



# apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

[www.apunts.org](http://www.apunts.org)



## TREBALL ORIGINAL

# Valoració del $\dot{V}O_{2max}$ en esportistes: un rigorós estudi comparatiu entre el test Yo-Yo i el mesurament directe<sup>☆</sup>

Aldo F. Longo<sup>\*</sup>, Gustavo D. Aquilino, Marcelo L. Cardey, Néstor A. Lentini

Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo (CeNARD), Buenos Aires, Argentina

Rebut el 12 d'abril de 2016; acceptat l'11 de juliol de 2016

### PARAULES CLAU

Consum màxim d'oxigen;  
Mesurament directe i test de resistència Yo-Yo;  
Precisió dels límits de concordança

### Resum

**Introducció:** Tot i que diversos estudis han reportat els límits de concordança en la valoració del  $\dot{V}O_{2max}$  entre el test Yo-Yo i el mesurament directe, en general no s'ha reflexionat sobre la precisió d'aquests límits. L'objectiu d'aquest estudi fou examinar el grau de concordança en la valoració del  $\dot{V}O_{2max}$  en esportistes entre el test de resistència Yo-Yo (TYY) i el mesurament directe (MD), i quantificar la precisió dels límits de concordança estimats.

**Material i mètodes:** S'obtingueren les dades d'un grup d'11 jugadors d'hoquei, homes (edat =  $22,2 \pm 3,6$  anys, IMC =  $22,1 \pm 2,4$  kg m<sup>-2</sup>). L'MD es realitzà amb un test de carrera incremental en cinta de córrer. Per a l'estimació indirecta del  $\dot{V}O_{2max}$  s'usà el TYY nivell 1. Per valorar la concordança entre els dos mètodes s'emprà l'anàlisi de Bland-Altman. Els límits acceptables de concordança del 95% foren fixats *a priori* en  $\pm 5$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>.

**Resultats:** S'observà un biaix estadísticament no significatiu entre TYY i MD (50,78 vs. 51,09 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>,  $p > 0,05$ ). La valoració dels límits de concordança del 95% fou  $-4,34$  i  $3,72$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. Els intervals de confiança del 95% per a aquests límits foren, respectivament, des de  $-6,78$  fins a  $-1,90$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, i des d' $1,29$  fins a  $6,16$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. La diferència entre mètodes semblà que no estava correlacionada amb la magnitud del mesurament.

**Conclusions:** Es trobà una concordança raonablement bona entre TYY i MD. Això no obstant, la gran diferència dels límits de concordança, degut a la petita dimensió de la mostra, fa que calgui considerar aquests resultats amb precaució.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

<sup>☆</sup>Un resum preliminar d'aquest treball fou publicat en ocasió de la seva presentació al «57th Annual Meeting and Inaugural World Congress on Exercise in Medicine of the American College of Sports Medicine», que tingué lloc al Baltimore Convention Center de Baltimore, Maryland, de l'1 al 5 de juny de 2010. El resum fou publicat a la revista *Medicine and Science in Sports and Exercise*, volum 42, suplement 5.

<sup>\*</sup>Autor per a correspondència.

Correu electrònic: [alongo@deportes.gob.ar](mailto:alongo@deportes.gob.ar) (A.F. Longo).

**KEYWORDS**

Maximal oxygen uptake;  
Direct measurement and Yo-Yo endurance test;  
Precision of the limits of agreement

 **$\dot{V}O_{2\max}$  assessment in athletes: A thorough method comparison study between Yo-Yo test and direct measurement****Abstract**

**Introduction:** Although different studies have reported limits of agreement in assessing  $\dot{V}O_{2\max}$  between the Yo-Yo test and the direct measurement, the precision of these limits in general has not been considered. The aim of this study was to examine the extent of agreement in the assessment of  $\dot{V}O_{2\max}$  in athletes between the Yo-Yo endurance test (YET) and the direct measurement (DM), and to quantify the precision of the estimated limits of agreement.

**Material and methods:** Data were obtained from a group of 11 male field hockey players (age =  $22.2 \pm 3.6$  yrs, BMI =  $22.1 \pm 2.4$  kg m<sup>-2</sup>). DM was performed using an incremental tread-mill running test. YET level 1 was used for indirect estimation of  $\dot{V}O_{2\max}$ . Bland-Altman analysis was employed for assessing agreement between the two methods. The acceptable 95% limits of agreement were set a priori at  $\pm 5$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>.

**Results:** A non-statistically significant bias was observed between YET and DM (50.78 vs. 51.09 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>,  $P > .05$ ). The estimates of the 95% limits of agreement were -4.34 and 3.72 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. And the 95% confidence intervals for these limits were from -6.78 to -1.90 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, and from 1.29 to 6.16 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, respectively. The difference between methods did not appear to be correlated to the magnitude of measurement.

**Conclusions:** A reasonably good agreement was found between YET and DM. However, the large variance of the limits of agreement due to the small sample size means these results should be treated with caution.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

**Introducció**

El consum màxim d'oxigen ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) és una mesura bàsica de la condició física dels esportistes, especialment en els casos en què el rendiment està influït per la potència aeròbica. El mesurament directe es considera el patró de referència però és força complex i costós. En conseqüència, s'han desenvolupat diversos tests indirectes per valorar el  $\dot{V}O_{2\max}$ , com el test en cicloergòmetre de 6 minuts d'Åstrand-Rhyming<sup>1</sup>, el test Balke de 15 minuts de cursa<sup>2</sup>, el test de Cooper de 12 minuts de cursa<sup>3</sup>, el test de cinta de córrer de Bruce<sup>4</sup>, el test de resistència de *course navette* de Léger i Lambert<sup>5</sup> i Léger et al.<sup>6</sup>, el test de la milla<sup>7</sup> i el test de resistència Yo-Yo<sup>8</sup>. El test de resistència Yo-Yo (TYY) és un test de camp de multiestació contínua que està a bastament implementat per valorar el  $\dot{V}O_{2\max}$  com una alternativa al mesurament directe del laboratori, a causa de la seva especificitat, la seva implementació pràctica i fàcil, i a l'entorn simple que requereix. És un dels 3 tests Yo-Yo<sup>8</sup>. Els altres són el test de resistència intermitent Yo-Yo (TIYY) i el test de recuperació intermitent (TRYI); aquest darrer ofereix una valoració del  $\dot{V}O_{2\max}$ <sup>9</sup>.

El mètode Bland-Altman<sup>10-12</sup> ha estat aplicat a bastament per comparar mètodes de mesurament en diferents àrees de recerca. Permet valorar el grau de concordança entre dues tècniques de mesurament, per determinar si poden emprar-se de manera intercanviable. Tanmateix, els estudis de comparació de mètodes algunes vegades s'han analitzat de forma inapropiada en comparar les mitjanes de les respostes, o usant coeficients de correlació o comparant el gradient de regressió lineal entre mètodes<sup>10</sup>.

Diversos estudis han comparat el mesurament directe del  $\dot{V}O_{2\max}$  dels esportistes obtingut a partir de test d'esforç en la cinta de córrer amb els resultats dels tests Yo-Yo<sup>13-26</sup>. En la majoria de casos la població estudiada eren jugadors de futbol. En aquests estudis, la valoració directa del  $\dot{V}O_{2\max}$  fou comparada amb el rendiment (distància recorreguda) en els tests Yo-Yo, o amb la valoració indirecta del  $\dot{V}O_{2\max}$  obtinguda a partir del TYY o el TRYI. S'examinaren correlacions lineals o es contrastaren les respostes. Alguns estudis que comparaven la valoració del  $\dot{V}O_{2\max}$  del test Yo-Yo (TYY o TRYI) amb el mesurament directe també reportaren els límits de concordança de Bland-Altman<sup>15,21,25</sup>. Tanmateix, no s'inclouien els intervals de confiança d'aquests límits. A més, és òptim definir els límits acceptables de concordança *a priori*. Tot i que pot resultar difícil en les variables fisiològiques, cal provar-ho; s'ha de tenir en compte l'opinió dels experts. Sense establir els límits de concordança *a priori*, es poden seleccionar límits àmpliament discrepants<sup>27</sup>.

Cal tenir en compte l'ambigüitat deguda a l'error de mostreig no sols en valorar les diferències entre mètodes (biaix), sinó també en valorar els límits de concordança<sup>12</sup>. Aquest aspecte té una importància cabdal quan la mesura de la mostra és petita. El mètode Bland-Altman proporciona una metodologia estadística per quantificar la precisió dels límits de concordança estimats. Tanmateix, no es trobà cap estudi de comparació de mètodes entre el mesurament directe del  $\dot{V}O_{2\max}$  i la valoració indirecta a través del test Yo-Yo (TYY o TRYI) que inclogués intervals de confiança en els límits de concordança. Aquest estudi tingué l'objectiu de revisar el grau de concordança en la valoració del  $\dot{V}O_{2\max}$  en esportistes entre el test de resistència Yo-Yo i el test in-

**Taula 1** Característiques cineantropomètriques dels esportistes

	Mitjana $\pm$ DE
Edat (anys)	22,19 $\pm$ 3,60
Pes (kg)	68,79 $\pm$ 9,38
Alçada (m)	1,76 $\pm$ 0,08
IMC (kg m <sup>-2</sup> )	22,11 $\pm$ 2,44
Greix corporal (%)	11,03 $\pm$ 5,34
Massa muscular (%)	47,43 $\pm$ 4,07

cremental de mesurament directe realitzat a la cinta de córrer, i quantificar la precisió dels límits de concordança valorats.

## Material i mètodes

### Participants

S'obtingueren les dades d'un grup d'11 jugadors competitiu d'hoquei, homes. Tots els subjectes o els seus tutors firmaren el consentiment informat per participar a l'estudi, després d'explicar-los els objectius i els procediments. L'estudi es realitzà basat en els principis ètics de la Declaració d'Hèlsinki de l'Associació Mèdica Mundial. Cada participant fou sotmès a una revisió mèdica abans de les proves. La taula 1 mostra una recopilació estadística dels trets cineantropomètrics dels esportistes. L'edat fou calculada en anys decimals, restant la data de naixement de la data de valoració. Els percentatges de massa greixosa i massa muscular es calcularen amb el model de quatre compartiments basat en l'estratègia de De Rose i Guimaraes<sup>28</sup>. Aquest model fou adaptat amb l'equació de regressió simple per a esportistes homes desenvolupada per Withers et al., citada per Norton<sup>29</sup> per valorar la densitat del cos, i la fórmula de Siri<sup>30</sup> per calcular el percentatge de massa greixosa.

### Disseny de l'estudi

Aquesta recerca és un estudi de disseny creuat simple, per avaluar la concordança en la valoració del  $\dot{V}O_{2max}$  en ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> entre el test de resistència Yo-Yo i el mesurament directe, amb atenció especial a la valoració dels intervals dels límits de concordança. El mesurament directe del  $\dot{V}O_{2max}$  (MD) fou dirigit pel *Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo* (CeNARD, Buenos Aires, Argentina), mitjançant un test incremental en una cinta de córrer motoritzada (Technogym Excite Run 700i; Technogym SpA, Gambettola, Itàlia). La recollida de dades s'obtingué mitjançant un sistema d'anàlisi de gasos respiració a respiració de circuit obert (Medgraphics Cardiopulmonary Exercise System CPX/D, Breeze Ex v3.06 software; Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN, EUA). S'establiren increments de velocitat de la cinta d'1 km h<sup>-1</sup> cada minut fins a l'esgotament (velocitat inicial = 9 km h<sup>-1</sup>). La freqüència cardíaca es controlà amb un monitor de freqüència cardíaca (Polar 610i; Polar Electro

Oy, Kempele, Finlàndia). El  $\dot{V}O_2$  plateau (un canvi en el  $\dot{V}O_2$  inferior a 2,1 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> a més amb un increment de la càrrega de treball) fou el criteri bàsic per obtenir el  $\dot{V}O_{2max}$ ; altres criteris secundaris foren: índex d'intercanvi respiratori més gran d'1,1 i freqüència cardíaca dins els 10 batecs min<sup>-1</sup> predita per l'edat de freqüència cardíaca màxima<sup>31,32</sup>. El test de resistència Yo-Yo de nivell 1 fou realitzat dins el CeNARD, en un pavelló esportiu amb el paviment de fusta flotant. Consistí en una cursa llançadora de 20 m amb un increment progressiu de la velocitat (velocitat inicial = 8 km h<sup>-1</sup>), que fou controlada per xiulets d'àudio des d'un reproductor portàtil. El test es considerava acabat quan el participant era incapaç de mantenir la velocitat indicada amb normalitat. Es registrà el nivell de velocitat final i el nombre de distàncies de 20 m realitzat a aquest nivell. La valoració del  $\dot{V}O_{2max}$  s'obtingué amb el nomograma corresponent. Ambdós, TYY i MD, tingueren lloc a la mateixa hora del dia ( $\pm$  2 h) per minimitzar els efectes de la variació biològica diürna en els resultats, i per evitar restes de fatiga es realitzaren almenys amb un interval de 72 h entre l'un i l'altre. L'ordre dels tests fou assignat als subjectes aleatòriament. Abans de l'avaluació els participants realitzaren un escalfament apropiat de 20 min.

### Anàlisi estadística

Els trets cineantropomètrics dels esportistes i els valors de la freqüència cardíaca i quocient respiratori en assolir el  $\dot{V}O_{2max}$  es mostren com a mitjana  $\pm$  desviació estàndard (DE). Es realitzaren resums estadístics per il·lustrar els valors de  $\dot{V}O_{2max}$  obtinguts mitjançant TYY i MD. L'anàlisi de Bland-Altman s'emprà per valorar la concordança entre ambdós mètodes de mesurament<sup>10-12</sup>. D'acord amb Bland<sup>33</sup> i, en base a l'experiència, s'establiren els límits de concordança acceptables en un 95%, i es fixaren *a priori* en  $\pm 5$  ml, kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. També es registraren els intervals de confiança del 95% per als límits de concordança. Degut a la petita dimensió de la mostra es van calcular usant l'expressió exacta de l'estimació de la variància dels límits de concordança, per comptes d'una aproximació<sup>12</sup>:

$$\text{Var}(\bar{d} \pm 1,96s_d) = \left( \frac{1}{n} + \frac{1,96^2}{2(n-1)} \right) s_d^2, \quad (1)$$

en què  $\bar{d}$  és la mitjana de la diferència entre els mètodes i  $s_d$  és la desviació estàndard de les diferències. Els tests de correlació de Pearson i Spearman s'implementaren per avaluar associacions possibles de la diferència entre TYY i MD amb la grandària del mesurament. El nivell de significació estadística s'establí en 0,05. Totes les anàlisis es realitzaren en l'entorn del programari R software, versió 3.2.0 (R Core Team, Viena, Àustria)<sup>34</sup>.

## Resultats

Els valors  $\dot{V}O_{2max}$  obtinguts de cada individu, amb els dos mètodes de mesurament, foren força similars. Els valors de  $\dot{V}O_{2max}$  estimats per a TYY foren, de mitjana, sols un 0,6% inferiors als determinats mitjançant MD. La taula 2 presenta una recopilació descriptiva dels resultats de TYY i MD i les diferències entre ambdós mètodes. Els valors de la freqüèn-

**Taula 2** Valoració del  $\dot{V}O_{2max}$ : resum comparatiu d'ambdós mètodes de mesurament

	Mitjana $\pm$ DE	Mínim	Màxim
Test de resistència Yo-Yo (TYY)	50,78 $\pm$ 4,44	45,00	58,70
Mesurament directe (MD)	51,09 $\pm$ 4,41	45,00	59,70
Diferència (TYY-MD)	-0,31 $\pm$ 2,06	-3,50	3,00

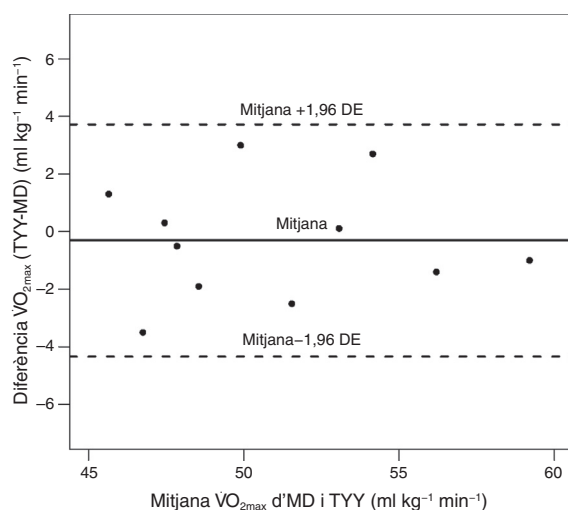
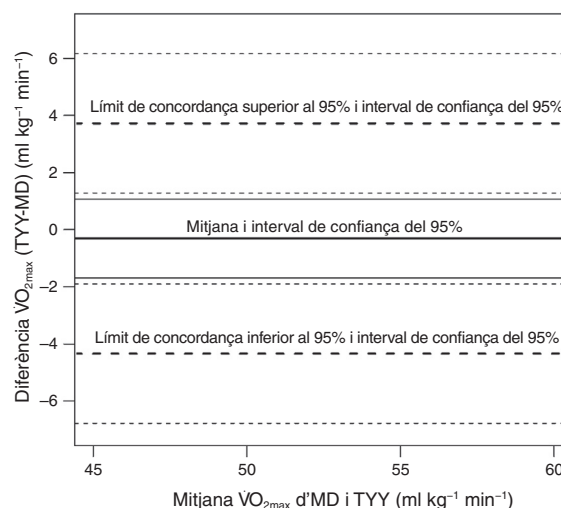
Els valors s'expressen en  $ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ .

**Taula 3** Valors de la freqüència cardíaca i el quocient respiratori obtinguts en assolir el  $\dot{V}O_{2max}$ 

	Mitjana $\pm$ DE
Freqüència cardíaca (batecs $min^{-1}$ )	197,9 $\pm$ 8,2
Quocient respiratori	1,1 $\pm$ 0,08

cia cardíaca i el quocient respiratori en assolir el  $\dot{V}O_{2max}$  es resumeixen a la taula 3.

Es trobà un biaix no significatiu estadísticament entre TYY i MD ( $-0,31\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ; interval de confiança del 95%:  $-1,69$  a  $1,07\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ). L'estimació dels límits de concordança inferior i superior al 95% foren  $-4,34$  i  $3,72\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ . Els intervals de confiança del 95% d'aquests límits foren, respectivament, de  $-6,78$  a  $-1,90\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ , i d' $1,29$  a  $6,16\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ . Com s'ha dit anteriorment, donada la petita dimensió de la mostra, pels de confiança per als límits de concordança es van construir usant l'expressió exacta de l'estimació de la variància d'aquests límits (equació 1). La zona determinada per valorar els límits de concordança del 95% fou més reduïda que l'acotada pels límits d'acceptació definits *a priori*. Tanmateix, la zona total coberta en considerar els intervals de confiança del 95% pels límits de concordança del 95% fou

**Figura 1**  $\dot{V}O_{2max}$ : diferència entre mètodes per a la mitjana de mesurament amb biaix i límits de concordança al 95%.**Figura 2**  $\dot{V}O_{2max}$ : mitjana i límits de concordança del 95% de la diferència entre mètodes amb intervals de confiança del 95%.

més àmplia que els límits establerts *a priori*. A la figura 1 s'observa el diagrama típic de Bland-Altman amb el biaix estimat i els límits de concordança del 95% entre mètodes, mentre que els resultats esmentats anteriorment es presenten gràficament a la figura 2.

S'observà en les dades que ni la diferència ni els valors absoluts de la diferència semblava que estiguessin correlacionats amb la magnitud de la mesura. En aquest ordre:  $r$  de Pearson = 0,02 interval de confiança del 95%:  $-0,59$  a  $0,61$ ;  $\rho$  d'Spearman =  $-0,06$  (interval de confiança del 95%:  $-0,64$  a  $0,56$ ).

## Discussió

En la valoració esportiva sovint s'usa el mesurament indirecte del  $\dot{V}O_{2max}$ . Per valorar la potència aeròbica màxima de l'individu s'han proposat protocols d'esforç màxim i submàxim<sup>1-9</sup>. El principal objectiu d'aquests tests ha de ser una bona concordança. El test de resistència Yo-Yo és un test de camp continu amb el mesurament directe multiestació a bastament emprat per valorar indirectament el  $\dot{V}O_{2max}$ <sup>15</sup>. Per les seves característiques mecàniques és adequat per als esportistes que practiquen esports que impliquen patrons de moviment d'aturada, arrancada i canvi de direcció.

S'han dut a terme diferents estudis per comparar els resultats proporcionats pels tests Yo-Yo amb el  $\dot{V}O_{2max}$  obtingut per mesurament directe en un test de cursa incremental en cinta de córrer. La comparació implicà contrastar els valors de  $\dot{V}O_{2max}$  o el test de correlació entre mesurament directe de valors del  $\dot{V}O_{2max}$  i la distància recorreguda en els tests Yo-Yo. Alguns dels estudis que compararen els resultats del  $\dot{V}O_{2max}$  en ambdós mètodes també inclouen la valoració de la concordança. Així, per exemple, Metaxas et al.<sup>22</sup> trobaren diferències estadísticament significatives ( $p < 0,05$ ) en jugadors de futbol homes ( $n = 35$ ) en comparar la valoració del  $\dot{V}O_{2max}$  proporcionada per TYY nivell 1 amb el valor de  $\dot{V}O_{2max}$  obtingut per MD en ambdós protocols, cursa contínua o intermitent en cinta de córrer (valor TYY

nivell 1 inferior als valors d'MD, en 11,4 i 13,4%, respectivament). Castagna et al.<sup>15</sup> contrastaren els resultats del  $\dot{V}O_{2max}$  de TYY nivell 2 amb els d'MD en jugadors de futbol homes ( $n = 24$ ), i s'evidencià un biaix no significatiu estadísticament ( $p = 0,10$ ) d'1,17 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ , i uns límits de concordança del 95% de -5,44 i 7,79 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ . Nazarali et al.<sup>23</sup> descriueren una mitjana més elevada dels valors de  $\dot{V}O_{2max}$  proporcionats per TRYY nivell 2 (50,8 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ) en comparació amb la mitjana de valors determinada per MD (43,6 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ), en un estudi realitzat amb jugadores de futbol femení ( $n = 20$ ). En canvi, Martínez-Lagunas i Hartmann<sup>21</sup> trobaren que el  $\dot{V}O_{2max}$  de jugadores de futbol femení ( $n = 18$ ) estava significativament subestimat ( $p < 0,001$ ) pel TRYY nivell 1 (45,2 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ) comparat amb l'MD (55,0 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ), i expressaren els límits de concordança del 95% en escala percentual (-31,8% a -3,8%). Sánchez-Oliva et al.<sup>25</sup> revisaren la valoració dels dos mètodes en jugadors de futbol homes ( $n = 15$ ) i també trobaren una subestimació estadísticament significativa del  $\dot{V}O_{2max}$  amb el TRYY nivell 1 (51,00 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ) en comparació amb MD (60,85 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ), amb límits de concordança del 95% de 3,37 i 16,33 ml  $kg^{-1} min^{-1}$ .

D'altra banda, no s'han localitzat articles de recerca que descriuïn estudis de comparació de mètodes que emprin l'anàlisi de Bland-Altman entre mesurament directe del  $\dot{V}O_{2max}$  i estimació indirecta del test Yo-Yo (TYY o TRYY) que tinguessin en compte el càlcul dels intervals de confiança per als límits de concordança. Aquest és un punt d'importància especial en el cas d'una mostra de mida reduïda, que és una situació freqüent en estudis que impliquin test d'esforç màxim. La variància de la diferència de mitjanes i la dels límits de concordança són inversament proporcionals a les dimensions de la mostra. Per tant, els intervals de confiança corresponents són més amplis quan la mida de la mostra és menor, la qual cosa reflecteix una gran discrepància entre mètodes.

Aquesta recerca presenta un estudi acurat de comparació entre mètodes de valoració directa del  $\dot{V}O_{2max}$  al laboratori i l'estimació indirecta mitjançant el test de resistència Yo-Yo, que és un test de camp continu multiestació especialment útil per als esportistes de disciplines de resistència<sup>8</sup>, però també és apropiat per a esports d'equip<sup>35</sup> com jugadors d'hoquei, futbol i rugbi. S'ha descrit l'estimació del biaix i els límits de concordança del 95% entre mètodes. A més, també s'ha reportat un interval de confiança precís del 95% dels límits de concordança del 95% per a la grandària de la mostra actual. S'observà un petit biaix entre ambdues tècniques, que resultà que no era significatiu estadísticament ( $p = 0,63$ ). L'estimació dels límits de concordança del 95% s'establí en  $\pm 4,03$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$  a partir de la mediana de la diferència entre ells. En el model proposat, per a la mitjana i desviació estàndard de les diferències entre mètodes de valoració significatius, que són estimacions significatives, cal suposar que són constants al llarg de totes les sèries de mesurament<sup>12,36,37</sup>. Cal destacar que la diferència mitjana i la desviació estàndard de les diferències sorgides no depèn de la magnitud de la mesura, que compleix amb els supòsits fonamentals simples dels límits de concordança del 95% del mètode aplicat. La zona determinada pels límits estimats de concordança estigué dins els límits acceptables definits *a priori*. No obstant

això, aquestes valoracions tenen gran variància a causa de la petita grandària de la mostra, de manera que aquest últim resultat ha de ser considerat amb precaució. Tenint en compte els intervals de confiança del 95% per els límits de concordança del 95%, la zona total ampliada s'estén més enllà de  $\pm 6$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ , superior als límits de concordança acceptables del 95% establerts *a priori*.

Els intervals de confiança per a la diferència de mitjanes i per als límits de concordança proporcionen una mesura de la precisió de les estimacions previstes valorats basada en l'error de mostreig. Les variàncies dels estimadors d'aquestes quantitats estan afectades decisivament per la grandària de la mostra. Com més petit sigui el nombre d'observacions per a l'avaluació de la diferència entre mètodes, més amplis són els intervals de confiança, i més alt és el nivell d'incertesa. A més, tot i que l'anàlisi de Bland-Altman proporciona la metodologia per a la construcció dels límits de concordança, no indica si són o no acceptables. Els límits acceptables han de ser definits *a priori*, basats en les necessitats específiques i els objectius.

### Limitacions

Una limitació d'aquest estudi fou la petita grandària de la mostra. Els intervals de confiança del 95% pels límits de concordança del 95%, atesa la mida de la mostra actual, són  $\pm 1,19$  unitats de la desviació estàndard de les diferències entre els mesuraments d'ambdós mètodes. Per tant, caldria fer aquesta anàlisi amb mostres més grans per augmentar la precisió de les estimacions generades. D'altra banda, seria pertinent la realització simultània d'una comparació de la repetibilitat de cada mètode mitjançant la recopilació de dades replicades, perquè els índexs de constància dels dos mètodes de mesurament limiten la quantitat de concordança possible<sup>12</sup>.

### Conclusions

Les estimacions puntuals dels límits de concordança del 95% estigueren dins de  $\pm 5$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ , satisfent *a priori* els requisits basats en l'experiència. Per tant, en la valoració del  $\dot{V}O_{2max}$  d'esportistes es trobà una concordança correcta entre el test de resistència Yo-Yo i el mesurament directe al laboratori. D'acord amb aquesta dada, els dos mètodes poden ser intercanviables. Tanmateix, la necessitat de precaució en la interpretació d'aquest resultat encara s'emfatitza per la troballa que la zona coberta en considerar els intervals de confiança del 95% per als límits de concordança del 95% era més ampla que la zona acceptable de concordança definida *a priori*. Per tant, tot i que els límits de concordança estimats del 95% no desacreditin el test de resistència Yo-Yo com un mètode alternatiu per mesurar el  $\dot{V}O_{2max}$  dels esportistes, el present estudi presenta una limitació de precisió, degut a la petita grandària de la mostra, i no permet conclusions definitives.

### Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

## Agraïments

Els autors desitgen agrair especialment a Mariela B. Arangio, Enrique D. Balardini, Claudio A. Gillone, Cristina Pérez i Enrique O. Prada pel seu suport tècnic.

## Bibliografia

- Åstrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol.* 1954;7:218-21.
- Balke B. A simple field test for the assessment of physical fitness. Oklahoma City, OK: Civil Aeromedical Research Institute, Federal Aviation Agency; 1963; Report No. 63-6.
- Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *J Am Med Assoc.* 1968;203:201-4.
- Bruce RA. Multi-stage treadmill test of maximal and sub maximal exercise. A: American Heart Association, editor. Exercise testing and training of apparently healthy individuals: A handbook for physicians. New York, NY: American Heart Association; 1972. p. 32-4.
- Léger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict  $\dot{V}O_{2max}$ . *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982;49:1-12.
- Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sport Sci.* 1988;6:93-101.
- George JD, Vehrs P, Allsen PE, Fellingham GW, Fisher AG.  $\dot{V}O_{2max}$  estimation from a submaximal 1-mile track jog for fit college-age individuals. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:401-6.
- Bangsbo J. Yo-Yo tests. Copenhagen, Denmark: August Krogh Institute; 1996.
- Bangsbo J, Marcello Iaia F, Krstrup P. The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med.* 2008;38:37-51.
- Altman DG, Bland JM. Measurement in medicine: The analysis of method comparison studies. *The Statistician.* 1983;32:307-17.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;i:307-10.
- Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res.* 1999;8:135-60.
- Aziz AR, Tan FHY, Teh KC. A pilot study comparing two field tests with the treadmill run test in soccer players. *J Sports Sci Med.* 2005;4:105-12.
- Bradley PS, Bendiksen M, Dellal A, Mohr M, Wilkie A, Datson N, et al. The application of the Yo-Yo intermittent endurance level 2 test to elite female soccer populations. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24:43-54.
- Castagna C, Impellizzeri FM, Chamari K, Carlomagno D, Rampinini E. Aerobic fitness and Yo-Yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: A correlation study. *J Strength Cond Res.* 2006;20:320-5.
- Castagna C, Impellizzeri FM, Rampinini E, d'Ottavio S, Manzi V. The Yo-Yo intermittent recovery test in basketball players. *J Sci Med Sport.* 2008;11:202-8.
- Higham DG, Pyne DB, Anson JM, Eddy A. Physiological, anthropometric, and performance characteristics of rugby sevens players. *Int J Sports Phys Perf.* 2013;8:19-27.
- Karakoc B, Akalan C, Alemdaroglu U, Arslan E. The relationship between the Yo-Yo tests, anaerobic performance and aerobic performance in young soccer players. *J Hum Kinet.* 2012;35:81-8.
- Krustrup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, Steensberg A, et al. Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:697-705.
- Krustrup P, Mohr M, Nybo L, Majgaard Jensen J, Jung Nielsen J, Bangsbo J. The Yo-Yo IR2 test: Physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:1666-73.
- Martinez-Lagunas V, Hartmann U. Validity of the Yo-Yo intermittent recovery test level 1 for direct measurement or indirect estimation of maximal oxygen uptake in female soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9:825-31.
- Metaxas TI, Koutlianos NA, Kouidi EJ, Deligiannis AP. Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2005;19:79-84.
- Nazarali P, Rajabi H, Aliabadi F. The relationship between laboratory, Yoyo, and Hoff tests in determining aerobic capacity of players of the National women's soccer team. *Ann Appl Sport Sci.* 2013;1:57-66.
- Rebello A, Brito J, Seabra A, Oliveira J, Krstrup P. Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *Eur J Sport Sci.* 2014;14 Suppl 1:S148-56.
- Sánchez-Oliva D, Santalla A, Candela JM, Leo FM, García-Calvo T. Analysis of the relationship between Yo-Yo test and maximum oxygen uptake in young football players. *Int J Sport Sci.* 2014;10:180-93.
- Thomas A, Dawson B, Goodman C. The Yo-Yo test: Reliability and association with a 20-m shuttle run and  $\dot{V}O_{2max}$ . *Int J Sports Physiol Perform.* 2006;1:137-49.
- Mantha S, Roizen MF, Fleisher LA, Thisted R, Foss J. Comparing methods of clinical measurement: reporting standards for Bland and Altman analysis. *Anesth Analg.* 2000;90:593-602.
- De Rose EH, Guimaraes AGS. A model for optimization of somatotype in young athletes. A: Ostyn M, Beunen G, Simons J, editors. *Kinanthropometry II.* Baltimore, MD: University Park Press; 1980. p. 222.
- Norton K. Anthropometric estimation of body fat. A: Norton K, Olds K, editors. *Anthropometrica: A Textbook of Body Measurement for Sports and Health Courses.* Sydney: University of New South Wales Press Ltd; 1996. p. 171-98.
- Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. A: Brozek J, Henschel A, editors. *Techniques for Measuring Body Composition.* Washington, DC: National Academy of Sciences; 1961. p. 224-44.
- Howley ET, Bassett DR Jr, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: Review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:1292-301.
- O'Connor FG, Kunar MT, Deuster PA. Exercise physiology for graded exercise testing: A primer for the primary care clinician. A: Evans CH, White RD, editors. *Exercise Testing for Primary Care and Sports Medicine Physicians.* New York, NY: Springer; 2009. p. 3-21.
- Bland M. Interpreting the limits of agreement: Do I have good or bad agreement? [última actualització 20 Mar 2009; consultat 23 Abr 2009]. Disponible a: <http://www-users.york.ac.uk/~mb55/meas/interlim.htm>
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2015. Disponible a: <http://www.R-project.org/>
- Wood RJ. Yo-Yo endurance test [consultat 11 May 2009]. Disponible a: <http://www.topendsports.com/testing/tests/yo-yo-endurance.htm>
- Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: Why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet.* 1995;346:1085-7.
- Bland JM, Altman DG. Measurement error proportional to the mean. *Br Med J.* 1996;313:106.