una gran escasez de estudios sobre aspectos fisiológicos del remo y los que hay son poco especializados. Esto es debido en gran parte, al hecho de que el remo es un deporte con un número escaso de practicantes. Cabe destacar el trabajo publicado por el doctor Serrano y col. en 1986 <sup>92</sup> donde se compara el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{ max.}}$ ), la ventilación (VE), el volumen corriente (VT), la frecuencia respiratoria (FR) y la frecuencia cardiaca (HR) en seis remeros, empleando dos protocolos distintos, uno realizado sobre remoergómetro Gjessing y otro sobre un cicloergómetro Jaeger. Las conclusiones a las que se llega son que los valores de  $VO_{2\text{ max.}}$  son significativamente mayores en el trabajo realizado sobre remoergómetro (8%) que en cicloergómetro debido a una mayor implicación de masa muscular en el ejercicio sobre remoergómetro y a una mayor eficiencia muscular específica del ejercicio realizado por parte de los remeros. También es interesante, el trabajo publicado por Rodríguez 1986 <sup>27</sup> donde se realiza un repaso a todos los factores que afectan al rendimiento en el remo. En los resultados, se

recogen los datos, de  $VO_{2\text{ max.}}$  de los remeros participantes en el campeonato del mundo del 1984, donde alcanzan en categoría masculina, consumos totales y relativos de 6,2 l/min. y 71,5 ml/Kg./min. respectivamente y en categoría masculina ligera de 5,4 l/min. y 74,3 ml/Kg./min. respectivamente. Por su parte Leibar y cols.<sup>28</sup> publican "La importancia de la evaluación de la capacidad anaeróbica en remeros de elite" donde calculan la capacidad anaeróbica a partir de la deuda de oxígeno contraída durante una serie de test progresivos, interválicos y maximales de 6 min. Otro trabajo interesante, es el llevado a cabo en 1988 por el Dr. Lizarraga y cols.<sup>93</sup>, el cual aporta conclusiones interesantes que sirven para conocer más a fondo el fundamento y la eficacia de las planificaciones anuales de cara al rendimiento deportivo en esta especialidad deportiva. Concluyen que el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{ max.}}$ ) alcanza los valores más altos en pretemporada, y va decreciendo progresivamente a lo largo de ésta. En cambio con el umbral anaeróbico ocurre todo lo contrario, llegando a valores máximos durante el periodo competitivo.

En la década de los 90, se observa una creciente especialización en los estudios realizados; tal vez debido al avance tecnológico de los aparatos de medida. De esta forma González y col. publican en 1996<sup>94</sup> "Relación lactato-velocidad-frecuencia cardiaca en pruebas de 1000 metros de remo en banco fijo" interesante porque es uno de los escasos trabajos realizados específicamente en el agua en nuestro país. Analizan la relación que se establece entre la frecuencia cardiaca, la concentración de lactato y velocidad media de una embarcación en banco fijo. Este mismo autor y otros colaboradores publican en 1996<sup>95</sup> una investigación donde analizan tres protocolos distintos en remoergómetro, encontrando diferencias en las cinéticas del lactato entre los distintos protocolos aplicados y entre los distintos remeros individualmente. También encuentran diferencias

significativas entre las concentraciones máximas de lactato entre los distintos protocolos. Las frecuencias cardiacas máximas son similares.

Especialmente interesantes, por ser el tema que nos ocupa, son los estudios que tratan del análisis del metabolismo aeróbico-anaeróbico por el método de la frecuencia cardiaca. Conconi y cols.<sup>76</sup> son los primeros en investigar en profundidad este fenómeno, De esta forma, en 1982 publican su primer trabajo, donde toman como partida los hallazgos del Doctor Walhum<sup>75</sup> en 1948. Walhum, investigó el comportamiento curvilíneo de la frecuencia cardiaca en las fases de mayor intensidad de un esfuerzo físico. En dicho trabajo, establecen un protocolo y testan a 210 corredores, llegando a la conclusión de la existencia de un punto de inflexión llamado velocidad de deflexión (Sd), el cual coincide con el umbral anaeróbico descrito por otros autores. A partir de aquí, muchos investigadores han estudiado este fenómeno con resultados muy dispares. Muchos investigadores son críticos con el método de Conconi por la dificultad que entraña la identificación del punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR). De todos modos, no existen muchos estudios de este tipo aplicados al remo, si lo comparamos con otros deportes como el ciclismo o la carrera. Destacan las investigaciones de Droghetti. y col.<sup>81,96</sup>. Conconi y cols.<sup>97</sup> publican, en 1988, "Use of the heart rate deflection point to assess the anaerobic threshold. Letter to the editor", un trabajo que corrige diversas deficiencias del primer estudio e introduce nuevas modificaciones en el protocolo utilizado en los primeros trabajos.

No obstante, en los últimos años, han salido a la luz varios trabajos que ponen en entredicho la validez del método para valorar la transición aeróbica-anaeróbica. Destacan especialmente dos artículos de Leger y col.<sup>98, 99</sup>; los autores manifiestan la imposibilidad de demostrar la coincidencia entre la velocidad de deflexión (Sd) y el Umbral Anaeróbico. En esta línea Bourgois y col. publican en 1998<sup>100</sup> "The Conconi test: a controversial

concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers” donde concluyen que la potencia en el umbral de la frecuencia cardiaca esta sobrestimado con respecto al umbral anaeróbico. Finalmente, ante las numerosas criticas en torno a la fiabilidad del método, Conconi y col. publican en 1996 <sup>78</sup>, “The Conconi test: Methodology after 12 years of application” un compendio que recoge todas las mejoras realizadas a lo largo de los últimos catorce años, así como recomendaciones a tener en cuenta para la correcta determinación del umbral de frecuencia cardiaca (ATHR). Conconi se defiende de las numerosas críticas vertidas señalando que la gran parte de los estudios publicados hasta la fecha, no aplican el protocolo correctamente, observando numerosos problemas de índole metodológico.

Otros trabajos, como el llevado a cabo por Carey en 2002 <sup>101</sup>, no encuentran diferencias significativas entre el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca y el umbral ventilatorio, llegando a la conclusión de que es un método fiable para la determinación del umbral anaeróbico. En esta línea, Özgür y col.<sup>102</sup>, del hospital de traumatología de Ankara, llevan a cabo en 2005 un trabajo, con el objetivo de evaluar la validez y fiabilidad del test de Conconi modificado en remoergómetro encontrando altos coeficientes de correlación significativa entre umbral láctico, ventilatorio y de frecuencia cardiaca; concluyendo que el test de Conconi modificado es válido y fiable para determinar el umbral anaeróbico en remeros.

En otras especialidades deportivas, hay numerosos artículos que también utilizan, para la valoración del umbral anaeróbico, el protocolo del test de Conconi, principalmente en ciclismo y carrera. De todos ellos, conviene destacar el trabajo publicado en 2004 por Bourgois y col. <sup>103</sup>, donde no encuentran correlación entre el umbral anaeróbico de frecuencia

cardiaca (ATHR), el umbral láctico a 3 mmol (AT3) y el umbral anaeróbico individual. Interesante también, es el estudio de Francis y col.<sup>104</sup>, "The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry".

Es importante resaltar, que la gran mayoría de los estudios se han llevado a cabo bajo condiciones de laboratorio, utilizando para ello remoergómetros de distintos tipos. Aunque se ha demostrado que los remoergómetros simulan bastante bien las condiciones del remo sobre embarcación, presentan ciertas lagunas en cuanto a la técnica y a factores hidrodinámicos, principalmente aspectos que, en el agua, pueden llegar a condicionar de forma muy importante los resultados de los test. En efecto, si un remero no posee una buena técnica de remada, el factor limitante durante la prueba en el agua, puede ser de índole técnico, por el hecho de no poder desarrollar altas velocidades, aspecto que no ocurre en el remoergómetro. Además de esto, una mala técnica aplicada sobre una embarcación, produce fuerzas negativas que frenan el avance, con lo que los valores obtenidos serán inferiores a los de laboratorio. Por tanto, es de suponer que en los test llevados a cabo sobre remoergómetro los valores estén ligeramente sobreestimados.

Como conclusión, se observa una gran escasez de estudios de campo, lo cual dificulta la comparación de datos. Entre las causas atribuibles a este fenómeno podrían ser:

1. La dificultad para estandarizar las condiciones de los test, para que los datos obtenidos sean fiables.
2. Se necesita un espacio muy amplio (5-6 Km en línea recta) para llevar a cabo los test de Conconi en el agua.
3. La dificultad de disponer de los recursos materiales necesarios para su realización.



## **OBJETIVOS.**



## **HIPOTESIS DE TRABAJO:**

El test de Conconi es una prueba para valorar la transición aeróbica anaeróbica (umbral anaeróbico) mediante el análisis de la frecuencia cardiaca, que se aplica en múltiples disciplinas deportivas. En el remo, en pruebas de campo, no ha sido estudiado hasta la actualidad y creemos que es un test válido y fiable para el análisis del umbral anaeróbico.

## **OBJETIVOS GENERALES:**

1. Diseñar un test de campo, específico y sencillo, basado en el protocolo de Conconi, que sirva para determinar la transición aeróbica- anaeróbica en remeros.
2. Analizar el grado de validez y fiabilidad del test de Conconi modificado para el remo.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Estudiar el grado de correlación existente entre los distintos métodos de análisis de la transición aeróbica-anaeróbica en remo. Método de la frecuencia cardiaca, método del intercambio gaseoso y método de la concentración de lactato.
2. Comprobar la relación, si existe, entre el tipo de protocolo utilizado y los valores obtenidos en el umbral y máximos.
3. Utilizar el registro de la frecuencia cardiaca como herramienta para valorar el umbral anaeróbico en remo.
4. Analizar la relación existente entre la frecuencia cardiaca, velocidad de remo y frecuencia de paladas en el test de Conconi modificado.
5. Valorar las distintas variables que pueden influir en la determinación del umbral anaeróbico por el método de la frecuencia cardiaca en remo.
6. Determinar los consumos máximos de oxígeno, absolutos y relativos, en función del protocolo utilizado y analizar las diferencias si las hubiere.
7. Determinar los consumos de oxígeno en umbral anaeróbico, analizándolos en función del protocolo utilizado.
8. Comparar los distintos parámetros ergométricos obtenidos, en función del protocolo utilizado.

9. Analizar y comparar los umbrales anaeróbicos obtenidos mediante el análisis de intercambio gaseoso, el acumulo de lactato en sangre y el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca.

10. Valorar si el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca es una herramienta adecuada para la determinación del umbral anaeróbico en remeros.



## **MATERIAL Y MÉTODOS.**



En este trabajo participaron 23 remeros de categoría juvenil y senior, de nivel medio-alto, participantes todos ellos en campeonatos de España y alguno en campeonatos del mundo. Llevan remando al menos 4 años en banco móvil y su estado de forma física es bueno, dedicando al entrenamiento 6 días a la semana durante 2 horas por sesión. Los datos de dos remeros se desecharon por no presentar con claridad el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR).

El rango de edad fue de 19 a 26 años, con una media de edad de  $22,6 \pm 2,3$  años. Las características antropométricas del grupo se muestran en el apartado de resultados, tabla 11.

Todos los deportistas firmaron un consentimiento informado sobre el tipo de pruebas que iban a realizar, los objetivos de las mismas y los posibles riesgos que podían derivarse de la realización de dicho estudio. Los datos fueron tratados conforme a la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Con el objeto de valorar el umbral anaeróbico por los métodos de concentración de lactato en sangre, análisis de gases y frecuencia cardiaca se elaboraron dos tipos distintos de test:

**A. Test interválico, progresivo, maximal y escalonado (EPIM), para la obtención de las muestras de lactato.**

Para valorar el umbral anaeróbico, mediante el análisis de la concentración de lactato en sangre, se tomaron como indicadores de intensidad en ese nivel, la velocidad, frecuencia de paladas y consumos de oxígeno en el umbral de lactato de cada remero y a una concentración fija de lactato de 4 mmol/l ( $AT_4$ ). Por otro lado, para determinar el umbral de lactato individual, seguimos las recomendaciones de Chicharro y cols. 2004<sup>41</sup>, según las cuales, para considerar el punto de ruptura en la curva del lactato, debe de existir una diferencia superior a 0,5 mmol/l respecto a la toma anterior. Los valores de intensidad de ejercicio o  $VO_2$  anteriores a este punto se denominan umbral láctico individual. Ver gráfico 2.

Para el análisis del  $AT_4$  se siguieron las indicaciones de Mader<sup>40</sup>; según este autor, es la intensidad de ejercicio correspondiente a una concentración estable de 4 mmol/l en sangre, que permite mantener un ejercicio físico durante tiempo prolongado sin un incremento continuo en la concentración de lactato en plasma. Se ha visto que la asignación de un valor fijo de lactato para todos los deportistas no es muy precisa, pero se ha incluido por la gran utilización que tiene hoy en día. El análisis del ácido

láctico en plasma fue realizada mediante la metodología de micromuestras, practicando una pequeña incisión en el lóbulo de la oreja.

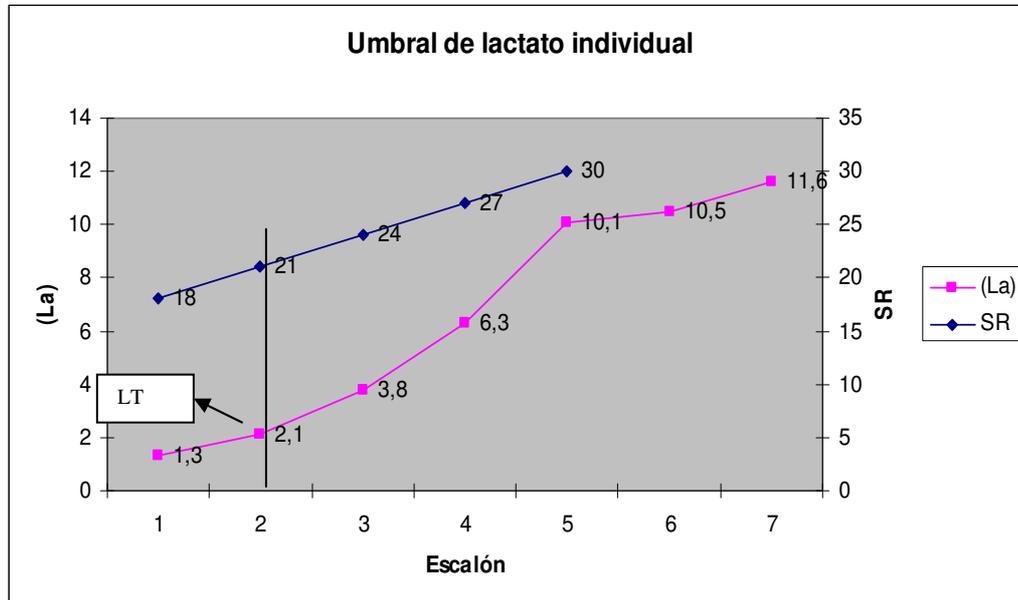


Gráfico 2. Ejemplo de determinación del Umbral Láctico (LT) en un deportista, en función de la frecuencia de paladas (SR) y del escalón o intervalo de la prueba.

**B. Test continuo, progresivo, escalonado y maximal para la determinación del punto de deflexión de la frecuencia cardiaca y la determinación del umbral ventilatorio. Test de Conconi modificado para el remo.**

El análisis de gases para la determinación del umbral ventilatorio (VT) se realizó con un analizador portátil de gases durante el test continuo, progresivo, escalonado y maximal. La metodología empleada fue la conocida como V-Slope, desarrollada por Beaver <sup>55</sup>, la cual se basa en el análisis de la pendiente en la relación entre el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ). El  $VO_2$  aumenta linealmente conforme aumenta la intensidad del ejercicio, lo mismo ocurre con el  $CO_2$  por debajo del umbral anaeróbico. Cuando se ha rebasado el umbral, el  $CO_2$  aumenta de forma exponencial debido a la amortiguación del ácido láctico producido. El punto de la gráfica donde la pendiente se modifica coincide con el umbral ventilatorio (VT). Ver gráfico 3.

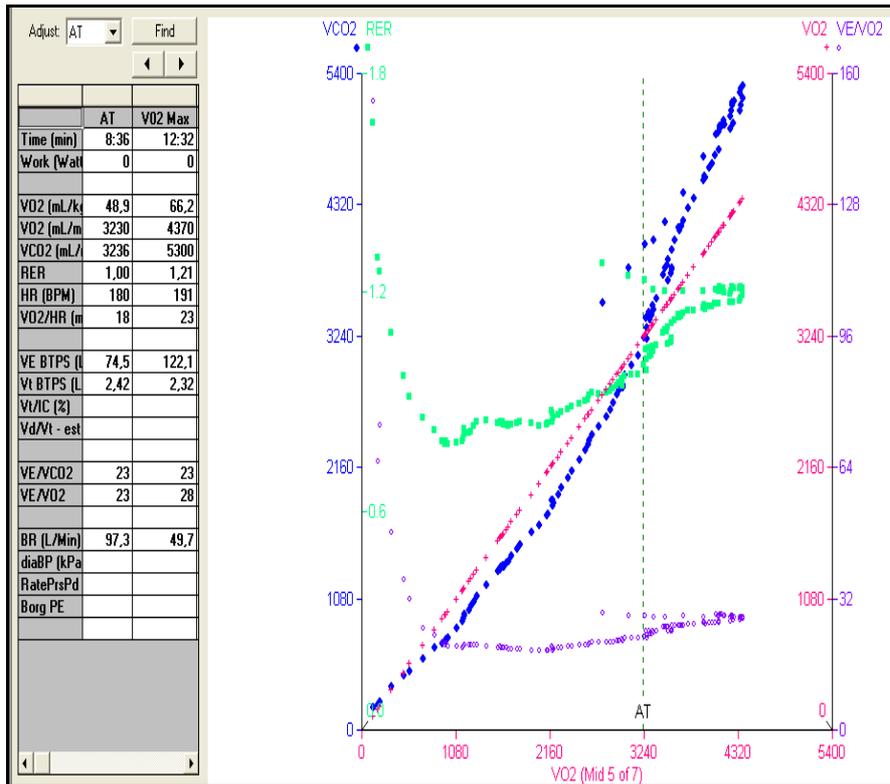


Gráfico 3. Determinación del VT mediante el método V Slope durante un test de Conconi en el agua.

Para el análisis del umbral anaeróbico de frecuencia cardiaca (ATHR) se utilizó la metodología de Conconi teniendo en cuenta las nuevas recomendaciones de 1996 <sup>78</sup>. Según este autor, si se le somete a un deportista a un esfuerzo de tipo continuo, incremental, escalonado y maximal la frecuencia cardiaca aumenta de forma lineal conforme aumenta la intensidad del ejercicio, hasta un punto donde la frecuencia cardiaca se mesetiza; este punto, conocido como punto de deflexión de la frecuencia cardiaca, coincide con el umbral anaeróbico. Ver gráfico 4.

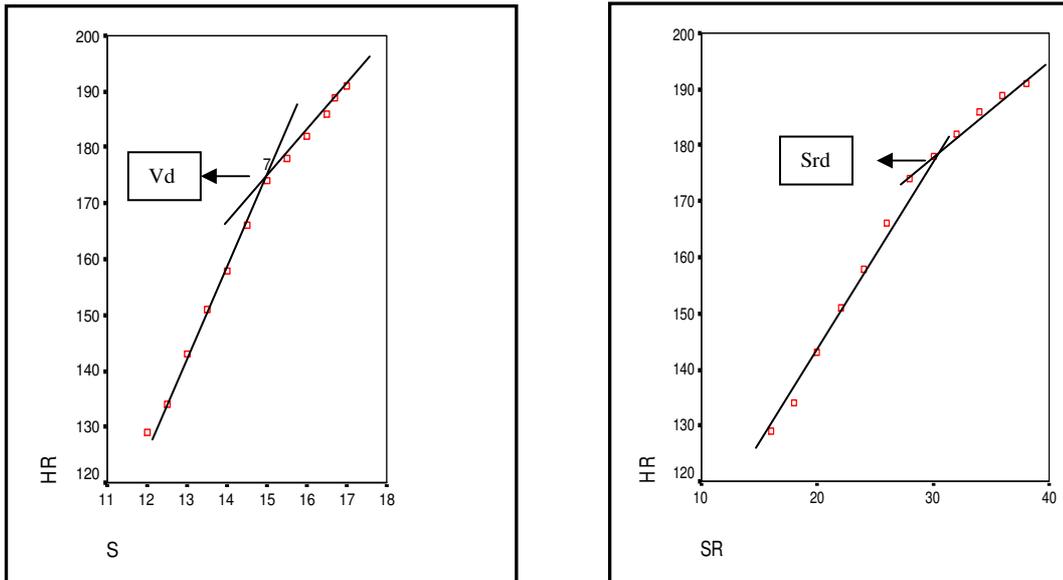


Gráfico 4. Cálculo mediante regresiones lineales del punto de deflexión de la velocidad (Vd) y de la frecuencia de paladas (Srd) durante un test de Conconi., donde HR es la frecuencia cardíaca, S es la velocidad de la embarcación y SR la frecuencia de paladas.

Es una metodología que goza de grandes ventajas ya que es no invasiva y no necesita grandes recursos materiales para su aplicación. Con esta metodología se determina la relación entre la velocidad o frecuencia de paladas y la frecuencia cardíaca, lo cual permite detectar los siguientes parámetros: 1) La frecuencia cardíaca máxima ( $HR_{max.}$ ) de los remeros que coincide con la obtenida en las competiciones. 2) El número de pulsaciones desde el inicio del ejercicio hasta el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca que se denominan pulsaciones aeróbicas. 3) El número de pulsaciones anaeróbicas o lo que es lo mismo las pulsaciones comprendidas entre el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca y la frecuencia cardíaca máxima. 4) La velocidad aeróbica máxima obtenida por extrapolación de la relación entre la velocidad de la embarcación (S) y HR, de la parte lineal del test a la  $HR_{max.}$  y máxima velocidad ( $S_{max.}$ ). 5)

Velocidad anaeróbica, obtenida por la sustracción de la velocidad aeróbica a la velocidad máxima.

A la hora de aplicar esta metodología hay una serie de factores que se deben tener en cuenta para no influir en la relación S/HR:

**1) Estado físico de los sujetos.** Es recomendable que al menos 48 horas previas al test los sujetos que van a realizarlo no efectúen ningún ejercicio físico de alta intensidad para evitar errores.

**2) El calentamiento.** Se ha comprobado mediante estudios que los atletas que no realizan calentamiento, sus frecuencias cardiacas máximas ( $HR_{max.}$ ) son significativamente menores<sup>78</sup>.

**3) Duración del test.** Los incrementos de HR deben ser lo mas pequeños posibles, por debajo de 8 pulsaciones minuto, entre escalones, para que el ATHR y el  $HR_{max.}$  sean los correctos. Con una diferencia por encima de 8 p/m entre escalones se ha demostrado que los valores de ATHR y  $HR_{max.}$  resultan más bajos.

**4) Incrementos de velocidad uniformes durante el test.** Es importante que los atletas incrementen uniformemente la velocidad desde el comienzo hasta la fase final del test para obtener una buena parte lineal de la relación S/HR y un óptimo punto de deflexión de HR.

Los test se repitieron dos veces en todos los remeros, en idénticas condiciones y con un intervalo de descanso de 72 horas entre éstos. Los métodos de medición son de tipo directo.

## 8.1. Cineantropometría.

Los objetivos de esta parte del estudio se centraron en la obtención del peso, talla corporal y porcentaje de grasa corporal de los deportistas.

**El peso corporal** se midió con una balanza de precisión  $\pm 50$  gr. Se realizaron dos mediciones con el sujeto colocado de pie, mirada al frente, en el centro de la plataforma, con el peso distribuido uniformemente entre ambos pies y sin apoyos. Se calculó la media en el caso de obtener valores distintos.

**La estatura** se midió con un estadiómetro, estando el sujeto de pie, con los talones juntos, brazos extendidos a lo largo del cuerpo, nalgas y espalda apoyadas sobre la escala y cabeza situada en el plano de Frankfurt. La medida se tomó al final de una inspiración profunda del deportista.

**El porcentaje de grasa corporal** se determinó midiendo el espesor de la capa de piel y del tejido adiposo subcutáneo, en milímetros. Los pliegues medidos fueron: tríceps, bíceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo anterior y pierna medial. Las mediciones se realizaron dos veces, calculando la media en el caso de obtener valores no coincidentes.

Para el cálculo de la composición corporal se utilizó el modelo bicompartimental de Withers y col. 1987 <sup>105</sup>.

Hombres:

$$\mathbf{DC = 1,0988 - 0,0004(x)}$$

Donde x es el sumatorio de 7 pliegues (tríceps, bíceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo anterior y pierna medial).

Una vez obtenido la densidad corporal, se calculó el porcentaje de grasa corporal por la fórmula:

$$\mathbf{\text{Porcentaje de grasa} = 100 * (4,950 / DC - 4,500)}$$

## MATERIAL.

1. Para la obtención de los datos antropométricos, se utilizó una **báscula mecánica** modelo Shoenle, con un rango entre 0-150 Kg. y una precisión de 50 gr. Para la medición de la altura se empleó un **estadiómetro** marca Seca con una precisión de 1 mm. Además se utilizó un **plicómetro**, marca Holtain, para medir el porcentaje de tejido graso con una precisión de 0,5 mm.

2. En la medición del intercambio gaseoso, se utilizó un **analizador portátil de gases** metabólicos modelo VO 2000 Portable Metabolic System (Medical Graphics, St.Paul, MN). Este analizador debido a sus reducidas dimensiones puede ir introducido dentro de una mochila la cual lleva el deportista a la espalda durante el test. El analizador mide micromuestras de gases espirados por el método de ciclos respiratorios (Breath to breath). Los datos metabólicos que mide son los siguientes:  $VO_2$  l/m,  $VCO_2$  l/m, VE l/m, H.R. Los datos recogidos por el analizador son enviados a un ordenador portátil mediante telemetría. Previamente se ha instalado en el portátil, el software Breeze Suite 5.3 (Medical Graphics, St.Paul, MN) el cual calcula los distintos parámetros de las muestras obtenidas en el analizador, en función de las características físicas del deportista y del protocolo del test. Entre los parámetros que determina podemos destacar: el consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ), volumen de  $CO_2$  espirado ( $VCO_2$ ), frecuencia cardiaca (HR), cociente respiratorio (RER), equivalente respiratorio para el  $O_2$  ( $VE/VO_2$ ), equivalente respiratorio para el  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ) y el equivalente del gasto metabólico (METS).



Foto 6. Equipamiento necesario para la medición de gases durante los test, instalado en una embarcación neumática.

3. Para la obtención de las muestras de ácido láctico en sangre se utilizó un **analizador portátil de lactatos** marca Lactate Pro Test Meter, Arkray, Inc. Este analizador solo requiere una muestra de sangre de 5  $\mu$ l, que se depositan sobre una tira reactiva la cual se introduce a continuación por la ranura del analizador y pasados 60 segundos nos indica la concentración de lactato de la muestra. Las reacciones que se llevan a cabo para determinar la concentración de lactato aparecen reflejadas en la figura 7.

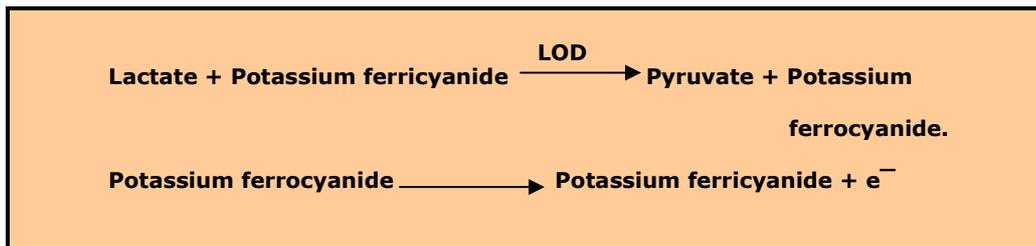


Fig.7. Reacciones para determinar la concentración de lactato de la muestra.

Cuanta mayor sea la concentración de lactato en la muestra mayor será la proporción de Potassium ferrocyanide producido y la tasa de oxidación será correspondiente a la concentración de lactato en la muestra.

Su elección ha estado condicionada por distintos motivos, entre los que destacamos, las pequeñas dimensiones del analizador, que permiten su utilización en espacios reducidos como lo es una embarcación neumática y la fiabilidad y validez contrastada por estudios realizados <sup>106</sup>. En estos, se comparan los valores obtenidos entre el Lacate Pro y otros tres modelos, ABL 700, YSI 2300 (analizadores de laboratorio) y el analizador portátil Accusport; obteniendo correlaciones de  $r=0,98$ ,  $r=0,99$  y  $r=0,97$  respectivamente. Por último, este tipo de analizadores tienen la ventaja de obtener la concentración de lactato en tiempo real, pudiendo repetir la toma en caso de que se produjese algún error.

**4.** También fue necesario un **pulsómetro Polar S-810** Sport Tester, (Polar Electro, Kempele, Finlandia) para el registro de la frecuencia cardiaca el cual se ha codificado conjuntamente con el analizador lo que permite recibir la frecuencia cardiaca directamente en la pantalla del ordenador integrándola conjuntamente con los demás parámetros respiratorios.

**5.** Para determinar la velocidad a la que debía ir la embarcación en cada escalón se utilizó un sistema **GPS** eTrex Summit, Garmin International, Inc. con una precisión de 1-5 m.

Para la realización de los test fueron necesarias dos embarcaciones; un skif donde los remeros realizaron los test y una embarcación neumática a motor donde se instaló el ordenador portátil que recogió la información del analizador; también sirvió para realizar el seguimiento del remero, toma de muestras de sangre, dar indicaciones de la evolución del test y motivar a los atletas.

## PROTOSCOLOS.

Se diseñaron dos pruebas funcionales; la primera con el objetivo de medir las concentraciones de lactato en sangre de los remeros en el agua. Se obtuvo la relación entre los distintos indicadores de intensidad en el umbral láctico (LT) y a una concentración fija de 4 mmol/l ( $AT_4$ ). La otra prueba, de acuerdo a las nuevas recomendaciones de Conconi, con el propósito de determinar el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca o la frecuencia cardiaca umbral. En ambos protocolos se determinó la toma de gases, mediante el analizador portátil, de distintos parámetros respiratorios durante las pruebas, para determinar los umbrales ventilatorios, consumos máximos de oxígeno, dióxido de carbono producido, ventilación y observar si existían diferencias de estos parámetros en ambos protocolos.

El protocolo para medir las concentraciones de lactato en sangre, es de tipo maximal, discontinuo, escalonado, progresivo y triangular (EPIM); fue realizado en un skif. Se trata de una prueba con escalones de trabajo de 3 minutos de duración. La intensidad de cada intervalo viene definida por la frecuencia de paladas; la frecuencia de paladas inicial es de 18 pal/min. aumentando 3 pal/min. cada escalón hasta el agotamiento. Al inicio del test, al final de cada escalón, y en los minutos 1 y 3 de la recuperación se tomaron muestras de ácido láctico con el fin de determinar la curva del lactato durante la prueba y valorar su cinética. Además se anotaba la velocidad media de la embarcación que debía aumentar 0,5 Km/h en cada escalón. El test terminaba cuando el sujeto no podía aguantar el ritmo impuesto en el escalón o presentaba síntomas evidentes

de agotamiento. La duración de los escalones, de 3 minutos, se debió a la necesidad de asegurarnos que el deportista alcanzara el estado estable (steady state) en cada uno de ellos. Se procuró que el tiempo para realizar las tomas de láctico al final de cada intervalo del test fuera inferior a 30 segundos para que el remero descansase lo mínimo posible, no le cortase el ritmo y en definitiva la prueba fuese lo mas progresiva posible. Además de la concentración de lactato en plasma también se midió el intercambio gaseoso, con el fin de cuantificar el  $VO_2$ ,  $VO_2$  max, VE,  $VCO_2$ , durante la prueba y se registró la frecuencia cardiaca.

El protocolo diseñado para determinar la frecuencia cardiaca umbral (ATHR) y el umbral ventilatorio (VT) es de tipo maximal, continuo, escalonado, progresivo (EPIM) y triangular realizado en un Skiff. Para esta prueba es necesario disponer de una lámina de agua amplia, en torno a 4 o 5 Km según los casos, puesto que al ser un test continuo los remeros deben estar remando en línea recta de 12 a 15 minutos ininterrumpidamente, no pudiendo realizar giros con la embarcación. La carga de los escalones se determinó a través de la frecuencia de paladas y por medio de la velocidad media en cada escalón. La frecuencia de paladas de inicio fue de 18 pal/min incrementándose 2 pal/min cada minuto. La velocidad media de inicio fue establecida en 12 km/h incrementándose 0,5 km/h cada minuto. Se toma la velocidad media de la embarcación por las diferencias existentes dentro de un ciclo de palada. Los incrementos de intensidad en cada escalón, se ajustaron de tal forma que no produjeran en la frecuencia cardiaca de los deportistas, un incremento superior a 8 pulsaciones/minuto entre escalones. El test finalizaba cuando el sujeto no era capaz de aguantar el ritmo impuesto o presentaba síntomas claros de agotamiento. Para el diseño del protocolo se tuvieron en cuenta las nuevas directrices aportadas por Conconi. Al finalizar el test y al minuto 1 y 3 de la recuperación se tomaron muestras de ácido láctico en sangre.



Foto 7. Remero durante la realización del test de Conconi en el agua.

Los atletas, que participaron de forma voluntaria, fueron debidamente informados de las características de ambos test y fueron familiarizados con los distintos aparatos que se iban a utilizar, además se les leyó y entregó un consentimiento informado que debían firmar. En dicho consentimiento se le explicaba las características de las pruebas así como de los riesgos posibles que podían derivarse de la realización de las mismas. También se les indicó que no realizaran ninguna actividad física extenuante en las 48 horas previas al test y que no ingirieran ninguna sustancia estimulante (café, te, colas, nicotina) desde el día anterior, que pudiera alterar los resultados de la prueba. Treinta minutos antes de la prueba se les conminó a beber 500 ml de agua para asegurar una correcta hidratación del organismo.

Antes de cada test se explicó a los deportistas las características y desarrollo de las pruebas. El calentamiento llevado a cabo por todos los remeros antes de las pruebas fue el siguiente:

- 1) 5 minutos de carrera continua.
- 2) 5 minutos de movilidad articular.
- 3) 5 minutos de técnica de remo en el agua por debajo de la frecuencia de paladas de inicio.

Todos los test se llevaron a cabo entre las 17:00 y las 20:00 horas.

Para asegurar la fiabilidad de los resultados se llevó a cabo un segundo test (retest) a todos los deportistas, en las mismas condiciones que el primero. La separación entre ambas pruebas fue de 72 horas, para asegurar una completa regeneración de los depósitos energéticos.

Los aparatos de medición fueron revisados y en el caso del analizador portátil fue preparado y calibrado conforme a las instrucciones del fabricante antes de cada prueba. Tabla 9.

<b>PROTOCOLO DE UTILIZACIÓN ANALIZADOR PORTÁTIL EN PRUEBAS DE ESFUERZO.</b>
1. Encender el analizador al menos 30 min. antes de comenzar la prueba, para que "caliente" eliminando posibles condensaciones de test anteriores y permitir que se calibre según las condiciones ambientales del entorno. Utilizar el cable de red para no descargar las baterías portátiles.
2. Durante este tiempo de espera es importante asegurarse de que los umbilicales y el neumotacógrafo se encuentran limpios de posibles restos de saliva de test anteriores, para lo cual se examinarán detenidamente y se les insuflará aire si es preciso con la bomba de aire al efecto.
3. Pasado ese tiempo conectar la telemetría al ordenador y encenderla (el ordenador debe reconocerla emitiendo un "bep").
4. Apagar el analizador el tiempo necesario para conectarlo a las baterías portátiles (no más de 30"), volver a encenderlo para que reconozca el aparato receptor y no nos de error de comunicación con el Pc.
5. Introducir los datos del deportista, si no se ha hecho antes, pulsar GX (Gas Exchange), activar (HR) y otros parámetros que nos interese medir en la prueba y a continuación clicar Zero Flow (flujo cero) en el panel Tools (en el caso de que no se hayan seguido correctamente todos los pasos, aquí, ya puede dar error de comunicación con el hardware).
6. Pulsar BxB ( Breath and Breath) y en el ordenador aparecerá el mensaje de si es necesario calibrar o no el analizador.
7. Proceder a la calibración del analizador desde el programa del Pc.
8. Terminada la calibración del analizador, clicar en el panel Tools, el icono P-Wave durante 20 segundos para asegurarse flujo cero y ya está en condiciones de comenzar la prueba, se conectan los umbilicales, se ajusta la mochila y la máscara al deportista y se puede comenzar el test.
Para una adecuada calibración del analizador se debe tener en cuenta lo siguiente:
A. Si se han conectado los umbilicales desconectarlos antes de la calibración.
B. Situar el analizador en el lugar donde se va a realizar la prueba.
C. Colocar el analizador, dentro de la mochila y en un lugar alejado de posibles corrientes, humos o gases contaminantes que puedan alterar la calibración.

Tabla 9. Protocolo de calibración del analizador portátil de gases VO 2000.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el análisis de las variables cuantitativas se han utilizado estadísticos de tendencia central. Todos los datos son presentados en el texto como valores medios ( $\bar{x}$ ) con sus desviaciones estándar (DS). Con todos los datos obtenidos, se puede suponer normalidad en la distribución. En la tabla 10 aparecen recogidas las variables analizadas.

<b>HR</b>	Frecuencia cardíaca.
<b>VO2</b>	Consumo de oxígeno.
<b>SR</b>	Frecuencia de paladas.
<b>S</b>	Velocidad de la embarcación.
<b>[La]</b>	Concentración de lactato.

Tabla 10. Abreviaturas y descripción de las variables analizadas estadísticamente.

Para analizar el grado y tipo de dependencia de las distintas variables se han representado en diagramas de dispersión. En caso de observar la existencia de relación lineal entre las distintas variables se han calculado los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) para determinar el grado de intensidad y el sentido de las mismas.

Para el análisis estadístico de los distintos valores obtenidos en el umbral anaeróbico se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

Se realizaron regresiones lineales para determinar el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca en los test de Conconi entre las variables SR/HR para cada deportista.

Para analizar el grado de validez del test de Conconi se realizaron correlaciones entre las variables de LT, AT<sub>4</sub>, VT y ATHR. Se compararon las distintas variables de intensidad, obtenidas en el punto de umbral de la frecuencia cardiaca (ATHR), con los umbrales ventilatorio, de lactato individual (LT) y a una concentración fija de 4 mmol/l (AT<sub>4</sub>), mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r) y regresión lineal para cada una de ellas.

La fiabilidad fue analizada utilizando la t de Student para comparar las medias de las distintas variables pareadas en el test-retest. Se calculó la media y la desviación estándar para cada variable. Se compararon las medias por medio de la t de Student para muestras relacionadas, con el fin de analizar el grado de variación entre las pruebas.

Se consideró que las diferencias eran estadísticamente significativas cuando  $P < 0,05$ . El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa SPSSwin 11.

## **RESULTADOS.**



### 12.1. Datos antropométricos.

Veintitrés remeros bien entrenados, participaron de forma voluntaria en esta prueba. Los datos de dos sujetos, fueron desechados por no presentar de forma clara el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR). Las características antropométricas se encuentran en la tabla 11.

	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
<b>n</b>	21	
<b>Edad (años)</b>	22,6±2,3	19-26
<b>Peso (kg)</b>	72,6±8,7	60,8-90,5
<b>Talla (cm)</b>	176,0±6,1	162-188
<b>P.graso (%)</b>	8,7±1,5	6,3-12,1

Tabla 11. Edad media y características antropométricas de la muestra.

## **12.2. Test de Conconi adaptado al remo.**

### **12.2.1. Obtención del umbral de frecuencia cardiaca (ATHR).**

El punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR), fue determinado mediante regresiones lineales entre la frecuencia cardiaca, la frecuencia de paladas y la velocidad media de la embarcación (Ver gráfico 2). La velocidad media (S) y la frecuencia de paladas (SR) sirvió como criterio de progresión del test y como indicador de la intensidad del mismo.

El coeficiente de correlación de Pearson, obtenido entre las variables HR/SR y HR/S de los test de Conconi fue de media 0,96 y 0,97 respectivamente. Por tanto existe una correlación lineal directa entre la frecuencia cardiaca y la frecuencia de paladas y entre la frecuencia cardiaca y la velocidad media de la embarcación.

### **12.2.2. Resultados del test de Conconi adaptado al remo.**

El protocolo para determinar el umbral de frecuencia cardiaca durante el test de Conconi para el remo, también nos sirvió para el cálculo del umbral ventilatorio utilizando la metodología V-Slope.

Los distintos indicadores de intensidad, obtenidos en el umbral anaeróbico de la frecuencia cardiaca (ATHR), se encuentran resumidos en la tabla 12.

n=21	HR latidos·min <sup>-1</sup>	VO <sub>2</sub> ml/kg/min.	% VO <sub>2</sub> max.	SR	S km/h.
<b>ATHR</b>	173,1±4,8	43,6±8,6	72,4±9,7	27,2±1,5	14,7±0,4

Tabla 12. Valores medios ± DS de la frecuencia cardiaca (HR), consumo de oxígeno relativo (VO<sub>2</sub> ml/kg/min.), tanto por ciento con respecto al consumo máximo de O<sub>2</sub> (%VO<sub>2</sub>max.), frecuencia de paladas (SR), y velocidad media de la embarcación (S) en el umbral anaeróbico de frecuencia cardiaca (ATHR) obtenidos durante los test de Conconi.

Por otro lado, en la tabla 13 aparecen reflejados los indicadores de intensidad hallados por el método V-Slope en el umbral ventilatorio (VT).

n=21	HR Lat·min <sup>-1</sup>	VO <sub>2</sub> ml/kg/ min	% VO <sub>2</sub> max	VCO <sub>2</sub> L/min.	VE L/min.	R E R	SR	S km/h.
<b>VT</b>	170,6±6,2	45±8,3	74,7±7,8	3,4±0,6	81,5±14,1	1	28,1±2,2	14,9±0,6

Tabla 13. Valores medios ± DS de frecuencia cardiaca (HR), consumo relativo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), tanto por ciento de consumo de oxígeno respecto el máximo (%VO<sub>2</sub>max), volumen de CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>), ventilación (VE), cociente respiratorio (RER), frecuencia de paladas (SR) y velocidad (S) en el umbral ventilatorio (VT) durante el test de Conconi en el agua.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las variables HR, VO<sub>2</sub>, % VO<sub>2</sub>max., S.R y S cuando se compararon los datos de los umbrales ventilatorio y de frecuencia cardiaca.

Los valores máximos del test de Conconi adaptado al remo se recogen en la tabla 14.

n=21	HR <sub>max.</sub> Lat.·min <sup>-1</sup>	VO <sub>2max.</sub> ml/kg/m in	VO <sub>2max.</sub> L/min.	SR <sub>max.</sub>	S <sub>max.</sub> km/h	[La] Final mmol/l	[La] 1' mmol/ l	[La] 3' mmol/ l
Máx.	186,6±7,5	60,2±9,2	4,6±0,7	34,1±2,7	16,1±0,8	9,4±2,3	9,6±1,4	9,8±1,9

Tabla 14. Valores medios máximos ± DS, de la frecuencia cardiaca (HR), consumo de oxígeno relativo (VO<sub>2max.</sub>), consumo de oxígeno absoluto (VO<sub>2max.</sub>) frecuencia de paladas (SR<sub>max.</sub>), velocidad (S<sub>max.</sub>) y concentraciones de lactato ([La]) al final y a los tres minutos de la recuperación en el test de Conconi.

Las diferencias test-retest, entre los distintos parámetros medidos en el test de Conconi adaptado al remo se encuentran recogidos en las tablas 15, 16 y en el gráfico 3. No se observaron diferencias estadísticamente significativas, en las medias de las variables SR y SC, del test-retest de Conconi. El nivel de significancia estadística fue aceptada al 95% del intervalo de confianza.

		Media	N	Desviación típ.
SR	CT	25,7500	21	3,77018
	CRT	26,0000		3,02372
HR	CT	170,2500	21	6,45313
	CRT	171,6250		7,67068
VO <sub>2</sub>	CT	43,6000	21	8,68003
	CRT	40,5300		8,83931
S	CT	14,4125	21	,94330
	CRT	14,4250		,73824

Tabla 15. Estadísticos de muestras relacionadas en el test de Conconi (CT) y retest de Conconi (CRT). Medias, número de casos(N), desviación típica para los pares de valores de frecuencia cardiaca (HR), consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) y velocidad de la embarcación (S).

Prueba de muestras relacionadas							
	Diferencias relacionadas					t	Sig. (bilat.)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media.	95% Intervalo de confianza para la diferencia.			
				Inferior	Superior		
<b>Par1</b> SRCT- SRCRT	-,2500	3,77018	1,33296	-3,4020	2,9020	-,188	,857
<b>Par2</b> HRCT- HRCRT	-1,375	12,88341	4,55497	-12,145	9,3958	-,302	,772
<b>Par3</b> VO2CT-VO2CRT	3,0700	14,64427	5,17753	-9,1729	15,3129	,593	,572
<b>Par4</b> SCT-SCRT	-,0125	,99633	,35226	-,8455	,8205	-,035	,973

Tabla 16. Prueba t para muestras relacionadas entre test-retest de Conconi. Pares de valores de frecuencia de paladas (SR), Frecuencia cardiaca (HR), Consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), y velocidad de de la embarcación (S).

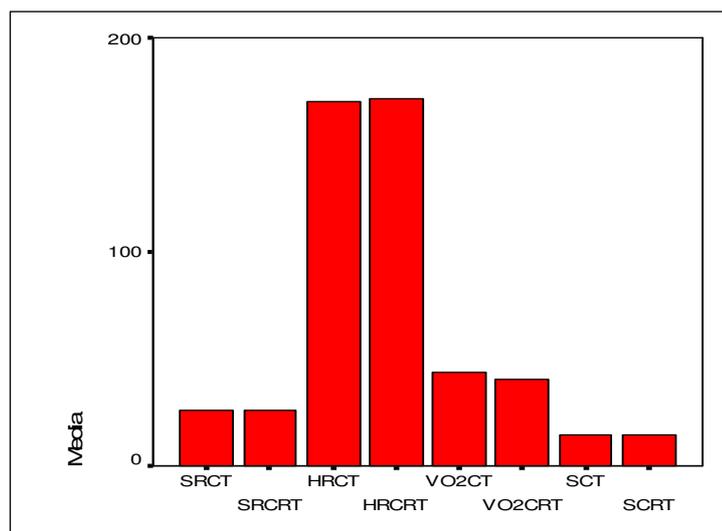


Grafico 3. Histograma comparativo entre los valores medios de la frecuencia de paladas (SR), frecuencia cardiaca (HR), consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), y velocidad de la embarcación (S) entre el test-retest de Conconi. SRCT (frecuencia de paladas en test de Conconi), SRCRT (frecuencia de paladas en retest de Conconi), HRCT (Frecuencia cardiaca en el test de Conconi), HRCRT (Frecuencia cardiaca en el retest de Conconi), VO<sub>2</sub>CT (Consumo de oxígeno el test de Conconi), VO<sub>2</sub>CRT (Consumo de oxígeno en retest de Conconi), SCT (Velocidad en test de Conconi), SCRT (Velocidad en retest de Conconi).

### 12.2.3. Resultados de los test de lactatos.

Con objeto de analizar las posibles relaciones entre el umbral de frecuencia cardiaca (ATHR) propuesto por Conconi y los umbrales de lactato individual (LT) y a una concentración fija de 4 mmol/l, se llevó a cabo un test interválico para conocer las concentraciones de lactato y conocer las cinéticas del ácido láctico.

Los distintos valores correspondientes al umbral de lactato individual (LT) y al umbral a una concentración fija de 4 Mmol/l (AT<sub>4</sub>) aparecen reflejados en la tabla 17.

Se encontraron valores estadísticamente superiores en todos los parámetros, cuando se analizó la variable AT<sub>4</sub>. El AT<sub>4</sub> fue encontrado a una intensidad de ejercicio del 86,6 % del VO<sub>2 max.</sub>, mientras que en LT se alcanzó al 74,6 % del VO<sub>2 max.</sub>

n=21	[La]	HR latidos·min <sup>-1</sup>	VO <sub>2</sub> ml/kg/mi n	VO <sub>2</sub> L/min.	%VO <sub>2 max.</sub>	SR	S Km/h
L.T	2,0±0,7	167,3±9,1	44,2±10,4	3,0±0,7	74,6±3,0	21,6±2,5	13,1±0,4
A.T <sub>4</sub>	4	178,7±5,3	50,9±7,4	3,5±0,5	86,6±8,2	26,7±3,1	13,8±0,3

Tabla 17. Valores medios ± DS de concentración de lactato [La], frecuencia cardiaca (HR), consumo de oxígeno relativo (VO<sub>2 max.</sub> ml/kg/min.), consumo de oxígeno total (VO<sub>2</sub> l/min.), porcentaje de consumo de oxígeno respecto al máximo (% VO<sub>2 max.</sub>) y frecuencia de paladas (SR.) en umbral láctico (LT) y a una concentración de 4 mmol/l (AT<sub>4</sub>) obtenidos en test EPIM.

Los valores máximos obtenidos en los test interválicos se encuentran recogidos en la tabla 18.

n=21	VO <sub>2max</sub> . ml/kg/mi n.	VO <sub>2</sub> L/min.	SR <sub>max</sub> .	HR <sub>max</sub> . latidos· min <sup>-1</sup>	[La] Inicio Mmol/l	[La] Final Mmol/ l	[La] 1´. Mmol/l	[La] 3´. Mmol/l
<b>Máx.</b>	59,6±12,8	4,1±0,8	30,6±2,7	190±5,7	1,56±0,6	9±2,8	9,2±2,9	9,4±3,2

Tabla 18. Datos medios máximos de consumo de oxígeno (VO<sub>2max</sub>), frecuencia paladas (SR<sub>max</sub>), frecuencia cardiaca (HR<sub>max</sub>), concentración de lactato ([La]) inicial, final y a 1, 3 minutos de la recuperación en el test EPIM.

En la tabla 19, se muestra un cuadro resumen de los principales indicadores de intensidad en el umbral anaeróbico, determinados por los métodos de la frecuencia cardiaca, umbral de lactato individual, umbral de lactato a 4 mmol/l y umbral ventilatorio.

n=21	HR latidos·min <sup>-1</sup>	VO <sub>2</sub> ml/kg/min <sup>-1</sup>	% VO <sub>2max</sub> .	SR	S
<b>ATHR</b>	173,1±4,8	43,6±8,6	72,4±9,7	27,2±1,5	14,7±0,4
<b>LT</b>	167,3±9,1	44,2±10,4	74,6±3	21,6±2,5	13,1±0,4
<b>AT4</b>	178,7±5,3	50,9±7,4	86,6±8,2	26,7±3,1	13,8±0,3
<b>VT</b>	170,6±6,2	45±8,3	74,7±7,8	28,1±2,2	14,9±0,6

Tabla 19. Cuadro comparativo de la frecuencia cardiaca (HR), consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), tanto por ciento del VO<sub>2max</sub> (%VO<sub>2max</sub>), frecuencia de paladas (SR), y velocidad (S) en umbral de frecuencia cardiaca (ATHR), umbral láctico (LT), umbral a concentración fija de lactato de 4 mmol/l y en umbral ventilatorio.

Con el fin de estudiar la intensidad y el tipo de relación existente entre el umbral de frecuencia cardiaca y los demás umbrales analizados, procedimos a calcular sus correspondientes coeficientes de correlación tomando como referencia la frecuencia de paladas, la velocidad, el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca. Los datos se presentan en la tabla 20. Se observa una alta correlación, significativa, en todas las variables medidas en el umbral anaeróbico, determinadas por los métodos de la frecuencia cardiaca y ventilatorio (P<0,01-P<0,05). No se observa

ninguna otra correlación significativa entre las restantes variables analizadas.

n=21	r (ATHR/VT)	r (ATHR/LT)	r (ATHR/AT <sub>4</sub> )	r (VT/LT)	r (VT/AT <sub>4</sub> )	r (LT/AT <sub>4</sub> )
<b>SR</b>	0,87	-0,50	-0,45	-0,47	-0,64	0,89
	p<0,01	NS	NS	NS	p<0,05	p<0,01
<b>S</b>	0,88	-0,49	-0,47	-0,47	-0,56	0,91
	p<0,01	NS	NS	NS	p<0,05	p<0,01
<b>VO<sub>2</sub> ml/kg/min</b>	0,80	0,31	0,51	0,34	0,34	0,753
	p<0,01	NS	NS	NS	NS	p<0,01
<b>HR</b>	0,55	0,23	-0,24	0,01	-0,1	0,15
	p<0,05	NS	NS	NS	NS	NS

Tabla 20. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las distintas variables obtenidas, en el umbral anaeróbico, por los métodos de la frecuencia cardiaca (ATHR), umbral láctico (LT), umbral a una concentración fija de 4 mmol/l (AT<sub>4</sub>) y umbral ventilatorio (VT).

## **DISCUSIÓN.**



En 1982, Conconi y su equipo<sup>76</sup>, continuaron con los hallazgos encontrados por Wahlund <sup>75</sup> en 1948, sobre el comportamiento de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio físico. Testaron a 210 corredores, encontrando una relación lineal entre la frecuencia cardiaca y la velocidad de carrera, en intensidades submáximas y una relación curvilínea a intensidades máximas de ejercicio físico. Observaron que el punto de inflexión de la frecuencia cardiaca, coincidía con el comienzo de la acumulación del ácido láctico en sangre, umbral láctico, por lo que lo denominaron umbral anaeróbico de frecuencia cardiaca (ATHR). En 1996, publican un nuevo estudio, donde recogen todos los avances de los últimos doce años, introduciendo nuevas modificaciones en su protocolo.<sup>78</sup> El test de Conconi es un test de campo, no invasivo, utilizado habitualmente en carreras. Está diseñado para determinar el umbral anaeróbico, estableciendo una relación entre la velocidad, intensidad y la frecuencia cardiaca, durante una prueba incremental y continua.

Para detectar el umbral de frecuencia cardiaca (ATHR) por el método de Conconi, es necesario crear una prueba continua, donde los intervalos de intensidad no provoquen un aumento excesivo de la frecuencia cardiaca entre escalones, lo cual generaría errores en la detección del punto de deflexión de la misma <sup>78</sup>. Nosotros diseñamos un test de Conconi adaptado al remo basado en estas premisas. La frecuencia de paladas y la velocidad media en cada escalón fueron consideradas como indicadores de intensidad durante los test. Los remeros debían comenzar la prueba con una frecuencia de 18 Pal/min. Cada minuto tenían que

aumentar la frecuencia en 2 pal/min. hasta que no pudiesen mantener el ritmo de paladas impuesto. La duración de los test estuvo comprendida entre los 9 y 12 min. Fueron monitorizados la velocidad de la embarcación, frecuencia cardiaca, consumo de oxígeno, CO<sub>2</sub> expirado y ventilación pulmonar. Además se tomaron muestras de ácido láctico al final de la prueba y al minuto 1 y 3 de la recuperación. Hasta la fecha, no nos consta la existencia de otra prueba de campo que sirva para la valoración del umbral anaeróbico por el método de la frecuencia cardiaca en el remo. Este mismo protocolo es válido, además, para la valoración del umbral ventilatorio (VT) por el método V-Slope.

El objetivo de partida de este estudio, fue evaluar la fiabilidad y validez del test de Conconi modificado para el remo. La fiabilidad, fue valorada comparando el punto de ruptura de la frecuencia cardiaca (ATHR) y los resultados entre el test-retest de Conconi. La validez, por su parte, se determinó contrastando los datos obtenidos en ATHR, con los obtenidos por otro método validado científicamente, como el umbral ventilatorio (VT). Además, se realizaron unos test tipo EPIM con el fin de conocer el umbral anaeróbico individual de lactato (LT) y el umbral anaeróbico a una concentración fija de 4 mmol/l (AT<sub>4</sub>) para compararlos con los obtenidos por los otros métodos.

Los hallazgos más importantes de este estudio fueron los siguientes:

- 1.** En los test de Conconi el ATHR se detectó en un elevado número de casos (91,3%) y las diferencias entre test-retest no fueron significativas (4%).
- 2.** Los valores medios de frecuencia cardiaca (HR) en umbral y máximas (HR<sub>max</sub>) en el test de Conconi para el remo son similares a los encontrados en otros trabajos,  $173,1 \pm 4,8$  y  $186,6 \pm 7,5$  latidos·min<sup>-1</sup> respectivamente<sup>78</sup>.
- 3.** Se encontraron correlaciones significativas entre los parámetros en ATHR y VT, con valores similares.
- 4.** No se encontraron

correlaciones significativas en los valores obtenidos entre ATHR, AIT y AT4, aunque los valores de  $VO_2$  y HR en ATHR y LT son muy similares. **5.** La concentración media de lactato (La) en el umbral anaeróbico fue de  $2 \pm 0,7$  mmol/l, similar a la obtenida en otros estudios <sup>65</sup>. **6.** El tipo de protocolo empleado, parece influir de forma importante en los valores umbral y máximos de la frecuencia de paladas (SR) y velocidad de la embarcación (S). Los valores en umbral y máximos, de SR y S en el protocolo interválico, son significativamente menores a los obtenidos en el protocolo continuo.

**1.** Los test de Conconi llevados a cabo en el agua, han arrojado un alto porcentaje de éxito en cuanto a la identificación del punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR). En concreto, en el 91,3 % de las pruebas realizadas, se detectó con claridad el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca. Para su determinación, se realizaron regresiones lineales y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, para cada remero, entre las variables HR/S y HR/SR, obteniendo de media un coeficiente de correlación de 0,96 y 0,97 respectivamente. Diversos autores, han puesto en entredicho la fiabilidad del método por su escasa reproducibilidad. Kruse<sup>107</sup>, Urhausen y col.<sup>85</sup>, Bauder y col.<sup>108</sup>, Celik y cols.<sup>102</sup> observaron fallos en la detección del punto de deflexión del 11,1%, 18,2%, 20%, 10,9% y 3,2% respectivamente. En otros estudios, Droghetti y cols.<sup>81</sup>, Bourgois y col.<sup>100</sup>, en test en el agua y en remoergómetro detectaron el ATHR en todos los sujetos. El error que hemos tenido en la detección del punto de deflexión (8,7%), creemos que se debió a factores ajenos al diseño del protocolo, una técnica no suficientemente depurada de alguno de los remeros (que dificultó la progresividad en la aplicación de las cargas) y la escasa experiencia de algún deportista en la realización de pruebas de esfuerzo. Estos son factores determinantes a la hora de identificar con éxito el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR).

Un test, será fiable, cuando los resultados obtenidos, sean idénticos entre una prueba y otra, realizadas en las mismas condiciones. La diferencia entre medias del test-retest fue del 4% y los valores medios de SR (25,7 vs 26 pal/min.), S (14,4 vs 14,4 Km/h),  $VO_2$  (43,6 vs 40,5 ml/kg/min) y HR (170,2 vs 171,6 lat. $\cdot$ min<sup>-1</sup>) entre test-retest de Conconi son similares. El error típico de la media resultó bajo (1,33; 0,35) para SR y S y algo más elevado para  $VO_2$  y HR (5,1 y 4,5 respectivamente). Para conseguir una buena reproducibilidad del test, es importante incidir en la necesidad de aplicar con meticulosidad las recomendaciones de Conconi, aportadas en 1996<sup>78</sup>. En este sentido, es crucial que la velocidad de inicio de las pruebas sea relativamente baja y que los incrementos durante ésta sean mínimos, con el fin de asegurar la máxima progresividad durante los distintos escalones de la prueba. Por tanto, en este estudio, el test de Conconi diseñado para remeros, es un método fiable para determinar el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca (ATHR).

Se ha comprobado, que el protocolo de Conconi modificado para el remo en el agua también es un protocolo válido para el cálculo del VT por el método V-Slope. En todos los casos, se obtuvo de forma clara el punto correspondiente al umbral ventilatorio. Por otro lado, también se realizaron mediciones de gases durante el protocolo interválico, al objeto de establecer comparaciones entre ambos protocolos no siendo posible detectar el VT por el método V-Slope, debido a la gran variación de  $VO_2$  y  $CO_2$  del inicio y final de cada escalón.

**2.** Analizando HR durante los test de Conconi, se observa que tanto ATHR como  $HR_{max}$  se encuentran en la línea de otros trabajos. En nuestro estudio, el ATHR fue de media  $173,1 \pm 4,8$  latidos $\cdot$ min<sup>-1</sup> semejante al encontrado por Conconi y cols.<sup>78</sup> y Celik y cols.<sup>102</sup>, ( $171 \pm 3,8$  latidos $\cdot$ min<sup>-1</sup> y  $171 \pm 8$  latidos $\cdot$ min<sup>-1</sup> respectivamente). Bourgois y cols.<sup>100</sup>, discrepan de

que el ATHR coincida con el LT. En su estudio, obtienen el ATHR en  $180 \pm 5$  latidos·min<sup>-1</sup> que coincide con AT<sub>4</sub>.

El HR<sub>max</sub> también coincide con el reseñado por otros autores en sus investigaciones con ciclistas,  $186,6 \pm 7,5$  latidos·min<sup>-1</sup> vs.  $188 \pm 9,4$  latidos·min<sup>-1</sup> <sup>81</sup>.

Recientemente, se ha investigado la posible influencia de la posición del remero sobre distintos parámetros del rendimiento (frecuencia cardiaca, consumo de oxígeno y concentración de lactato). En este sentido, Yoshiga y cols.<sup>109</sup> y Beneke y cols.<sup>110</sup> han comprobado que el HR en umbral y el HR<sub>max</sub> son más bajos durante el remo que durante la carrera o el ciclismo debido a un mejor retorno venoso.

La relación entre la velocidad del bote (S) y la energía gastada muestra la eficiencia en el remo. La eficiencia por tanto, depende de la técnica del remero. La velocidad a la cual se determinó el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca en los test de Conconi fue de  $14,7 \pm 0,4$  km/h con una frecuencia de paladas de  $27,2 \pm 1,5$ . Nosotros, hemos observado que en intensidades cercanas al máximo, la velocidad de la embarcación no aumenta de forma lineal posiblemente debido a una menor eficiencia técnica. No se ha podido contrastar estos datos al no encontrar estudios que analicen la velocidad o la frecuencia de paladas durante un test en el agua. La mayor parte de los trabajos se han llevado a cabo en remoergómetros y toman la potencia desarrollada por el remero como referente en cada escalón y no la frecuencia de paladas. La eficiencia del remero, apenas se ha estudiado, a pesar de ser un factor clave en el éxito en competiciones de nivel internacional. La escasez de datos, sugieren que sería importante, comenzar nuevas vías de investigación relacionando el rendimiento fisiológico del remero con la eficiencia de éste sobre la embarcación.

Para que el método de la frecuencia cardiaca sea válido y que realmente mida el umbral anaeróbico, hay que comparar, para una misma muestra de sujetos, los resultados obtenidos, por un método contrastado, con los resultados del nuevo método. Por tanto, comparando el grado de relación entre los distintos parámetros de intensidad obtenidos en ATHR, VT, LT y AT<sub>4</sub> nos permitirá comprobar si el test de Conconi adaptado al remo es un test válido para medir el umbral anaeróbico.

### **3. Relación ATHR-VT.**

Analizando **HR** en porcentajes, se observa cómo los valores obtenidos en ATHR y VT son similares, mientras que difieren bastante en LT y AT<sub>4</sub>. El ATHR, se encuentra al 91,9% de HR<sub>max.</sub>, un 1,3 % más elevada que la obtenida en VT, 90,6%. Si comparamos la frecuencia en ATHR y la obtenida en LT esta última es un 3,1% menor, 88,8%. Por último, la frecuencia cardiaca en AT<sub>4</sub>, 94,9%, es un 3% mayor que la obtenida en ATHR. Por tanto, la frecuencia cardiaca en ATHR se aproxima en mayor medida a la obtenida en el umbral ventilatorio (VT) y, por contra, difiere significativamente de la obtenida en LT y en AT<sub>4</sub>.

En porcentajes con respecto al máximo, el VO<sub>2</sub> en ATHR, es un 2,3% menor que el consumo medio registrado en VT (72,4% vs 74,7%), un 2,2 % menor al registrado en el LT (74,6%) y un 14,2% menor al registrado en AT<sub>4</sub> (86,6%). Lucia y cols., 1999<sup>111</sup>, encontraron que el VO<sub>2</sub> en VT y en LT se producía al 70% de VO<sub>2max</sub>.

En resumen, los valores medios de VO<sub>2</sub>, en ATHR, VT y LT son similares y difieren bastante entre ATHR/AT<sub>4</sub> y LT/AT<sub>4</sub>.

Los porcentajes, respecto al máximo, de frecuencia de paladas que corresponden a ATHR, VT, LT y AT<sub>4</sub> son del 79,7%, 82,4%, 70,5% 87,2 % respectivamente. Se observa que los porcentajes obtenidos en ATHR y VT son similares siendo un 2,7 % mayor el obtenido en VT, mientras que entre ATHR e LT la diferencia es de un 9%. Si analizamos los porcentajes de frecuencia entre ATHR y AT<sub>4</sub> vemos que la diferencia es de un 7,5%. En este caso los porcentajes más cercanos entre si son los obtenidos en ATHR y VT. Todo parece indicar que el protocolo EPIM influye en los valores de ciertos parámetros. Así, en el test interválico, es necesario parar al remero para obtener las muestras de ácido láctico, cuando comienza el siguiente escalón el remero debe partir de cero y alcanzar la frecuencia y velocidad preescritas para dicho escalón, lo que conlleva un gasto energético extra. Además, la duración de los escalones también podría influir puesto que en el protocolo continuo la frecuencia de paladas solamente es necesario mantenerla durante un minuto mientras que en el protocolo de lácticos, los escalones son de tres minutos de duración. De esta forma la carga interna a la que es sometido el remero en el segundo protocolo es mucho mayor y por tanto es lógico pensar que las frecuencias de palada alcanzadas en umbral y máximas sean significativamente menores. No hay ninguna investigación que relacione los resultados obtenidos con el protocolo empleado, aunque también es cierto que no hay ningún estudio de estas características realizado en el agua.

La velocidad (**S**) alcanzada por la embarcación en ATHR, 14,7 Km/h, corresponde al (91,3%) de la máxima, un 1,2% menor que la obtenida en VT, (92,5%). La velocidad alcanzada en LT es un 83,4%, un 4,4% menor que la obtenida en AT<sub>4</sub> (87,8%). Nuevamente los porcentajes de velocidad a la que se alcanzaron los umbrales en ATHR y VT son similares. En el test de lactatos, nos encontramos con numerosos remeros que no pudieron aumentar la velocidad de la embarcación en los últimos escalones a pesar

de aumentar la frecuencia de paladas. Una de las causas pueden deberse a la fatiga muscular por altas concentraciones de lactato en el músculo, lo cual dificultaría los procesos de contracción muscular y por tanto de producción de fuerza. Hay que tener en cuenta además, que las características de este protocolo provoca un gasto energético extra al inicio de cada escalón. No hemos encontrado estudios que nos permitan comparar estos datos.

Analizando el grado de correlación entre los distintos valores en umbral, se observa como los datos en **ATHR** para las variables SR, S, VO<sub>2</sub> y HR guardan una alta correlación con los obtenidos en **VT**, (0,87 p<0,01, 0,88 p<0,01, 0,80 p<0,01 y 0,55 p<0,05 respectivamente). Diversas investigaciones también encuentran coincidencia en los valores fisiológicos entre ATHR y VT. Petit y col. 1997<sup>77</sup> y Carey D., 2002<sup>101</sup>, también encuentran una correlación significativa entre ATHR y el umbral ventilatorio (VT) obtenido mediante el método V-Slope, con valores medios similares y Lucia y cols. 2000<sup>111</sup>; observan una coincidencia entre el ATHR y el umbral ventilatorio 2 (VT2).

Por el otro lado, Heck y col. 1992<sup>112</sup>; Coen y cols. 1988<sup>113</sup>; Francis y cols., 1989<sup>104</sup>; Ribeiro y cols. 1985<sup>114</sup>; Stegmann y col. 1982<sup>115</sup>; Melton y cols. 1988<sup>116</sup>; Van Andel y cols. 1988<sup>117</sup>; Kruger y cols., 1988<sup>118</sup>, Lucia y cols.<sup>119</sup> no encuentran coincidencia entre ATHR y VT, aunque la mayor parte de las pruebas se realizaron con un protocolo para el test de Conconi, que difiere bastante al empleado en nuestro estudio, puesto que no se ajusta a las directrices propuestas por Conconi y su grupo en 1996<sup>78</sup>.

#### 4. Relación ATHR-LT.

Comparando las distintas variables, SR, S, VO<sub>2</sub> y HR, entre **ATHR** y el umbral de lactato (**LT**) se observa una baja correlación entre éstas, (-0,5; -0,49; 0,31 y 0,23 respectivamente). Sin embargo, los valores medios para HR y VO<sub>2</sub> son coincidentes, 173,1±4,8 latidos·min<sup>-1</sup> vs. 167,3±9,1 latidos·min<sup>-1</sup> y 43,6±8,6 ml·kg·min<sup>-1</sup> vs. 44,2±10,4 ml·kg·min<sup>-1</sup> respectivamente. Sin embargo, para SR y S los valores difieren bastante 27,2±1,5 vs. 21,6±2,5 y 14,7±0,4 Km/h vs. 13,1±0,4 Km/h. Esto puede ser debido a las diferencias en cuanto al tipo de protocolo utilizado. En este sentido, en el protocolo interválico, las paradas que debe realizar el remero para poder obtener las muestras de láctico en sangre, modifican la relación entre las variables, a la vez que suponen una sobrecarga para el deportista. Por tanto, es lógico pensar, que a priori, la relación entre variables de velocidad, frecuencia de paladas y potencia, entre un test continuo y otro interválico para el remo en el agua, no mantengan apenas correlación. Sin embargo, como ya comentamos anteriormente esta diferencia puede no ser tan acusada en otros test llevados a cabo en laboratorio sobre remoergómetro, cicloergómetro o cinta rodante por el hecho de resultar más factible alcanzar la velocidad/frecuencia de trabajo deseada en cada intervalo. Por tanto, es posible que los datos similares de VO<sub>2</sub> y HR obtenidos en ATHR y LT, tengan sentido y que la baja correlación sea debida a la influencia del protocolo. En esta línea, hay estudios que demuestran que el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca no es protocolo dependiente, así Whipp y col, 1981<sup>120</sup> no encontraron diferencias en los valores de VO<sub>2</sub> y HR en umbral entre un test en rampa y otro en escalones. Por otro lado, un estudio reciente de Bentley y cols.<sup>121</sup>, sugieren que los test de tipo interválico pueden ser válidos para la predicción del rendimiento en deportes de resistencia.

## 5. Relación ATHR-AT<sub>4</sub>.

Observando la relación entre **ATHR** y **AT<sub>4</sub>** vemos que las correlaciones obtenidas entre las distintas variables, SR, S, VO<sub>2</sub> y HR, no son significativas en ninguno de los casos (-0,45; 0,47; 0,51; -0,24 respectivamente). Además, si analizamos los valores medios, se observan diferencias importantes. Así el porcentaje de VO<sub>2</sub> con respecto al máximo es un 14,2% mas bajo en ATHR que en AT<sub>4</sub>. Para HR, la diferencia es menor siendo un 1,3% más alta en AT<sub>4</sub>. Sin embargo, algunos autores han encontrado los valores en ATHR similares a los de AT<sub>4</sub>, Celik y cols., 2005<sup>102</sup>; Jones y col. 1997<sup>122</sup>. Por otro lado Bourgois y col. 1998<sup>100</sup> observan que los valores en ATHR están por encima del máximo estado estable de lactato (MLSS). En lo que respecta a la frecuencia de paladas (SR) y a la velocidad de la embarcación en cada escalón (S) son significativamente más bajas en AT<sub>4</sub> posiblemente debido a las características, comentadas anteriormente, del protocolo interválico. Por tanto, los test interválicos en el agua, no parecen ser útiles para determinar la intensidad del umbral anaeróbico en frecuencia de paladas o en velocidad de la embarcación.

Observando los valores obtenidos en **VT** y comparándolos con los obtenidos en **LT**, las frecuencias cardiacas y los consumos coinciden (170,3±6,4 latidos·min<sup>-1</sup> vs. 167,3±9,1 latidos·min<sup>-1</sup> y 45±8,3 ml·kg·min<sup>-1</sup> vs 44,2±10,4 ml·kg·min<sup>-1</sup>.) En cuanto a la frecuencia de paladas y velocidad nuevamente encontramos que los valores en LT están subestimados con respecto a VT (28,1±2,2 vs. 21,6±2,5; 14,9±0,6 Km/h vs. 13,1±0,4 Km/h). Como era de esperar, las correlaciones entre las distintas variables de los dos test arrojó coeficientes de Pearson no significativos atribuible a la diferencia entre protocolos.

## 6. Relación LT-AT<sub>4</sub>.

Por último, analizando la relación entre las variables **LT/AT<sub>4</sub>** estas mantienen una elevada correlación en S, SR y VO<sub>2</sub>. La frecuencia cardiaca se encuentra al 88% del máximo en el umbral de lactato individual (LT), un 6% más baja que en AT<sub>4</sub> (94% del máximo). Así mismo, el VO<sub>2</sub> en LT es un 10% menor que en AT<sub>4</sub>. Los valores entre estas dos variables se encuentran dentro de lo esperado coincidiendo con los encontrados en otras investigaciones.

Resumiendo, los valores de los distintos parámetros en ATHR coinciden con los obtenidos en VT respectivamente y mantienen una correlación significativa entre si. En los demás parámetros únicamente los valores de VO<sub>2</sub> y HR entre ATHR y LT son coincidentes, no manteniendo correlación, posiblemente debido a las diferentes características de ambos protocolos.

La concentración de lactato en sangre, es el resultado del ácido láctico producido y eliminado por el organismo durante un esfuerzo físico, por lo que no es un indicador muy fiable y exhaustivo del metabolismo anaeróbico<sup>41</sup>. Se tomaron muestras de ácido láctico en estado basal, al final del test y al minuto 1 y 3 de la recuperación en los test de Conconi. En los test de lácticos, además, se tomaron muestras al final de cada escalón para obtener la curva de cinética del lactato de cada remero. La concentración de lactato en estado basal fue de  $1 \pm 0,1$  mmol/l en los test de Conconi y de  $1,5 \pm 0,6$  mmol/l en los test de lácticos. Aunque existe una pequeña diferencia entre ambas concentraciones, los valores se encuentran dentro de los parámetros normales. Hay que tener en cuenta que cualquier esfuerzo previo al test, como transportar una embarcación, puede variar ligeramente este parámetro. El umbral láctico individual (LT) medido según

el método de Chicarro y cols. y tomando las referencias de Baldari y Guidetti, 2000<sup>123</sup> determinó una concentración media de  $2 \pm 0,7$  mmol/l (rango 1-3,3 mmol/l). Este dato se aproxima al encontrado por Jurimae y col. 2001<sup>124</sup> en LT, ( $2,5 \pm 0,6$  mmol/l). Estos valores se alejan mucho de los 4mmol/l propuestos por Mader para el MLSS. En este sentido Beneke y col. 2001<sup>110</sup>, encontraron un MLSS de  $2,7 \pm 0,6$  mmol/l para un ejercicio realizado en remoergómetro. Algunos estudios evidencian que las concentraciones de lactato medidos en LT y en estado estable (MLSS) guardan relación con el tipo de esfuerzo y con la masa muscular reclutada durante el mismo. De esta forma a mayor masa muscular, más baja es la concentración de lactato en los distintos umbrales, aunque no hemos encontrado investigaciones que se centren prioritariamente en este aspecto. Estudios recientes apuntan a que el umbral anaeróbico individual determinado por el método de Baldari y Guidetti<sup>122</sup> podría corresponder con el MLSS para ese deporte en concreto. A este respecto, Stegmann y Kindermann<sup>115</sup> sometieron a 19 remeros a dos pruebas de esfuerzo constante, de 50 minutos de duración, con dos cargas de trabajo distintas; una correspondiente al LT y la otra correspondiente al AT<sub>4</sub>. Encontrando que en la primera, la concentración de lactato se mantenía constante, cosa que no ocurría en la segunda prueba que llegó hasta los 9,6 mmol/l de lactato. En nuestro caso hubiera sido interesante llevar a cabo unos test en el agua de carga estable de treinta minutos de duración, partiendo de la intensidad correspondiente a 2 mmol/l, para saber si esta concentración era válida para el MLSS en el agua o por el contrario esta subestimada. Las concentraciones finales de ácido láctico en ambos test fueron similares,  $9,4 \pm 2,3$  mmol/l y  $9 \pm 2,8$  mmol/l. Esto evidencia una alta contribución del metabolismo glucolítico, que según diversos autores se sitúa de media entre el 25-30% del total. Los valores máximos están en consonancia con los encontrados por otros autores, así Lormes y cols.<sup>86</sup> y Stegmann y

col.<sup>115</sup>, encuentran una concentración máxima de 8,6 mmol/l y 9,6 mmol/l respectivamente.

La potencia aeróbica se puede definir como el máximo consumo de oxígeno ( $VO_{2 \text{ max.}}$ ) estimado durante un ejercicio de 2 a 10 minutos<sup>5</sup>. El  $VO_{2 \text{ max.}}$  o la potencia aeróbica es un parámetro importante en la predicción del rendimiento en una regata de 2000 metros. Por tanto, conocer el  $VO_{2 \text{ max.}}$  será uno de los objetivos prioritarios en la valoración funcional del remero. El consumo medio máximo de oxígeno durante el test de Conconi ( $60,2 \pm 9,2 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ) es similar al encontrado por otros autores como Serrano y cols.<sup>92</sup> ( $64 \pm 3,7 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ), Beneke y cols.<sup>110</sup> ( $60,4 \pm 3,4 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ), Lizarra y cols.<sup>93</sup> ( $60,9 \pm 5,35 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ) y ligeramente más bajo al encontrado por Nilsen<sup>89</sup> y Rodríguez<sup>27</sup> ( $68,9 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$  y  $71,5 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$  respectivamente). El remo, es uno de los deportes con consumos de oxígeno más altos en valores absolutos; el  $VO_{2 \text{ max.}}$  también es coincidente con el encontrado por Bourgois y cols.<sup>100</sup>, Yoshiga y cols.<sup>109</sup> pero la cantidad es inferior a la encontrada por Hagerman<sup>125</sup> y Rodríguez<sup>27</sup>. Los  $VO_{2 \text{ max.}}$  tan altos en este deporte parecen ser debidos a un mayor tamaño corporal del deportista y a una mayor participación muscular durante el ejercicio<sup>108</sup>.

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, sería interesante en futuras investigaciones:

- Realizar más estudios de campo sobre el test de Conconi en el agua.
- Incluir un protocolo de larga duración que permitiera comprobar si la frecuencia de paladas (SR) y la velocidad del bote (S) en ATHR, se corresponde con el máximo estado estable de lactato (MLSS).

- Estudiar la relación entre la eficiencia mecánica y el rendimiento fisiológico del remero en el agua.
- Analizar la influencia de los protocolos para el remo en el agua, en los distintos parámetros fisiológicos estudiados en este proyecto.

## **CONCLUSIONES.**



## CONCLUSIONES.

1. El test de Conconi modificado para el remo en el agua, es un test fiable para la medición del umbral anaeróbico al presentar una alta reproducibilidad test-retest.
2. El test de Conconi modificado para el remo en el agua, es un test válido para determinar el umbral anaeróbico, al presentar una alta correlación con el umbral ventilatorio (VT).
3. En intensidades de trabajo cercanas al máximo la velocidad de la embarcación no aumenta linealmente en relación con la frecuencia de paladas.
4. Las variables frecuencia cardiaca, frecuencia de palada y velocidad de la embarcación son protocolo dependientes, no siendo posible establecer correlaciones significativas entre los protocolos continuo e interválico.
5. El tipo de protocolo no parece influir en los consumos de oxígeno, no encontrando diferencias significativas en  $VO_{2 \text{ max.}}$  y  $VO_2$  en umbral.
6. El test de Conconi modificado para el remo y adaptado al agua, es una herramienta válida y eficaz para determinar el punto de deflexión de la frecuencia cardiaca en remeros.
7. Las máximas concentraciones de ácido láctico en sangre son las esperadas para este tipo de deportes ( $9,4 \pm 2,3$  mmol/l).
8. La concentración de ácido láctico en sangre, en el umbral láctico (LT) para el remo, está situada por debajo de 4 mmol/l ( $2 \pm 0,7$  mmol/l).

9. El método de la frecuencia cardiaca es una herramienta útil y eficaz para determinar cargas de trabajo y planificar entrenamientos en remo.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Rodríguez J.A., Alvarez R, Teixeira P. Fuerza máxima cíclica resistida específica en remo. Remo. Federación Española de Remo. 1998, 3.
2. Steinacker J.M. Physiological aspects of training in rowing. Int. J. Sports Med.1993, 14.1:3-10.
3. Roth W., Hasart E., Wolf W., Pausald B. Untersuchungen zur dynamic der energiebereitstellung während maximaler mittelzeitausdauerbelastung. Med. Sport. 1983, 23: 107-14.
4. Secher N.H., Vaage O., Jackson R. Rowing performance and maximal aerobic power of oarsmen . Scand J. Sports Sci. 1982, 4:9-1.
5. Jensen K. Test procedures for rowing. FISA. Coach, 1994, 5: 1-6.
6. Bunk V., Leso J. Ventilatory threshold and work efficiency during exercise on a cycle and rowing ergometer. J. Sports Sci. 1993, 11: 43-8.
7. Lakomy HKA., Lakomy J. Estimation of maximum oxygen uptake from submaximal exercise on a Concept II rowing ergometer. J. Sports Sci.1993, 11:227-32.
8. Russell A.P., Le Rossignol P.F., Sparrow W.A. Prediction of elite schoolboy 2000 m rowing ergometer performance from metabolic, antropometric and strength variables. J. Sports Sci. 1998, 16: 749-54.
9. Michelson T.C., Hagerman F.C. Anaerobic threshold measurements of elite oarsmen. Med. Sci. Sports Exerc. 1982, 14:440-04.

10. Hartmann U., Mester J. Training and overtraining markers in selected sport events. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000, 32: 209-15.
11. Messonier L., Frennd H., Bourdoin M., Belli A., Lacour J. Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Med. Sci. Sports.* 1997, 29: 396-01.
12. Howald H. Leistungsphysiologische grundlegender rudens. In: Steinacker J, editor. *Rudern*, Berlin. 1988: 31-8.
13. Mahler D., Nelson W., Hagerman F. Mechanical and physiological evaluation of exercise performance in elite national rowers. *J.A.M.A.* 1984, 252: 496-9.
14. Secher N.H. The physiology of rowing. *Int J Sports Med.* 1983, 1: 23-45.
15. Secher N.H. The physiology of rowing. *Sports Med.* 1993, 15: 23-53.
16. Steinacker J.M. Methoden für die leistungdiagnostik und trainngssteuerung im Ruden und ihre anwendung. In: Steinacker J, editor. *Ruden*, Berlin. 1988, 39-54.
17. Marx U. Untersuchungen zur trainngssteuerung un rudens mit einem methrstufest und einem Zweistreckeustest. Dissertation Fakultät für theoretische Medizin. Universität Ulm. 1988.
18. Altenburg D. The human talent- identification and talent-development program. It: H Perry, I. Dieterle, editors. *FISA. Youth Junior Rowing and Sculling Guide*. Lausanne. Switzerland, 1997.
19. Hagerman F.C. The physiology of competitive rowing. In: W. Garret Jr; DT Kinkendall editors. *Exercise and sport sciencie*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2000, 843-873.
20. Nilsen T, Daigneault T, Smith M. *FISA coaching development programme course*. 1993, 13-18.

21. Bell G, Syrotuik DG, Attwood K, Quinney HA. Maintenance of strength gains while performing endurance training in oarsmen. *J. Appl. Physiol.* 1993, 18:104-115.
22. Bell G, Petersen S, Quinney H, Wenger H. Sequencing of endurance and high-velocity training strength training. *Can. J. Sport Sci.* 1988, 13:214-219.
23. Bell G, Petersen S, Wessel J, Bagnall K, Quinney H. Adaptation to endurance and low velocity resistance training performed in a sequence. *Can. J. Sports Sci.* 1991, 16: 186-192.
24. Grosser, Neumaier. Técnicas de entrenamiento deportivo. Ed. Martinez Roca. 1986.
25. Baudoin A, Hawkins D. A. Biomechanical review of factors affecting rowing performance. *Br. J. Sports Med.* 2002, 36: 396-402.
26. Vera M. Analisis biomecánico de la técnica. *Revista de entrenamiento deportivo.* 1989, 2:17-23.
27. Rodríguez F. Remo olímpico. *Archivos de medicina del deporte.* 1986, 3: 75-80.
28. Leibar X, Fernandez B, Perez J, Gorostiaga E, Terrados N. Importancia de la evaluación de la capacidad anaeróbica en remeros de elite. 1993, 2: 22-26.
29. Yamamoto M, Kaneisa YH. Dynamics of anaerobic and aerobic supplies during sustained high intensity exercise on cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1995 71: 320-325.
30. Villegas J.A, Martinez M.T, Mico R. Valoración del deportista. Aspectos biomédicos y funcionales. *Archivos de Medicina del Deporte.* 1999, 6:303-342.
31. Marion A, Kenny G, Thoden J. Heart rate response as a means of quantifying training loads: practical considerations for coaches. *Sports.* 1994, 14: 2.

32. Lopez Calbet J.A., García B, Fernández A, Chavarren J. Validez y fiabilidad del umbral de frecuencia cardiaca como índice de condición física aeróbica. Archivos de Medicina del Deporte. 1995, 50: 435-444.
33. Green S, Dawson B. Measurements of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. Sports Med. 1993, 15:312-327.
34. Wassermann K.A, Whipp B.J, Casburi R, Golden M, Beaver W.L. Ventilatory control during exercise in man. Bull Eur. Physiopath. Respir.1979, 15: 27-47.
35. Lacour JR, Messonnier L, Bourdin M. The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. Eur. J. Appl. Physiol. 2007, 101(2): 241-247.
36. Aunola S, Rusko H. Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1984; 53(3):260-6.
37. Campbell M.E, Hugson R.L, Green H.J. Continuous increase in blood lactate concentrations during different ramp exercise protocols. J. Appl. Physiol. 1989, 66: 1104-1107.
38. Chirtel S.J, Barbane R.W, Stainsby WN. Net O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, lactate and acid exchange by muscle during exercise progressive working contraction. J. Appl. Physiol. 1984, 56:161-165.
39. Yeh M.P, Gardner R.M, Adams T.D, Yanowitz F.G, Crapo R.D. Anaerobic threshold: problems of determination and validation. J. Appl. Physiol. 1983, 1178-1186.
40. Mader A, Heck H. A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". Int. J. Sports Med. 1986, 7: 45-65.
41. Chicharro J, Aznar Laín S, Fernández Vaquero A, López Mojares LM, Lucia Mulas A, Pérez Ruiz M. Transición aeróbica-anaeróbica. Master Line & Prodigio. 2004, 37.

42. Svedahl K, McIntosh R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can. J. Appl. Physiol.* 2003, 28: 299-323.
43. Hollman W. The relationship between pH, lactic acid and the supply and utilization of oxygen IV-VI. *Proc. R. Soc. Lond. Ser.* 97: 84-138, 1924.
44. Wasserman K, McIlroy Mb. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am. M. Cardiol.* 1964, 14: 844-852,.
45. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic anaerobic transition for determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1979, 42: 25-34.
46. Pessenhofer H, Schwabberger G, Schmid P. Zur bestimmung einer individuellen schwelle. *Grafeling. Demeterverlag.* 1981.
47. Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billings JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1979, 11: 338-344.
48. Davis JA, Vodack P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 1976, 41: 544-550.
49. Orr GW, Green RL; Hughson RL, Bennet GW. A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.* 1982, 52: 1349- 1352.
50. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Rost R, Shurch PA, Hollamann W. Zur beurteilung der sportartsspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportart Sportmed.* 1976, 27: 80-88.
51. Keul J, Simon G, Berg A, Dickhuth HH, Goertler I. Bestimmung der individuellen anaeroben schwelle zur leistungsbewertung und trainingsgestaltung. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1979, 30: 212-218.

52. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med.* 1981, 2: 23-26.
53. Mazzeo R.S, Marshall P. Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J. Appl. Physiol.* 1989, 67: 1319-1322.
54. Ivy JL, Withers RT, Van Andel PJ, Elger DH, Costill DL. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.* 1980, 48: 523-527.
55. Beaver W, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.* 1985, 59:1936-1940.
56. Hughson RL, Weisiger KH, Swanson GD. Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. *J. Appl. Physiol.* 1987, 62: 1975-1981.
57. Simon G, Berg A, Dickhuth H, Simon A, Keul J. Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1981, 32: 7-14.
58. Aunola S, Rusko H. Aerobic and anaerobic threshold determined from venous lactate or from ventilation and gas exchange in relation to muscle fiber composition. *Int. J. Sports Med.* 1986, 7: 161-166.
59. Marcinik E.J, Potts J, Schlabach G, Will S, Dawson P, Hurley B.F. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1991, 739-743.
60. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1979, 42: 25-34.
61. Heck H, Mader A, Hess G, Mische S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4 mmol.l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.* 1985, 6: 117-130.

62. Komi P.V, Ito A, Sjodin, Wallerstein R, Karlsson J. Muscle metabolism, lactate breaking point and biomechanical features of endurance running. *Int. J. Sports Med.* 1981, 145-153.
63. Hermansen L, Vaage O. Lactate disappearance and glycogen sintesis in human muscle after maximal exercise. *Am. J. Physiol.* 1977, 422-429.
64. Kindermann W, Schramm M, Keul J. Aerobic performance diagnostic with different experimental settings. *Int. J. Sports Med.* 1980, 1: 110-114.
65. Beneke R, Von Duvillard S.P. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1996, 28: 241-246.
66. Jacobs I. Blood lactate: implication for training and sports performance. *Sports Med.* 1986, 3: 10-25.
67. Davies S.F, Iber C, Keene S.A, Mc Arthur C.D, Path M.J. Effect of respiratory alkalosis during exercise on blood lactate. *J. Appl. Physiol.* 1986, 61: 948-952.
68. Tanaka H, Shindo M. Running velocity at blood lactate threshold of boys aged 6-15 years compared with untrained and trained young male. *Int J Sports med.* 1985, 6: 90-94.
69. Ball-Burnet M, Green H.J, Houston M.E. Energy metabolism in human slow and fast twichi fibers during prolonged cycle exercise. *J. Physiol.* 1991, 437: 257- 267.
70. Skinner J.S, McLellan T.M. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Q. Exerc. Sport.* 1980, 51: 234-248.
71. Beaver W.L, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 1986, 60: 2020-2027.

72. Gaskill S.E, Ruby B.C, Walker A.J, Sanchez O.A, Serfans R.C, Leon A.S. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001, 33: 1841-1848.
73. Berry M.J, Stoneman J.V, Weyrich A.S, Burney B. Dissociation of the ventilatory and lactate threshold following caffeine ingestion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999, 23: 463-469.
74. Smith T.D, Thomas T.R, Londeree B.R, Zhang Q, Ziogos G. Peak oxygen consumption and ventilatory thresholds on six modes of exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 1996, 21: 79-89.
75. Whalund H. Determination of the physical working capacity. *Acta Med. Scand.* 1948, 215 (suppl): 1-78.
76. Conconi F, Ferrari M, Ziglio P.G, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.* 1982, 52: 869-873.
77. Petit M.A, Nelson C.M, Rhodes E.C. Comparison of a mathematical model to predict 10-Km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements. *Can. J. Appl. Physiol.* 1997, 22: 562-572.
78. Conconi F, Grazi G, Casoni I, Guglielumi G, Borsetto G, Ballarin E, Mazzoni G, Patracchini M, Manfredini F. The Conconi test: Methodology after 12 years of application. *Int. J. Sports Med.* 1996, 17: 509-519.
79. Kara M, Gokbel H, Bediz C, Ergene N, Ucok K, Uysal H. Determination of the heart rate deflection point by Dmax method. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 1996, 36: 31-34.
80. Chenier D, Leger L. Mesure du Vo<sub>2</sub> max sur deux ergometres-avirons et sur léau en skiff. *Can. J. Sport Sci.* 1991, 16: 258-263.
81. Droghetti P, Borsetto C, Casoni L, Cellini M, Ferrari M, Paolini A.R, Ziglio P.G, Conconi F. Noninvasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country, skiing, cycling, roller and ice

- skating, rowing and walking. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1985, 53: 299-303.
82. Steinacker JM. Physiological aspects of training in rowing. *Int. J. Sports Med.* 1993. 14: S3-S11.
  83. Steinacker JM, Both M, Whipp BJ. Pulmonary mechanics and entrainment of respiration and stroke rate during rowing. *Int. J. Sports Med.* 1993. 14: S15-S19.
  84. Steinacker JM, Lacker R, Hetzel WD, Lormes W, Liu Y, Stanch M. Metabolic and hormonal reactions during training in junior oarsmen. *Int. J. Sports Med.* 1993. 14: S24-S29.
  85. Urhausen A, Weiler B, Kindermann W. Heart rate, blood lactate and catecholamines during ergometer and or water rowing. *Int. J. Sports Med.* 1993, 14: S20-S24.
  86. Lormes W, Buckwitz R, Rebbein H, Steinacker M.J. Performance and blood lactate on Gjesing and Concept II rowing ergometers. *Int. J. Sports Med.* 1993, 14: 29-32.
  87. Hanel B, Gustafsson F, Larsen H.H, Secher N.H. Influence of exercise intensity and duration on post-exercise pulmonary diffusion capacity. *Int J Sports Med.* 1993, 14: S11-14.
  88. Szal S, Shoene R. Ventilatory response to rowing and cycling in elite oarswomen. *J. Appl. Physiol.* 1989, 67: 264-269.
  89. Nilsen T. Basic rowing physiology. Daigneault T. 2000, 28-43.
  90. Cosgrove M.J, Wihon J, Watt D, Grant S.F. The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000 m ergometer test. *J. Sports Sci.* 1999, 17: 845-852.
  91. Ingham S, Whyte G, Jones K, Nevill A.M. Determinants of 2000m rowing ergometer performance in elite rowers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2002, 88: 243-246.

92. Serrano E, Jimenez M, Nosal M, Francoise M. Consumo de oxígeno y respuesta ventilatoria al ejercicio dinámico en ergometro de remo y en cicloergometro. Archivos de Medicina del Deporte. 1986, III: 329-335.
93. Lizarra PM, Serra J, Martinez F. Modificación de los parámetros de esfuerzo a lo largo de una temporada en un equipo de remeros de alto nivel en banco fijo y móvil. Archivos de Medicina del Deporte. 1988, V: 237-241.
94. Gonzalez J.M, Ainz F. Relación lactato-velocidad-frecuencia cardiaca en pruebas de 1000 metros de remo en banco fijo. Archivos de Medicina del Deporte. 1996, XIII: 253-258.
95. González J.M, Santisteban J.M, Ainz F. Valoración funcional en laboratorio del remero. Archivos de Medicina del Deporte. 1996, XIII: 99-105.
96. Droghetti P. Determination of the anaerobic threshold on a rowing ergometer by the relationship between work output and heart rate. Scand. J. Sci. 1986, 8: 59-62.
97. Conconi F, Balllarin E, Borsetto C, Cellini M, Casoni I, Vitiello P. Use of the heart rate deflection point to assess the anaerobic threshold. Letter to the editor. J. Appl. Physiol. 1988, 64: 1758-1760.
98. Leger L, Tomakidis S. Use of the heart rate deflection point to assess the anaerobic threshold. J. Appl. Physiol. 1988, 64: 1758-1759.
99. Leger L. The Conconi heart rate and the lactate anaerobic threshold. J. Appl. Physiol. 1991, 4: 158-175.
100. Bourgois J, Vrijens J. The Conconi test: A controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. Int. J. Sports Med. 1998, 19: 553-559.

101. Carey D. Assesment of the accuracy of the Conconi test in determining gas analysis anaerobic threshold. *Strength Condit. Res.* 2002, 16: 641-644.
102. Celik O, S.N. Kosar, F. Korkusuz, M. Bozkurt. Reliability and validity of the modified Conconi test on Concept II rowing ergometers. *J. of Str. and Cond. Res.* 2005, 19: 871-877.
103. Bourgois J, Coorevits P, Danneds L, Witvrouw E, Cambie D, Vrijens J. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold concepts during cycling. *J. of Str. and Cond.* 2004, 18: 498-503.
104. Francis K.T, Mc Clatchey, Sumsion J.R, Hansen D.E. The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1989, 59: 273-277.
105. Withers R.T, Craig N.P, Bourdon P.C, Norton K.I. Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1987, 56: 191-200.
106. Pyne D, Boston T, Martin D, Logan A. Evaluation of the Lactate Pro Analyser. 2000, 82: 112-116.
107. Kruse R. Untersuchungen zum Conconi-test bei rennruderern und ruderanfangern . *Rudersport.* 1988, 30: 15-29.
108. Bauder K, Kalus V, Schneekluth U, Weie M, Bärtsch P. Trainingssteuerung beim Rudern im Einer durch ergometrische Bestimmung des Conconi-Deflektionspunktes. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1994, 45: 308-316.
109. Yoshiga CC y cols. Lower heart rate response to ergometry rowing than to treadmill running in older men. *Clin. Physiol. Funct. Imanging.* 2003, 23: 58-61.
110. Beneke R, Leithauser M, Hutler M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *Br. J. Sports Med.* 2001; 35:192-196.

111. Lucía A, Carvajal A, Boraita A, Serratosa L, Hoyos J, Chicharro JL. Heart dimensions may influence the occurrence of the heart rate deflection point in highly trained cyclist. *Br. J. Sports Med.* 1999, 33: 387-392.
112. Heck H, Hollman W. Identification objectivity and validity of Conconi thresholds by cycle stress test. *Osler J. of Sports Med.* 1992, 22: 43-53.
113. Coen D, Urhausen A, Kindermann W. Value of the Conconi test for determination of the anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 1988, 9: 372.
114. Ribeiro J.P, Fielding R.A, Hughes V, Black A, Bochese M.A, Knuttgen H.G. Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 1985, 6: 220-224.
115. Stegmann H, Kindermann W. Comparison of prolonged exercise test at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l (-1) lactate. *Int. J. Sports Med.* 1982, 3: 105-110.
116. Melton S, Hunter G, Davis B. Ventilation threshold and HR deflection point in paraplegics. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1988, 20: S27.
117. Van Andel P.L, Baldwin C, Puhl J. Measurement and interpretation of physiological parameters associated with cycling performance with cycling. In Burke ER, Newson MM, eds. *Medical and scientific aspects of cycling.* Champaign IL: Human Kinetics. 1988, 46-72.
118. Kuger J, Mootier R, Heck H. Relationship between the Conconi threshold and lactic acid at endurance workload on the turning crank-ergometer. *Int. J. Sports Med.* 1988, 20: S27.
119. Lucia A, Carvajal A, Perez M, Boraite A, Serratosa L, Chicharro J.L. Heart rate response during incremental exercise in master runners. *Jpn. J. Physiol.* 2000, 50:155-158.

120. Whipp B.J, Davis J.A, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic functions during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1981, 50: 217-221.
121. Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med.* 2007; 37(7):575-86.
122. Jones A.M, Doust J.H. The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners. *J. Sports Sci.* 1997, 15: 385-394.
123. Baldari C, Guidetti L. A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000, 32: 1798-1802.
124. Jurimae J, Maestu J, Jurimae T. Blood lactate response to exercise and rowing performance: relationship in competitive rowers. *J. Hum. Mov. Stud.* 2001b, 41: 287-300.
125. Hagerman F.C. Applied physiology of rowing. *Sports Med.* 1984; 4: 303-326.