

Medición telemétrica de la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno en competición amistosa

DIEGO SILLA CASCALES

Doctor en Ciencias de la Educación.

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Coordinador de la preparación física del Club Egara. Profesor de Hockey Hierba.

Departamento de Deportes Colectivos. INEFC Barcelona

FERRAN A. RODRÍGUEZ GUIADO

Doctor en Medicina y Cirugía.

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Catedrático del Departamento de Ciencias Biomédicas.

INEFC Barcelona

Resumen

El objetivo de este estudio fue medir el consumo de oxígeno directamente por telemetría en situación real de juego calculando el gasto energético correspondiente y comparar dichos valores con los obtenidos mediante la relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno establecida en una prueba progresiva en cinta rodante en laboratorio. Participaron en el estudio un total de siete jugadores ($n = 7$), elegidos por líneas de juego: tres delanteros, dos medios y dos defensas. Los siete jugadores han sido internacionales sub-21 y cuatro de ellos también con la selección nacional absoluta. La media de consumo máximo de oxígeno obtenido en la muestra de jugadores fue de $4,339 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ($56,9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). No se observaron diferencias significativas entre las tres posiciones tácticas. Existe una elevada correlación entre los valores de frecuencia cardiaca y de consumo de oxígeno en las pruebas de esfuerzo progresivo sobre cinta rodante en laboratorio $r = 0,97$ y $r = 0,99$. Durante la competición oficial, la frecuencia cardiaca permaneció una media del 50 % del tiempo de juego por debajo del umbral aeróbico ventilatorio y un 43 % del tiempo en la zona de transición aeróbica-anaeróbica. El consumo de oxígeno medio estimado durante las partes de un partido de competición oficial fue de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ correspondiente a un consumo relativo de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % del $\dot{V}O_2$ max individual). En el análisis del estudio de correlación lineal entre valores reales y estimados de consumo de oxígeno en cada uno de los jugadores, los coeficientes de correlación de Pearson calculados estaban entre los valores de $r = 0,721$ y $r = 0,904$. La cuantificación de la sobreestimación arroja valores de $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ de media (34 % de sobreestimación sobre el $\dot{V}O_2$ real), siendo el error estándar de la estimación ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) de un 15 % sobre el $\dot{V}O_2$ real; con un margen de confianza del 95 %, dichas diferencias entre el consumo real y estimado se cifran entre 812 y $893 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($P > 0,001$). La estimación específica reveló una mayor correlación entre el consumo de oxígeno real y estimado ($r = 0,85$) y una diferencia media de $4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($sd = 537$), siendo el error estándar de la estimación ($250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) del 10 % sobre el consumo de oxígeno real.

Palabras clave

Gasto energético, Consumo de oxígeno estimado, FC - Frecuencia cardiaca, Umbral aeróbico - Anaeróbico, Sobreestimación.

Abstract

Telemetric measurements of oxygen uptake and Heart rate in friendly competition

The objective of this study was to measure the oxygen uptake directly for telemetry in real situation of game calculating the corresponding energy expense and to compare this values with the obtained ones by means of the relationship among the heart frequency and the oxygen uptake settled down in a progressive test in rolling tape in laboratory. They participated in the study a total of seven players ($n = 7$), chosen by game lines: three forward, two halves and two defenders. The seven players have been international sub-21 and four of them also with the absolute national selection. The stocking of power consumption of obtained oxygen in the sample of players was of $4,339 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ($56,9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Significant differences were not observed among the three tactical positions. A high correlation exists among the values of heart frequency and of oxygen uptake in the tests of progressive effort on rolling tape in laboratory $r = 0,97$ and $r = 0,99$. During the official competition, the heart frequency remained a stocking of 50 % of the time of game below the aerobic ventilatorio threshold and 43 % of the time in the area of transition aerobic-anaerobic. The half oxygen uptake during the parts of a party of official competition was of $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ corresponding to a relative consumption of $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % of the individual $\dot{V}O_2$ max). In the analysis of the study of lineal correlation among actual values and estimated of oxygen uptake in each one of the players the calculated correlation coefficients of Pearson were between the values of $r = 0,721$ and $r = 0,904$. The quantification of the overestimation throws values of 853 stocking $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ (34 % overestimation on the real $\dot{V}O_2$), being the standard error of the estimate ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) of 15% on the real $\dot{V}O_2$; with a confidence limit of 95 %, this differences among the real and estimated consumption are calculated between 812 and $893 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($P > 0,001$). The specific estimation revealed a bigger correlation among the real and estimated oxygen uptake ($r = 0,85$) and a half difference of $4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($sd = 537$), being the standard error of the estimation ($250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) of 10% on the real oxygen uptake.

Key words

Energy cost, Oxygen uptake estimated, FC - Heart rate, Threshold aerobic - Anaerobic, Overestimation.

Introducción

Nuestro conocimiento de las demandas fisiológicas de los deportes intermitentes (con alternancia aeróbica-anaeróbica) es mucho menor en comparación con los deportes continuos y o cíclicos. El hockey hierba está experimentando un proceso de modernización en el que desde los sistemas de competición hasta el material específico y campos de juego su evolución y las modificaciones son constantes. Estos cambios no pueden estar sin realizar una valoración científica que acerque a los técnicos al conocimiento de la influencia de los mismos sobre la sollicitación funcional de los jugadores según la posición que ocupan en el campo (delanteros, defensas, medios). Los deportes de situación como el hockey hierba y otros deportes intermitentes presentan muchas dificultades para establecer el coste energético. Hay pocos estudios basados en la estimación del gasto energético en competición (Boyle y cols., 1994), o sobre el incremento del gasto energético cuando se realizan acciones técnicas como el dribling (Reilly y Seaton 1990), donde la estimación del consumo de oxígeno en competición real se obtiene a partir de los datos de FC en competición con los datos de laboratorio en un test progresivo en cinta rodante (Iglesias y Rodríguez 1999). Asimismo la media del consumo de oxígeno máximo y FC mediante telemetría portátil han sido aplicadas recientemente en estudios de investigación sobre el costo energético de actividades deportivas de carácter intermitente (Rodríguez y Iglesias 1988, Rodríguez y cols., 1998). En este estudio se presenta la medición del consumo de oxígeno directamente por telemetría en situación real de juego (partidos amistosos entre el Club Egara de División de Honor y el E.H.C. de primera división), la comparación de dichos valores con los obtenidos mediante la relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno establecido en laboratorio.

Objetivos

Los objetivos principales de este estudio fueron:

- Medir el consumo de oxígeno directamente por telemetría en situación real de juego calculando el gasto energético correspondiente.
- Comparar dichos valores con los obtenidos mediante la relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno establecida en una prueba progresiva en cinta rodante en laboratorio.

Material y métodos

Sujetos

Participaron en el estudio un total de siete jugadores ($n = 7$), elegidos por líneas de juego: tres delanteros, dos medios y dos defensas. Los siete jugadores han sido internacionales sub-21 y cuatro de ellos también con la selección nacional absoluta. La mayor parte de los jugadores estaban habituados a realizar pruebas de esfuerzo, como valoraciones telemétricas de la frecuencia cardiaca.

Material

El consumo de oxígeno directo se determinó mediante un analizador telemétrico de gases respiratorio portátil (K2-Cosmed, Italia). El K2-Cosmed es un sistema de análisis de gases telemétrico miniaturizado que permite medir el consumo de oxígeno sobre el terreno deportivo. Este aparato registra, mide y calcula los siguientes parámetros: volumen minuto ventilatorio frecuencia respiratoria, consumo de oxígeno, frecuencia cardiaca y otros parámetros derivados. El portátil K2 no excede los 800 g de peso total y está compuesto por una unidad emisora donde se encuentra un sensor paramagnético de O_2 , conectado a una batería, y a un emisor telemétrico, sujeto por un sistema de cintas graduables al tórax del sujeto. El aparato se complementa con una máscara respiratoria, fijada a la cabeza del sujeto, a la que se adjunta una turbina que registra los flujos ventilatorios. Dos antenas, una conectada al emisor y otra al receptor, permitían la transmisión de la señal a la unidad receptora hasta 400 m de distancia. Los parámetros ventilatorios fueron registrados en intervalos de 15 segundos. El consumo de oxígeno en laboratorio se determinó mediante una prueba de esfuerzo realizada sobre cinta rodante (Woodway, R.F.A.), utilizando un ergoespirómetro de circuito abierto del tipo "breath by breath" (CPX II; Medical Graphics, EE.UU.), y durante los quince días posteriores a la competición; calculando la regresión lineal individual resultante de la relación de valores de frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno en la prueba de esfuerzo.

Método

Definición de términos

Para llegar a una correcta interpretación de los resultados es necesario conocer el sistema de competición utilizado en los dos partidos en los cuales han sido estudiados los sujetos. Las valoraciones indirectas se llevaron

a cabo en el “Torneo línea 22” (1992). La competición fue organizada en dos eliminatorias, con la participación de cuatro equipos; la superación de la primera eliminatoria daba paso a la final. La valoración directa fue realizada en dos partidos de entrenamiento del Club Egara de División de Honor contra el Egara 1935 de Primera División. Los partidos se realizaron en horario de entrenamiento (20,30 a 22 horas) y en el período de transición de la temporada 1994-95.

Valoración en laboratorio

La primera fase del estudio consistió en la determinación del consumo de oxígeno en laboratorio, mediante una prueba ergométrica máxima, progresiva y triangular sobre cinta rodante y con un incremento de $2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ cada minuto, con una velocidad inicial de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y una pendiente constante del 5 % (Rodríguez, 1991). La velocidad inicial era mantenida durante 4 minutos, a efectos de adaptación cardiorrespiratoria y metabólica al esfuerzo (calentamiento y adaptación al ergómetro). El objetivo de la prueba era doble: por un lado calcular el $\dot{V}O_2\text{max}$ y los diferentes parámetros ergoespirométricos de cada jugador, y por otro lado, el cálculo de la ecuación de regresión lineal $\dot{V}O_2 = a + b(FC)$, resultante de la relación entre los valores de frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno de cada uno de los sujetos durante la prueba de esfuerzo. Una vez finalizada la cuarta fase (valoración indirecta), el consumo máximo de oxígeno servirá para valorar la intensidad metabólica de los jugadores de hockey hierba en competición. Los sujetos realizaron las pruebas de esfuerzo durante los 15 días posteriores a la competición. Con este corto margen temporal se pretendía que ninguno de ellos modificara su nivel de condición física, lo que podría comportar una relación $FC-\dot{V}O_2$ en competición diferente a la determinada en la prueba de esfuerzo. Todos los jugadores fueron sometidos también a un estudio cineantropométrico para establecer sus principales características morfológicas.

Caracterización del consumo de oxígeno en competición simulada (medición directa)

En la preparación del proyecto y elaboración de los primeros estudios nos propusimos, como uno de los principales objetivos, determinar la relevancia del metabolismo oxidativo en el hockey. Los estudios de la bibliografía se limitaba, a suponer su importancia en base a los resultados de jugadores en pruebas de esfuerzo inespecíficas, realizadas en el laboratorio. Dichas circunstancias nos indujeron a realizar un estudio de estimación

indirecta del consumo de oxígeno en base a la relación existente entre la FC y el $\dot{V}O_2$ en ejercicios de larga duración, según las propuestas de algunos autores (Reilly y Thomas 1979; Di Prampero 1981; Pinnington 1988, 1990; Cucullo y cols., 1987; Rodríguez y cols., 1995; Rodríguez e Iglesias 1995; Rodríguez y cols., 1995). Dicho trabajo se inició en el año 1991, con el K2-Cosmed un aparato portátil, de tan sólo 800 g de peso, que permite valorar el consumo de oxígeno de forma directa por telemetría con un alto grado de validez y fiabilidad (Dal Monte y cols., 1989; Kawakami y cols., 1992; Lucia y cols., 1993). El método utilizado fue establecido en función del desarrollo del juego, de forma que cada 15 min distintos jugadores se alternaron en el uso del sistema portátil de análisis de gases, realizando el cambio en el menor tiempo posible (5 min), y aprovechando que el reglamento permite realizar cualquier número de cambios durante la competición. Valoramos que con 15 min de registro por jugador sería posible obtener registros directos de 4 jugadores en un partido. La temperatura ambiental fue de 5°C el primer día y 8°C el segundo. La humedad relativa fue del 55 % el primer día y del 71 % el segundo. La presión barométrica fue de 733 el primer día y 740 mmHg, respectivamente. Los partidos se jugaron en el campo de hockey hierba del Club Egara (hierba artificial) con inicio a las 20,30 horas. La calibración de la turbina del K2-Cosmed se estabilizó en todas las mediciones para un FiO_2 del 20,9 %, después de introducidos los parámetros ambientales (temperatura y presión barométrica).

Método estadístico

Se calculó la media (\bar{x}), desviación estándar (s) y valores extremos (max y min) de las diferentes variables evaluadas durante el estudio. Las descripciones de las diferentes variables se presentan en las tablas. La valoración directa fue realizada en dos partidos de competición amistosa, en período transitorio comparando los resultados a la estimación indirecta del consumo de oxígeno en competición real (valoración general), y relacionando el consumo de oxígeno y FC de laboratorio para estimar los valores de consumo de oxígeno en condiciones de competición. Se utilizó la prueba t de Student para datos apareados para comparar las medias de datos reales y estimados, estudiando previamente la normalidad de las distribuciones con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, la ecuación de regresión lineal, y el error estándar de la estimación (SEE).

Resultados

La media de consumo máximo de oxígeno obtenido en la muestra de jugadores fue de $5,14 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ($68,6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). No se observaron diferencias significativas entre las tres posiciones tácticas. Existe una elevada correlación entre los valores de frecuencia cardiaca y de consumo de oxígeno en las pruebas de esfuerzo progresivo sobre cinta rodante en laboratorio $r = 0,97$ y $r = 0,99$. Durante la competición oficial, la frecuencia cardiaca permaneció una media del 50 % del tiempo de juego por debajo del umbral aeróbico ventilatorio y un 43 % del tiempo en la zona de transición aeróbica-anaeróbica.

En la *tabla 1*, tenemos el consumo de oxígeno medio estimado durante las partes de un partido de competición oficial que fue de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ correspondiente a un consumo relativo de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ individual). En el análisis del estudio de correlación lineal entre valores reales y estimados de consumo de oxígeno en cada uno de los jugadores los coeficientes de correlación de Pearson calculados estaban entre los valores de $r = 0,721$ y $r = 0,904$. La cuantificación de la sobreestimación arroja valores de $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ de media (34 % de sobreestimación sobre el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ real), siendo el error estándar de la estimación ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) de un 15 % sobre el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ real; con un margen de confianza

Sujetos	$\dot{V}O_{2\text{ medio estimado}}$			$\dot{V}O_{2\text{ pico estimado}}$		
	$\dot{V}O_{2\text{ medio}}$ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{ relativo medio}}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{ max}}$ (%)	$\dot{V}O_{2\text{ pico}}$ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{ relativo pico}}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{ max}}$ (%)
1	3,388	47,8	65,5	4,735	67,2	91,6
2	3,734	52,7	71,1	4,937	70,9	94,1
3	3,145	41,8	60,0	4,509	59,0	82,2
4	3,914	47,5	77,8	5,003	60,5	99,5
5	3,656	56,3	73,6	4,864	75,2	97,9
6	3,493	43,2	70,3	4,674	57,5	94,1
7	3,963	48,8	79,3	5,404	66,2	94,6
8	3,481	47,5	71,2	4,524	63,7	92,6
9	3,538	51,2	67,4	4,825	69,3	91,9
Medios ($n = 3$)	3,423 (296)	47,4 (5,4)	68,5 (5,5)	4,727 (214)	65,7 (6,3)	90,6 (4,1)
Delanteros ($n = 3$)	3,688 (212)	49,0 (6,7)	73,8 (3,8)	4,847 (165)	64,4 (9,5)	97,2 (2,8)
Defensas ($n = 3$)	3,661 (264)	49,2 (1,9)	72,6 (1,9)	4,918 (447)	66,4 (2,8)	93,1 (1,4)
Global ($n = 9$)	3,591 (258)	48,5 (4,5)	70,7 (5,0)	4,830 (274)	65,5 (5,9)	93,6 (3,8)

Los resultados son \bar{x} , (s)

Tabla 1

Valores medios y máximos (pico) del consumo de oxígeno estimado (absoluto y relativo) durante la competición oficial, individualmente y según sus posiciones tácticas.

	FC (lat·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
Valores máximos en laboratorio			
Prueba de esfuerzo (n = 7)	187 (8,0) 175-198	4,339 (273) 4,000-4,690	56,9 (4,5) 50,2-65,4
Valores medios estimados en competición			
Competición (estimada) (n = 7)	156 (8,7) 141-165	3,328 (522) 1,241-4,468	43,7 (7,74) 14,9-62,7
Valores medios reales en competición			
Competición (real)* (n = 7)	156 (8,7) 141-165	2,474 (565) 705-3,869	33,5 (6,1) 25,6-42,1
Los resultados son \bar{x} , (s) y max-min			
* Medición telemétrica del $\dot{V}O_2$. Obsérvese que las FC corresponden a las utilizadas para la estimación del $\dot{V}O_2$.			

Tabla 2

Frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno estimado y real en la prueba de esfuerzo en cinta rodante, y durante dos partidos amistosos de hockey hierba.

del 95 %, dichas diferencias entre el consumo real y estimado se cifran entre 812 y 893 mL·min⁻¹ ($P > 0,001$). La estimación específica reveló una mayor correlación entre el consumo de oxígeno real y estimado ($r = 0,85$) y una diferencia media de 4 mL·min⁻¹ ($sd = 537$), siendo el error estándar de la estimación (250 mL·min⁻¹) del 10 % sobre el consumo de oxígeno real (figura 1). El intervalo de confianza (95 %) de las diferencias entre valores estimados y reales se encuentra entre 46 y 55 mL·kg⁻¹·min⁻¹.

La tabla 2 nos muestra los valores de FC y consumo de oxígeno registrados en la prueba de esfuerzo y en los partidos amistosos de entrenamiento con analizador telemétrico, así como la estimación del $\dot{V}O_2$ durante los mismos. La media del consumo máximo de los jugadores, es un claro indicador del alto nivel de potencia aeróbica máxima de los jugadores (56,9 mL·kg⁻¹·min⁻¹).

Con la intención de determinar la validez del método indirecto, seguimos tres estrategias de análisis de la relación existente entre el consumo de oxígeno real y el estimado: en primer lugar se determinó la correlación entre los valores reales y estimados, en segundo lugar se comprobó que los valores estimados no eran iguales a los reales, y finalmente se cuantificaron las diferencias entre los valores estimados y el consumo medido teleméricamente.

Realizados los cálculos en todos los sujetos, se procedió a la estimación del consumo de oxígeno en los partidos de competición amistosa. Los resultados medios extraídos de la valoración indirecta muestran una

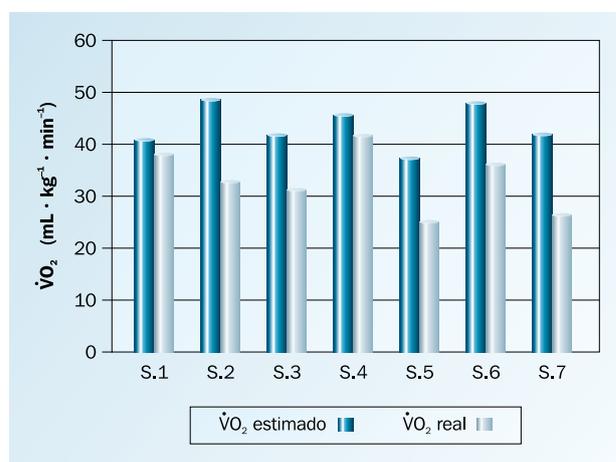


Figura 1

Comparación de las medias del consumo de oxígeno estimado y real en competición amistosa (n = 7).

tendencia en todos los sujetos a la sobreestimación del consumo de oxígeno en la utilización del método indirecto (figura 1).

Posteriormente, se llevó a cabo un nuevo proceso de validación, que llamaremos específica. En dicho cálculo se emplearon los mismos valores de FC registrados con el K2-Cosmed durante la realización de los partidos de competición amistosa. De este modo se obtuvieron resultados más ajustados a los valores de consumo de oxígeno real. Las ecuaciones de regresión, así como la graficación de las rectas entre el consumo real y estimado en este proceso de validación específica pueden

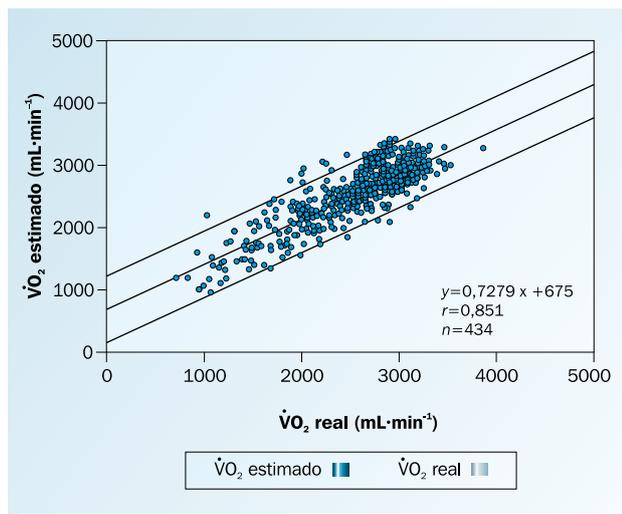


Figura 2

Correlación de los valores de consumo de oxígeno real y estimado en la globalidad de los siete sujetos. Se indica la recta y ecuación de regresión lineal, así como el intervalo de confianza del 95%.

observarse en la *figura 2*. Esta segunda estimación específica reveló una mayor correlación entre $\dot{V}O_2$ real y estimado ($r = 0,854$) y una diferencia media con el $\dot{V}O_2$ real de $4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($s = 537$), siendo el error estándar de la estimación ($250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) del 10 % sobre el $\dot{V}O_2$ real. El intervalo de confianza (95 %) de las diferencias determinado en el análisis de los 434 relaciones de valores estimados y reales de consumo de oxígeno se encuentra entre 46 y $55 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

Discusión

La muestra de sujetos puede considerarse como perteneciente a la élite que participa habitualmente en competiciones de hockey sobre hierba artificial. El nivel de los jugadores estudiados es muy homogéneo, habiendo participado todos en competiciones internacionales con la Selección Nacional Española de hockey hierba, así como en competiciones internacionales de clubs (Copa de Europa y Recopa). Cinco de los jugadores participaron también en los Juegos Olímpicos de la XXV y XXVI Olimpiada (Barcelona 1992, y Atlanta 1996). En la misma nos encontramos con jugadores de las tres posiciones tácticas: delanteros, medios y defensas.

En este estudio, se registro directamente el consumo del $\dot{V}O_2$ en competición por telemetría. Dicho trabajo fue realizado por primera vez a nivel nacional y posiblemente a nivel internacional, según la bibliografía consultada.

La valoración directa es, hoy en día, inviable en el hockey hierba durante la competición real.

En base a los cálculos de estimación, observamos que los jugadores de hockey hierba consumen una media de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ de oxígeno, que en términos absolutos representaría un consumo de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, correspondiente al 70,7 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (tabla 1). Dichos valores son similares a los descritos en un estudio previo realizado por Boyle (1994), quien obtuvo valores medios estimados de $48,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (77,9 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$). En base a los resultados obtenidos, se observa que no hay diferencias significativas entre líneas ($P > 0,05$): los defensas presentan un consumo de oxígeno medio de $49,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (72,6 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$), los medios de $47,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (68,5 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$), y los delanteros de $49 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (73,8 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$).

La utilización de diferentes grupos musculares durante la competición –extremidades inferiores en los desplazamientos, extremidades superiores en el uso del stick y una gran intervención del tronco en la todas las acciones–, la intensidad de las mismas y la elevada carga emocional de la competición real, hacen que los jugadores de hockey hierba trabajen la mayoría del tiempo en condiciones sub-máximas pero de intensidad elevada, considerando que los picos de $\dot{V}O_{2\text{max}}$ alcanzan valores medios de $65,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, que corresponden al 93,6 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (tabla 1).

Los niveles de consumo de oxígeno en competición fueron analizados registrando el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ estimado en dos partidos de competición oficial, obteniéndose valores estimados que oscilan entre 58 y $75 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (correspondientes al 86 y 98 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$, respectivamente), lo que confirma el importante grado de sollicitación aeróbica del hockey hierba en competición.

La semejanza de los valores de consumo de oxígeno en competición con los registrados en el laboratorio coinciden con los resultados de Ekblom (1986) en jugadores de fútbol. En este mismo deporte, hay autores (Vogelaere y cols., 1985) que no comparten el criterio de validez de la utilización de la FC como variable para la valoración indirecta del consumo de oxígeno, al considerar variables extrañas, como el estrés o la temperatura, que pueden influenciar la estimación. El fútbol, definido como actividad física de carácter discontinuo e intermitente con alternancia de períodos de trabajo y reposo relativo (Ekblom 1986, Rodríguez y cols., 1996,1998), puede compararse al hockey hierba ya que coinciden en la intermitencia, variabilidad y magnitud de las demandas metabólicas durante la competición. Así,

en ambos deportes, en que los esfuerzos intensos alternan con tiempos de pausa incompletas o de acciones de mayor predominio aeróbico, se verían implicados también el metabolismo aláctico y láctico en la ejecución de las acciones explosivas (arrancar, frenar, acelerar, reaccionar, etc.). La valoración directa del consumo de oxígeno mediante un analizador telemétrico permitió dos interesantes vías de estudio: por un lado pudo valorarse el consumo de oxígeno en situación competitiva directamente por primera vez en la literatura relativa al hockey hierba; y por otro, abrió la posibilidad de estudiar la validez del método indirecto empleado en otras investigaciones.

Los registros reales de consumo de oxígeno en los partidos amistosos de entrenamiento ($\bar{x} = 33,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) resultaron netamente inferiores a los estimados en competición ($\bar{x} = 48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Los valores extremos registrados no fueron tan elevados, situándose entre 25,6 y 42,1 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, lo que representaba una intensidad media de trabajo del 58,9 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$.

En relación a los niveles máximos de consumo de oxígeno registrados en los partidos, se registraron valores del 81,4 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (entre el 70,4 y 101 %)

similares a los descritos en la literatura para diferentes deportes de equipo como el fútbol (80 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$: Tranquilli y cols., 1992; 69-102 del $\dot{V}O_{2\text{max}}$: Rodríguez y cols., 1995a; Rodríguez e Iglesias 1997, 1998), el baloncesto (70 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$: Tranquilli y cols., 1992), el voleibol (50 al 60 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$: Tranquilli y cols., 1992), el hockey hierba (90,6 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$: Silla y Rodríguez, 1995) o el hockey sobre patines (83 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$: Rodríguez e Iglesias, 1995b).

Por otro lado, en el presente estudio los resultados obtenidos demuestran una evidente sobreestimación del consumo de oxígeno en la aplicación del método de valoración indirecta. Como se puede apreciar en el esquema de la *figura 3*:

- En primer lugar se realizó el proceso de estimación del consumo de oxígeno en los partidos amistosos de entrenamiento (C. Egara - E.H.C), utilizando la ecuación FC- $\dot{V}O_2$ resultante de la prueba de esfuerzo, y aplicándola a los registros de FC registrados con el K-2 durante los partidos (estimación general). Todos los sujetos de la muestra

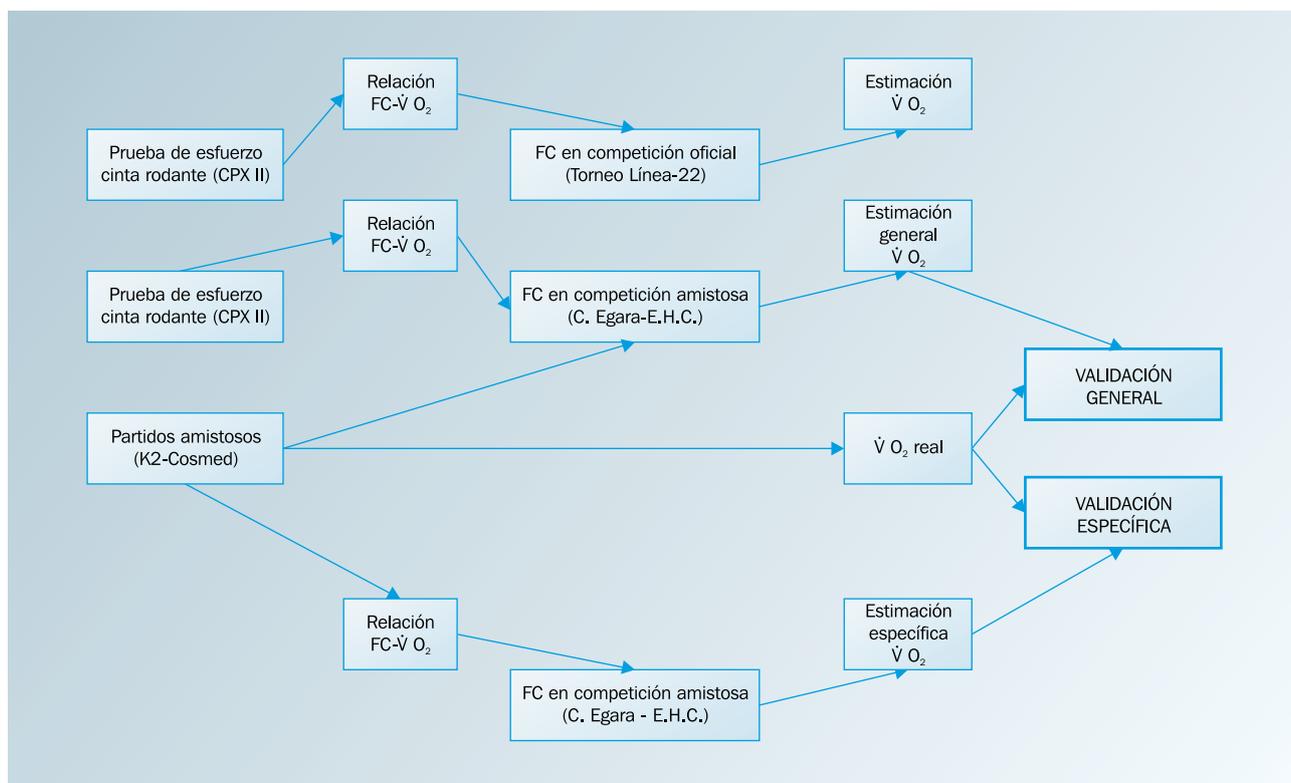


Figura 3

Esquema de los diferentes estudios de estimación del consumo de oxígeno y validación del método relacionados en el presente trabajo.

presentaron niveles inferiores del $\dot{V}O_2$ en los registros directos –reales– en relación a los estimados. El error estándar de la estimación fue del 15 % ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) de los valores reales. Los resultados obtenidos en competición amistosa y expuestos en la validación del método de estimación del consumo de oxígeno, nos dan una diferencia significativa en la validación indirecta del consumo de oxígeno sobre el consumo real, con medias de $3,328 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ y $2,475 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ respectivamente (ver tabla 2). La cuantificación de la sobreestimación por el método indirecto en los 7 sujetos fue de $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, es decir una sobreestimación media del 34 % sobre los valores reales, lo cual limita las conclusiones sobre las que se pueden llegar en el análisis de los datos basados en la estimación.

- En segundo lugar, y una vez analizados los datos de la primera estimación, decidimos aplicar el mismo método utilizando la relación FC- $\dot{V}O_2$ registrada en los mismos partidos amistosos de entrenamiento, para poder calcular la ecuación de regresión entre ambos valores y aplicarla a los registros de FC (estimación específica). Siguiendo el mismo proceso que en la estimación general, cuantificamos las diferencias existentes entre el consumo real y el estimado en los partidos amistosos, obteniéndose valores medios coincidentes. Este segundo método de valoración mejora radicalmente la estimación del consumo de oxígeno y, por tanto, podrá ser objeto de un análisis más puntual en futuras investigaciones. Así, podría diseñarse un protocolo de trabajo específico que sustituya o perfeccione la prueba de esfuerzo, o más concretamente, la relación FC- $\dot{V}O_2$ derivada de ésta.

El análisis puso de manifiesto diferencias muy significativas ($P < 0,0005$) en la comparación de la totalidad de los registros estimados y reales para los 434 pares de valores. La comprobación estadística de las diferencias, así como la cuantificación de la sobreestimación nos obligó a analizar caso por caso la relación existente entre los valores reales y estimados, encontrando altos niveles de significación de ($P < 0,001$) y correlaciones entre los valores reales y estimados de consumo de oxígeno de $r = 0,72$ y $r = 0,90$

Conclusiones

Los resultados son congruentes con estudios previos en los cuales la FC en competición en la estimación del

consumo de oxígeno máximo en partidos de entrenamiento de fútbol (Rodríguez e Iglesias, 1998). De hecho en este estudio la sobre estimación es bastante grande (34 % en hockey hierba vs 13 % en fútbol), y también es drásticamente reducida cuando la estimación esta basada en la actividad específica (10 %). Esto nos mantiene la hipótesis que una gran parte de la sobreestimación esta relacionada con las diferencias en el ejercicio realizado para determinar la regresión lineal individual entre la FC y el consumo de oxígeno máximo. Por todo ello concluimos observando las siguientes conclusiones:

- El consumo de oxígeno medio estimado durante las partes de un partido de competición oficial de hockey hierba fue de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, correspondiente a un consumo de oxígeno relativo de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ individual). Estos resultados son similares a los partidos de competición que se estimó en 259 L de media. No se apreciaron diferencias significativas entre demarcaciones ($P > 0,05$).
- Los parámetros registrados en la prueba de esfuerzo, así como los resultantes de los registros de frecuencia cardiaca y de la estimación del consumo de oxígeno en competición oficial, nos llevan a considerar como muy relevante la contribución del metabolismo aeróbico en las competiciones de hockey hierba.
- El consumo de oxígeno medio –medido por telemetría– en partidos amistosos de entrenamiento resultó netamente inferior ($\bar{x} = 33,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 58,9 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$) al estimado en competición oficial. Dichas diferencias en los consumos de oxígeno medios y máximos se debieron, probablemente, a factores emocionales –ausentes en los partidos amistosos de entrenamiento–, a la impedimenta implicada en la medición telemétrica y a la sobreestimación del método indirecto.
- Todos los sujetos de la muestra presentaron niveles inferiores de $\dot{V}O_2$ en los registros directos –telemétricos–, en relación a los obtenidos mediante la estimación general, con un error estándar de la estimación del 15 % ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$). La sobreestimación del consumo de oxígeno fue del 34 % sobre los valores reales, medidos por telemetría.
- La estimación del consumo de oxígeno en base a la relación entre frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno en la prueba de esfuerzo en el laboratorio (estimación general) significó una mayor sobreestimación que la derivada de la estimación en base a los registros durante la propia actividad compe-

titiva (estimación específica). Por tanto, el método telemétrico de estimación basado en la relación $FC \cdot \dot{V}O_2$ durante la actividad específica –situación de juego real– mejora sustancialmente la estimación del consumo de oxígeno y, por tanto, podrá ser objeto de un análisis más detallado en futuras investigaciones.

Bibliografía

- Boyle, P. M.; Mahoney, C. A. y Wallace, W. F. M. (1994). The competitive demands of elite male field hockey. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 34(3):235-24.
- Cucullo, J. M.; Terreros, J. L.; Layus, F. y Quílez, J. (1987). Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo del $\dot{V}O_{2max}$ en ciclistas. *Apunts Medicina de l'Esport* 93:157-162.
- Dal Monte, A. (1983). *La valutazione funzionale dell'atleta*. Firenze: Sansoni.
- Dal Monte, A.; Lupo, S.; Seriacopi, D. y Pigozzi, F. (1989). Maximum oxygen consumption by telemetry. *Rivista di Cultura Sportiva* 15:3-12.
- Dal Monte y cols. (1989). Maximum oxygen consumption by telemetry. *Rivista di Cultura Sportiva* 15:3-12.
- Di Prampero, P. E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 89:143-222.
- Eklblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine* 3:50-60.
- Faccini, P.; Faina, M.; Scarpellini, E. y Dal Monte, A. (1989). Il costo energetico nel tennistavolo. *Rivista di Cultura Sportiva* 17:38-42.
- Faina, M.; Gallozzi, C.; Marini, C.; Colli, R. y Fanton, F. (1989). Energy cost of several sport disciplines by miniaturized telemetric O_2 intake measurement. Colorado Springs: *IOC World Congress on Sport Sciences* 38:1-2.
- Fox, E. L.; Bowers, R. W. y Foss, M. L. (1989). The physiological basis of physical education and athletics. Dubuque: Brown Publishers.
- Iglesias, X.; Rodríguez, F. A. (1991b). Physiological testing and profiling of elite fencers. *Proceedings Second IOC World Congress on Sport Sciences. International Olympic Committee*. Barcelona: COOB'92, pp. 142-143.
- Iglesias, X. y Rodríguez, F. A. (1995). Caracterización de la frecuencia cardíaca y la lactatemia en esgrimistas durante la competición. *Apunts Medicina de l'Esport* 123:21-23.
- Kawakami y cols. (1992). Reliability of measurement of oxygen uptake by portable telemetric system. *Eur J Appl Physiol* 65:409-14.
- Lucia y cols. (1993). Validity and reability of the Cosmed k2 instrument. *Int J Sports Med* 14:380-386.
- Montoye, H. J.; Kemper, H. C. G.; Saris, W. H. M. y Washburn, R. A. (1996). Measuring physical activity and energy expenditure. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Pinnington, H.; Dawson, B. y Blanksby, B. A. (1987). Cardiorespiratory responses of water polo players performing the head-in-the-water and the head-out-the-water front crawl swimming technique. *The Australian Journal of Science and Medicine in Sport*: 15-19.
- Pinnigton, H.; Dawson, B. y Blanksby, B. A. (1988). Heart rate responses and the estimated energy requirements of playing water polo. *Journal of Human Movement Studies* 15:101-118.
- (1990). The energy requirements of water polo. En J. Draper (ed), *Third report on the National Sports Research*. Program July 1988 – June 1990, p. 36.
- Reilly, T. y Thomas, V. (1979). Estimated energy expenditure of professional association footballers. *Ergonomics* 22:541-548.
- Reilly, T. y Bretherton, S. (1984). *Multivariate analysis of fitness of female field hockey players*. England: Liverpool Polytechnic, pp. 135-141.
- Reilly, T. y Seaton, A. (1990). Physiological strain unique to field hockey. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 30(2):142-146.
- Reilly, T. y Borrie, A. (1992). Physiology applied to field hockey. *Sports Medicine* 14(1):10-25.
- Rodríguez, F. A. (1989). Fisiología y valoración funcional y deporte de alto rendimiento. *Apunts. Educación Física y Deportes* (15), 48-56.
- Rodríguez, F. A. y Aragonés, M. T. (1992). Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. En J. González (ed.), *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill, pp 237-278.
- Rodríguez, F. A. e Iglesias, X. (1995a). Consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca durante el juego en hockey sobre patines. *Libro de resúmenes, 8th Fims European Sports Medicine Congress*. Granada, p. 58.
- Rodríguez, F. A.; Iglesias, X. y Artero, V. (1995b). Consumo de oxígeno durante el juego en futbolistas profesionales y aficionados. *Libro de resúmenes, 8th Fims European Sports Medicine Congress, Granada*. p. 119.
- Rodríguez, F. A.; Iglesias, X. y Tapiolas, J. (1995d). Gasto energético y valoración metabólica en el fútbol. *Jornadas Internacionales de Medicina y Fútbol (Premundial 94)*. Vitoria/Gasteiz: SHEE/IVEF, pp. 47-46.
- Rodríguez, F. A. e Iglesias, X. (1997). The energy cost of soccer: telemetric oxygen uptake measurements versus heart-rate $\dot{V}O_2$ estimations. *Book of Abstracts, Second Annual Congress of the European College of Sport Science*. Copenhagen: ECSS, pp. 322-323.
- Rodríguez, FA, Iglesias X (1998). The energy cost of soccer: telemetric oxygen uptake measurements versus heart rate- $\dot{V}O_2$ estimations. *Journal of Sports Sciences* 16(5):484-485.
- Rodríguez, F. A.; Iglesias, X.; Marina, M. y Fadó, C. (1998a). Physiological demands of elite competitive aerobic. *Journal of Sports Sciences* 16(5):510-511.
- Silla, D. (1988). Las cualidades físicas en el hockey sobre hierba. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2(4):33-39.
- Silla D. y Rodríguez, F. A. (1995). Demandas cardiorrespiratorias y metabólicas de la competición de hockey sobre hierba de alto nivel. *Libro de resúmenes, 8th Fims European Sports Medicine Congress*. Granada, p. 59.
- Silla, D. (1999). Capacidad Física y Valoración Funcional del jugador de hockey hierba. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, INEFC.
- Silla, D. y Rodríguez, F. A. (2000). 5th Annual Congress of the ECSS. Jyväskylä, p. 680.
- (2004) 8th Annual Congress of the ECSS. Clermont – Ferrand, France.
- Tranquilli, C.; Llardi, M.; Colli, R. y Grossi, A. (1992). Aspetti metabolici e nutrizionali nell'allenamento degli sport di squadra. *Rivista di Cultura Sportiva* 24:10-16.
- Vogelaere, P.; Balagué, N. y Martínez, M. (1985). Fútbol: una aproximación fisiológica. *Apunts Medicina de l'Esport* 86:103-107.
- Wasserman, K.; Beaver, W. L.; Whipp, B. J.; Koyal, S. N. y Beaver, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35:236-243.
- Wasserman, K. (1989). Determinants i detecció del llindar anaeròbic i conseqüències de la realització d'exercici per damunt del llindar anaeròbic. Informació Tècnica y Científica -Fisiologia-. Esplugas de Llobregat. Secretaria General de l'Esport, Generalitat de Catalunya.