

Mesurament telemètric de la freqüència cardíaca i el consum d'oxigen en competició amistosa

DIEGO SILLA CASCALES

Doctor en Ciències de l'Educació.

Llicenciat en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport.

Coordinador de la preparació física del Club Ègara. Professor de Hoquei Herba.

Departament d'Esports Col·lectius. INEFC Barcelona

FERRAN A. RODRÍGUEZ GUIADO

Doctor en Medicina i Cirurgia.

Llicenciat en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.

Catedràtic del Departament de Ciències Biomèdiques.

INEFC Barcelona

Resum

L'objectiu d'aquest estudi va ser mesurar el consum d'oxigen directament per telemetria, en situació real de joc, calculant la despesa energètica corresponent, i comparar aquests valors amb els obtinguts mitjançant la relació entre la freqüència cardíaca i el consum d'oxigen establerta en una prova progressiva en cinta rodant al laboratori. Van participar en l'estudi un total de set jugadors ($n = 7$), triats per línies de joc: tres davanters, dos mitjos i dos defenses. Els set jugadors han estat internacionals sub-21 i quatre també ho han estat amb la selecció nacional absoluta. La mitjana de consum màxim d'oxigen obtingut en la mostra de jugadors va ser de $4,339 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ($56,9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). No es van observar diferències significatives entre les tres posicions tàctiques. Hi ha una elevada correlació entre els valors de freqüència cardíaca i de consum d'oxigen en les proves d'esforç progressiu sobre cinta rodant al laboratori $r = 0,97$ i $r = 0,99$. Durant la competició oficial, la freqüència cardíaca va estar una mitjana del 50 % del temps de joc per sota del llindar aeròbic ventilatori i un 43 % del temps a la zona de transició aeròbic-anaeròbic. El consum d'oxigen mitjà estimat durant les parts d'un partit de competició oficial, va ser de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, corresponent a un consum relatiu de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % del $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ individual). A l'anàlisi de l'estudi de correlació lineal entre valors reals i estimats de consum d'oxigen en cadascun dels jugadors, els coeficients de correlació de Pearson calculats es trobaven entre els valors de $r = 0,721$ i $r = 0,904$. La quantificació de la sobreestimació ofereix valors de $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ de mitjana (34 % de sobreestimació sobre el $\dot{V}\text{O}_{2\text{ real}}$), i l'error estàndard de l'estimació ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) és d'un 15 % sobre el $\dot{V}\text{O}_{2\text{ real}}$; amb un marge de confiança del 95 %, aquestes diferències entre el consum real i l'estimat es xifren entre 812 i $893 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($P > 0,001$). L'estimació específica va revelar més correlació entre el consum d'oxigen real i l'estimat ($r = 0,85$) i una diferència mitjana de $4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($sd = 537$), i l'error estàndard de l'estimació ($250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) fou del 10 % sobre el consum d'oxigen real.

Paraules clau

Despesa energètica, Consum d'oxigen estimat, FC – Freqüència cardíaca, Llindar aeròbic – anaeròbic, Sobreestimació.

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 $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$). 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 $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ (34 % overestimation on the real $\dot{V}\text{O}_{2\text{ real}}$), being the standard error of the estimate ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) of 15% on the real $\dot{V}\text{O}_{2\text{ real}}$; 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.

Introducció

El nostre coneixement de les demandes fisiològiques dels esports intermitents (amb alternança aeròbica – anaeròbica) és molt menor en comparació amb els esports continus i/o cíclics. L'hoquei herba està experimentant un procés de modernització en què, tant els sistemes de competició com el material específic i els camps de joc, estan afectats per una evolució i unes modificacions constants. L'existència d'aquests canvis fa necessari que se'n faci una valoració científica que acosti els tècnics al coneixement de la influència que tenen sobre la sol·licitació funcional dels jugadors, d'acord amb la posició que ocupen al camp (davanters, defenses, mitjos). Els esports de situació, com l'hoquei herba i altres esports intermitents, presenten moltes dificultats per establir-ne el cost energètic. Hi ha pocs estudis basats en l'estimació de la despesa energètica en competició (Boyle i col., 1994), o sobre l'increment de la despesa energètica quan es realitzen accions tècniques, com ara el driblatge (Reilly i Seaton, 1990), on l'estimació del consum d'oxigen en competició real s'obté a partir de les dades de FC en competició amb les dades de laboratori en un test progressiu en cinta rodant (Iglesias i Rodríguez, 1999). La mitjana del consum d'oxigen màxim i FC, mitjançant telemetria portàtil també ha estat aplicada recentment en estudis d'investigació sobre el cost energètic d'activitats esportives de caràcter intermitent (Rodríguez i Iglesias 1988, Rodríguez i col., 1998). En aquest estudi es presenta el mesurament del consum d'oxigen directament per telemetria en situació real de joc (partits amistosos entre el Club Ègara de la Divisió d'Honor i l'IHC de 1a. Divisió), i la comparació d'aquests valors amb els obtinguts mitjançant la relació entre la freqüència cardíaca i el consum d'oxigen establert en laboratori.

Objectius

Els objectius principals d'aquest estudi van ser:

- Mesurar el consum d'oxigen directament per telemetria en situació real de joc i calcular la despesa energètica corresponent.
- Comparar aquests valors amb els obtinguts mitjançant la relació entre la freqüència cardíaca i el consum d'oxigen establert en una prova progressiva en cinta rodant al laboratori.

Material i mètodes

Subjectes

Van participar a l'estudi un total de set jugadors ($n = 7$), triats per línies de joc: tres davanters, dos mitjos i dos defenses. Els set jugadors han estat internacionals sub-21 i quatre també ho han estat amb la selecció nacional absoluta. La major part dels jugadors estaven habituats a realitzar proves d'esforç, com valoracions telemètriques de la freqüència cardíaca.

Material

El consum d'oxigen directe es va determinar mitjançant un analitzador telemètric de gasos respiratori portàtil (K2-Cosmed, Itàlia). El K2-Cosmed és un sistema d'anàlisi de gasos telemètric miniaturitzat que permet de mesurar el consum d'oxigen sobre el terreny esportiu. Aquest aparell registra, mesura i calcula els paràmetres següents: volum minut ventilatori, freqüència respiratòria, consum d'oxigen, freqüència cardíaca i d'altres paràmetres derivats. El portàtil K2 no excedeix dels 800 g de pes total i es compon d'una unitat emissora on es troba un sensor paramagnètic d'O₂, connectat a una bateria, i a un emissor telemètric, subjectat amb un sistema de cintes graduables al tòrax del subjecte. L'aparell es complementa amb una màscara respiratòria, fixada al cap del subjecte, a la qual s'adjunta una turbina que registra els fluxos ventilatoris. Dues antenes, una connectada a l'emissor i l'altra al receptor, permetien la transmissió del senyal a la unitat receptora fins a 400 m de distància. Els paràmetres ventilatoris van ser registrats en intervals de 15 segons. El consum d'oxigen al laboratori es va determinar mitjançant una prova d'esforç realitzada sobre cinta rodant (Woodway, RFA), utilitzant un ergoespiròmetre de circuit obert del tipus "breath by breath" (CPX II; Medical Graphics, USA), i durant els quinze dies posteriors a la competició; es va calcular la regressió lineal individual resultant de la relació de valors de freqüència cardíaca i consum d'oxigen en la prova d'esforç.

Mètode

Definició de termes

Per arribar a una interpretació correcta dels resultats cal conèixer el sistema de competició utilitzat en els dos partits en què han estat estudiats els subjectes. Les valoracions indirectes es van dur a terme al "Tor-

neig línia 22" (1992). La competició va ser organitzada en dues eliminatòries, amb la participació de quatre equips; la superació de la primera eliminatòria donava pas a la final. La valoració directa va ser realitzada en dos partits d'entrenament del Club Ègara de la Divisió d'Honor contra l'Ègara 1935 de Primera Divisió. Els partits es van jugar en horari d'entrenament (20,30 a 22 hores) i en el període de transició de la temporada 1994-95.

Valoració al laboratori

La primera fase de l'estudi va consistir en la determinació del consum d'oxigen al laboratori, mitjançant una prova ergomètrica màxima, progressiva i triangular sobre cinta rodant i amb un increment de $2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ cada minut, amb una velocitat inicial de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ i un pendent constant del 5 % (Rodríguez, 1991). La velocitat inicial era mantinguda durant 4 minuts, per aconseguir l'adaptació cardiorespiratòria i metabòlica a l'esforç (escalfament i adaptació a l'ergòmetre). L'objectiu de la prova era doble: d'una banda calcular el $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ i els diferents paràmetres ergoespiromètrics de cada jugador, i d'altra banda, el càlcul de l'equació de regressió lineal $\dot{V}\text{O}_2 = a + b(FC)$, resultant de la relació entre els valors de freqüència cardíaca i consum d'oxigen de cadascun dels subjectes durant la prova d'esforç. Un cop finalitzada la quarta fase (valoració indirecta), el consum màxim d'oxigen servirà per valorar la intensitat metabòlica dels jugadors d'hoquei herba en competició. Els subjectes van realitzar les proves d'esforç durant els 15 dies posteriors a la competició. Amb aquest curt marge temporal es pretenia que cap d'ells no modifiqués el seu nivell de condició física, cosa que podria comportar una relació $FC-\dot{V}\text{O}_2$ en competició diferent a la determinada a la prova d'esforç. Tots els jugadors van ser sotmesos també a un estudi cineantropomètric per tal d'establir-ne les principals característiques morfològiques.

Caracterització del consum d'oxigen en competició simulada (mesurament directe)

En la preparació del projecte i en l'elaboració dels primers estudis ens vam proposar, com un dels principals objectius, determinar la rellevància del metabolisme oxidatiu a l'hoquei. Els estudis de la bibliografia es limitaven a suposar-ne la importància sobre la base dels resultats de jugadors en proves d'esforç inespecífiques, realitzades al laboratori. Aquestes circumstàncies ens van induir a realitzar un estudi d'estimació indirecta del

consum d'oxigen sobre la base de la relació existent entre la FC i el $\dot{V}\text{O}_2$ en exercicis de llarga durada, segons les propostes d'alguns autors (Reilly i Thomas, 1979; Di Prampero, 1981; Pinnington, 1988, 1990; Cucullo i col., 1987; Rodríguez i col., 1995; Rodríguez i Iglesias, 1995; Rodríguez i col., 1995). Aquest treball es va iniciar l'any 1991, amb el K2-Cosmed, un aparell portàtil, de només 800 g de pes, que permet de valorar el consum d'oxigen de forma directa per telemetria amb un alt grau de validesa i fiabilitat (Dal Monte i col., 1989; Kawakami i col., 1992; Lucia i col., 1993). El mètode utilitzat va ser establert en funció del desenvolupament del joc, de manera que cada 15 minuts diversos jugadors es van alternar en l'ús del sistema portàtil d'anàlisi de gasos; el canvi es realitzava en el mínim de temps possible (5 min), i aprofitant que el reglament permet de fer un nombre indeterminat de canvis durant la competició. Vam valorar que amb 15 min de registre per cada jugador seria possible d'obtenir registres directes de 4 jugadors en un partit. La temperatura ambiental va ser de 5°C el primer dia i de 8°C el segon. La humitat relativa va ser del 55 % el primer dia i del 71 % el segon. La pressió baromètrica va ser de 733 mmHg i 740 mmHg, respectivament. Els partits es van jugar al camp d'hoquei herba del Club Ègara (herba artificial) i van començar a les 20,30 hores. El calibratge de la turbina del K2-Cosmed es va estabilitzar en totes els mesuraments per a un FiO_2 del 20,9 %, un cop introduïts els paràmetres ambientals (temperatura i pressió baromètrica).

Mètode estadístic

Es va calcular la mitjana ($\bar{x}$), la desviació estàndard (s) i els valors extrems (màx i mín) de les diferents variables avaluades durant l'estudi. Les descripcions de les diferents variables es presenten a les taules. La valoració directa va ser realitzada en dos partits de competició amistosa, en període transitori, es van comparar els resultats amb l'estimació indirecta del consum d'oxigen en competició real (valoració general), i es va relacionar el consum d'oxigen i FC de laboratori per tal d'estimar els valors de consum d'oxigen en condicions de competició. Es va utilitzar la prova t de Student per a dades aparellades per tal de comparar les mitjanes de dades reals i estimades, estudiant prèviament la normalitat de les distribucions amb la prova de Kolmogorov-Smirnov. Es va calcular el coeficient de correlació de Pearson, l'equació de regressió lineal, i l'error estàndard de l'estimació (SEE).

Resultats

La mitjana de consum màxim d'oxigen obtinguda en la mostra de jugadors va ser de $5,14 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ($68,6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). No es van observar diferències significatives entre les tres posicions tàctiques. Hi ha una elevada correlació entre els valors de freqüència cardíaca i de consum d'oxigen en les proves d'esforç progressiu sobre cinta rodant al laboratori $r = 0,97$ i $r = 0,99$. Durant la competició oficial, la freqüència cardíaca va estar una mitjana del 50 % del temps de joc per sota del llindar aeròbic ventilatori i un 43 % del temps a la zona de transició aeròbica-anaeròbica.

A la *taula 1*, tenim el consum d'oxigen mitjà estimat durant les parts d'un partit de competició oficial, que va ser de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ corresponent a un consum relatiu de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ individual). A l'anàlisi de l'estudi de correlació lineal entre valors reals i estimats de consum d'oxigen en cadascun dels jugadors, els coeficients de correlació de Pearson calculats es trobaven entre els valors de $r = 0,721$ i $r = 0,904$. La quantificació de la sobreestimació ofereix valors de $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ de mitjana (34 % de sobreestimació sobre el $\dot{V}\text{O}_2$ real), i l'error estàndard de l'estimació ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) és d'un 15 % sobre el $\dot{V}\text{O}_2$

Subjectes	$\dot{V}\text{O}_2$ mitjà estimat			$\dot{V}\text{O}_2$ pic estimat		
	$\dot{V}\text{O}_2$ mitjà ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}\text{O}_2$ relatiu mitjà ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}\text{O}_2$ max (%)	$\dot{V}\text{O}_2$ pic ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}\text{O}_2$ relatiu pic ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}\text{O}_2$ 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
Mitjos	3,423	47,4	68,5	4,727	65,7	90,6
(n = 3)	(296)	(5,4)	(5,5)	(214)	(6,3)	(4,1)
Davanters	3,688	49,0	73,8	4,847	64,4	97,2
(n = 3)	(212)	(6,7)	(3,8)	(165)	(9,5)	(2,8)
Defenses	3,661	49,2	72,6	4,918	66,4	93,1
(n = 3)	(264)	(1,9)	(1,9)	(447)	(2,8)	(1,4)
Global	3,591	48,5	70,7	4,830	65,5	93,6
(n = 9)	(258)	(4,5)	(5,0)	(274)	(5,9)	(3,8)

Els resultats són $\bar{x}$, (s)

Taula 1

Valors mitjans i màxims (pic) del consum d'oxigen estimat (absolut i relatiu) durant la competició oficial, individualment i segons les seves posicions tàctiques.

	FC (lat·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
Valors màxims al laboratori			
Prova d'esforç (n = 7)	187 (8,0) 175-198	4,339 (273) 4,000-4,690	56,9 (4,5) 50,2-65,4
Valors mitjans estimats en competició			
Competició (estimada) (n = 7)	156 (8,7) 141-165	3,328 (522) 1,241-4,468	43,7 (7,74) 14,9-62,7
Valors mitjans reals en competició			
Competició (real)* (n = 7)	156 (8,7) 141-165	2,474 (565) 705-3,869	33,5 (6,1) 25,6-42,1

Els resultats són $\bar{x}$, (s) i max-min
 * Mesurament telemètric del $\dot{V}O_2$. Observeu que les FC corresponen a les utilitzades per a l'estimació del $\dot{V}O_2$.

**Taula 2**

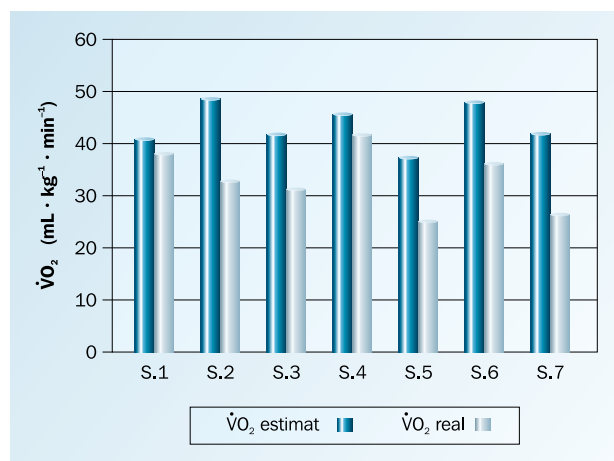
Freqüència cardíaca i consum d'oxigen estimat i real a la prova d'esforç en cinta rodant, i durant dos partits amistosos d'hoquei herba.

real; amb un marge de confiança del 95 %, aquestes diferències entre el consum real i l'estimat es xifren entre 812 i 893 mL·min⁻¹ ($P > 0,001$). L'estimació específica va revelar més correlació entre el consum d'oxigen real i l'estimat ($r = 0,85$) i una diferència mitjana de 4 mL·min⁻¹ ($sd = 537$); i l'error estàndard de l'estimació (250 mL·min⁻¹) és del 10 % sobre el consum d'oxigen real (figura 1). L'interval de confiança (95 %) de les diferències entre valors estimats i reals es troba entre 46 i 55 mL·kg⁻¹·min⁻¹.

La taula 2, ens mostra els valors de FC i consum d'oxigen registrats a la prova d'esforç i als partits amistosos d'entrenament amb analitzador telemètric, i també l'estimació del $\dot{V}O_2$ durant aquests partits. La mitjana del consum màxim dels jugadors és un indicador clar de l'alt nivell de potència aeròbica màxima dels jugadors (56,9 mL·kg⁻¹·min⁻¹).

Amb la intenció de determinar la validesa del mètode indirecte, vam seguir tres estratègies d'anàlisi de la relació existent entre el consum d'oxigen real i l'estimat: en primer lloc, vam determinar la correlació entre els valors reals i els estimats; en segon lloc, vam comprovar que els valors estimats no eren iguals als reals, i finalment, es van quantificar les diferències entre els valors estimats i el consum mesurat telemètricament.

Un cop realitzats els càlculs en tots els subjectes, es va procedir a l'estimació del consum d'oxigen en els partits de competició amistosa. Els resultats mitjans extrets de la valoració indirecta mostren una ten-

**Figura 1**

Comparació de les mitjanes del consum d'oxigen estimat i real en competició amistosa (n = 7).

dència en tots els subjectes a la sobreestimació del consum d'oxigen en la utilització del mètode indirecte (figura 1).

Posteriorment, es va portar a terme un altre procés de validació, que anomenarem específica. En aquest càlcul, es van fer servir els mateixos valors de FC registrats amb el K2-Cosmed durant els partits de competició amistosa. D'aquesta manera, es van obtenir resultats més ajustats als valors de consum d'oxigen real. Les equacions de regressió, igual com la 'graficació' de les rectes entre el consum real i l'estimat en aquest procés de validació específica, es poden obser-

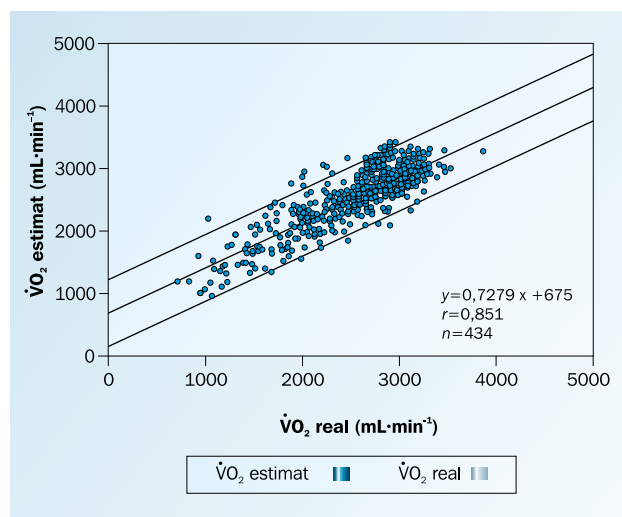


Figura 2

Correlació dels valors de consum d'oxigen real i estimat en la globalitat dels set subjectes. S'hi indica la recta i l'equació de regressió lineal, i també l'interval de confiança del 95 %.

var a la figura 2. Aquesta segona estimació específica va revelar una major correlació entre $\dot{V}O_2$ real i estimat ($r=0,854$) i una diferència mitjana amb el $\dot{V}O_2$ real de $4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ($s=537$), i l'error estàndard de l'estimació ($250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) va ser del 10 % sobre el $\dot{V}O_2$ real. L'interval de confiança (95 %) de les diferències, determinat en l'anàlisi de les 434 relacions de valors estimats i reals de consum d'oxigen es troba entre 46 i $55 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

Discussió

La mostra de subjectes pot ésser considerada com a pertanyent a l'elit que participa habitualment en competicions d'hoquei sobre herba artificial. El nivell dels jugadors estudiats és molt homogeni, ja que tots han participat en competicions internacionals amb la Selecció Nacional Espanyola d'hoquei herba, i també en competicions internacionals de clubs (Copa d'Europa i Recopa). Cinc dels jugadors van participar als Jocs Olímpics de la XXV i XXVI Olimpíada (Barcelona 1992, i Atlanta 1996). Hi trobem jugadors de les tres posicions tàctiques: davanters, mitjos i defenses.

En aquest estudi es va registrar directament el consum del $\dot{V}O_2$ en competició per telemetria. Aquest treball va ser realitzat per primera vegada a nivell nacional i, possiblement, a nivell internacional, segons la bibliografia consultada. La valoració directa és, ara

com ara, inviable a l'hoquei herba durant la competició real.

Sobre la base dels càlculs d'estimació, vam observar que els jugadors d'hoquei herba consumeixen una mitjana de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ d'oxigen, que en termes absoluts representaria un consum de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, corresponent al 70,7 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (taula 1). Aquests valors són semblants als descrits en un estudi previ realitzat per Boyle (1994), el qual va obtenir valors mitjans estimats de $48,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (77,9 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$). Sobre la base dels resultats obtinguts, s'observa que no hi ha diferències significatives entre línies ($P > 0,05$): els defenses presenten un consum d'oxigen mitjà de $49,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (72,6 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$), els mitjos de $47,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (68,5 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$), i els davanters de $49 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (73,8 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$).

La utilització de diferents grups musculars durant la competició –extremitats inferiors en els desplaçaments, extremitats superiors en l'ús de l'estic i una gran intervenció del tronc en totes les accions–, la intensitat d'aquestes i l'elevada càrrega emocional de la competició real, fan que els jugadors d'hoquei herba treballin la major part del temps en condicions submàximes, però d'intensitat elevada; considerem que les puntes de $\dot{V}O_{2\text{max}}$ arriben a valors mitjans de $65,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, que corresponen al 93,6 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (taula 1).

Els nivells de consum d'oxigen en competició van ser analitzats mitjançant el registre del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ estimat, en dos partits de competició oficial, i es van obtenir valors estimats que oscil·len entre 58 i $75 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (corresponents al 86 i 98 % del $\dot{V}O_{2\text{max}}$, respectivament), cosa que confirma l'important grau de sol·licitació aeròbica de l'hoquei herba en competició.

La semblança dels valors del consum d'oxigen en competició amb els registrats al laboratori coincideixen amb els resultats d'Eklom (1986) en jugadors de futbol. Pel que fa a aquest esport, hi ha autors (Vogelaere i col., 1985) que no comparteixen el criteri de validesa de la utilització de la FC com a variable per a la valoració indirecta del consum d'oxigen, en prendre en consideració variables estranyes, com ara l'estrès o la temperatura, que poden influenciar sobre l'estimació. El futbol, definit com a activitat física de caràcter discontinu i intermitent, amb alternança de períodes de treball i de repòs relatiu (Eklom, 1986, Rodríguez i col., 1996, 1998), pot ésser comparat amb l'hoquei herba, atès que coincideixen en la intermitència, variabilitat i magnitud de les demandes metabòliques durant la competició. Per

això, a tots dos esports, com que els esforços intensos alternen amb temps de pausa incomplets o d'accions de major predomini aeròbic, es veurien implicats també el metabolisme alàctic i làctic en l'execució de les accions explosives (arrencar, frenar, accelerar, reaccionar, etc.). La valoració directa del consum d'oxigen mitjançant un analitzador telemètric va possibilitar dues interessants vies d'estudi: d'una banda, es va poder valorar el consum d'oxigen directament en situació competitiva, per primera vegada, en la literatura relativa a l'hoquei herba; i d'una altra, va obrir la possibilitat d'estudiar la validesa del mètode indirecte utilitzat en altres investigacions.

Els registres reals de consum d'oxigen als partits amistosos d'entrenament ($\bar{x} = 33,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) van resultar netament inferiors als estimats en competició ($\bar{x} = 48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Els valors extrems registrats no van ser tan elevats, i se situen entre 25,6 i 42,1 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, cosa que representa una intensitat mitjana de treball del 58,9 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$.

Pel que fa als nivells màxims de consum d'oxigen

registrats als partits, es van trobar valors del 81,4 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ (entre el 70,4 i el 101 %) similars als descrits a la literatura per a diferents esports d'equip, com ara el futbol (80 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$: Tranquilli i col., 1992; 69-102 del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$: Rodríguez i col., 1995a; Rodríguez i Iglesias, 1997, 1998), el bàsquet (70 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$: Tranquilli i col., 1992), el voleibol (50 al 60 % de $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$: Tranquilli i col., 1992), l'hoquei herba (90,6 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$: Silla i Rodríguez, 1995) o l'hoquei sobre patins (83 % del $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$: Rodríguez i Iglesias, 1995b).

D'altra banda, els resultats obtinguts al nostre estudi demostren una evident sobreestimació del consum d'oxigen en l'aplicació del mètode de valoració indirecta. Com es pot apreciar a l'esquema de la figura 3:

- En primer lloc, es va realitzar el procés d'estimació del consum d'oxigen als partits amistosos d'entrenament (C. Ègara - E.H.C.), utilitzant l'equació $\text{FC} \cdot \dot{V}\text{O}_2$ resultat de la prova d'esforç, i aplicant-la als registres de FC registrats amb el K-2 durant els partits (estimació general). Tots els sub-

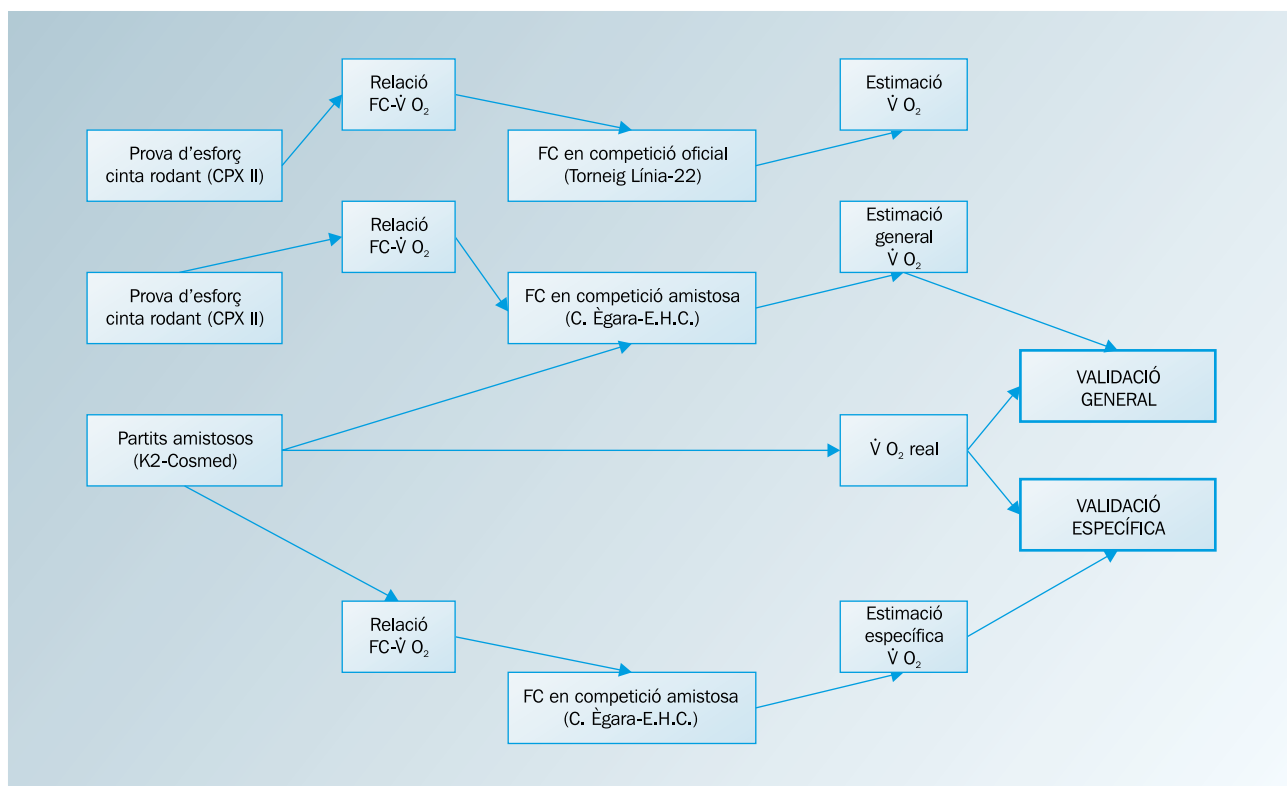


Figura 3

Esquema dels diferents estudis d'estimació del consum d'oxigen i validació del mètode, relacionats en aquest treball.

jectes de la mostra van presentar nivells inferiors del $\dot{V}O_2\text{max}$ als registres directes –reals– en relació als estimats. L'error estàndard de l'estimació va ser del 15 % ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) dels valors reals. Els resultats obtinguts en competició amistosa i exposats en la validació del mètode d'estimació del consum d'oxigen, ens donen una diferència significativa en la validació indirecta del consum d'oxigen sobre el consum real, amb mitjanes de $3,328 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ i $2,475 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ respectivament (vegeu taula 2). La quantificació de la sobreestimació pel mètode indirecte en els 7 subjectes va ser de $853 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, és a dir, una sobreestimació mitjana del 34 % sobre els valors reals, la qual cosa limita les conclusions a què es pot arribar en l'anàlisi de les dades basades en l'estimació.

- En segon lloc, i un cop analitzades les dades de la primera estimació, vam decidir d'aplicar el mateix mètode utilitzant la relació FC- $\dot{V}O_2$ registrada als mateixos partits amistosos d'entrenament, per poder calcular l'equació de regressió entre tots dos valors i aplicar-la als registres de FC (estimació específica). Seguint el mateix procés que en l'estimació general, vam quantificar les diferències existents entre el consum real i l'estimat als partits amistosos, i vam obtenir valors mitjans coincidents. Aquest segon mètode de valoració millora radicalment l'estimació del consum d'oxigen i, per tant, podrà ser objecte d'una anàlisi més puntual en futures investigacions. D'aquesta forma, es podria dissenyar un protocol de treball específic que substitueixi o perfeccioni la prova d'esforç, o més concretament, la relació FC- $\dot{V}O_2$ que se'n deriva.

L'anàlisi va posar de manifest diferències molt significatives ($P < 0,0005$) en la comparació de la totalitat dels registres estimats i reals per als 434 parells de valors. La comprovació estadística de les diferències, i també la quantificació de la sobreestimació, ens va obligar a analitzar cas per cas la relació existent entre els valors reals i els estimats; vam trobar alts nivells de significació de ($P < 0,001$) i correlacions entre els valors reals i els estimats de consum d'oxigen de $r = 0,72$ i $r = 0,90$.

Conclusions

Els resultats són congruents amb estudis previs on la FC en competició en l'estimació del consum d'oxigen

màxim en partits d'entrenament de futbol (Rodríguez i Iglesias, 1998). De fet, en aquest estudi la sobreestimació és força gran (34 % en hoquei herba vs 13 % en futbol), i també és dràsticament reduïda quan l'estimació es basa en l'activitat específica (10 %). Això manté la hipòtesi que una gran part de la sobreestimació es troba relacionada amb les diferències en l'exercici realitzat per determinar la regressió lineal individual entre la FC i el consum d'oxigen màxim. Per tot plegat concloem observant les conclusions següents:

- El consum mitjà d'oxigen estimat durant les parts d'un partit de competició oficial d'hoquei herba va ser de $3,591 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, corresponent a un consum d'oxigen relatiu de $48,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (70,7 % del $\dot{V}O_2\text{max}$ individual). Aquests resultats són similars als partits de competició, on es va estimar en 259 L de mitjana. No es van apreciar diferències significatives entre demarcacions ($P > 0,05$).
- Els paràmetres registrats en la prova d'esforç, igual com els resultants dels registres de freqüència cardíaca i de l'estimació del consum d'oxigen en competició oficial, ens porten a considerar com a molt rellevant la contribució del metabolisme aeròbic en les competicions d'hoquei herba.
- El consum d'oxigen mitjà –mesurat per telemetria– en partits amistosos d'entrenament va resultar netament inferior ($\bar{x} = 33,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 58,9 % del $\dot{V}O_2\text{max}$) a l'estimat en competició oficial. Aquestes diferències en els consums d'oxigen mitjans i màxims van ser deguts, probablement, a factors emocionals –absents als partits amistosos d'entrenament–, a la impedimenta implicada en el mesurament telemètric i a la sobreestimació del mètode indirecte.
- Tots els subjectes de la mostra van presentar nivells inferiors de $\dot{V}O_2$ en els registres directes –telemètrics–, en relació als obtinguts mitjançant l'estimació general, amb un error estàndard de l'estimació del 15 % ($378 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$). La sobreestimació del consum d'oxigen va ser del 34 % sobre els valors reals, mesurats per telemetria.
- L'estimació del consum d'oxigen sobre la base de la relació entre freqüència cardíaca i consum d'oxigen en la prova d'esforç al laboratori (estimació general) va significar una major sobreestimació que no pas la derivada de l'estimació sobre la base dels registres durant la mateixa acti-

vitat competitiva (estimació específica). Per tant, el mètode telemètric d'estimació basat en la relació $\text{FC} \cdot \dot{V}\text{O}_2$ durant l'activitat específica –situació de joc real– millora substantivament l'estimació del consum d'oxigen i, per tant, podrà ser objecte d'una anàlisi més detallada en futures investigacions.

Bibliografia

- Boyle, P. M.; Mahoney, C. A. i 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. i Quílez, J. (1987). Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo del $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ 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. i Pigozzi, F. (1989). Maximum oxygen consumption by telemetry. *Rivista di Cultura Sportiva* 15:3-12.
- Dal Monte i col. (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. i Dal Monte, A. (1989). Il costo energetico nel tennistavolo. *Rivista di Cultura Sportiva* 17:38-42.
- Faina, M.; Gallozzi, C.; Marini, C.; Colli, R. i 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. i Foss, M. L. (1989). The physiological basis of physical education and athletics. Dubuque: Brown Publishers.
- Iglesias, X. i 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, pàg. 142-143.
- Iglesias, X. i 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 i col. (1992). Reliability of measurement of oxygen uptake by portable telemetric system. *Eur J Appl Physiol* 65:409-14.
- Lucia i col. (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. i Washburn, R. A. (1996). Measuring physical activity and energy expenditure. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Pinnington, H.; Dawson, B. i 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.
- Pinnington, H.; Dawson, B. i 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. A J. Draper (ed), *Third report on the National Sports Research*. Program July 1988 – June 1990, pàg. 36.
- Reilly, T. i Thomas, V. (1979). Estimated energy expenditure of professional association footballers. *Ergonomics* 22:541-548.
- Reilly, T. i Bretherton, S. (1984). *Multivariate analysis of fitness of female field hockey players*. England: Liverpool Polytechnic, pàg. 135-141.
- Reilly, T. i Seaton, A. (1990). Physiological strain unique to field hockey. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 30(2):142-146.
- Reilly, T. i Borrie, A. (1992). Physiology applied to field hockey. *Sports Medicine* 14(1):10-25.
- Rodríguez, F. A. (1989). Fisiologia i valoració funcional i esport de alt rendiment. *Apunts. Educació Física i Esports* (15), 48-56.
- Rodríguez, F. A. i Aragonés, M. T. (1992). Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. A J. González (ed.), *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill, pàg. 237-278.
- Rodríguez, F. A. i 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, pàg. 58.
- Rodríguez, F. A.; Iglesias, X. i Artero, V. (1995b). Consumo de oxígeno durante el juego en futbolistas profesionales y aficionados. *Libro de resúmenes, 8th Fims European Sports Medicine Congress, Granada*. pàg. 119.
- Rodríguez, F. A.; Iglesias, X. i Tapiolas, J. (1995d). Gasto energético y valoración metabólica en el fútbol. *Jornadas Internacionales de Medicina y Fútbol (Premundial 94)*. Vitoria/Gasteiz: SHEE/IVEF, pàg. 47-46.
- Rodríguez, F. A. i Iglesias, X. (1997). The energy cost of soccer: telemetric oxygen uptake measurements versus heart-rate $\dot{V}\text{O}_2$ estimations. *Book of Abstracts, Second Annual Congress of the European College of Sport Science*. Copenhagen: ECSS, pàg. 322-323.
- Rodríguez, F. A. i Iglesias, X. (1998). The energy cost of soccer: telemetric oxygen uptake measurements versus heart rate- $\dot{V}\text{O}_2$ estimations. *Journal of Sports Sciences* 16(5):484-485.
- Rodríguez, F. A.; Iglesias, X.; Marina, M. i 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. i 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, pàg. 59.
- Silla, D. (1999). Capacidad Física y Valoración Funcional del jugador de hockey hierba. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, INEFC.
- Silla, D. i Rodríguez, F. A. (2000). 5th Annual Congress of the ECSS. Jyväskylä, pàg. 680.
- (2004) 8th Annual Congress of the ECSS. Clermont – Ferrand, France.
- Tranquilli, C.; Llardi, M.; Colli, R. i Grossi, A. (1992). Aspetti metabolici e nutrizionali nell'allenamento degli sport di squadra. *Rivista di Cultura Sportiva* 24:10-16.
- Vogelaere, P.; Balagué, N. i 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. i 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.