



ORIGINAL

## Valoración del $\dot{V}O_{2max}$ en deportistas: un riguroso estudio comparativo de métodos entre el test Yo-Yo y la medición directa<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

Recibido el 12 de abril de 2016; aceptado el 11 de julio de 2016

### PALABRAS CLAVE

Consumo máximo de oxígeno;  
Medición directa y test de resistencia Yo-Yo;  
Precisión de los límites de concordancia

### Resumen

**Introducción:** Si bien diferentes estudios han reportado límites de concordancia en la valoración del  $\dot{V}O_{2max}$  entre el test Yo-Yo y la medición directa, la precisión de estos límites en general no ha sido considerada. El objetivo de este estudio fue examinar el grado de concordancia en la valoración del  $\dot{V}O_{2max}$  en deportistas, entre el test de resistencia Yo-Yo (TYY) y la medición directa (MD), y cuantificar la precisión de los límites de concordancia estimados.

**Material y métodos:** Los datos fueron obtenidos de un grupo de 11 jugadores varones de hockey hierba (edad =  $22,2 \pm 3,6$  años, IMC =  $22,1 \pm 2,4$  kg m<sup>-2</sup>). La MD fue realizada usando un test de carrera incremental en cinta de correr. Para la estimación indirecta del  $\dot{V}O_{2max}$  se empleó el TYY nivel 1. Para evaluar la concordancia entre los dos métodos se empleó el análisis de Bland-Altman. *A priori* fueron fijados los límites aceptables de concordancia del 95%, que se establecieron en  $\pm 5$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>.

**Resultados:** Se observó un sesgo estadísticamente no significativo entre TYY y MD ( $50,78$  vs.  $51,09$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>,  $p > 0,05$ ). Las estimaciones de los límites de concordancia del 95% fueron  $-4,34$  y  $3,72$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. Los intervalos de confianza del 95% de estos límites fueron, respectivamente, desde  $-6,78$  hasta  $-1,90$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, y desde  $1,29$  hasta  $6,16$  ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. La diferencia entre métodos no pareció que estuviera correlacionada con la magnitud de la medición.

**Conclusiones:** Se halló una razonable buena concordancia entre TYY y MD. Sin embargo, la gran razonable buena de los límites de concordancia, debido al pequeño tamaño de la muestra, hace necesario considerar este resultado con precaución.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

<sup>☆</sup>Se publicó un resumen preliminar de este estudio con ocasión de su presentación en el «57th Annual Meeting and inaugural World Congress on Exercise in Medicine of the American College of Sports Medicine». Dicho evento tuvo lugar en el Baltimore Convention Center de Baltimore, Maryland, entre el 1 y el 5 de junio de 2010. El resumen fue publicado en *Medicine and Science in Sports and Exercise*, volumen 42, suplemento 5.

<sup>\*</sup>Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [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.

**Introducción**

El consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) es una medida básica de la condición física de los deportistas, especialmente en los casos en que el rendimiento está influenciado por la potencia aeróbica. Se considera que la medición directa es el patrón de referencia, pero resulta bastante compleja y costosa. En consecuencia, se han desarrollado una gran variedad de test indirectos para valorar el  $\dot{V}O_{2\max}$ , como el test en cicloergómetro de 6 minutos de Astrand-Rhyming<sup>1</sup>, el de Balke de 15 minutos de carrera<sup>2</sup>, el de Cooper de 12 minutos de carrera<sup>3</sup>, el test de correr en cinta de Bruce<sup>4</sup>, el test de resistencia course navette de Léger y Lambert<sup>5</sup> y Léger et al.<sup>6</sup>, el test de la milla<sup>7</sup> y el test de resistencia Yo-Yo<sup>8</sup>. El test de resistencia Yo-Yo (TYY) es un test de campo continuo multiestación ampliamente usado para valorar el  $\dot{V}O_{2\max}$  como una alternativa a la medición directa en el laboratorio, debido a su especificidad, a su implementación práctica y fácil y al simple entorno de valoración requerido. Es uno de los tres test Yo-Yo<sup>8</sup>. Los otros son el test de resistencia intermitente Yo-Yo (TIYY) y el test de recuperación intermitente (TRY); este último proporciona una valoración del  $\dot{V}O_{2\max}$ <sup>9</sup>.

El método Bland-Altman<sup>10-12</sup> ha sido ampliamente aplicado para comparar métodos de medición en distintas áreas de investigación. Permite valorar el grado de concordancia entre dos técnicas de medición, para determinar si pueden usarse de forma intercambiable. Sin embargo, los estudios de comparación de métodos algunas veces se han analizado de forma inapropiada al comparar las respuestas medias, o con coeficientes de correlación o comparando el gradiente de regresión lineal entre métodos<sup>10</sup>.

Distintos estudios han comparado la medición directa del  $\dot{V}O_{2\max}$  obtenida a partir de la prueba de esfuerzo en cinta de correr con los resultados de los test Yo-Yo en deportistas<sup>13-26</sup>. En la mayoría de casos la población estudiada era de jugadores de fútbol. En estos estudios, la valoración directa del  $\dot{V}O_{2\max}$  fue comparada con el rendimiento (distancia cubierta) en los test Yo-Yo, o con la valoración indirecta del  $\dot{V}O_{2\max}$  obtenida a partir del TYY o el TRY. Se examinaron correlaciones lineales o se contrastaron las respuestas medidas. Algunos estudios que compararon la valoración del  $\dot{V}O_{2\max}$  ofrecida por el test Yo-Yo (TYY o TRY) con la medición directa también reportaron los límites de concordancia de Bland-Altman<sup>15,21,25</sup>. Sin embargo, no se incluyeron los intervalos de confianza de estos límites. Además, sería ideal definir los límites de concordancia aceptables *a priori*. Aunque ello puede ser difícil en las variables fisiológicas, hay que intentarlo; debe aprovecharse la opinión de los expertos. Sin establecer los límites de concordancia *a priori*, pueden seleccionarse límites ampliamente discrepantes<sup>27</sup>.

La incertidumbre debida al error de muestreo debe ser considerada no solo cuando se valora la diferencia entre métodos (sesgo), sino también al valorar los límites de concordancia. Este punto tiene una importancia crucial cuando la medida de la muestra es pequeña. El método de Bland-Altman proporciona una metodología estadística para cuantificar la precisión de los límites de concordancia estimados. No obstante, no se encontró ningún estudio de comparación de métodos entre la medición directa del  $\dot{V}O_{2\max}$  y la estimación indirecta a través del test Yo-Yo (TYY o TRY) que incluyera intervalos de confianza en los límites de concordancia. Este estudio tuvo por objetivo revisar el grado de concordancia en la valoración del  $\dot{V}O_{2\max}$  de los deportis-

**Tabla 1** Características cineantropométricas de los deportistas

	Media $\pm$ DE
Edad (años)	22,19 $\pm$ 3,60
Peso (kg)	68,79 $\pm$ 9,38
Altura (m)	1,76 $\pm$ 0,08
IMC (kg m <sup>-2</sup> )	22,11 $\pm$ 2,44
Grasa corporal (%)	11,03 $\pm$ 5,34
Masa muscular (%)	47,43 $\pm$ 4,07

tas entre el test de resistencia Yo-Yo y el test incremental de medición directa realizado en una cinta de correr, y cuantificar la precisión de los límites de concordancia estimados.

## Material y métodos

### Participantes

Se obtuvieron los datos de un grupo de 11 jugadores varones de hockey competitivos. Todos los sujetos o sus tutores dieron su consentimiento para participar en el estudio después de ser informados de los objetivos y procedimientos. El estudio se realizó basado en los principios éticos de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Cada participante se sometió a una revisión médica antes de las pruebas. La tabla 1 muestra una recopilación estadística de los rasgos cineantropométricos de los deportistas. La edad fue calculada en años decimales, restando la fecha de nacimiento de la fecha de valoración. Los porcentajes de masa grasa y masa muscular se calcularon usando el modelo de cuatro compartimentos basado en la estrategia de De Rose y Guimaraes<sup>28</sup>. Este modelo fue adaptado con la ecuación de regresión simple para varones deportistas desarrollada por Withers et al., citada por Norton<sup>29</sup> para valorar la densidad corporal, y la fórmula de Siri<sup>30</sup> para calcular el porcentaje de masa grasa.

### Diseño del estudio

Esta investigación es un estudio de diseño cruzado simple para evaluar la concordancia en la valoración de  $\dot{V}O_{2max}$  en ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> entre el test de resistencia Yo-Yo y la medición directa; con un enfoque especial a la estimación por intervalos de los límites de concordancia. La medición directa del  $\dot{V}O_{2max}$  (MD) fue dirigida por el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo (CeNARD, Buenos Aires, Argentina) mediante un test de carrera incremental en una cinta de correr motorizada (Technogym Excite Run 700i; Technogym SpA, Gambettola, Italia). La recopilación de datos se obtuvo mediante un sistema de análisis de gases respiración a respiración de circuito abierto (Medgraphics Cardiopulmonary Exercise System CPX/D, Breze Ex v3.06 software; Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN, EE.UU.). Se establecieron incrementos de la velocidad de la cinta de 1 km h<sup>-1</sup> cada minuto hasta el agotamiento (velocidad inicial = 9 km h<sup>-1</sup>). La frecuencia cardíaca se controló con un monitor de frecuencia cardíaca (Polar

610i; Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). La meseta de  $\dot{V}O_2$  (cambio en el  $\dot{V}O_2$  de menos de 2,1 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> con un mayor incremento de carga de trabajo) fue el criterio básico para la obtención del  $\dot{V}O_{2max}$ ; otros criterios secundarios fueron: índice de intercambio respiratorio mayor de 1,1 y frecuencia cardíaca dentro de 10 latidos min<sup>-1</sup> de frecuencia cardíaca máxima predicha por la edad<sup>31,32</sup>. El test de resistencia Yo-Yo de nivel 1 fue realizado dentro del CeNARD, en un pabellón con el suelo de madera flotante. Consistió en una carrera lanzadera de 20 m de ida y vuelta con un incremento progresivo de la velocidad (velocidad inicial = 8 km h<sup>-1</sup>), que fue controlada por pitidos de audio desde un reproductor portátil. El test se consideraba finalizado cuando el participante no era capaz de mantener normalmente la velocidad indicada. Se registró el nivel de velocidad final y el número de distancias de 20 m realizadas a este nivel. La valoración del  $\dot{V}O_{2max}$  se obtuvo con el nomograma correspondiente. Ambos, TYY y MD, tuvieron lugar a la misma hora del día ( $\pm$  2 h) para minimizar los efectos de la variación biológica diurna en los resultados y para evitar restos de fatiga; uno y otro se llevaron a cabo al menos con un intervalo de 72 h. El orden de los test fue asignado aleatoriamente a los sujetos. Antes de la evaluación, los participantes realizaron un calentamiento de 20 min.

### Análisis estadístico

Los rasgos cineantropométricos de los deportistas y los valores de la frecuencia cardíaca y el cociente respiratorio al alcanzar el  $\dot{V}O_{2max}$  se muestran como media  $\pm$  desviación estándar (DE). Se realizaron resúmenes estadísticos para describir los valores de  $\dot{V}O_{2max}$  obtenidos mediante TYY y MD. Se empleó el análisis de Bland-Altman para valorar la concordancia entre los dos métodos de medición<sup>10-12</sup>. De acuerdo con Bland<sup>33</sup>, y en base a la experiencia, se establecieron los límites de concordancia aceptables del 95%, y se fijaron *a priori* en  $\pm$  5 ml kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. También se registraron intervalos de confianza del 95% para los límites de concordancia. Debido al pequeño tamaño de la muestra, se calcularon usando la expresión exacta de la estimación de la varianza de los límites de concordancia, en lugar de una aproximación<sup>12</sup>:

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

donde  $\bar{d}$  es la diferencia media entre métodos y  $s_d$  es la desviación estándar de las diferencias. Los test de correlación de Pearson y Spearman se implementaron para evaluar posibles asociaciones de diferencia entre TYY y MD con el tamaño de la medición. El nivel de la significación estadística se estableció en 0,05. Todos los análisis se realizaron con el entorno de software R, versión 3.2.0 (R Core Team, Viena, Austria)<sup>34</sup>.

### Resultados

Los valores de  $\dot{V}O_{2max}$  de cada individuo obtenidos con los dos métodos de medición fueron bastante similares. Los valores de  $\dot{V}O_{2max}$  estimados por TYY fueron, de promedio, solo 0,6% inferiores a los determinados mediante MD. La

**Tabla 2** Valoración del  $\dot{V}O_{2max}$ : resumen comparativo de ambos métodos de medición

	Media $\pm$ DE	Mínimo	Máximo
Test de resistencia Yo-Yo (TYY)	50,78 $\pm$ 4,44	45,00	58,70
Medición directa (MD)	51,09 $\pm$ 4,41	45,00	59,70
Diferencia (TYY-MD)	-0,31 $\pm$ 2,06	-3,50	3,00

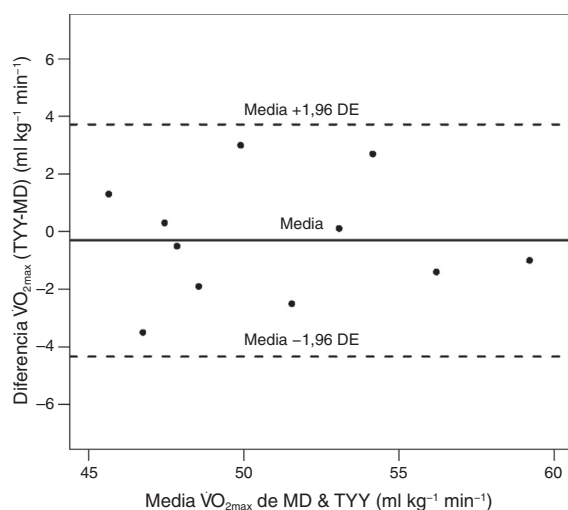
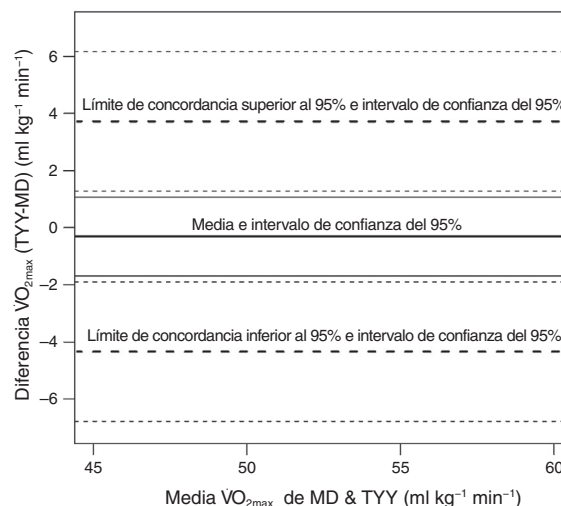
Todos los valores se expresan en  $ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ .

**Tabla 3** Valores de la frecuencia cardíaca y cociente respiratorio logrados al alcanzar el  $\dot{V}O_{2max}$ 

	Media $\pm$ DE
Frecuencia cardíaca (latidos $min^{-1}$ )	197,9 $\pm$ 8,2
Cociente respiratorio	1,1 $\pm$ 0,08

tabla 2 presenta una recopilación descriptiva de los resultados de TYY y MD y las diferencias entre ellos. Los valores de la frecuencia cardíaca y del cociente respiratorio al alcanzar el  $\dot{V}O_{2max}$  se resumen en la tabla 3.

Se halló un sesgo no significativo estadísticamente entre TYY y MD ( $-0,31\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ; intervalo de confianza del 95%:  $-1,69$  a  $1,07\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ). La estimación de los límites de concordancia inferior y superior del 95% fueron  $-4,34$  y  $3,72\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ . Los intervalos de confianza del 95% de estos límites fueron, respectivamente, de  $-6,78$  a  $-1,90\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ , y de  $1,29$  a  $6,16\ ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ . Como se ha dicho anteriormente, dado el pequeño tamaño de la muestra, los intervalos de confianza para los límites de concordancia se construyeron usando la expresión exacta para la estimación de la varianza de estos límites (ecuación 1). La zona determinada por los límites de concordancia del 95% estimados fue más reducida que la acotada por los límites de aceptación definidos *a priori*. Sin embargo, la zona total cubierta al considerar los intervalos de confianza del 95% de los

**Figura 1**  $\dot{V}O_{2max}$ : diferencia entre métodos frente al promedio de medición con sesgo y los límites de concordancia del 95%.**Figura 2**  $\dot{V}O_{2max}$ : media y límites de concordancia del 95% de la diferencia entre métodos con intervalos de confianza del 95%.

límites de concordancia del 95% fue más amplia que los límites establecidos *a priori*. En la figura 1 se observa el típico diagrama de Bland-Altman con el sesgo estimado y los límites de concordancia del 95% entre métodos, mientras que los resultados anteriormente mencionados se presentan gráficamente en la figura 2.

Se observó en los datos que ni la diferencia ni los valores absolutos de la diferencia parecían estar correlacionados con el tamaño de la medición. En este orden:  $r$  de Pearson =  $0,02$  (intervalo de confianza del 95%:  $-0,59$  a  $0,61$ );  $\rho$  de Spearman =  $-0,06$  (intervalo de confianza del 95%:  $-0,64$  a  $0,56$ ).

## Discusión

Con frecuencia en la valoración deportiva se realiza la medición indirecta del  $\dot{V}O_{2max}$ . Para estimar la potencia aeróbica máxima de un individuo se han propuesto protocolos de esfuerzo máximo y submáximo<sup>1-9</sup>. El principal objetivo de estos test debería ser una buena concordancia con la medición directa. El test de resistencia Yo-Yo es un test de campo continuo multiestación ampliamente usado para valorar indirectamente el  $\dot{V}O_{2max}$ <sup>15</sup>. Sus características mecánicas lo hacen apropiado para los deportistas que participan en deportes que implican patrones de movimiento de parada, arranque y cambio de dirección.

Se han realizado distintos estudios para comparar los resultados proporcionados por los test Yo-Yo con el  $\dot{V}O_{2max}$  obtenido por medición directa en un test incremental en cinta de correr. La comparación implicó contrastar los valores de  $\dot{V}O_{2max}$  o el test de correlación entre medición directa de valores del  $\dot{V}O_{2max}$  y la distancia recorrida en los test Yo-Yo. Algunos estudios que compararon los resultados del  $\dot{V}O_{2max}$  en ambos métodos también incluían la valoración de la concordancia. Por ejemplo, Metaxas et al.<sup>22</sup> hallaron en jugadores de fútbol varones ( $n = 35$ ) diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) al comparar la estimación del  $\dot{V}O_{2max}$  proporcionada por TYY nivel 1 con el valor de  $\dot{V}O_{2max}$  obtenido por MD en ambos protocolos, carrera continua o intermitente en cinta de correr (valor TYY nivel 1 inferior a los valores de MD, en 11,4 y 13,4%, respectivamente). Castagna et

al.<sup>15</sup> contrastaron los resultados del  $\dot{V}O_{2\max}$  de TYY nivel 2 con los de MD en jugadores de fútbol varones ( $n = 24$ ), y se evidenció un sesgo no significativo estadísticamente ( $p = 0,10$ ) de  $1,17 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ , y límites de concordancia del 95% de  $-5,44$  y  $7,79 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ . En un estudio realizado con jugadoras de fútbol femenino ( $n = 20$ ), Nazarali et al.<sup>23</sup> reportaron una media más elevada de los valores de  $\dot{V}O_{2\max}$  proporcionados por TRY level 2 ( $50,8 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) en comparación con la media de valores determinada por MD ( $43,6 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ). En cambio, Martínez-Lagunas y Hartmann<sup>21</sup> hallaron que el  $\dot{V}O_{2\max}$  en jugadoras de fútbol femenino ( $n = 18$ ) estaba significativamente subestimado ( $p < 0,001$ ) por TRY level 1 ( $45,2 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) comparado con MD ( $55,0 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ), y expresaron los límites de concordancia del 95% en escala porcentual ( $-31,8\%$  a  $-3,8\%$ ). Sánchez-Oliva et al.<sup>25</sup> revisaron la valoración de los dos métodos en jugadores de fútbol varones ( $n = 15$ ) y también hallaron una subestimación estadísticamente significativa del  $\dot{V}O_{2\max}$  con TRY level 1 ( $51,00 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) en comparación con MD ( $60,85 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ), con límites de concordancia del 95% de  $3,37$  y  $16,33 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ .

Por otro lado, no se han localizado artículos de investigación que describieran estudios de comparación de métodos que usaran el análisis de Bland-Altman entre medición directa del  $\dot{V}O_{2\max}$  y valoración indirecta del test Yo-Yo (TYY o TRY) que consideraran el cálculo de los intervalos de confianza de los límites de concordancia. Este es un punto de especial importancia en el caso de una muestra de pequeño tamaño, que es una situación frecuente en estudios que impliquen test de esfuerzo máximo. La varianza de la diferencia de medias y la de los límites de concordancia son inversamente proporcionales al tamaño de la muestra. Por lo tanto, los intervalos de confianza correspondientes son más amplios cuando el tamaño de la muestra es menor, lo que refleja una gran variación de diferencias entre métodos.

Este artículo presenta un exhaustivo estudio de comparación de métodos de comparación entre la valoración directa del  $\dot{V}O_{2\max}$  en el laboratorio y la valoración indirecta mediante el test de resistencia Yo-Yo, que es un test de campo continuo multiestación especialmente útil para deportistas de disciplinas de resistencia<sup>8</sup>, pero también es apropiado para deportistas de equipo<sup>35</sup>, como jugadores de hockey, fútbol y rugby. Se han descrito la estimación del sesgo y los límites de concordancia del 95% entre métodos. Además, también se ha descrito un intervalo de confianza preciso del 95% para los límites de concordancia del tamaño de la muestra actual. Se observó un pequeño sesgo entre las dos técnicas, que resultó que no era estadísticamente significativo ( $p = 0,63$ ). La estimación de los límites de concordancia del 95% se estableció en  $\pm 4,03 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$  a partir de la media de la diferencia entre ellos. En el modelo propuesto, para que la media y desviación estándar de las diferencias entre métodos sean estimadores válidos hay que suponer que son constantes a lo largo de todo el rango de medición<sup>12,36,37</sup>. Vale la pena enfatizar que la diferencia media y la desviación estándar de las diferencias surgidas no dependen del tamaño de la medición, que cumple con los supuestos subyacentes al modelo simple de límites de concordancia del 95% aplicado. La zona determinada por los límites estimados de concordancia estuvo dentro de los límites definidos *a priori*. Sin embargo, esta estimación tiene una gran varianza debido al pequeño tama-

ño de la muestra, por ello hay que considerar el último resultado con precaución. Teniendo en cuenta los intervalos de confianza del 95% para los límites de concordancia del 95%, la zona total se extiende más allá de  $\pm 6 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ , excediendo los límites de concordancia del 95% aceptables establecidos *a priori*.

Los intervalos de confianza para la diferencia media y para los límites de concordancia proporcionan una medida de precisión de las estimaciones puntuales, basada en error de muestreo. Las varianzas de los estimadores de estas cantidades están significativamente afectadas por el tamaño de la muestra. Cuanto menor sea el número de observaciones para la evaluación de la diferencia entre métodos, más amplios son los intervalos de confianza y más elevado es el nivel de incertidumbre. Además, aunque el análisis de Bland-Altman proporciona una metodología para establecer los límites de concordancia, no indica si son aceptables o no. Los límites aceptables deben ser definidos *a priori*, basados en las necesidades específicas y los objetivos.

### Limitaciones

Una limitación de este estudio es el pequeño tamaño de la muestra. El intervalo de confianza del 95% para los límites de concordancia del 95%, dada la actual muestra, es de  $\pm 1,19$  unidades de desviación estándar de las diferencias entre las mediciones de los dos métodos. Por consiguiente, sería conveniente reproducir este análisis con una muestra mayor para incrementar la precisión de las estimaciones producidas. Además, sería adecuado llevar a cabo simultáneamente una comparación de repetibilidad de cada método mediante la recopilación de datos replicados, porque la repetibilidad de los dos métodos de medición limita la cantidad de concordancia posible<sup>12</sup>.

### Conclusiones

Las estimaciones puntuales de los límites de concordancia del 95% estuvieron dentro de  $\pm 5 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ , satisfaciendo el requisito *a priori* basado en la experiencia. Por lo tanto, en la valoración del  $\dot{V}O_{2\max}$  de deportistas se halló una razonable buena concordancia entre el test de resistencia Yo-Yo y la medición directa en el laboratorio. De acuerdo con este dato, los dos métodos pueden ser intercambiables. Sin embargo, la necesidad de prudencia en la interpretación de este resultado se enfatiza aún más por la constatación de que la zona cubierta al considerar los intervalos de confianza del 95% para los límites de concordancia del 95% era más amplia que la zona aceptable de concordancia definida *a priori*. Por lo tanto, aunque los límites de concordancia estimados del 95% no pongan en duda el test de resistencia Yo-Yo como un método alternativo para medir  $\dot{V}O_{2\max}$  en deportistas, este estudio cuenta con una limitación de precisión, debido al pequeño tamaño de la muestra y no permite conclusiones definitivas.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.



## Agradecimientos

Los autores desean agradecer especialmente a Mariela B. Arangio, Enrique D. Balardini, Claudio A. Gillone, Cristina Pérez y Enrique O. Prada su colaboración técnica.

## Bibliografía

- 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. En: 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, Alemardoğlu 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. En: Ostyn M, Beunen G, Simons J, editores. *Kinanthropometry II.* Baltimore, MD: University Park Press; 1980. p. 222.
- Norton K. Anthropometric estimation of body fat. En: Norton K, Olds K, editores. *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, editores. *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. En: Evans CH, White RD, editores. *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 actualización 20 Mar 2009; consultado 23 Abr 2009]. Disponible en: <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 en: <http://www.R-project.org/>
- Wood RJ. Yo-Yo endurance test [consultado 11 May 2009]. Disponible en: <http://www.topendsports.com/testing/tests/yoyo-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.