

Prueba de un snorkel diseñado para evaluar VO_2 durante el nado

Test of a snorkel designed to evaluate VO_2 during the swim

Bazán, Nelio Eduardo¹, Bruzzese, Martín Fernando², Rodríguez, Juan³.

Original

¹Universidad Nacional de Villa Mercedes, Villa Mercedes, San Luis.

²Futbolistas Argentinos Agremiados

³Universidad Nacional de Luján

Resumen

Objetivo: Determinar si el uso de un dispositivo diseñado y construido en Argentina permite el registro adecuado del VO_2 durante el nado.

Metodología: Se estudió la kinesis del VO_2 en una nadadora con y sin el uso del snorkel diseñado que posee 2 válvulas a la altura de la boquilla y 2 en la salida, lugar en donde se produce la expulsión del CO_2 y el ingreso del O_2 . La posición de las válvulas crea un circuito de circulación continua permitiendo una ventilación sin resistencia.

Resultados: Se estudiaron las diferencias en VO_2 con máscara sola y con snorkel añadido, que presentó una significación de 0,154 (sin diferencias significativas). Se calcularon los intervalos de confianza del 95% tanto para el límite superior (3.3185216) como para el inferior (-5.5405216) estudiándose la concordancia de los métodos mediante el Modelo de Bland Altman. Para determinar el sesgo de los valores outliers se realizó regresión lineal entre la diferencia (variable dependiente) y las medias (variable independiente). Se determinó el coeficiente Beta (-.228) y la significación de la regresión fue de 0,190, estimándose aceptable la concordancia de los datos.

Conclusiones: La concordancia entre los registros con máscara y con snorkel es aceptable para que el dispositivo pueda ser utilizado en la toma de gases de muestra para evaluar el VO_2 y VCO_2 en estudios realizados durante el nado.

Palabras claves: natación, VO_2 , snorkel

Abstract

Objective: To determine whether the use of a device designed and built in Argentina allows the proper registration of VO_2 during swimming.

Methodology: The kinesis of the VO_2 was studied in a swimmer with and without the use of the designed snorkel that has 2 valves at the height of the nozzle and 2 at the exit, where the CO_2 is expelled and the O_2 enters. The position of the valves creates a continuous circulation circuit allowing ventilation without resistance.

Results: Differences were studied in VO_2 with a single mask and with added snorkel, which presented a significance of 0.154 (without significant differences). The 95% confidence intervals were calculated for both the upper limit (3.3185216) and the lower limit (-5.5405216), studying the concordance of the methods using the Bland Altman Model: To determine the bias of the outliers values, linear regression was made between the difference (dependent variable) and the means (independent variable). The Beta coefficient (-. 228) was determined and the significance of the regression was 0.190, concordance of the data was considered acceptable.

Conclusions: The agreement between the records with mask and snorkel is acceptable so that the device can be used in the sampling of gases to evaluate VO_2 and VCO_2 in studies conducted during the swim.

Key words: Swimming, VO_2 , snorkel



Recibido: 13-12-2019
Aceptado: 28-12-2019

Correspondencia:

Nelio Bazán:
E-mail:
nelio.bazan@gmail.com

Introducción

El consumo máximo de oxígeno (VO_2max) refleja la máxima capacidad aeróbica de una persona para absorber, transportar y consumir O_2 ^{1,2} siendo este un parámetro importante del nivel de acondicionamiento físico. Factores tales como el mayor VO_2 alcanzable o peak, el VO_2 requerido para realizar ejercicio submáximo, y la tasa a la cual el VO_2 se eleva durante la transición hacia una actividad con una mayor demanda energética hasta alcanzar el estado estable, influenciarán la tolerancia individual a la actividad física³.

La natación se caracteriza por esfuerzos continuos durante lapsos variables de acuerdo a las distancias de carrera. Hay competencias muy intensas, aunque de corta duración, como la prueba de 50m en piletta corta, en la que el francés Florent Manaudou logró un tiempo de 20.26s, en Doha, el 5 de diciembre de 2014⁴, y otras donde se exceden largamente los 30s, como los 44.94s de los 100m libres en piletta corta registrados por el también francés Amaury Leveaux, conseguido en Rijeka, Croacia, el 13 de diciembre de 2008⁴.

Pero también hay carreras de varias horas, como las que empleó el argentino Damián Blaum para ganar la Capri-Nápoles en el año 2015 nadando con un tiempo de 6:22:13.00⁵. Estos esfuerzos justifican la importancia del estudio de la cinética del consumo de oxígeno (VO_2) en nadadores para poder interpretar mejor los acontecimientos funcionales y metabólicos. Durante años, varios han sido los intentos para obtener datos directos del VO_2 de los nadadores.

El medio acuático hace que la medición directa de los mismos se haga compleja y que para ello deban adaptarse mecanismos contruidos especialmente. A principios del siglo pasado Liljestrand y Lindhard comenzaron a estudiar algunas variables fisiológicas de nadadores, como el aire espirado. Su trabajo fue realizado en un lago, evaluando nado libre⁶. Luego comenzaron a diseñarse y poner en funcionamiento diferentes instrumentos con el fin de poder evaluar a los nadadores durante el nado a velocidades de carrera.

La bolsa de Douglas intentó ser usada para estudiar a nadadores, sin embargo, las

vueltas en una piletta entorpecían el uso de este sistema. Se trató de estudiar el VO_2 en nadadores mediante situaciones donde fuera relativamente simple acceder al nadador con equipos convencionales (bolsa de Douglas), como el canal de flujo. Esto es una piletta de mínimas dimensiones por donde se hace circular agua, a una velocidad que puede ser modificada, provocando un nado estacionario del nadador. Se toma la muestra ventilatoria en estas condiciones.

Por otro lado también se usó el método de retro-extrapolación, que consiste en la recolección de valores de VO_2 , cada 20 segundos luego del esfuerzo, para luego desarrollar una curva de regresión simple y predecir el valor de VO_2 en otras situaciones^{7,8}. Pero siempre ha sido difícil la recolección durante el nado a velocidad de competencia. Para ello debe utilizarse un snorkel adaptado al analizador de gases.

Uno de los desarrolladores de este tipo de instrumento fue Toussaint, que en el año 1987 publica su trabajo de investigación *Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming*, donde describe y valida la implementación de un dispositivo de respiración mediante válvulas⁹. Hoy existen varios tipos de analizadores de gases, entre ellos el K4b2 de la empresa italiana Cosmed y el VO_{2000} de la empresa norteamericana Medgraphics Company. Con ambos se han desarrollado diferentes dispositivos para nadadores, tanto para el K4b2 como es el caso del Aquatrainer Snorkel y otros modelos^{10, 11}; o para el VO_{2000} ^{12, 13}. La situación económica propia de los centros de investigación en países en desarrollo ha motivado a que se produzcan intentos de desarrollo de equipamiento localmente.

El objetivo del presente trabajo fue determinar si el uso de un dispositivo diseñado y construido en Argentina, permite la ventilación para el registro adecuado de los valores de VO_2 . Para ello se estudió la kinesis del consumo de oxígeno de una nadadora en dos situaciones de esfuerzo, es decir, con y sin el uso del snorkel diseñado acoplado al analizador de gases.

Metodología

Tipo de estudio y muestra

Se realizó un estudio de validación del comportamiento de un instrumento (snorkel), que agregado a un analizador de gases permite la recolección de muestras de aire a cierta distancia, permitiendo que el nadador ventile durante el nado pudiendo así realizar su estudio. Se estudia la concordancia de las mediciones de gases (VO_2 y VCO_2) con y sin el dispositivo agregado a un dispositivo analizador.

Se evaluó una nadadora federada, de la categoría cadetes-2 (15 años, peso: 42.5kg, talla: 143.5cm), especialista en 100 y 200 metros mariposa, que entrena en doble turno diario de 3 horas, con 4 horas semanales de preparación física en seco. La participación fue voluntaria, y dada la edad de la nadadora, se contó durante las pruebas, con la presencia de un adulto responsable. Se solicitó el consentimiento informado, donde se puso en conocimiento a los padres de las características de las pruebas a desarrollarse. También se contó con la presencia del entrenador, el cual participó activamente de la realización de los tests. Permanentemente hubo presencia médica durante las evaluaciones que se realizaron en el Instituto Alexander, sito en la ciudad de Morón, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Se evaluó el peso (kg) la estatura de acuerdo al protocolo de la International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). Se utilizó una balanza de palanca (CAM® modelo P-1001-P, Argentina), con una precisión de 0.1 kg y un estadiómetro deslizante de pared (Wiso®, Brasil) con una precisión de 0.001 m.

Medición del VO_{2max} : se realizaron dos evaluaciones a la atleta en una bicicleta ergométrica marca Zuccolo, en ambos casos utilizando un protocolo de tipo incremental con cargas de 150 kgm cada 1 minuto, hasta llegar a los 5 minutos de trabajo (carga máxima 750 kgm). En el test 1 se le colocó al atleta la máscara de VO_2 marca Medgraphics® y en el test 2 se utilizó el Snorkel adaptado. Se utilizó un analizador de gases metabólicos VO_{2000} de Medgraphics® junto con el software Breesuite. Las dimensiones del dispositivo portátil son 10,5 x 5 x 14 cm, y pesa 740 g. Contiene una celda galvánica que actúa como analizador del oxígeno, con una precisión de $\pm 0,1\%$, y un sistema infrarrojo no dispersado, que mide la producción de anhídrido carbónico

con una precisión de $\pm 0,2\%$. Los datos se promedian en intervalos de 10 segundos.

Se consideraron los siguientes parámetros del test de VO_2 :

- Consumo de oxígeno (VO_{2r}) relativo, evaluado con Máscara y con Snorkel, expresado en $ml.kg^{-1}.min^{-1}$.
- Consumo de oxígeno (VO_{2a}) absoluto, evaluado con Máscara y con Snorkel, expresado en $ml.min^{-1}$.
- Producción de dióxido de carbono (VCO_2), evaluado con Máscara y con Snorkel, expresado en $ml.min^{-1}$.
- Cociente respiratorio (RER) evaluado con Máscara y con Snorkel.
- Ventilación pulmonar (VE) evaluada con Máscara y Snorkel, expresado en $L.min^{-1}$.
- Frecuencia cardíaca (FC) evaluado con Máscara y con Snorkel, expresado latidos por minuto (lpm).

Instrumento/Snorkel: se utilizó el dispositivo diseñado DNV4 (Dispositivo para Nadadores de 4 Válvulas). Posee 2 válvulas a la altura de la boquilla y 2 en la salida, lugar en donde se produce la expulsión del CO_2 y el ingreso del O_2 . La posición de las válvulas da lugar a que se cree un circuito de circulación continua permitiendo una ventilación sin resistencia. Cuenta con una boquilla anatómica. Cada tubo tiene un diámetro de 1 pulgada y un largo de 1 metro de cada lado. En el extremo opuesto a la boquilla se empalman a través de una unión con una única salida, lugar en donde se conectan los receptores de CO_2 y O_2 .

Gráfico 1. Instrumento DN-V4. El dispositivo para nadadores de 4 válvulas tiene como característica principal que el aire inspirado y espirado no se mezcla en un mismo tubo, cada uno de ellos toma direcciones diferentes.

Estadística

Análisis de datos: los datos se analizaron partiendo de las dos situaciones diferenciadas, en primer lugar, el consumo de oxígeno registrado con el analizador de gases solamente y luego con el analizador y el snorkel incorporado. Se realizó en principio un test de correlación de Spearman para estudiar los

parámetros, con Máscara y con Snorkel., luego se realizó el análisis de concordancia de los valores de VO_2 a través del modelo de BlandAltman¹⁴. Con el test t se estudiaron las medias de las diferencias, y su desvío standard, lo que posibilitó el cálculo del intervalo de

confianza para establecer los límites superior e inferior. Se estableció un nivel de significación de $p \leq 0.05$. Finalizando con un análisis de regresión lineal de las diferencias y medias para la determinación de sesgos.

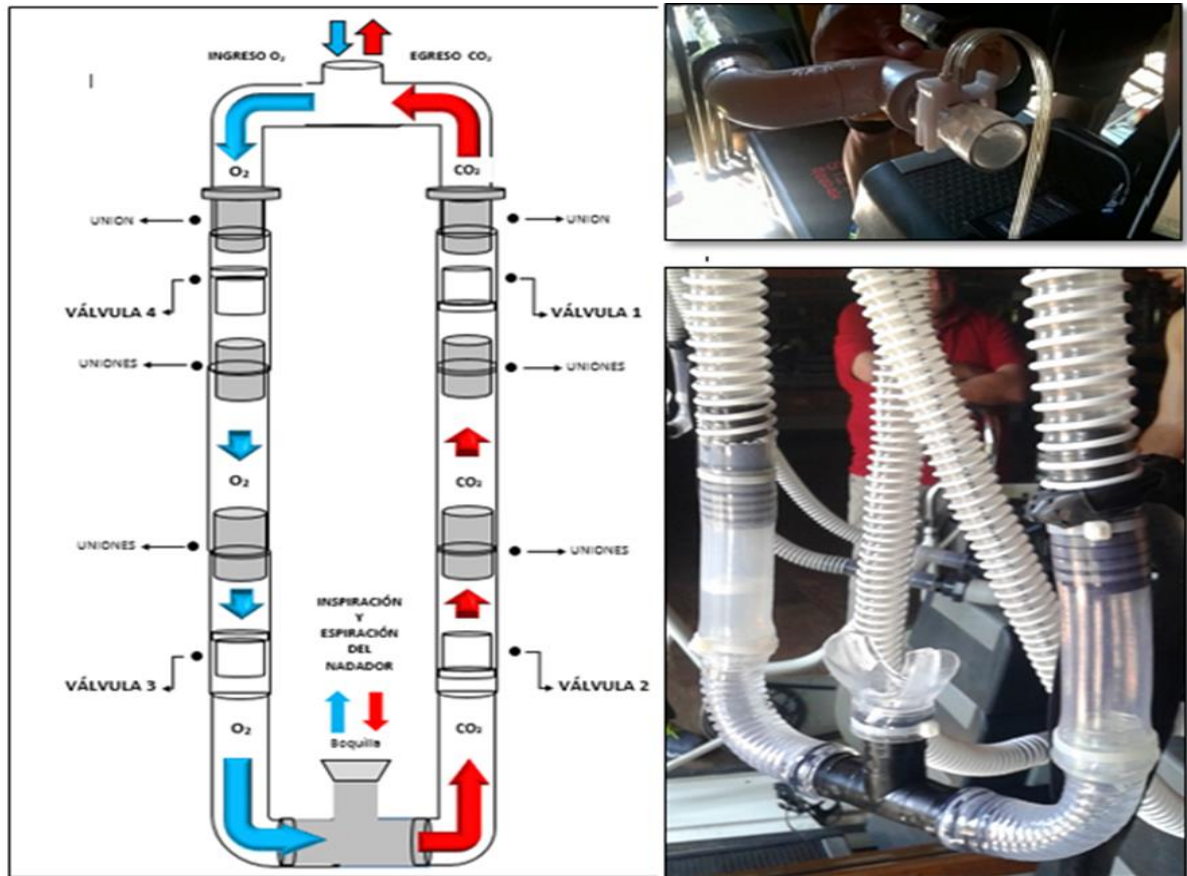


Gráfico n 1. Instrumento DN-V4 utilizado en el estudio.

Resultados

En la Tabla N°1 se encuentran representados los pares de valores máscara y snorkel para consumo de oxígeno relativo (VO_{2r}), consumo de oxígeno absoluto (VO_{2a}), producción de dióxido de carbono (VCO_2), cociente respiratorio (RER), volumen ventilado (VE) y frecuencia cardíaca (FC). Su utilizó la prueba Rho de Spearman para estudiar su correlación que se presenta en la Tabla N° 2.

Las variables estudiadas muestran una alta correlación, con un muy buen nivel de significación. Para el análisis de concordancia de los valores de VO_2 se utilizó el modelo de

Bland Altman, que se muestra como Gráfico 1. En principio se calcularon las diferencias y las medias de los valores de VO_2 con máscara y con snorkel. Se estudiaron las diferencias determinándose mediante el test t para una muestra la media (-1.111) y la desviación típica (2.25996).

Este análisis presentó una significación de 0.154, mostrando que no había diferencias significativas. Se calcularon los intervalos de confianza del 95% tanto para el límite superior (3.3185216) como para el inferior (-5.5405216). Esto permitió la construcción del Modelo de Bland Altman (Gráfico 1). Para determinar el sesgo de los valores outliers se realizó un

estudio de regresión lineal entre la diferencia (como la variable dependiente) y las medias (como la variable independiente). Se determinó el coeficiente Beta (-.228) y la significación de

la regresión fue de 0.190, por lo que se estima aceptable la concordancia de los datos.

Tabla n° 1. Test de consumo de oxígeno con Máscara (M) y con Snorkel (S)

t	VO _{2r} M	VO _{2r} S	VO _{2a} M	VO _{2a} S	VCO ₂ M	VCO ₂ S	RER M	RER S	VE M	VE S
1.5	34.0	30.0	1446	1277	1034	820	.72	.64	28.3	26.6
2.0	34.1	36.8	1450	1562	1206	1172	.83	.75	31.6	35.8
2.5	32.9	36.7	1400	1558	1300	1340	.93	.86	34.1	42.2
3.0	34.1	34.9	1448	1482	1386	1400	.96	.94	36.7	43.2
3.5	38.6	39.3	1642	1672	1554	1604	.95	.96	39.4	48.6
4.0	38.6	40.0	1642	1700	1655	1673	1.01	.98	43.8	50.8
4.5	39.6	39.8	1685	1692	1662	1727	.99	1.02	42.8	52.7
5.0	42.3	42.7	1797	1813	1813	1865	1.01	1.03	47.7	55.7
5.5	40.0	41.1	1698	1748	1793	1845	1.06	1.06	47.7	57.2

Leyenda: t: tiempo (minutos), VO_{2r}: consumo de oxígeno relativo, VO_{2a}: consumo de oxígeno absoluto, VCO₂: producción de dióxido de carbono, RER: cociente respiratorio, VE: volumen ventilado, FC: frecuencia cardíaca.

Tabla n°2. Correlación con Máscara y con Snorkel (Prueba Rho de Spearman)

Variable	Coefficiente de correlación	Nivel de significación
VO _{2r} (mL.Kg ⁻¹ . min ⁻¹)	0.908	0.01
VO _{2a} (mL . min ⁻¹)	0.921	0.01
VCO ₂ (mL . min ⁻¹)	1.000	0.01
RER	0.954	0.01
VE (L . min ⁻¹)	0.979	0.01

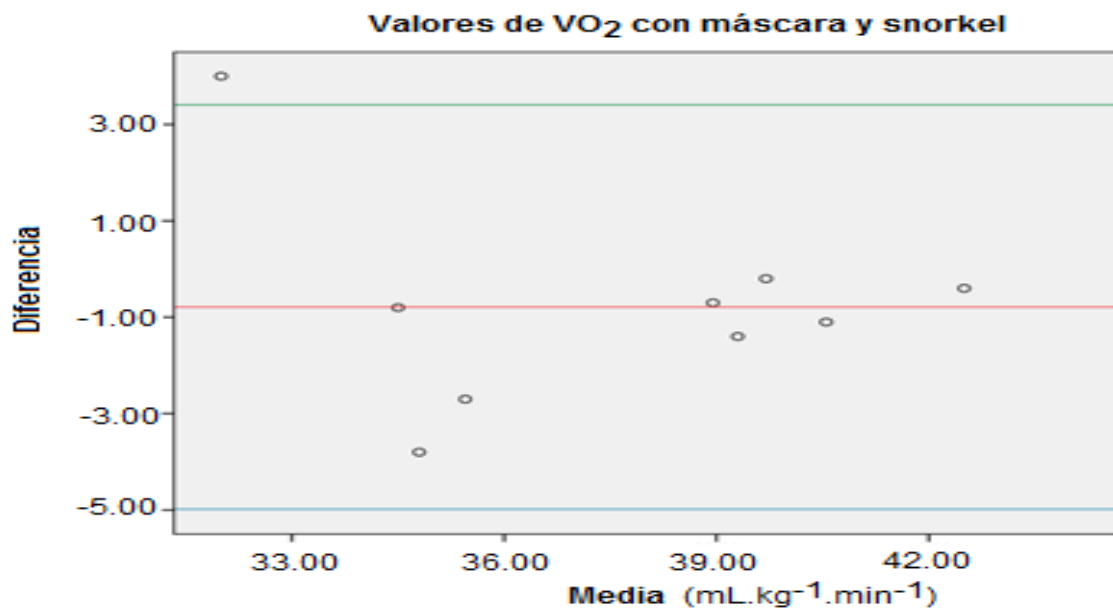


Gráfico 1. Diferencias y medias de los valores de VO₂ con máscara y con snorkel. (Modelo de Bland Altman).

El estudio del VO_2 en nadadores y precisamente durante el nado a velocidad es complicado. Debe incorporarse una interfaz entre el nadador y el analizador de gases que sea fácil de transportar por el nadador, que no limite sus movimientos, y que permita la captura de muestra de gases preservando el equipo.

Los modelos iniciales de dispositivos fueron en principio simplemente sistemas de ventilación habituales en la natación como el snorkel adaptados para acoplarse a un analizador. Por ejemplo, en el trabajo de Pinna y colaboradores, se utilizó un tubo de plástico corrugado de bajo volumen (200ml). En ese caso estudiaron el VO_{2max} en un test de ciclismo, carrera y nado. Encontrando que el VO_{2max} era menor durante la fase de nado comparado con las otras situaciones estudiadas¹⁵. La tecnología aplicada fue mejorando y más recientemente Baldari y colaboradores¹¹ pudieron desarrollar un nuevo dispositivo para la interfaz entre el nadador y el analizador de gases con un sistema de válvulas dobles que mejoró las condiciones de ventilación del deportista.

En este trabajo se presenta un dispositivo diseñado por los autores para el analizador VO_{2000} de Medgraphics que también utiliza 4 válvulas. Estas son unidireccionales y están de a par en cada uno de los tubos por los que ingresa aire, o por la que se expulsa el aire inspirado. Se encontró una elevada correlación de los resultados para los pares de valores de las variables estudiadas la cual es similar a la del trabajo de Baldari, utilizando la Máscara y el SV4 o "4 valves snorkel"¹¹.

En este dispositivo la fijación de los tubos es a los laterales de la cabeza del nadador lo que otorga independencia sin obstaculizar la visión, como sucede con los tubos ubicados en región frontal. Los tubos así dispuestos permiten que un operador se desplace cómodamente por el borde de la piletta, portando el analizador de gases y los elementos de toma de muestra que se acoplan a la tabuladora

diseñada. Esto es importante considerarlo en las vueltas, y en aquellos estilos donde la cabeza del nadador se desplaza durante cada gesto de nado.

Esto es importante considerar porque los análisis de la kinesis del VO_2 en nadadores debe centrarse sobre las velocidades de carrera. Ya que esto es después lo que debe determinar la velocidad de los entrenamientos (10% más o menos sobre la marca). Por lo tanto, resulta importante evaluar siempre a intensidades elevadas, es decir cerca de la mejor marca del nadador. Así lo hicieron algunos investigadores como Rodríguez que en el 2003¹⁶ investigó la cinética VO_2 en 100 y 400 m crawl, Fernandes en 2008¹⁷ y Pessoa Filho en 2012¹⁸, entre otros. Los estudios de nado a velocidades intensas han continuado con Sousa y colaboradores^{19, 20}, que insisten en la necesidad de contar con estudios de VO_2 a velocidades de competencia.

El estudio del consumo de oxígeno durante entrenamientos a velocidad de carrera es una importante fuente de datos para la programación de los entrenamientos y supervisión de la evolución del nadador. Esta experiencia implica que se pueden desarrollar dispositivos para la toma de muestras de gases durante el nado con tecnología accesible. Obviamente se necesitarán más pruebas, y esa es la limitante de este estudio, con diferentes nadadores, estilos y velocidades de nado.

En este trabajo se estudió el comportamiento del consumo de oxígeno (cinética) en una nadadora juvenil en una situación controlada de laboratorio donde se obtuvieron valores para consumo de oxígeno con el uso de analizador de gases y el uso de analizador de gases adicionado a un snorkel diseñado localmente para realizar luego las pruebas en agua. Los resultados obtenidos sugieren su aplicabilidad a las mediciones de VO_2 y CO_2 a velocidad de carrera, aspecto esencial en la evaluación de la performance de nadadores de alto rendimiento.

Referencias

1. Anderson O. On the threshold of something big: How intensely must you train to obtain benefit? *Running Research News*. 2002;18(3):1-4.
2. Albouaini K, Egred M, Alahmar A, WrigthDj. Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Heart*. 2007;83(985):675-82

3. Jones MA, Poole DC. Oxygen uptake kinetics in sports, exercise and medicine. London: Routledge; 2005.
4. FINA. FINA 25m pool world records (as of February 10, 2016). Swimming records (sitio en internet). Accesible en: <http://www.fina.org/content/swimming-records> (16/2/2016)
5. FINA. FINA Open Water Swimming Grand Prix #5 Capri-Napoli (ITA) September 6, 2015. FINA Open Water Swimming Grand Prix. (sitio en internet). Accesible en: <http://www.fina.org/competition/9864/261> (16/2/2016)
6. Liljestrand G, Lindhard J. Über das minutenvolumendeshertzensbeimschwimmen. Skand Arch Physiol.1920;39(1):64–77.
7. Montpetit R, Léger L, Lavoie JM, Cazorla G. VO₂ Peak During Free Swimming Using the Backward Extrapolation of the O₂ Recovery Curve. Eur J Appl Physiol 1981;47:385-391
8. Sleivert G, Mackinnon LT. The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. Eur J Appl Physiol 1991;63:135-139.
9. Toussaint HM, Meulemans A, Groot G, Hollander AP, Schreurs AW, Vervoorn K. Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. Eur J Appl Physiol 1987;56(3):363-6.
10. Castro FAS, Franken M, Silvera RP, Mota CB. Consumo de oxigênio na natação: diferentes metodologias e possibilidades de aplicação. R. bras. Ci. e Mov. 2010;18(3):88-93.
11. Baldari C, Fernandes RJ, Meucci M, Ribeiro J, Vilas-Boas JP, Guidetti L. Is the new AquaTrainer® snorkel valid for VO₂ assessment in swimming? Int J Sports Med. 2013; 34: 336–44.
12. Rodríguez FA, Keskinen KL, Kusch M, Hoffmann U. Validity of a swimming snorkel for metabolic testing. Int J Sports Med. 2008;29:120-8.
13. Papoti M, Junior PB, Denadai BS, Lima MCS, Silva AS, Santhiago V, Gobatto CA. Adaptação da máscara do analisador de gases VO₂2000 para mensuração de parâmetros cardiorespiratório em natação. Rev Bras Med Esp. 2007;13(3):34-56.
14. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 1986; 1:307–10.
15. Pinna M, Milia R, Roberto S, Marongiu E, Olla S, Loi A, et al. Assessment of the specificity of cardiopulmonary response during tethered swimming using a new snorkel device. J Physiol Sci. 2013 January;63(1):7–16.
16. Rodríguez FA, Keskinen K, Malvela M, Keskinen O. Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study. En IX Biomechanics and Medicine in Swimming. Saint-Etienne: Publications de l'Université de Saint-Étienne; 2003. pp. 379–84. ISBN 2-86272-303-7.
17. Fernandes RJ, Keskinen KL, Colaço P, Querido AJ, Machado L, Morais PA, et al. Time limit at VO₂max velocity in elite crawl swimmers. Int. J. Sports. Med. 2008;29(2): 145–50.
18. Pessoa Filho DM, Alves FB, Reis JF, Grecco CC, Denadai BS. VO₂ kinetics during heavy and severe exercise in swimming. Int. J. Sports Med. 2012; 33(9): 744–8.
19. Sousa A, de Jesus K, Figueiredo P, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Cinética do consumo de oxigênio em intensidades de nadadeira moderada e extrema. Bras Med Esporte. 2013 Mai/Jun;19(3): 186-90.
20. Sousa A, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. VO₂ kinetics and metabolic contributions whilst swimming at 95, 100, and 105% of the velocity at VO₂max. BioMed Research International. 2014; 2014: 1-9.

Conflicto de interés: Los autores refieren que no existen conflictos de interés relacionados con el contenido del artículo.

Agradecimientos: Al Licenciado Nicolás Echandía por sus aportes en las consideraciones estadísticas.

Financiamiento: Propio.