PubliCE, (PubliCE) 2009

Monograph

Diferencias en los Valores de los Gases Respiratorio y Sanguíneo durante el Período de Recuperación luego de la Realización de Ejercicios con Frecuencia Respiratoria Espontánea y Reducida

Jernej Kapus S, Antón U aj, Venceslav Kapus y Boro trumbelj

University of Ljubljana, Faculty of Sport, Laboratory of Biodynamics, Slovenia.

RESUMEN

Para estimar los parámetros de los gases respiratorio y sanguíneo durante el ejercicio se ha utilizado la extrapolación de las mediciones posteriores al ejercicio. Esto podría no ser preciso en ejercicios con frecuencia respiratoria reducida (RBF), pues la respiración espontánea por lo general sigue al ejercicio. Este estudio se llevó a cabo a fin de determinar si la medición de la saturación de oxígeno y los gases sanguíneos inmediatamente luego del ejercicio reflejaban de manera precisa sus valores durante el ejercicio con RBF. Ocho hombres en buen estado de salud realizaron una prueba progresiva de ciclismo con RBF a 10 respiraciones por minuto. Entonces se llevó a cabo una prueba de carga constante con RBF (B10) hasta el agotamiento a la producción de potencia pico medida durante un test progresivo. Por ultimo, los participantes repitieron la prueba con carga constante y con respiración espontánea (SB) utilizando el mismo protocolo de B10. Durante ambas pruebas a carga constante se midieron la ventilación pulmonar (V_E), las presiones telespiratorias de oxígeno($P_{ET}O_2$) y de dióxido de carbono ($P_{ET}CO_2$) y la saturación de oxígeno (SaO_2). Las presiones parciales de oxígeno (PO_2) y dióxido de carbono (PCO_2) en la sangre capilar se midieron durante el último minuto del ejercicio, inmediatamente después del ejercicio y durante el tercer minuto de la recuperación. Al final del ejercicio la RBF resultó en valores más bajos de $P_{ET}O_2$, SaO_2 y PO_2, y valores más elevados de $P_{ET}CO_2$ y PCO_2 más elevadas en comparación con la respiración espontánea durante el ejercicio. Se observaron valores más bajos de SaO_2 y $P_{ET}O_2$ sólo en los primeros 16 y 20 s de la recuperación post B10 en comparación con el período correspondiente a SB. No hubo diferencias significativas en la PO_2 entre SB y B10 medida inmediatamente después del ejercicio. Durante la recuperación del ejercicio, la $P_{ET}CO_2$ permaneció elevada por los primeros 120s en la prueba B10. También hubo diferencias significativas entre SB y B10 en la PCO_2 inmediatamente después del ejercicio. Se concluyó que esa RBF durante el ejercicio de alta intensidad resulta en hipoxia; sin embargo, debido a la hipernea posterior al ejercicio, las mediciones de los parámetros de gas sanguíneo tomados en los 15 s posteriores al cese del ejercicio no reflejaron los cambios en la PO_2 y la SaO_2 vistos durante la ejercitación.

Palabras Clave: test con carga constante, frecuencia respiratoria reducida, recuperación, parámetros respiratorios, saturación de oxígeno, gas sanguíneo

INTRODUCCION

En algunos deportes, el entorno es inapropiado para las mediciones directas de los parámetros de gases respiratorios y sanguíneos durante el ejercicio. Además, la colocación de un equipo de medición incómodo puede influenciar la técnica de movimiento y en consecuencia incrementar el costo energético. Para superar este problema, se han medido los parámetros de los gases respiratorios y sanguíneos al final del ejercicio a fin de calcular las respuestas fisiológicas durante el ejercicio. La extrapolación de la curva de recuperación de O_2 hacia atrás se ha utilizado para calcular el consumo de oxígeno pico durante la natación (Rodriguez et al., 2002) y el nado sincronizado (Bante et al., 2007). Este método requiere que las mediciones se realicen lo más pronto posible después de la finalización del ejercicio. La recopilación de la información dura algunos minutos, y la curva de recuperación se extrapola de vuelta a tiempo cero, es decir, hasta el final del ejercicio. La extrapolación de las mediciones posteriores al ejercicio también se ha utilizado para estimar cambios en las presiones parciales de gases sanguíneos inducidos por la frecuencia respiratoria reducida (RFB), como se observó en la natación competitiva. No obstante, Štrumbelj et al. (2006) hallaron que las mediciones de los parámetros de gas respiratorio y sanguíneo tomados al final de la prueba máxima de nado en estilo crol no reflejaron las condiciones que aparecieron durante la prueba de natación. La RBF durante la natación incrementó la concentración alveolar de CO_2 (Dicker et al., 1980; Peyrebrune et al., 2002; Town y Vanness, 1990; West et al., 2005) e indujo a una presión parcial de dióxido de carbono más elevada en la sangre capilar después de la misma (Kapus et al., 2002; Kapus et al., 2003). Sin embargo, estos estudios no lograron demostrar una reducción en la saturación del oxígeno debido a la RBF ya sea analizando el aire espirado durante el nado (Holmér et al., 1980) o tomando muestras de sangre capilar después del nado (Kapus et al., 2002; 2003). Por el contrario, se ha demostrado que la RBF en cicloergómetro provoca una reducción en la saturación del oxígeno y una presión parcial de oxígeno más baja, medidas en la sangre arterial (Yamamoto et al., 1987) y capilar (Kapus et al., 2007; Sharp et al., 1991). Teniendo en cuenta que la hipoxia se ha detectado *durante* el ejercicio de ciclismo pero no *después* del nado, el momento de medición elegido puede ser la razón de la aparente diferencia en la respuesta de la RBF. El momento de medición elegido puede ser especialmente importante cuando la respiración espontánea sigue al ejercicio con RBF. El presente estudio se diseñó para dilucidar este problema. Hasta la fecha, no se han presentado datos de la saturación del oxígeno y los parámetros respiratorios durante la recuperación después del ejercicio con RBF. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio ha sido determinar si las mediciones de la saturación del oxígeno y los gases sanguíneos medidos inmediatamente después del ejercicio pudieron estimar sus valores durante la ejercitación con RBF.

METODOS

Participantes

Ocho hombres en buen estado de salud (edad 25 ± 1 años, altura 1.81 ± 0.03 m, peso 80 ± 7 kg, consumo de oxígeno pico (pico de VO_2) 44.26 ± 2.93 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, capacidad vital forzada de 5.98 ± 0.58 l y volumen espiratorio forzado de 4.76 ± 0.59 l en 1 s.) se ofrecieron para participar del presente estudio. Ninguno de los participantes era fumador ni sufría enfermedades respiratorias en el momento del estudio. A los sujetos se les informó sobre el objetivo y los posibles riesgos del estudio antes de que dieran su consentimiento por escrito para participar. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad.

Procedimientos

Se definió a la RBF como 10 respiraciones por minuto y se reguló mediante un metrónomo respiratorio. El metrónomo respiratorio estaba compuesto de una válvula solenoide para servicio de gas 24 VDC (Jakša, Ljubljana, Slovenia) y un semáforo con luces rojas y verdes. Ambos estaban controlados por una automatización micro Logo DC 12/24V (Siemens, Munich, Alemania). A los sujetos se los instruyó para que espiraran e inspiraran durante un período de 2 s. de la válvula solenoide abierta (se encendía la luz verde del semáforo) y que mantuvieran la respiración utilizando casi toda la capacidad pulmonar (mantener la respiración casi con toda la capacidad pulmonar) por 4 s cuando se cerraba la válvula solenoide (se encendía la luz roja del semáforo). Antes de la prueba de los ejercicios, los participantes estaban familizarizados con la respiración por medio del metrónomo respiratorio. Después de la familiarización, cada participante realizó 4 pruebas de ejercicios en un cicloergómetro con freno electromagnético Ergometrics 900 (Ergoline, Windhagen, Alemania) con una cadencia de pedal en ~60 revoluciones por minuto (rpm). Las pruebas se realizaron en un orden prescrito, cada una en un día diferente.

Pruebas Preliminares

En principio, los participantes realizaron una prueba progresiva de ejercicios (IT) para obtener el pico de VO_2. La prueba comenzó en 30 W y se incrementó en alrededor de 30 W cada 2 min hasta el agotamiento voluntario. El pico de VO_2 se definió como el consumo de O_2 más elevado promediado en un intervalo por encima de 60-s. Luego, los participantes realizaron una prueba progresiva de ejercicios con RBF (ITB10) para obtener la producción de potencia pico. Excepto por la respiración, el protocolo de esta prueba fue idéntico al protocolo de la IT. Se definió a la producción de potencia pico como la etapa de trabajo más elevada que completó cada sujeto. Según estos resultados, se eligió el índice de trabajo para la prueba de carga constante con RBF para cada sujeto.

Protocolo Experimental

Después de una prueba preliminar se llevó a cabo una prueba de carga constante con RBF (B10) hasta el agotamiento en la producción de potencia pico obtenida durante el ITB10. Esta prueba comenzó con un calentamiento de 5 min a 50 W. Luego, se incrementó la sobrecarga para que sea correspondiente con la producción de potencia pico del sujeto y el sujeto continuó hasta el agotamiento. La prueba de carga constante se completó en alrededor de 10 min de recuperación activa a 20 W con respiración espontánea. Por ultimo, los participantes repitieron la prueba de carga constante, aunque, con respiración espontánea (SB). De otro modo, el protocolo (intensidad y duración) de esta prueba era idéntico al protocolo de B10.

Mediciones

Durante las pruebas de carga constante (calentamiento, ejercicio y recuperación de 10 min.; SB y B10) los participantes respiraron a través de una boquilla sujeta a un neumotacógrafo. El gas espirado del participante se analizó de manera continua mediante un carro metabólico V-MAX29 (SensorMedics Corporation, Yorba Linda, EE.UU.) para determinar con cada aliento los parámetros respiratorios (la ventilación pulmonar (V_E), la presión telespiratoria de oxígeno ($P_{ET}O_2$) y la presión telespiratoria de dióxido de carbono ($P_{ET}CO_2$). El neumotacógrafo y los analizadores de O_2 y CO_2 se calibraron antes de la prueba con una jeringa estándar 3 L y gases de referencia de precisión, respectivamente. Para más análisis estadísticos, los datos de cada aliento se promediaron cada intervalo de 10-s. Durante las pruebas de carga constante (calentamiento, ejercitación y recuperación de 10 min.), la saturación de oxígeno (SaO_2) se midió utilizando un oxímetro de pulso TruStat™ (Datex-Ohmeda, Madison, EE.UU.). El oxímetro de pulso es un instrumento de medición indirecta de la oximetría, que muestra la SaO_2 cada 4 s. Se sujetó una sonda de oreja al lóbulo de la oreja después de higienizar el área con alcohol. La presión parcial del oxígeno (PO_2) y dióxido de carbono (PCO_2) en la sangre capilar se midieron durante el último minuto de ejercicio, inmediatamente después del ejercicio (el retraso entre el cese del ejercicio del participante y la primera medición no excedieron los 15 s) y durante el tercer minuto de la recuperación. Las muestras de sangre capilar (60 – 80 µl) se tomaron mediante una micro perforación del lóbulo de una oreja. La sangre capilar del lóbulo de la oreja se arterializó mediante la aplicación de una crema hiperémica (Finalgon, Boehringer-Ingelheim, Reims, Francia) al menos 20 min antes de la primera muestra capilar. Las muestras del lóbulo de la oreja se tomaron en tubos capilares de cristal heparinizado y se las introdujo dentro de un analizador de gas sanguíneo ABL5 (Radiometer, Copenhagen, Dinamarca) para análisis de gas a 37º C.

Análisis Estadísticos

Los resultados están presentados como medias y desviaciones estándar (DE). Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para medidas repetidas a fin de evaluar las diferencias estadísticas entre SB y B10 durante todo el período de recuperación. Si se documentaba la significancia, post hoc, las comparaciones por pareja de los datos de los parámetros respiratorios y la SaO_2 al final del ejercicio y durante una recuperación inicial de 40 s se hacía utilizando una prueba *t* para datos apareados. Además, en estas comparaciones también se incluyeron los datos de los parámetros respiratorios medidos cada cuarenta segundos desde el período de recuperación inicial de 40 s. La significancia estadística se aceptó en el nivel $p \leq 0.05$. Todos los parámetros estadísticos se calcularon utilizando el programa de estadística SPSS (versión 15.0, SPSS Inc., Chicago, EE.UU.) y el programa de estadísticas gráficas Sigma Plot (versión 9.0, Jandel, Tübingen, Alemania).

RESULTADOS

La Tabla 1 ilustra las respuestas de VO_2 a la cicloergometría progresiva en relación a las respuestas de VO_2 en los sujetos durante la prueba progresiva con RBF.

Los datos ilustrados en la Tabla 2 describen la intensidad y el tiempo promedio hasta el agotamiento en B10 y que produjeron 191 W (32 W) y 566 s (332 s), respectivamente. Por diseño, la intensidad y la duración de B10 y SB fueron

idénticas. Como se esperaba, la V_E fue significativamente más baja ($p \leq 0.01$) en B10 que en SB al final del ejercicio (tiempo cero de la curva de recuperación en la figura 1). Sin embargo, en la prueba de B10, la V_E aumentó notablemente después del ejercicio y fue más elevada durante la recuperación inicial de 200 s de lo que fue durante el período correspondiente a la prueba de SB ($p \leq 0.01$). La $P_{ET}CO_2$ fue significativamente más baja al final del ejercicio y durante la recuperación inicial de 20 s en B10 que en SB ($p \leq 0.01$; Figura 2). Resultados similares surgieron para la SaO_2 (Figura 3), que difirió de manera significativa ($p \leq 0.01$) entre las pruebas al final del ejercicio y para la recuperación inicial de 16 s. La $P_{ET}CO_2$ fue significativamente más elevada para los primeros 120 s de recuperación después de B10 que después de SB ($p \leq 0.01$; Figura 4).

Producción de Potencia (W)													
Sujeto		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	IT	2,86	7,72	10,14	13,68	16,44	21,77	24,69	28,37	31,68	35,75		
	ITB10	5,00	9,26	12,11	13,80	17,13	20,75	23,65	27,12	29,81			
2	IT	3,63	8,44	12,03	15,30	19,97	23,36	27,37	31,67	36,19	41,90	47,35	
	ITB10	5,55	11,93	13,83	16,53	21,22	24,03	28,57					
3	IT	3,40	8,16	11,58	15,11	19,48	23,01	27,66	32,37	35,97	40,19	45,08	
	ITB10	4,70	8,27	13,71	16,48	21,03	24,56	28,26	31,64				
4	IT	3,79	8,26	11,83	15,06	17,84	20,30	23,99	28,33	32,55	36,25	39,97	
	ITB10	5,51	9,67	11,73	15,15	17,20	19,19						
5	IT	3,80	8,13	12,36	16,95	20,10	26,54	28,02	31,91	35,71	39,84	44,52	
	ITB10	4,97	9,31	13,07	15,31	18,92	21,24						
6	IT	3,80	8,68	11,50	15,68	17,68	22,08	24,78	27,98	32,68	34,69	40,10	44,63
	ITB10	5,22	10,28	15,25	16,54	20,06	23,54	26,49	28,94				
7	IT	4,04	8,26	11,84	15,77	18,06	22,62	25,60	29,01	33,01	36,68	42,56	46,73
	ITB10	4,01	8,84	12,50	14,77	18,18	18,13	22,98					
8	IT	3,84	9,24	12,06	15,60	19,75	23,60	27,78	31,75	36,75	43,12		
	ITB10	4,61	9,74	12,81	15,40	19,06	23,67	26,85	29,45				

Tabla 1. *Respuestas individuales de VO_2 al ejercicio progresivo de bicicleta en dos condiciones de respiración diferentes. IT y ITB10 indican la prueba progresiva de ejercicio con respiración espontánea y RBF, respectivamente.*

Sujeto	Producción de Potencia (W)	Duración (s)
1	240	420
2	180	317
3	210	358
4	150	1158
5	150	1032
6	210	354
7	180	408
8	210	479

Tabla 2. *Valores individuales de producción de potencia y tiempo hasta el agotamiento en B10.*

La Tabla 3 muestra que la PO_2 fue significativamente más baja durante el último minuto del ejercicio en B10 que en SB ($p \leq 0.01$). Además hubo diferencias significativas entre SB y B10 en la PCO_2, medida durante el último minuto del ejercicio e inmediatamente posterior a este ($p \leq 0.01$).

DISCUSION

Según estudios previos, la RBF durante el ejercicio produjo una reducción marcada en la V_E. La V_E medida al final del ejercicio fue 49% más baja en B10 que en SB (Figura 1). Con una reducción de frecuencia respiratoria similar en el cicloergómetro, Yamamoto et al. (1987) y Sharp et al. (1991) obtuvieron una reducción menor de la V_E. Sin embargo, en estos estudios se utilizaron diferentes protocolos de prueba e intensidades de ejercicio con RBF. Yamamoto et al. (1987) mostraron una reducción del 30% en la V_E durante una prueba de intervalo con RBF (30 s de ejercicio a 210 W con RBF alternando intervalos de descanso de 30 s con respiración espontánea). Sharp et al. (1991) midieron una reducción del 25% en la V_E durante 8 min de ejercicio a una intensidad por encima del umbral de lactato debido a la RBF. En los estudios de RBF en el nado en estilo crol se observó una reducción similar en la V_E respirando cada seis (Town y Vanness, 1990) u ocho (West et al., 2005) ciclos de brazadas, como se obtuvo en el presente estudio, en comparación con la respiración cada dos ciclos de brazadas. No obstante, después del cese de B10, cuando se permitió la respiración espontánea, la V_E aumentó notablemente hasta un pico en el segundo 20 de la recuperación. De allí en adelante, disminuyó hasta los valores de descanso. En contraste, la V_E comenzó a disminuir de inmediato hasta los valores de descanso luego del cese de ejercicio con SB.

Parámetro		SB	B10
PO_2	Último minuto durante el ejercicio	11.3 (0.6)	8.7 (1.2) **
	Inmediatamente después del ejercicio	11.8 (1.4)	10.9 (0.9)
	Durante el tercer minuto de la recuperación	12.4 (1.0)	12.5 (1.2)
PCO_2	Último minuto durante el ejercicio	5.2 (0.8)	7.3 (0.5) **
	Inmediatamente después del ejercicio	5.1 (1.0)	5.9 (1.1) **
	Durante el tercer minuto de la recuperación	5.0 (0.5)	5.1 (0.5)

Tabla 3. *Comparación de valores de la PO_2 (kPa) y la PCO_2 (kPa) medidas durante el último minuto de ejercicio, inmediatamente después del ejercicio y durante el tercer minuto de la recuperación entre las dos condiciones de respiración diferentes. **Indica $p \leq 0.01$ entre los ejercicios en dos condiciones de respiración diferentes.*

Durante la recuperación inicial de 20 s después de B10, los participantes respiraron un promedio de 26.4 litros de aire comparados con 20.5 litros después del ejercicio con SB. Esta hiperventilación marcada influenció cambios en otros parámetros respiratorios y sanguíneos. Como se esperaba, al final del ejercicio, la RBF resultó en $P_{ET}O_2$, SaO_2 y PO_2 más bajas, cuando se la comparó con la respiración espontánea durante el ejercicio (Figura 2 y 4, Tabla 3). Estos datos estuvieron en concordancia con estudios previos, que midieron estos parámetros durante los diferentes ejercicios de ciclismo con RBF (Kapus et al., 2007; Sharp et al., 1991; Yamamoto et al., 1987). Debido a los diferentes protocolos de prueba, Yamamoto et al. (1987) y Kapus et al. (2007) reportaron valores mayores de SaO_2 que lo que se midió al final de B10. La intensidad (producción de potencia pico del sujeto) y la duración (ejercicio hasta el agotamiento) de B10 fueron máximas para cada sujeto. Teniendo en cuenta eso, en el presente estudio se esperaban bajos valores de SaO_2 (83% (8%)) al final del ejercicio con RBF. Estos resultados confirmaron una hipoxia severa durante B10. No obstante, la hiperventilación después del cese de B10 indujo a una rápida recuperación de $P_{ET}O_2$, SaO_2 y PO_2. Se detectaron valores de O_2 más bajos sólo durante los 16 s y 20 s iniciales después de B10 en comparación con SB, medido por la SaO_2 (Figura 4) y la $P_{ET}O_2$ (Figura 2) respectivamente. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la PO_2 entre SB y B10 medida inmediatamente después del ejercicio (Tabla 3). El retraso entre el cese del ejercicio del participante y la primera medición no excedieron los 15 s. Sin embargo, este retraso fue, en apariencia, demasiado prolongado para detectar la hipoxia con la medición de la PO_2 después de B10. Según la experiencia, este retraso es más prolongado para las pruebas de campo tales como las pruebas de nado en piscina. Teniendo en cuenta eso, el tiempo de las mediciones puede ser la razón del porqué los estudios previos no lograron demostrar una reducción en la PO_2 por la RBF en el nado (Kapus et al., 2002; 2003).

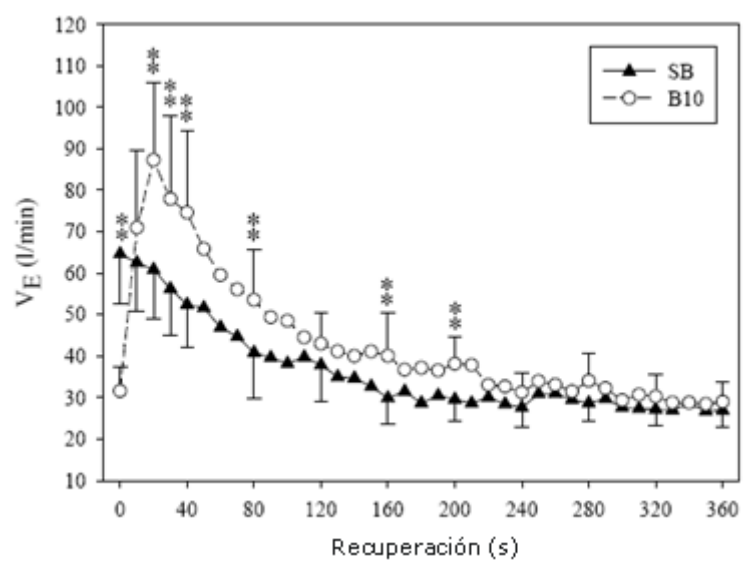

Figura 1. *Hubo diferencias significativas entre SB y B10 en la V_E medida al final del ejercicio y durante la recuperación (ANOVA para medidas repetidas, $p \leq 0.01$). Los resultados analizados estadísticamente para comparar en un tiempo definido durante la recuperación se encuentran marcados con desviaciones estándar (prueba t para datos apareados). **Indica $p \leq 0.01$ entre las dos condiciones de respiración diferentes.*

Según estudios previos (Dicker et al., 1980; Kapus et al., 2007; Peyrebrune et al., 2002; Sharp et al., 1991; Town y Vanness, 1990; West et al., 2005, Yamamoto et al., 1987), la RBF produjo hipercapnia, según lo demuestran la $P_{ET}CO_2$ y la PCO_2 más elevadas en B10 que en SB. Yamamoto et al. (1987) hallaron que la presión parcial de dióxido de carbono arterial (P_aCO_2) y la concentración de iones hidrógeno ($[H^+]$) aumentaron de manera continua hasta el final de una prueba de intervalo con RBF. Al utilizar 8 min de ejercitación con RBF a una intensidad por encima del 10% de carga de trabajo de umbral de lactato, Sharp et al. (1991) informaron resultados similares. Se concluyó que la RBF durante la ejercitación causó acidosis respiratoria en intensidades de ejercicio que no estaban asociadas con alteraciones de la $[H^+]$ durante la V_E no reducida. Teniendo en cuenta eso, se sugirió que la combinación de hipercapnia severa, acidosis respiratoria y acidosis metabólica fue la posible causa de una fatiga prematura durante el ejercicio a intensidades más elevadas cuando se utilizó la RBF (Kapus et al., 2003). Durante la recuperación del ejercicio, la $P_{ET}CO_2$ permaneció elevada en la prueba de B10 en comparación con la prueba de SB (Figura 4), incluso después de que la $P_{ET}O_2$ se había normalizado (Figura 2). Lee et al. (1990) informaron una reducción en el VCO_2 durante el ejercicio con RBF, y un incremento consecuente durante la recuperación. Se sugirió que durante el ejercicio con RBF se retuvo CO_2 en el músculo, el plasma y los eritrocitos, y que el mismo se liberó de estos depósitos durante la recuperación. Al parecer, a pesar de la hiperventilación durante la recuperación, la hipercapnia se pudo detectar midiendo los parámetros de gas sanguíneo dentro de los 15 s posteriores al ejercicio con RBF.

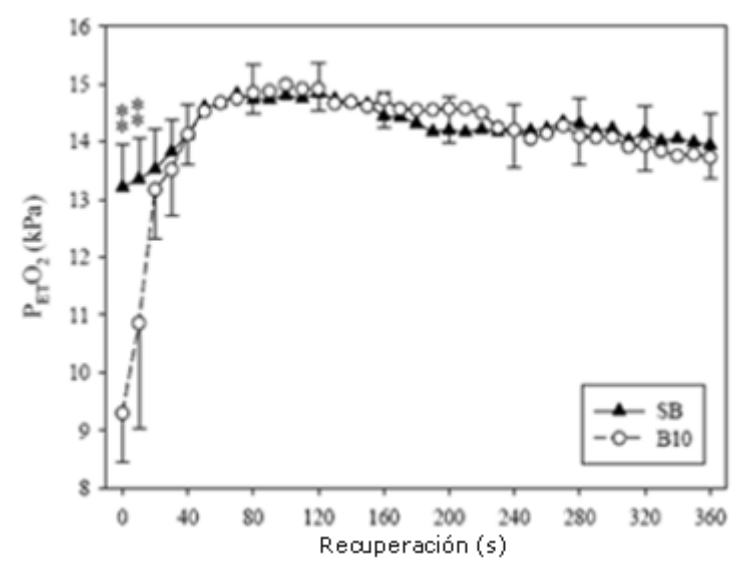

Figura 2. *Hubo diferencias significativas entre SB y B10 en la $P_{ET}O_2$ medida al final del ejercicio y durante la recuperación (ANOVA para medidas repetidas, $p \leq 0.01$). Los resultados analizados estadísticamente para comparar en un tiempo definido durante la recuperación se encuentran marcados con desviaciones estándar (prueba t para datos apareados). **Indica $p \leq 0.01$ entre las dos condiciones de respiración diferentes.*

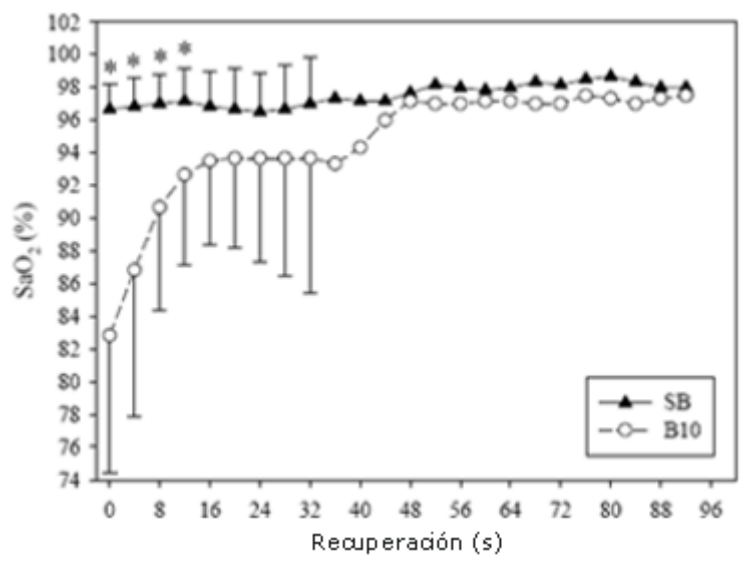

Figura 3. *Hubo diferencias significativas entre SB y B10 en la SaO_2 medida al final del ejercicio y durante la recuperación (ANOVA para medidas repetidas, $p \leq 0.01$). Los resultados analizados estadísticamente para comparar en un tiempo definido durante la recuperación se encuentran marcados con desviaciones estándar (prueba t para datos apareados). *Indica $p \leq 0.05$ entre las dos condiciones de respiración diferentes.*

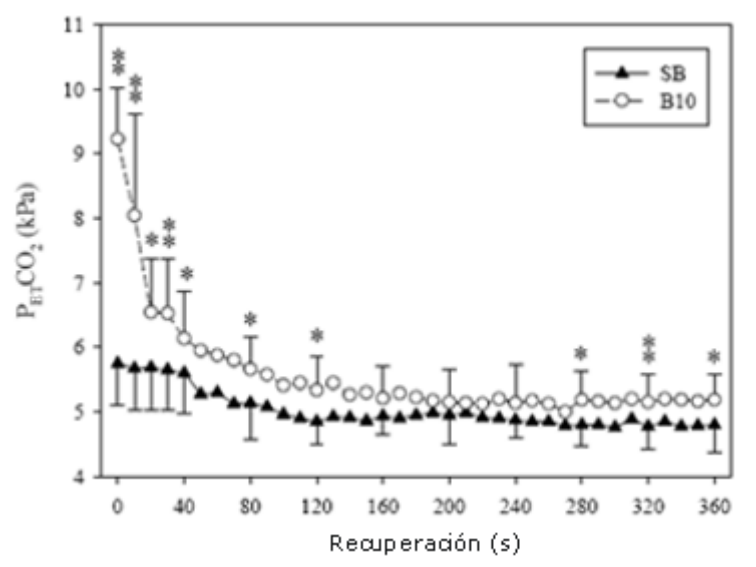

Figura 4. *Hubo diferencias significativas entre SB y B10 en la $P_{ET}CO_2$ medida al final del ejercicio y durante la recuperación (ANOVA para medidas repetidas, $p \leq 0.01$). Los resultados analizados estadísticamente para comparar en un tiempo definido durante la recuperación se encuentran marcados con desviaciones estándar (prueba t para datos apareados). * y ** indican $p \leq 0.05$ y 0.01 respectivamente entre las dos condiciones de respiración diferentes.*

Posibles Limitaciones del Estudio

Los gases sanguíneos ideales deberían obtenerse en la sangre arterial. Sin embargo, los catéteres intra arteriales para tomar muestras de sangre arterial no siempre son viables y convenientes. Teniendo en cuenta esto, en el presente estudio se utilizaron algunos métodos indirectos para evaluar los gases sanguíneos. Por lo tanto, debería tenerse en cuenta el grado en el cual las verdaderas mediciones proporcionan una representación precisa para las medidas arteriales. Los gases en sangre arterial (P_aO_2 y P_aCO_2) durante el ejercicio se pueden estimar mediante la utilización de muestras de sangre arterializada del lóbulo de la oreja (PO_2 y PCO_2). Algunos estudios previos hallaron que las muestras de sangre arterializada del lóbulo de la oreja concuerdan con las muestras de sangre arterial para la presión parcial del dióxido de carbono, pero no para la presión parcial del oxígeno (Dall´Ava-Santucci, 1996; Fajac et al., 1998; McEvoy y Jones, 1975). Durante el ejercicio, la PO_2 fue más baja que la P_aO_2 en promedio 0.23 kPa (McEvoy y Jones, 1975), 0.63 kPa (Fajac et al., 1998) y 1.2 kPa (Dall´Ava-Santucci, 1996). La causa principal de subestimación de la P_aO_2 en las muestras del lóbulo de la oreja podría ser la arterialización insuficiente de la sangre debido a la mezcla venosa. El método del lóbulo de la oreja requiere un flujo de sangre adecuado en el lóbulo de la oreja para permitir un volumen suficiente de sangre para tomar la muestra sin presión adicional externa durante la toma de la muestra. Esta fue la razón del retraso de hasta 15 s entre el cese del ejercicio del participante y la primera medición en el presente estudio. Además, las mediciones de la presión telespiratoria de dióxido de carbono ($P_{ET}CO_2$) se han utilizado para estimar la P_aCO_2 en el descanso y durante el ejercicio. La mayoría de los estudios comparativos han concluido que la $P_{ET}CO_2$ proporciona un buen índice de P_aCO_2 durante el descanso (Jones et al., 1979, Williams y Babb, 1997). No obstante, durante el ejercicio, las diferencias entre la $P_{ET}CO_2$ y la P_aCO_2 fueron de 0.3 kPa (0.3 kPa) (Williams y Babb, 1997) y 0.4 kPa (0.3 kPa) (Robbins et al., 1990). Estas diferencias aumentaron con una carga de trabajo mayor y con el incremento del volumen tidal (Jones et al., 1979). A menudo se utilizan oxímetros de pulso de la oreja para proporcionar una estimación no invasiva y continua de la saturación de oxihemoglobina de la sangre arterial (SaO_2). En la mayoría de los estudios de validación anteriores, las estimaciones del oxímetro de pulso de la oreja durante el ejercicio han demostrado ser indicadores precisos de la SaO_2, al menos cuando la saturación es por encima del 85% en los individuos no fumadores (Mengelkoch et al., 1994, Smyth et al., 1986, Powers et al., 1989, Martin et al., 1992). Teniendo en cuenta los oxímetros de pulso de la oreja de Datex-Ohmeda, las diferencias de los valores de SaO_2 estimados y medidos (por medio de muestras de sangre) fueron 0.87 % (2.6 %), 0.59 % (2.4 %) (Martin et al., 1992) y -0.57 % (1.78 %) (Powers et al., 1989). Por lo tanto, este error en el oxímetro de pulso es probable que no sea mayor al 1%, mientras que las diferencias significativas entre SB y B10 en la SaO_2 fueron de entre el 5 y 10 % durante los 16 s iniciales de la recuperación.

CONCLUSION

Para concluir, la frecuencia respiratoria reducida durante el ejercicio de alta intensidad resulta en hipoxia; sin embargo, debido a la marcada hiperventilación posterior al ejercicio, las mediciones de los parámetros de gas sanguíneo analizados en los 15 s posteriores al cese del ejercicio no reflejaron de manera precisa la condición durante el ejercicio.

Puntos Clave

- En algunos deportes, el entorno es inapropiado para las mediciones directas de los parámetros de gas respiratorio y sanguíneo durante el ejercicio. Para superar esta dificultad, a menudo se ha utilizado la extrapolación de las mediciones posteriores al ejercicio a fin de estimar los cambios en los parámetros de gas respiratorio y sanguíneo durante el ejercicio.
- La posibilidad de hipoxia e hipercapnia durante el ejercicio con frecuencia respiratoria reducida se ha evaluado a través de la medición de la sangre capilar analizada después del ejercicio.
- La frecuencia respiratoria reducida durante el ejercicio de alta intensidad resulta en hipoxia; sin embargo, debido a la marcada hiperventilación posterior al ejercicio, las mediciones de los parámetros de gas sanguíneo analizados en los 15 s posteriores al cese del ejercicio no produjeron ningún cambio en estos parámetros.
- A pesar de la hiperventilación durante la recuperación, la hipercapnia se pudo detectar midiendo los parámetros de gas sanguíneo dentro de los 15 s posteriores al ejercicio con frecuencia respiratoria reducida.

AGRADECIMIENTOS

La investigación está respaldada por la subvención de ARRS P5-0587-142.

REFERENCIAS

1. Bante, S., Bogdanis, G.C., Chairpoulou, C. and Maridaki, M (2007). Cardiorespiratory and metabolic responses to a simulated synchronized swimming routine in senior (>18 years) and comen (13-15 years) national level athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 47, 291-299*
2. Dall Ava-Santucci, J., Dessanges, J.F., Dinh Xuan, A.T. and Lockhart, A (1996). Is arterialized earlobe blood PO2 an acceptable substitute for arterial blood PO2?. *European Respiratory Journal 9, 1329-1330*
3. Dicker, S. G., Lofthus, G. K., Thornton, N. W. and Brooks, G. A (1980). Respiratory and heart rate responses to tethered controlled frequency breathing swimming. *Medicine and Science in Sport and Exercise 12, 20-23*
4. Fajac, I., Texereau, J., Rivoal, V., Dessanges, J.F., Dihn-xuan, A.T. and Dall Ava-Santucci, J (1998). Blood gas measurement during exercise: a comparative study between arterialized earlobe sampling and direct arterial puncture in adults. *European Respiratory Journal 11, 712 - 715*
5. Jones, N.L., Robertson, D.G. and Kane, J.W (1979). Difference between end-tidal and arterial PCO2 in exercise. *Journal of Applied Physiology 47, 954-960*
6. Lee, C., Cordain, L., Sockler, J. and Tucker, A (1990). Metabolic consequences of reduced frequency breathing during submaximal exercise at moderate altitude. *European Journal of Applied Physiology 61, 289-293*
7. Martin, D., Powers, S., Cicale, M., Collop, N., Huang, D. and Criswell, D (1992). Validity of pulse oximetry during exercise in elite endurance athletes. *Journal of Applied Physiology 72, 455-458*
8. McEvoy, J.D.S., Jones, N.L (1975). Arterialized capillary blood gases in exercise studies. *Medicine and Science in Sports 7, 312-315*
9. Mengelkoch, L.J., Martin, D. and Lawler, J (1994). A review of the principles of pulse oximetry and accuracy of pulse oximeter estimates during exercise. *Physical Therapy 74, 40-49*
10. Peyrebrune, M., Robinson, J., Lakomy, H. and Nevill, M (2002). Effects of controlled frequency breathing on maximal tethered swimming performance. In: Biomechanics and Medicine in Swimming 9. Ed: Chatard, J.C. Saint-Etienne. *Laboratoire de Physiologie and Service de Exploration Fonctionnelle Cardio-respiratorie et de Medecine du Sport. 289-294*
11. Powers, S.K., Dodd, S., Freeman, J., Ayers, G.D., Samson, H. and McKnight, T (1989). Accuracy of pulse oximetry to estimate HbO2 fraction of total Hb during exercise. *Journal of Applied Physiology 67, 300-304*
12. Robbins, P.A., Conway, J., Cunningham, D.A., Khamnei, S. and Paterson, D.J (1990). A comparison of indirect methods for continuous estimation of arterial PCO2 in men. *Journal of Applied Physiology 68, 1727-1731*
13. Rodriguez, F., Keskinen, K., Malvela, M. and Keskinen, O (2002). Oxygen uptake kinetics during free swimming: A pilot study. In: Biomechanics and Medicine in Swimming 9. Ed: Chatard, J.C. Saint-Etienne. *Laboratoire de Physiologie and Service de*

Exploration Fonctionnelle Cardio-respiratorie et de Medecine du Sport. 379-384
14. Sharp, R.L., Williams, D.J. and Bevan, L (1991). Effects of controlled frequency breathing during exercise on blood gases and acid-base balance. *International Journal of Sports Medicine 12, 62-65*
15. Smyth, R.J., D`Urzo, A.D., Slutsky, A.S., Galko, B.M. and Rebuck, A.S (1986). Ear oximetry during combined hypoxia and exercise. *Journal of Applied Physiology 60, 716-719*
16. Town, G. P. and Vanness, J. M (1990). Metabolic responses to controlled frequency breathing in competitive swimmers. *Medicine and Science in Sport and Exercise 22, 112-116*
17. Yamamoto, Y., Mutoh, Y., Kobayashi, H. and Miyashita, M (1987). Effects of reduced frequency breathing on arterial hypoxemia during exercise. *European Journal of Applied Physiology 56, 522-527*
18. West, S.A, Drummond, M.J., VanNess, J.M. and Ciccolella, M.E (2005). Blood lactate and metabolic responses to controlled frequency breathing during graded swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research 19, 772-776*
19. Williams, J.S. and Babb, T.G (1997). Differences between estimates and measured PaCO2 during rest and exercise in older subjects. *Journal of Applied Physiology 83, 312-316*

Cita Original

Jernej Kapus, Anton U aj, Venceslav Kapus and Boro trumbelj. The Difference in Respiratory and Blood Gas Values during Recovery after Exercise with Spontaneous Versus Reduced Breathing Frequency. Journal of Sports Science and Medicine (2009) 8, 452 - 457.