



Adaptação da máscara do analisador de gases VO2000 para mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios em natação*

Marcelo Papoti^{1,2}, Pedro Balikian Junior³, Benedito Sergio Denadai⁴, Manoel Carlos Spiguel Lima^{1,3}, Adelino Sanchez da Silva¹, Vanessa Santhiago¹ e Claudio Alexandre Gobatto¹

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi desenvolver um snorkel (SNQ) de baixo custo para mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios em natação. Para isso, a máscara do analisador de gases VO2000 (MASC) foi adaptada a um SNQ desenvolvido artesanalmente com espaço morto de 250ml. Oito participantes foram submetidos a dois testes incrementais (TI) em cicloergômetro utilizando a MASC e o SNQ. Os TI foram realizados até a exaustão voluntária e foram compostos por estágios de 3min com carga inicial e incrementos de 35W. Em ambas as situações, amostras gasosas foram coletadas em intervalos de 10s para determinação dos volumes de oxigênio ($\dot{V}O_2$), gás carbônico ($\dot{V}CO_2$), ventilatório (VE) e mensuração da frequência cardíaca (FC). A comparação dos parâmetros cardiorrespiratórios ($\dot{V}O_2$, VE, $\dot{V}CO_2$ e FC) mensurados com o SNQ e a MASC foi realizada com o teste *t* de Student para amostras dependentes, enquanto que o teste de correlação de Pearson e a análise gráfica de Bland e Altman foram utilizados para verificar as associações e concordância entre parâmetros. Em todos os casos, o nível de significância foi de $P < 0,05$. A adequação das equações de correção para os valores provenientes do SNQ foi verificada pelos erros sistemáticos (*bias*), aleatórios (precisão) e acurácia (*ac*). Não foram observadas diferenças significativas entre os valores de $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e FC obtidos com a MASC e SNQ. Os valores de VE mensurados com o SNQ foram significativamente superiores aos obtidos com a MASC. No entanto, todos os parâmetros apresentaram elevada concordância e coeficiente de correlação (0,88 a 0,97). Além disso, foram verificados reduzidos valores de *bias* ($\dot{V}O_2 = 0,11$ L/min; VE = 4,11 L/min; $\dot{V}CO_2 = 0,54$ L/min; 8,87 bpm), precisão ($\dot{V}O_2 = 0,24$ L/min; VE = 11,02 L/min; $\dot{V}CO_2 = 0,18$ L/min; 7,42 bpm) e *ac* ($\dot{V}O_2 = 0,27$ L/min; VE = 11,76 L/min; $\dot{V}CO_2 = 0,56$ L/min; 11,56 bpm). Desse modo, pode-se concluir que o SNQ desenvolvido neste estudo possibilita a mensuração válida de parâmetros cardiorrespiratórios em natação.

ABSTRACT

Adaptation of the VO2000 gas analyser's mask to mensuration of cardiorespiratory parameters in swimming

The aim of the present study was to develop a snorkel (SNK) with low cost for cardio respiratory parameters measurement in swimming. So, a mask of gas analyzer VO2000 (MASK) was adapted to a SNQ developed by man craftwork form with dead space of 250 ml. Eight subjects were submitted to two incremental tests

* Apoio Financeiro: CAPES e CNPq (proc. nº 301601/2006-2).

1. Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte – UNESP – Rio Claro.
2. Centro de Estudos e Pesquisa da Atividade Física – FIB – Bauru.
3. Universidade do Oeste Paulista – Presidente Prudente.
4. Laboratório de Avaliação da Performance Humana.

Aceito em 29/11/06.

Endereço para correspondência: Claudio Alexandre Gobatto, Departamento de Educação Física, IB-UNESP-Rio Claro, Avenida 24-A, 1.515 – Bela Vista – 13506-900 – Rio Claro, SP.

Palavras-chave: Natação. Snorkel. Consumo de oxigênio. Volume ventilatório. Frequência cardíaca.

Keywords: Swimming. Snorkel. Oxygen uptake. Ventilatory volume. Heart rate.

(IT) on cycloergometer using the MASK and the SNK. The IT(s) occurred until voluntary exhaustion and it was composed per stages of 3 min and with initial load and grade increment of 35 W. In both situations, gaseous samples were collected in intervals of 10 s for determination of the amount of oxygen ($\dot{V}O_2$), of carbonic gas ($\dot{V}CO_2$) and of ventilatory volume (VE); heart rate (HR) measurement was done with monitor frequency heart (Polar). The comparison of the cardiorespiratory parameters ($\dot{V}O_2$, VE, $\dot{V}CO_2$) and HR measured with a SNK and a MASK was performed with the Student's *t* test of dependent samples, while the Pearson's correlation test and graphic analyzer of Bland and Altman were performed to verify the associations and agreement among parameters. In all cases the level of significance was $P < 0.05$. The appropriate equations of the correction of values originating from SNK was verified by systematic error (*bias*), aleatory (*precision*) and accuracy (*ac*). It was not found significant differences among the values of $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ and HR obtained with the MASK and SNK. The values of VE measured with SNK were found significantly higher than the obtained with the MASK. However, all parameters presented high agreement and correlation (0.88 to 0.97). Besides, low values of *bias* ($\dot{V}O_2 = 0.11$ L/min; VE = 4.11 L/min; $\dot{V}CO_2 = 0.54$ L/min; 8.87 bpm), *precision* ($\dot{V}O_2 = 0.24$ L/min; VE = 11.02 L/min; $\dot{V}CO_2 = 0.18$ L/min; 7.42 bpm) and *accuracy* ($\dot{V}O_2 = 0.27$ L/min; VE = 11.76 L/min; $\dot{V}CO_2 = 0.56$ L/min; 11.56 bpm) were verified. Thereby, we could conclude that the SNK developed in this study allow a validate measurement of cardiorespiratory parameters in swimming.

INTRODUÇÃO

A mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios como volume ventilatório, frequência cardíaca, volume de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) e, em especial, o volume de oxigênio ($\dot{V}O_2$) tem sido objeto de várias pesquisas em fisiologia do exercício, especialmente em natação⁽¹⁾. Inicialmente, os gases coletados durante os esforços eram armazenados em bolsa de Douglas⁽²⁻⁴⁾ para então serem analisados. Posteriormente, as mensurações desses parâmetros ficaram facilitadas com a construção de analisadores de gases com sensores eletrônicos⁽⁵⁻⁶⁾ que possibilitam a aquisição de grande quantidade de amostras de gases e ainda fornecem os resultados em curto período de tempo. Embora o avanço tecnológico tenha facilitado a realização desse tipo de teste, em natação especialmente, é extremamente difícil a obtenção de uma estimativa válida de parâmetros cardiorrespiratórios⁽⁷⁾. No entanto, é de fundamental importância o conhecimento dessas informações, pois a técnica empregada durante o nado pode modificar consideravelmente a energia despendida para o indivíduo deslocar-se no meio líquido^(3,8). Dal Monte *et al.*⁽⁷⁾ relataram que a potência gerada pelo nadador para vencer o arrasto pode ser afetada pela utiliza-

ção de equipamentos desajeitados, resultando assim em maior dispêndio de energia para realização do nado a determinada velocidade⁽⁸⁻⁹⁾.

Toussaint *et al.*⁽¹⁰⁾ desenvolveram um snorkel específico para avaliação em natação, com a vantagem de gerar um baixo arrasto com relação aos snorkels convencionais. Dal Monte *et al.*⁽⁷⁾ apresentaram um snorkel similar ao proposto por Toussaint *et al.*⁽¹⁰⁾, mas com espaço morto inferior. No entanto, esses snorkels foram confeccionados para balão de Douglas. Keskinen *et al.*⁽⁶⁾ validaram em cicloergômetro um snorkel e um sistema de válvula para análise de gases respiração a respiração em natação utilizando o analisador de gases *K4*.

Considerando a carência de equipamentos específicos para mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios em natação, o presente estudo objetivou adaptar a máscara do analisador de gases *VO2000* para mensuração do VE, $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ de nadadores.

METODOLOGIA

Participaram do presente estudo oito indivíduos ativos com idade de $27 \pm 4,1$ anos e massa corporal de $75 \pm 5,8$ kg.

Após manifestação por escrito do termo de consentimento aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista *Campus* de Rio Claro, os participantes foram submetidos a dois testes progressivos em cicloergômetro separado por um período mínimo de repouso de 24 horas. Os esforços foram realizados utilizando a máscara *VO2000* (MASC) e o snorkel de natação (SNQ).

Previamente aos testes, os participantes permaneceram sentados no cicloergômetro durante cinco minutos (determinação dos valores referentes à linha de base) e em seguida realizaram o teste incremental, que consistiu na realização de esforços progressivos em cicloergômetro de frenagem mecânica (*Monark*) com carga inicial de 35W (aquecimento) e incrementos de 35W até a exaustão voluntária, que foi assumida como a incapacidade do participante permanecer na carga predeterminada por um período de 10 segundos. Após a exaustão, os participantes continuaram exercitando-se por aproximadamente cinco minutos com carga de aproximadamente 35W (volta à calma). As variáveis cardiorrespiratórias foram mensuradas em intervalos de dez segundos com a utilização de um analisador de gases (*VO2000*). Antes de cada avaliação, o equipamento foi calibrado automaticamente conforme as especificações do fabricante. A frequência cardíaca foi aferida ao final de cada estágio através de um freqüencímetro (*Polar, Kempela, Finlândia*).

Construção do snorkel

O snorkel foi composto por tubos e conexões comerciais (PVC) de uma polegada, conectados à embocadura de borracha (1) juntamente com o "cotovelo" (2) e o depósito de saliva (3) que originalmente compõem a máscara *VO2000* (figura 1). O SNQ foi baseado de modo que o tubo de ar fosse projetado frente à face do participante e não lateralmente, como é observado nos snorkels convencionais. Esse desenho foi baseado nos snorkels elaborados por Toussaint *et al.*⁽¹⁰⁾ e Dal Monte *et al.*⁽⁷⁾ por apresentarem reduzidos coeficientes de arrasto. Todo o sistema pesa 360 gramas e tem um espaço morto de 250ml. A válvula de fluxo médio (4) foi conectada na extremidade superior do snorkel (figura 1).

Tratamento estatístico

Para análise dos dados obtidos durante os testes incrementais utilizando a MASC ou o SNQ, foi desenvolvido um algoritmo em ambiente *Matlab 5.3*[®], específico para essa finalidade. Os dados em função do tempo (s) foram interpolados permitindo a determinação dos volumes ventilatório (VE), oxigênio ($\dot{V}O_2$) e de gás carbônico ($\dot{V}CO_2$) para cada estágio. Esses foram assumidos como a média dos valores obtidos no minuto final de cada estágio.



Figura 1 – Representação do snorkel desenvolvido para mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios em natação

Os valores dos parâmetros cardiorrespiratórios ($\dot{V}O_2$, VE, $\dot{V}CO_2$ e de frequência cardíaca) obtidos no teste incremental com a MASC e SNQ foram comparados com o teste *t* de Student para amostras dependentes e, para as possíveis associações desses parâmetros obtidos com a MASC e SNQ, utilizou-se o teste de correlação de Pearson. Em todos os casos o nível de significância foi prefixado para $P < 0,05$.

Os pontos obtidos da relação entre os parâmetros cardiorrespiratórios mensurados com a MASC e SNQ foram submetidos ao procedimento de regressão linear, objetivando a elaboração de equações de correção para os valores provenientes do SNQ.

Para verificação da validade das equações de correção, foram analisados os coeficientes de determinação e o resíduo (res). Além disso, foram ainda determinados os erros sistemáticos (*bias*), aleatórios (precisão) e a acurácia (*ac*).

O res foi assumido como a diferença entre os valores dos parâmetros cardiorrespiratórios da MASC estimados teoricamente através das equações de regressões a partir dos valores provenientes do SNQ.

A *ac* foi determinada pela soma do *bias* e da precisão. Nesse caso, a precisão foi assumida como sendo o desvio-padrão dos res enquanto que as *bias* corresponderam aos coeficientes lineares (intercepto-*y*) de cada uma das regressões ($ac^2 = precisão^2 + bias^2$).

A concordância dos valores dos parâmetros cardiorrespiratórios obtidos com a MASC e SNQ foi quantificada utilizando as diferenças entre as duas observações por meio da análise gráfica de Bland e Altman⁽¹¹⁾. Utilizou-se um limite de concordância (LC) de 95% pela seguinte equação: $LC = (1,96 \times dp) \pm Mdif$; onde *dp* = desvio-padrão e *Mdif* = média das diferenças.

RESULTADOS

Os parâmetros obtidos com o SNQ apresentaram elevadas correlações com os obtidos através da MASC (tabela 1). No entanto, os valores de VE determinados no SNQ foram significativamente superiores aos obtidos com a MASC. Com exceção do VE, os demais parâmetros respiratórios, particularmente os de $\dot{V}O_2$ mensurados com o SNQ e a MASC, apresentaram comportamentos similares (figura 2).

Os valores médios \pm desvio-padrão dos coeficientes de determinações, lineares e angulares, das equações de regressão individuais do VE, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e FC estão apresentados na tabela 2.

TABELA 1

Coefficiente de correlação de Pearson (r) entre os valores de ventilação (VE), frequência cardíaca (FC), volume de oxigênio (VO₂) e de CO₂ (VCO₂) determinados com a utilização do SNQ e a MASC durante esforço incremental em cicloergômetro

VE (L/min)	VO ₂ (L/min)	VCO ₂ (L/min)	FC (bpm)
0,88	0,95	0,86	0,99

TABELA 2

Valores médios ± desvio-padrão, do coeficiente de determinação (R²) e parâmetros da equação de regressão linear (inclinação e intercepto-y) de algumas variáveis cardiorrespiratórias (VE, VO₂ e VCO₂) nos dois testes utilizando a máscara VO2000 e snorkel de natação

	Inclinação	Intercepto-y	R ²
VE (L/min)	1,12 (0,72 a 1,65)	1,10 (-5,10 a 6,99)	0,96 (0,92 a 0,99)
VO ₂ (L/min)	1,11 (0,93 a 1,36)	-0,06 (-0,25 a 0,13)	0,97 (0,95 a 0,99)
VCO ₂ (L/min)	1,06 (0,80 a 1,25)	0,00 (-0,16 a 0,25)	0,96 (0,90 a 0,99)

Ao analisar as relações das respostas cardiorrespiratórias de modo agrupado, pode-se observar elevados valores de correlação (0,88 a 0,97) e de coeficiente de determinação (0,77 a 0,94). Esses resultados possibilitaram a obtenção de equações de correção para todos os parâmetros (VE, VO₂, VCO₂ e FC) quando mensurados com o SNQ (figuras 3abcd).

Ao analisar a distribuição da diferença dos valores obtidos com a MASC e o SNQ, pode-se verificar uma distribuição aleatória em torno do zero e maioria dos casos dentro dos limites superiores e inferiores. Esse comportamento dos dados evidencia elevada con-

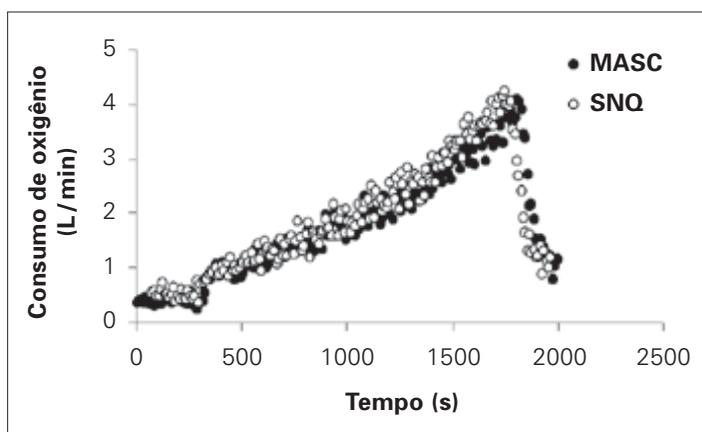


Figura 2 – Comportamento do consumo de oxigênio durante dois testes incrementais em um mesmo indivíduo utilizando a máscara convencional do VO2000 (MASC) e o snorkel de natação (SNQ)

cordância entre os valores provenientes da MASC e do SNQ (figuras 4abcd).

A grandeza dos valores de VE, VO₂ e VCO₂ para os erros sistemáticos, aleatórios e de acurácia foi similar à dos valores de repouso. Além disso, os erros de FC estiveram inferiores aos verificados no repouso.

Analisando especificamente os valores de acurácia, que é composta pelo somatório dos erros sistemáticos e aleatórios, verificou-se que eles corresponderam a aproximadamente 12, 8, 15 e 6% dos valores máximos de VE, VO₂, VCO₂ e FC, respectivamente, obtidos durante os testes incrementais (tabela 3).

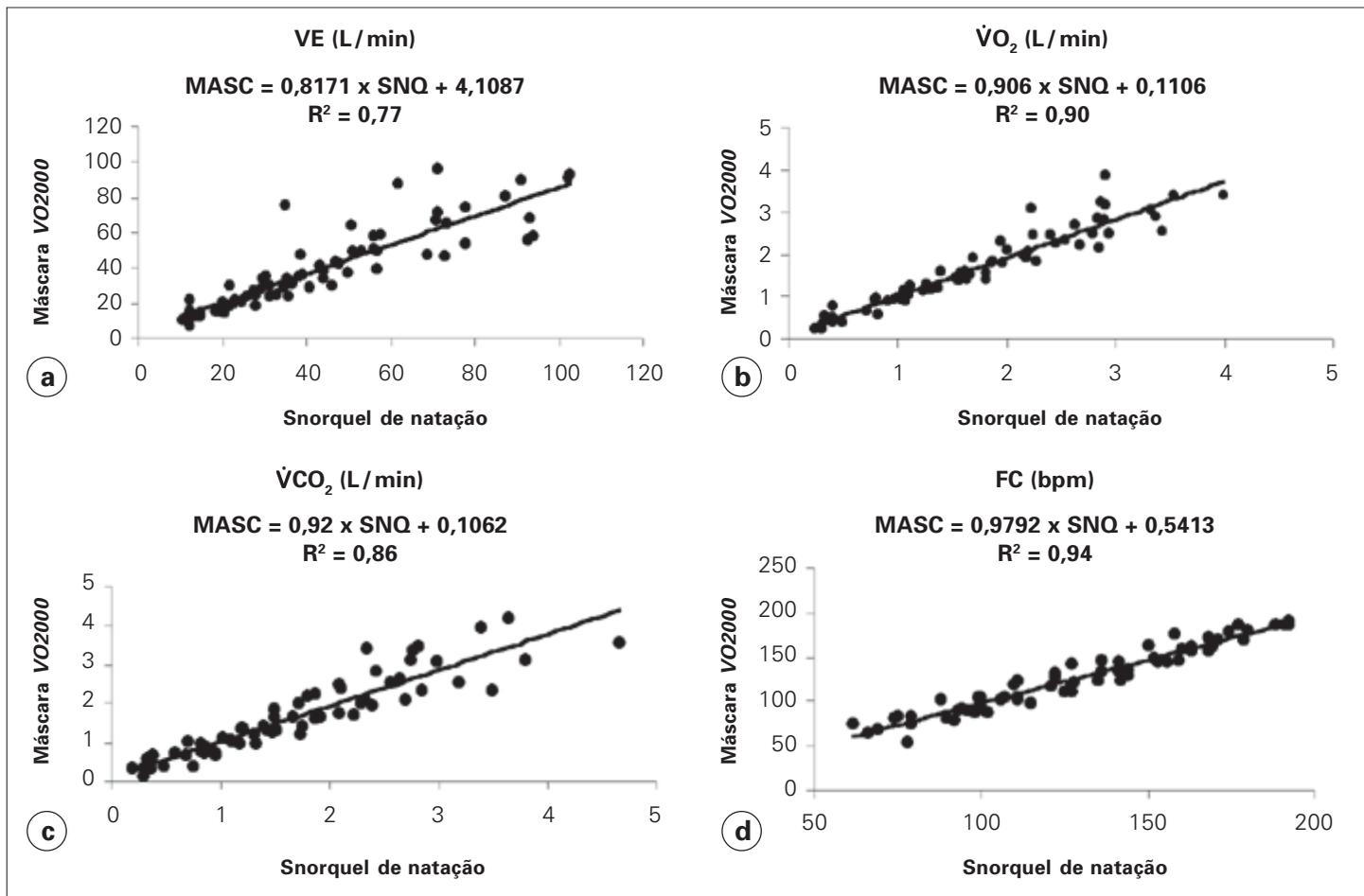


Figura 3 – Equações de correção dos VE (a), VO₂ (b), VCO₂ (c) e FC (d) determinadas a partir da regressão linear entre os valores obtidos com a máscara VO2000 e o snorkel de natação

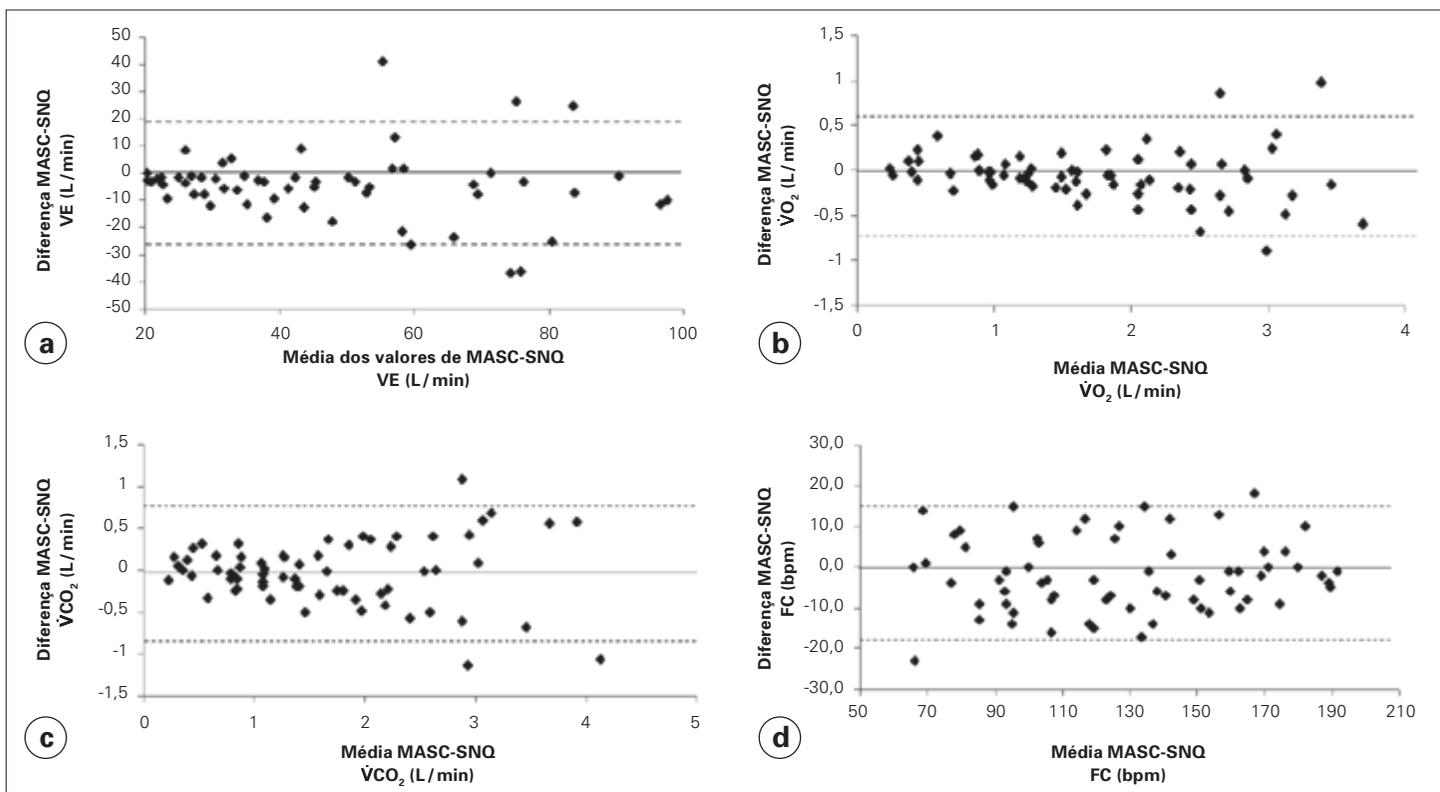


Figura 4 – Valores da diferença da média dos VE (a), $\dot{V}O_2$ (b), $\dot{V}CO_2$ (c) e FC (d) determinados com a utilização da máscara VO2000 e snorkel de natação

TABELA 3
Valores dos erros sistemáticos (bias), aleatórios (precisão) e de acurácia da ventilação (VE), consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), produção de CO_2 ($\dot{V}CO_2$) e frequência cardíaca (FC) obtidos com a máscara do VO2000 e snorkel de natação

	Bias	Precisão	Acurácia
VE (L/min)	4,11	11,02	11,76
$\dot{V}O_2$ (L/min)	0,11	0,24	0,27
$\dot{V}CO_2$ (L/min)	0,54	0,18	0,56
FC (bpm)	8,87	7,42	11,56

DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo foram as elevadas correlações e concordâncias entre os valores de $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, VE e FC mensurados com a MASC e SNQ durante teste incremental em cicloergômetro.

Acreditando na importância da mensuração de variáveis cardiopulmonares, em especial o consumo de oxigênio em natação^(3,8,12), e que a validade dos resultados pode ser comprometida durante o nado em função de um arrasto adicional, dependendo da válvula respiratória utilizada⁽¹⁰⁾, e na carência de snorkel de natação específico para o analisador de gases VO2000, o presente estudo adaptou a MASC do VO2000 a um SNQ de natação confeccionado de modo artesanal, utilizando alguns procedimentos de mensurações e análises semelhantes aos empregados por Keskinen *et al.*⁽⁶⁾. Embora o coeficiente de arrasto não tenha sido mensurado, o tubo de ar do SNQ desenvolvido na presente investigação esteve projetado frente à face do nadador e não lateralmente como é observado nos snorkels convencionais. Esse desenho foi baseado nos snorkels elaborados por Toussaint *et al.*⁽¹⁰⁾ e Dal Monte *et al.*⁽⁷⁾ por apresentarem reduzidos valores de arrasto.

Os resultados de todos os parâmetros mensurados foram altamente correlacionados (0,88 a 0,99) e, com exceção do VE, não apresentaram diferenças significativas. Pesquisas relataram que

o VE mensurado em natação é geralmente inferior aos verificados na corrida^(2,4).

No presente estudo, os valores de VE determinados com o SNQ foram superiores aos estabelecidos com a MASC, embora ambos os testes tenham sido realizados em cicloergômetro. Keskinen *et al.*⁽⁶⁾ ao validarem um snorkel específico de natação para o analisador de gases K4 (Cosmed, Itália), também constataram que os valores de VE provenientes do SNQ foram significativamente superiores aos obtidos com a MASC. Essas diferenças foram atribuídas pelos pesquisadores a vários fatores, como a diferença nos mecanismos respiratórios devido ao uso do SNQ, aumento no espaço morto, distância da embocadura até a turbina, bem como diferenças na resistência no fluxo de ar.

Guyton e Hall⁽¹³⁾ relataram que o ar contido no espaço morto (anatômico e fisiológico) é expirado primeiro que o ar alveolar. Desse modo, o espaço morto adicional (250ml) pode ter sido o responsável pelas diferenças dos valores de VE por ter dificultado as trocas gasosas que resultaram em aumentos da PCO_2 no sangue e, conseqüentemente, estimularam os aumentos da VE. Toklu *et al.*⁽¹⁴⁾ constataram significativos aumentos na VE, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, frequência respiratória e volume tidal com a adição de um snorkel com 165ml de espaço morto e propuseram um novo SNQ com uma válvula de baixa resistência e de "mão dupla" (two-way). Esses pesquisadores acreditam que, com esse SNQ, o ar expirado (contendo elevados valores de CO_2) não é reinspirado e, desse modo, não influenciaria nos valores dos parâmetros cardiopulmonares.

O SNQ desenvolvido no presente estudo foi confeccionado artesanalmente e possui maior simplicidade com relação ao SNQ apresentado por Toklu *et al.*⁽¹⁴⁾. No entanto, as equações de correções das variáveis respiratórias (VE, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e FC) obtidas da relação entre a MASC e o SNQ apresentaram reduzidos valores de erros sistemáticos, aleatórios e de acurácia. Além das elevadas correlações observadas entre esses resultados, a análise gráfica de Bland e Altman⁽¹¹⁾ demonstrou elevada concordância. Adicionalmente a essas respostas, os participantes não relataram desconforto adicional utilizando o SNQ com relação a MASC.

Embora mais pesquisas sejam necessárias para quantificar as PCO_2 e PO_2 bem como a existência de arrasto adicional com a utilização do SNQ, pode-se concluir que o SNQ artesanalmente desenvolvido na presente investigação é um acessório que pode ser utilizado juntamente ao analisador de gases *VO2000* para mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios válidos em natação.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports Med.* 1986; 3:166-89.
2. Magel JR, Faulkner JA. Maximum oxygen uptakes of college swimmers. *J Appl Physiol.* 1967;22:924-8.
3. Holmér I. Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol.* 1972;33:502-9.
4. Holmér I, Lundin A, Eriksson BO. Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J Appl Physiol.* 1974;36:711-4.
5. Wakayoshi K, D'Aquisto LJ, Cappaert JM, Troup JP. Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med.* 1995;16:19-23.
6. Keskinen KL, Rodríguez FA, Keskinen OP. Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. *Scand J Med Sci Sports.* 2003; 13:322-9.
7. Dal Monte A, Sardella F, Alippi B, Faina M, Mantea A. A new respiratory valve system for measuring oxygen uptake during swimming. *Eur J Appl Physiol.* 1994; 69:159-62.
8. Di Prampero PE, Pendergast DR, Wilson DW, Rennie DW. Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol.* 1974;37:1-5.
9. Toussaint HM, Knops W, Groot G, Hollander AP. The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:402-8.
10. 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;56:363-6.
11. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307-10.
12. Pendergast DR, Di Prampero PE, Craig AB, Wilson DR, Rennie DW. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol.* 1977;43:475-9.
13. Guyton AC, Hall JE. *Tratado de fisiologia médica.* 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1997.
14. Toklu AS, Kayeserilioglu A, Unal M, Ozer S, Aktas S. Ventilatory and metabolic responses to rebreathing the expired air in the snorkel. *Int J Sports Med.* 2003; 24:162-5.