

OXIGENAÇÃO MUSCULAR DE QUADRÍCEPS E GASTROCNÊMIO DURANTE O ESFORÇO AERÓBICO MÁXIMO

MUSCLE OXYGENATION OF THE QUADRICEPS AND GASTROCNEMIUS DURING MAXIMAL AEROBIC EFFORT

OXIGENACIÓN MUSCULAR DE CUÁDRICEPS Y GASTROCNEMIO DURANTE EL ESFUERZO AERÓBICO MÁXIMO

María-José Paredes-Ruiz¹

(Médica e Fisioterapeuta)

María Jódar-Reverte¹

(Enfermeira)

Vicente Ferrer-López¹

(Médico)

Ignacio Martínez González-Moro¹

(Médico)

1. Universidad de Murcia, Instituto Universitario de Pesquisa sobre Envelhecimento. Grupo de Pesquisa sobre Exercício Físico e Desempenho Humano, Murcia, Espanha.

Correspondência:

Ignacio Martínez González-Moro.
University of Murcia. Edif. LAIB.
Campus Health Sciences. Avda.
Buenavista, s/n, El Palmar, Murcia,
Spain. 30120.
ignaciomgm@um.es

RESUMO

Introdução: A espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) é uma técnica não invasiva usada na avaliação da oxigenação tecidual e no monitoramento da atividade física. **Objetivos:** Determinar a influência de fatores sexuais, antropométricos e ergoespirométricos sobre a oxigenação muscular do quadríceps e do gastrocnêmio obtidos por NIRS durante um teste de esforço. **Métodos:** Participaram deste estudo 20 indivíduos saudáveis (10 mulheres). Dois dispositivos Humon Hex[®] foram colocados no lado dominante dos músculos quadríceps e gastrocnêmio para medir a saturação de oxigênio muscular (SmO₂). O teste de esforço foi realizado em uma esteira com controle eletrocardiográfico e mensuração do consumo de oxigênio. A SmO₂ foi obtida em repouso e depois de esforço máximo durante o teste. Além disso, foram medidos estatura, peso, dobras cutâneas e contorno da cintura. A bioimpedância foi usada para obter os percentuais de massa gorda e massa muscular, que foram usados para calcular a massa gorda relativa (MGR). **Resultados:** A SmO₂ de ambos os músculos em repouso é maior em homens do que em mulheres. No esforço máximo, a SmO₂ do quadríceps é semelhante nos dois os grupos. A SmO₂ de ambos os músculos é positivamente relacionada com estatura, massa corporal, percentual de massa muscular e contorno da cintura e negativamente relacionada com a porcentagem de massa gorda, MGR e espessura das dobras cutâneas. A correlação negativa entre o percentual de gordura e a saturação de oxigênio é mais evidente nas mulheres. Observou-se que variáveis que quantificam o esforço máximo não estão relacionadas com os valores SmO₂, exceto pela correlação entre FCmáx e SmO₂ do músculo gastrocnêmio no sexo masculino. **Conclusão:** A SmO₂ dos atletas recreativos é influenciada pela localização do dispositivo e pela massa gorda dos indivíduos. As maiores diferenças entre os sexos estão no músculo gastrocnêmio. **Nível de Evidência II; Estudos diagnósticos – Investigação de um exame para diagnóstico.**

Descritores: Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho; Tolerância ao exercício; Consumo de oxigênio; Músculo esquelético; Músculo quadríceps.

ABSTRACT

Introduction: Near infrared spectroscopy (NIRS) is a non-invasive technique that is used in the assessment of tissue oxygenation and the monitoring of physical activity. **Objective:** To determine the influence of sexual, anthropometric and ergospirometric factors on muscle oxygenation of the quadriceps and gastrocnemius, obtained by NIRS during a stress test. **Methods:** Twenty healthy subjects participated in this study (10 women). Two Humon Hex[®] devices were placed on the dominant side of the quadriceps and gastrocnemius muscles to measure muscle oxygen saturation (SmO₂). The stress test was performed on a treadmill with electrocardiographic control and measurement of oxygen consumption. SmO₂ was obtained at rest and after maximum effort during the stress test. In addition, the height, weight, skinfold and waist contour were measured. Bioimpedance was used to obtain the percentages of fat mass and muscle mass, which were used to calculate the relative fat mass (RFM). **Results:** The SmO₂ of both muscles at rest is higher in males than in females. At maximum effort, the SmO₂ of the quadriceps is similar in both groups. The SmO₂ of both muscles is positively related to height, body mass, percentage of mass muscle and waist contour, and negatively with percentage of mass fat, RFM and skinfold thickness. The negative correlation between fat percentage and oxygen saturation is more evident in females. It was observed that the variables that quantify maximum effort are not related to the SmO₂ values, except for the correlation between HR max and SmO₂ of the gastrocnemius muscle in males. **Conclusion:** The SmO₂ of recreational athletes is influenced by the location of the device and the fat mass of the subjects. The biggest differences between the sexes are in the gastrocnemius muscle. **Level of Evidence II; Diagnostic Studies - Investigating a Diagnostic Test.**

Keywords: Spectroscopy, near-infrared; Exercise tolerance; Oxygen consumption; Muscle, skeletal; Quadriceps muscle.

RESUMEN

Introducción: La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) es una técnica no invasiva usada en la evaluación de la oxigenación tisular y en la monitorización de la actividad física. **Objetivos:** Determinar la influencia de factores sexuales, antropométricos y ergoespirométricos sobre la oxigenación muscular de cuádriceps y del gastrocnemio, obtenidos por NIRS durante un test de esfuerzo. **Métodos:** Participaron en este estudio 20 individuos saludables (10



mujeres). Se colocaron dos dispositivos Humon Hex® en el lado dominante de los músculos cuádriceps y gastrocnemio para medir la saturación de oxígeno muscular (SmO_2). El test de esfuerzo fue realizado en una cinta ergométrica con control electrocardiográfico y medición del consumo de oxígeno. La SmO_2 fue obtenida en reposo y después de esfuerzo máximo durante el test. Además, fueron medidos altura, peso, pliegues cutáneos y contorno de la cintura. Fue usada bioimpedancia para obtener los porcentuales de masa grasa y masa muscular, que fueron usados para calcular la masa grasa relativa (MGR). Resultados: La SmO_2 de ambos músculos en reposo es mayor en hombres que en mujeres. En el esfuerzo máximo la SmO_2 del cuádriceps es semejante en los dos grupos. La SmO_2 de ambos músculos es positivamente relacionada con altura, masa corporal, porcentual de masa muscular y contorno de la cintura y negativamente relacionada con el porcentaje de masa grasa, MGR y espesor de los pliegues cutáneos. La correlación negativa entre el porcentual de grasa y la saturación de oxígeno es más evidente en las mujeres. Se observó que variables que cuantifican el esfuerzo máximo no está relacionadas con los valores SmO_2 , excepto por la correlación entre $FC_{máx}$ y SmO_2 del músculo gastrocnemio en sexo masculino. Conclusión: La SmO_2 de los atletas recreativos es influenciada por la localización del dispositivo y por la masa grasa de los individuos. Las mayores diferencias entre los sexos están en el músculo gastrocnemio. **Nivel de Evidencia II; Estudios diagnósticos - Investigación de un examen para diagnóstico.**

Descriptor: Espectroscopía infrarroja corta; Tolerancia al ejercicio; Consumo de oxígeno; Músculo esquelético; Músculo cuádriceps.

DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202127022020_0076

Artigo recebido em 08/09/2020 aprovado em 04/12/2020

INTRODUÇÃO

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) é uma técnica não invasiva, usada para avaliar a oxigenação dos tecidos.¹ A absorção da luz infravermelha varia dependendo do estado de oxigenação e desoxigenação das moléculas de hemoglobina e mioglobina.² O NIRS estima a saturação de oxigênio (% SmO_2) do músculo a partir da proporção de oxi-hemoglobina para hemoglobina total no sangue, expressando-a como uma porcentagem.¹

Existem estudos que demonstraram o potencial da NIRS de avaliar a capacidade oxidativa mitocondrial em vários músculos e as adaptações induzidas pelo exercício na função mitocondrial muscular, tanto em indivíduos controle quanto nos com patologias.³ A fosforilação oxidativa é um processo bioquímico dependente de oxigênio que converte os biocombustíveis para ATP e funciona como o principal mecanismo de produção de energia em repouso e durante o exercício aeróbico.⁴

As mudanças na SmO_2 durante o exercício estão relacionadas com a disponibilidade de oxigênio no sangue e o uso desse oxigênio nos músculos ativos.⁵ Considerando que o desempenho esportivo do músculo esquelético depende do metabolismo oxidativo, a NIRS é uma excelente técnica para correlacionar os problemas e as melhoras do sistema oxidativo do corpo e levam ao melhor desempenho nas atividades esportivas,⁶ comprovando que a taxa de SmO_2 favorável está associada ao aumento da capacidade de exercício físico.⁷

O músculo mais usado para monitorar a SmO_2 com a NIRS é o vasto lateral (VL)⁸ e, em menor extensão, o gastrocnêmio medial (GM).⁷ Normalmente, um único dispositivo é usado para estudar a oxigenação muscular, embora existam estudos que analisaram ambos os músculos para verificar a influência do alongamento sobre a resistência.⁹ Tanto o quadríceps quanto o gastrocnêmio têm ação direta na caminhada e na corrida,¹⁰ portanto, os resultados obtidos dependem de sua capacidade de produção de energia durante os testes e o protocolo utilizado.¹¹ Os novos dispositivos NIRS estão associados a telas de exibição (computador, *tablet* ou relógio de pulso), que permitem medir em tempo real o nível de SmO_2 que o corpo utiliza durante o exercício físico ao ar livre e em exames laboratoriais.^{11,12} Dessa forma, o atleta pode interpretar de modo rápido e fácil e aplicar os dados obtidos,¹³ modificando seu esforço de modo que se ajuste à sua capacidade aeróbica sem ultrapassar seus limites.¹⁴ Para a interpretação e avaliação correta dos dados obtidos, o tecido adiposo deve de ser considerado, porque pode interferir nos resultados.¹⁵

Há autores que relacionam variáveis antropométricas com a saturação muscular de oxigênio, a área da secção muscular obtida pelo ultrassom,¹⁶ tecido adiposo branco,¹⁷ dobras cutâneas,¹⁸ espessura muscular e tecido adiposo com ultrassom.^{10,19} Por ser uma técnica recente, é necessário saber mais sobre suas contribuições para obter uma interpretação mais confiável de seus resultados.

Nosso objetivo foi determinar a influência de sexo, fatores antropométricos e ergoespirométricos sobre a oxigenação dos músculos quadríceps e gastrocnêmio obtida com a NIRS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Vinte adultos jovens (50% mulheres) foram recrutados em nossa universidade. Os critérios de inclusão visaram identificar indivíduos entre 18 e 25 anos, sem doenças subjacentes, lesões ou defeitos que impeçam a realização de um teste de esforço.

Este estudo observacional consistiu em relacionar variáveis antropométricas e ergométricas com a SmO_2 . Para isso, todos os participantes foram submetidos à medição das variáveis antropométricas e realizaram um teste de esforço em esteira. Durante o teste de esforço, foi obtido o consumo máximo de oxigênio e o eletrocardiograma foi registrado continuamente.

Avaliação antropométrica e composição corporal

As medidas antropométricas foram realizadas por pesquisador suficientemente treinado depois de calibração de todos os instrumentos. A estatura foi determinada em todos os indivíduos (estadiômetro SECA) e para a massa corporal total, usou-se uma balança de bioimpedância (InBody 120®). Ambas foram medidas sem sapatos e com roupas leves. Em pé, sobre os eletrodos da balança, a massa corporal foi determinada e os dados correspondentes ao sexo, idade e estatura foram inseridos no software da balança. Os participantes seguraram o guidão do dispositivo com as duas mãos, posicionando os dedos e os braços de acordo com o manual de instruções. Foram obtidos dados da massa gorda e musculoesquelética e seus percentuais.

Com uma fita métrica (Holtain®) foram medidos os seguintes perímetros: cintura, coxa (no ponto médio entre a prega inguinal e a borda superior da patela) e perna (no ponto de perímetro máximo do gastrocnêmio). As dobras cutâneas anteriores da coxa e mediais da perna também foram determinadas com um paquímetro de precisão Holtain® de 0,2 mm.

O índice de massa corporal (IMC) (kg/m²) foi calculado e a massa gorda relativa (MGR) foi determinada aplicando-se a fórmula:²⁰ $MGR = 64 - (20 * (\text{estatura}/\text{cintura})) + (12 * \text{sexo})$ [sexo é substituído por 0 em homens e 1 em mulheres].

Teste de esforço

Primeiramente, com o paciente em decúbito dorsal, as medidas cardiovasculares foram realizadas em repouso por meio de ausculta cardíaca, pressão arterial e eletrocardiograma (ECG). A seguir, os dados dos eletrodos foram coletados para manter o registro do ECG durante todo o teste de esforço e usou-se um pulsômetro para monitorar a frequência cardíaca vinculada ao *tablet*, onde as informações do Humon Hex[®] são coletadas.

O teste de esforço foi realizado em esteira (modelo run7411) com protocolo de rampa contínua e progressiva. O início foi com 7 km/h e aumentou 0,1 km/h a cada seis segundos. A inclinação permaneceu constante em 1%. O teste terminava quando o indivíduo não conseguia mais correr e fazia um gesto com a mão, iniciando-se a fase de recuperação a 4 km/h por três minutos e em repouso por mais dois minutos. Os testes foram considerados máximos e válidos quando ultrapassaram 85% da frequência cardíaca máxima teórica (220 bpm-idade) e o quociente respiratório (QR) foi superior a 1,15.²¹

Ao longo do teste de esforço, os indivíduos respiraram através de uma máscara conectada a um analisador de gás (Metalyzer 3b[®], Cortex). A frequência cardíaca e o registro eletrocardiográfico foram obtidos com o dispositivo Cardioline Cube[®]. Todos os testes foram realizados em condições ambientais semelhantes (temperatura de 20 a 22 °C). O método usado para determinar o consumo máximo de oxigênio foi atingindo o patamar de consumo de oxigênio.²²

Colocação dos dispositivos de medição da SmO₂

Cada participante teve dois dispositivos Humon Hex[®] colocados em seu lado dominante, um para o quadríceps, no vasto lateral, no ponto médio da linha entre a prega inguinal e o polo superior da patela, e outro para o gastrocnêmio externo, na região de maior diâmetro da perna.

Cada Humon Hex[®] foi sincronizado com um *tablet* Samsung[®] conectado ao aplicativo correspondente para visualizar as informações sobre SmO₂, o tempo de exercício e a frequência cardíaca.¹²

Procedimento estatístico

Depois de excluir a presença de erros, os dados foram exportados para o Statistical Package for the Social Science (SPSSv.24) para análise. As variáveis quantitativas foram descritas com média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV = DP/média*100) e as variáveis qualitativas com frequência absoluta e percentual. A distribuição normal das variáveis foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a igualdade das variâncias pelo teste de Levene. A comparação da média das variáveis independentes intergrupos (homens e mulheres) foi realizada com o teste *t* de Student e a comparação da média das variáveis relacionadas foi feita com o teste *t* pareado. A relação entre as variáveis foi estudada pelo teste de Pearson. Foi estabelecido um nível mínimo de significância de $p < 0,05$.

Como variáveis antropométricas independentes, foram usadas estatura, massa corporal total, percentual de massa gorda, percentual de massa musculoesquelética, IMC, MGR, dobras cutâneas da panturrilha medial e anterior da coxa, perímetros de perna e coxa. As variáveis ergoespirométricas independentes foram frequência cardíaca (FC) de repouso, FC máxima, VO₂ máx, velocidade máxima e quociente respiratório (QR) máximo. As variáveis dependentes para os dois músculos foram: SmO₂ em repouso, SmO₂ no momento de exercício máximo e a diferença entre elas (Dif. SmO₂).

Ética

O estudo foi realizado de acordo com a Declaração de Helsinque e foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa da universidade ID: 2360/2019. Os objetivos e riscos do estudo foram compreendidos antes do início do estudo por todos os participantes, que assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os valores descritivos de cada variável antropométrica.

A SmO₂ dos dois músculos em repouso é maior em homens do que em mulheres. No esforço máximo a SmO₂ do quadríceps é semelhante nos dois grupos. As maiores perdas de SmO₂ durante o exercício ocorrem no gastrocnêmio da mulher (38,22%). No quadríceps, a SmO₂ diminui mais no sexo masculino do que no feminino e no gastrocnêmio ocorre o contrário e se observa uma variabilidade significativa em ambos os grupos (Tabela 2).

Ao comparar os valores médios da SmO₂ entre quadríceps e gastrocnêmio, observa-se que em repouso, antes do exercício, na população global não houve diferenças significativas ($t(19) = 0,18$, $p = 0,986$).

Tabela 1. Comparação de valores antropométricos entre homens e mulheres.

	Homens (n = 10)			Females (n=10)			Differences	
	Média	DP	CV %	Média	DP	CV %	t de Student	Valor de p
Idade (anos)	21,50	0,71	3,29	21,10	0,74	3,50	1,238	0,232
Estatura (cm)	174,45	5,83	3,34	158,90	9,12	5,74	4,544	0,000*
Peso (kg)	67,41	8,17	12,11	58,65	7,05	12,02	2,568	0,019*
% Gordura corporal	16,55	3,60	21,73	30,19	6,12	20,28	-6,074	0,000*
% Massa muscular	47,14	1,84	3,90	38,34	3,46	9,03	7,103	0,000*
Cintura (cm)	76,50	4,40	5,76	69,05	5,46	7,91	3,359	0,003*
IMC (kg/m ²)	22,10	2,02	9,12	23,43	3,90	16,64	-0,957	0,351
MGR (%)	18,29	2,41	13,15	29,79	3,62	12,17	-8,362	0,000*
Prega cutânea da panturrilha (mm)	8,06	3,15	39,04	17,50	5,38	30,75	-4,788	0,000*
Dobra cutânea da coxa (mm)	19,74	6,04	30,61	33,46	6,15	18,39	-5,030	0,000*
Perímetro da panturrilha (cm)	36,60	2,46	6,72	34,90	1,60	4,57	1,834	0,083
Perímetro da coxa (cm)	48,48	3,46	7,15	48,55	3,84	7,91	-0,043	0,966

DP: Desvio padrão, CV: Coeficiente de variação, IMC: Índice de massa corporal, MGR: Massa gorda relativa.

Tabela 2. Comparação dos valores ergométricos e SmO₂ entre os sexos.

		Homens (n = 10)			Females (n=10)			Differences	
		Média	DP	CV %	Média	DP	CV %	t de Student	Valor de p
Repouso	FC (bpm)	90,70	19,31	21,29	99,80	12,63	12,66	-1,247	0,228
	Q SmO ₂ (%)	62,70	10,03	16,00	54,50	7,93	14,56	2,027	0,058
	G SmO ₂ (%)	66,30	4,97	7,49	50,80	16,84	33,15	2,792	0,012*
Esforço máximo	FC (bpm)	19,89	6,58	192,89	179,60	26,15	14,56	1,479	0,157
	VO ₂ (ml/Kg/min)	41,50	6,00	41,50	40,40	5,87	14,54	0,414	0,684
	Velocidade (Km/h)	13,23	2,05	13,23	13,34	1,87	14,02	-0,125	0,902
	Q SmO ₂ (%)	47,70	9,53	47,70	44,90	8,65	19,26	0,688	0,500
	G SmO ₂ (%)	53,40	11,98	53,40	31,70	16,29	51,39	3,393	0,003**
Diminuição da saturação	Q Dif. SmO ₂ (%)	23,40	12,66	54,08	17,60	10,01	56,87	1,137	0,270
	G Dif. SmO ₂ (%)	19,73	16,08	81,53	38,22	19,27	50,42	-2,330	0,032*

FC = frequência cardíaca, Q = quadríceps, G = gastrocnêmio, Dif. = diferença entre repouso e exercício máximo.

e no momento de esforço máximo ou ($t(19) = 0,868, p = 0,396$). Não houve diferenças no sexo masculino, em repouso ($t(9) = -0,95, p = 0,394$) ou no exercício máximo ($t(9) = -0,984, p = 0,351$). No sexo feminino, não há diferenças no repouso ($t(9) = 0,946, p = 0,369$) mas são observadas no exercício máximo ($t(9) = 2,617, p = 0,028$). No grupo feminino, as diferenças entre as perdas na SmO₂ de ambos os músculos no esforço máximo também são significativas ($t(9) = -3,063, p = 0,014$).

As correlações entre os valores de SmO₂ em repouso e as variáveis antropométricas são apresentadas na Tabela 3. A SmO₂ de ambos os músculos é positivamente relacionada com estatura, massa corporal, porcentagem de massa muscular e contorno da cintura, e negativamente com porcentagem de massa gorda, MGR e dobras cutâneas. A relação negativa do percentual de gordura com a saturação de oxigênio é mais evidente no sexo feminino.

A SmO₂ no momento de esforço máximo apresenta as seguintes correlações com os valores antropométricos e ergométricos (Tabela 4). Observa-se que as variáveis que quantificam o esforço máximo não estão relacionadas com os valores da SmO₂, exceto a FCmáx com a SmO₂ do gastrocnêmio no sexo masculino.

Ao correlacionar a diminuição da SmO₂ do quadríceps entre os valores iniciais e os obtidos no momento de esforço máximo, verifica-se que na população global é positiva para o peso e a circunferência da cintura (Tabela 5). No sexo masculino, também existe uma correlação positiva com o percentual de gordura e uma correlação negativa com o percentual de massa muscular. No sexo feminino há correlação positiva com peso e massa gorda relativa e negativa com o percentual de massa muscular.

A diminuição da SmO₂ do gastrocnêmio na população global só tem correlação positiva com o percentual de gordura e a MGR. No grupo masculino, só existe correlação com a estatura. As mulheres não apresentaram correlação. Vale ressaltar que não existem correlações entre a diminuição da saturação de ambos os músculos e as variáveis ergométricas.

Tabela 3. Correlações entre SmO₂ de cada músculo em repouso e variáveis antropométricas.

		SmO ₂ Quadríceps			SmO ₂ Gastrocnêmio		
		Todos	Homens	Mulheres	Todos	Homens	Mulheres
Estatura (cm)	r de Pearson	0,549	0,517	0,308	0,512	-0,291	0,294
	Valor de p	0,012*	0,126	0,387	0,021*	0,415	0,410
Peso (kg)	r de Pearson	0,581	0,702	0,116	0,166	-0,275	-0,171
	Valor de p	0,007***	0,024*	0,751	0,484	0,442	0,637
% Gordura corporal	r de Pearson	-0,391	0,322	-0,376	-0,665	-0,160	-0,513
	Valor de p	0,088	0,365	0,284	0,001**	0,660	0,129
% Massa muscular	r de Pearson	0,445	-0,218	0,442	0,671	0,137	0,528
	Valor de p	0,049*	0,544	0,201	0,001**	0,706	0,116
Cintura (cm)	r de Pearson	0,480	0,656	-0,047	0,190	-0,013	-0,306
	Valor de p	0,032*	0,039*	0,898	0,422	0,972	0,389
IMC (kg/m ²)	r de Pearson	0,018	0,565	-0,136	-0,332	-0,154	-0,280
	Valor de p	0,939	0,089	0,708	0,153	0,672	0,433
MGR (%)	r de Pearson	-0,367	0,400	-0,251	-0,634	0,133	-0,502
	Valor de p	0,112	0,252	0,485	0,003**	0,715	0,139
Dobra cutânea da coxa (mm)	r de Pearson	-0,475	-0,071	-0,475	-0,587	0,024	-0,459
	Valor de p	0,034*	0,845	0,165	0,007**	0,948	0,182
Dobra cutânea da perna (mm)	r de Pearson	-0,368	0,053	-0,182	-0,459	-0,183	-0,072
	Valor de p	0,110	0,885	0,615	0,042*	0,612	0,844
Perímetro da coxa (cm)	r de Pearson	0,275	0,534	0,063	-0,148	0,059	-0,255
	Valor de p	0,241	0,112	0,863	0,534	0,871	0,477
Perímetro da perna (cm)	r de Pearson	0,633	0,636	0,413	0,212	-0,317	0,129
	Valor de p	0,003***	0,048*	0,236	0,369	0,373	0,721

BMI = Body Mass Index, RFM = Relative Fat Mass, *p<0,05. **p<0,01.

Tabela 4. Correlações entre SmO₂ de cada músculo em esforço máximo e as variáveis antropométricas e ergométricas.

		SmO ₂ Quadríceps			SmO ₂ Gastrocnêmio		
		Todos	Homens	Mulheres	Todos	Homens	Mulheres
Estatura (cm)	r de Pearson	0,227	-0,039	0,316	0,508	-0,660	0,453
	Valor de p	0,336	0,914	0,373	0,022*	0,038*	0,189
Peso (kg)	r de Pearson	0,035	0,132	-0,297	0,088	-0,470	-0,270
	Valor de p	0,882	0,715	0,405	0,713	0,171	0,450
Massa gorda (%)	r de Pearson	-0,424	-0,290	-0,706	-0,657	-0,067	-0,436
	Valor de p	0,063	0,417	0,023*	0,002**	0,853	0,207
Massa muscular (%)	r de Pearson	0,427	0,357	0,756	0,648	-0,039	0,408
	Valor de p	0,060	0,311	0,011*	0,002**	0,916	0,241
Cintura (cm)	r de Pearson	0,018	0,212	-0,388	0,291	-0,025	-0,237
	Valor de p	0,939	0,557	0,268	0,213	0,945	0,510
IMC (kg/m ²)	r de Pearson	-0,224	0,210	-0,448	-0,432	-0,146	-0,485
	Valor de p	0,343	0,560	0,194	0,057	0,687	0,155
MGR (%)	r de Pearson	-0,240	0,262	-0,582	-0,652	0,386	-0,587
	Valor de p	0,307	0,464	0,077	0,002**	0,270	0,074
Dobra cutânea da coxa (mm)	r de Pearson	-0,295	0,225	-0,808	-0,605	-0,013	-0,431
	Valor de p	0,207	0,533	0,005*	0,005*	0,972	0,213
Dobra cutânea da panturrilha (mm)	r de Pearson	-0,395	-0,187	-0,605	-0,499	-0,149	-0,022
	Valor de p	0,085	0,605	0,064	0,025*	0,682	0,952
Perímetro da coxa (cm)	r de Pearson	-0,071	0,145	-0,286	-0,228	0,000	-0,475
	Valor de p	0,765	0,690	0,423	0,334	0,999	0,165
Perímetro da panturrilha (cm)	r de Pearson	0,246	0,210	0,193	0,025	-0,447	-0,204
	Valor de p	0,297	0,560	0,594	0,508	0,196	0,571
VO ₂ max (ml/Kg/min)	r de Pearson	-0,173	-0,158	-0,231	-0,009	0,389	-0,452
	Valor de p	0,465	0,663	0,521	0,970	0,266	0,190
FCmáx (bpm)	r de Pearson	0,331	0,199	0,403	0,320	-0,573	0,275
	Valor de p	0,167	0,608	0,248	0,182	0,107	0,442
Vmax (Km/h)	r de Pearson	-0,337	-0,322	-0,354	-0,123	0,342	-0,525
	Valor de p	0,146	0,364	0,315	0,604	0,333	0,120
QR	r de Pearson	-0,575	-0,528	-0,790	0,234	0,411	-0,115
	Valor de p	0,010*	0,144	0,007	0,336	0,272	0,751

IMC = Índice de massa corporal, MGR = Massa gorda relativa, VO₂ máx = Consumo máximo de oxigênio, FCmáx = Frequência cardíaca máxima, V = Velocidade, QR = Quociente respiratório, *p < 0,05, **p < 0,01

DISCUSSÃO

Analisamos a SmO₂, com o Humon Hex®, em dois grupos musculares: quadríceps e gastrocnêmio e em duas situações distintas: em repouso e quando o VO₂ máx foi atingido em um teste de esforço realizado em esteira contínua. Constatamos que em repouso, os homens apresentam SmO₂ significativamente maior do que as mulheres em ambos os músculos, mas no teste de esforço os homens apresentam SmO₂ significativamente maior do que as mulheres apenas no gastrocnêmio.

A relação dos valores da SmO₂ com os valores antropométricos mostra tendência a uma relação negativa com as variáveis relacionadas com a presença de gordura e relação positiva com as variáveis musculares.

Observamos que, em repouso e em ambos os sexos, os valores de SmO₂ são semelhantes ao comparar os dois grupos musculares, enquanto que depois do exercício, o grupo muscular que mais perde saturação no sexo masculino é o quadríceps, enquanto nas mulheres é no gastrocnêmio onde se produz a maior diminuição de saturação. Isso pode dever-se à diferença de massa muscular desses grupos em cada

Tabela 5. Correlação entre as diminuições da saturação de oxigênio em cada músculo com variáveis antropométricas e ergométricas.

		Decrease SmO ₂ Quadríceps			Decrease SmO ₂ Gastrocnêmio		
		Todos	Homens	Mulheres	Todos	Homens	Mulheres
Estatura (cm)	r de Pearson	0.296	0.538	-0.125	-0.357	0.649	-0.360
	Valor de p	0.205	0.109	0.730	0.122	0.042*	0.306
Peso (kg)	r de Pearson	0.596	0.495	0.655	-0.001	0.426	0.250
	Valor de p	0.006**	0.146	0.040*	0.998	0.220	0.487
% Massa gorda	r de Pearson	0.137	0.644	0.701	0.426	0.007	0.091
	Valor de p	0.565	0.044*	0.024*	0.061	0.985	0.804
% Massa muscular	r de Pearson	-0.081	-0.625	-0.697	-0.411	0.106	-0.041
	Valor de p	0.735	0.043*	0.025*	0.071	0.771	0.911
Cintura (cm)	r de Pearson	0.506	0.334	0.605	-0.294	0.009	0.005
	Valor de p	0.023*	0.345	0.064	0.208	0.981	0.989
IMC (kg/m ²)	r de Pearson	0.334	0.268	0.578	0.388	0.096	0.442
	Valor de p	0.150	0.455	0.080	0.091	0.793	0.201
MGR (%)	r de Pearson	-0.078	0.027	0.656	0.454	-0.413	0.324
	Valor de p	0.745	0.941	0.040*	0.045*	0.236	0.360
Dobra cutânea da coxa (mm)	r de Pearson	-0.100	-0.279	0.699	0.433	0.012	0.201
	Valor de p	0.673	0.436	0.024*	0.056	0.974	0.578
Prega cutânea da panturrilha (mm)	r de Pearson	0.155	0.318	0.783	0.346	0.077	-0.074
	Valor de p	0.513	0.371	0.007*	0.135	0.832	0.839
Perímetro da coxa (cm)	r de Pearson	0.399	0.298	0.564	0.218	0.001	0.425
	Valor de p	0.081	0.404	0.090	0.356	0.997	0.221
Perímetro da panturrilha (cm)	r de Pearson	0.383	0.352	0.252	0.119	0.385	0.428
	Valor de p	0.095	0.319	0.482	0.616	0.273	0.217
VO ₂ max (ml/Kg/min)	r de Pearson	-0.213	-0.224	-0.281	-0.030	-0.377	0.359
	Valor de p	0.368	0.534	0.432	0.901	0.282	0.309
FCmáx (bpm)	r de Pearson	-0.248	-0.140	-0.548	-0.197	0.465	-0.143
	Valor de p	0.306	0.720	0.101	0.418	0.207	0.694
Vmáx (km/h)	r de Pearson	-0.148	-0.103	-0.205	0.047	-0.343	0.387
	Valor de p	0.533	0.777	0.570	0.843	0.332	0.269
QR	r de Pearson	0.401	0.375	0.368	-0.434	-0.464	-0.280
	Valor de p	0.089	0.320	0.296	0.063	0.208	0.433

BMI = Body Mass Index, RFM = Relative Fat Mass, VO₂ max = Maximum oxygen consumption, HR max = Maximum Heart Rate, V max = Maximum Velocity, RER = Respiratory Quotient, * p < 0,05. ** p < 0,01.

sexo¹⁰ ou a diferenças mecânicas na corrida.¹⁶ No quadríceps observa-se maior correlação entre as variáveis antropométricas e a SmO₂ em repouso do que após o exercício, enquanto no gastrocnêmio essas correlações também são mantidas no exercício máximo, o que pode estar relacionado com fadiga ou tolerância ao esforço máximo.

O exercício foi executado em uma esteira contínua, de modo que os dois músculos trabalham juntos.⁹ A inclinação permaneceu constante, o que não causou uma sobrecarga especial nos músculos gastrocnêmios como ocorre na corrida em rampa.²³ Os resultados deste trabalho podem ser usados para entender melhor a participação de cada grupo muscular na mecânica da corrida e no surgimento da fadiga. Assim, observamos que no sexo feminino há perda maior e significativa de saturação no gastrocnêmio do que no quadríceps. Como Bastida-Castillo *et al.*,²⁴ acreditamos que o ponto de colocação do aparelho deva ser específico para o tipo de exercício a ser realizado, porque isso permite detectar as diferentes alterações da oxigenação produzidas no tecido muscular.

As diferenças na oxigenação entre homens e mulheres foram significativas no gastrocnêmio e podem estar relacionadas com as diferentes massas musculares de cada grupo.¹⁷ Quanto maior o percentual de massa muscular, maior o percentual de oxigenação e inversamente com o panículo adiposo, isto é, quanto mais gordura, menor é o valor de saturação.

O design desses dispositivos, em que a distância entre o emissor e o detector de luz é quase igual à profundidade de penetração no músculo, faz com que o tecido adiposo subcutâneo influencie em grande medida a intensidade do sinal da NIRS.⁵ No entanto, foram desenvolvidos algoritmos de correção incluídos em alguns dos dispositivos de NIRS.²⁵

As dobras cutâneas da coxa e panturrilha se correlacionaram negativamente com os valores de SmO₂, semelhante ao mostrado por Van der Zwaard *et al.*;¹⁵ enquanto os perímetros da coxa e da perna não apresentam relações significativas com a saturação dos músculos quadríceps e gastrocnêmio, possivelmente por causa da não discriminação entre gordura e massa muscular. Se tivéssemos uma população mais heterogênea quanto à composição corporal, mais diferenças poderiam ter sido encontradas, entre os indivíduos, relacionadas com os percentuais de gordura e músculo e com as medidas antropométricas locais (dobras e perímetro). Relacionamos a atividade muscular por meio de exercícios de corrida em esteira contínua, mas outros autores como Yoshimatsu *et al.*²⁶ fizeram isso com exercícios de força, concluindo também que a tecnologia da NIRS pode ser usada para verificar as relações entre massa muscular, força e tecido panículo adiposo.

O IMC não mantém uma relação entre quadril e saturação, possivelmente por não diferenciar gordura e músculo, sendo este outro fator a se considerar para não classificá-lo como bom preditor nem de obesidade nem de condição física.²⁰

A utilização da NIRS permite desenvolver um plano de trabalho ideal, tanto de treinamento quanto de reabilitação, de modo a estabelecer intensidades de exercício personalizadas. Com esse conhecimento, o atleta pode saber até que ponto deve se esforçar sem ultrapassar seus limites e, assim, otimizar seu desempenho; associando isso ao esporte de alto nível. Bellotti *et al.*²⁷ relacionaram as alterações da SmO₂ com as medidas de lactato para verificar sua correlação e auxiliar no planejamento do treinamento.

Como em estudos anteriores, verificou-se que a frequência cardíaca e o VO₂ são parâmetros fisiológicos com clara relação com a SmO₂. Quando o músculo está na fase aeróbica, a FC aumenta, a SmO₂ aumenta ou se mantém e diminui quando o tecido muscular é introduzido na fase anaeróbica.²⁸

Uma limitação de nossos resultados é que eles só podem ser aplicados à nossa população. Ou seja, jovens saudáveis que se exercitam regularmente, mas não de forma competitiva.

O dispositivo de NIRS é um medidor relevante dos diferentes parâmetros fisiológicos durante a prática de exercícios físicos intensos.²⁹ Ele nos permite trabalhar de forma mais dinâmica com atletas em uma área maior sem exigir um laboratório de medicina física e, portanto, poder realizar os treinos que o atleta costuma praticar no seu dia a dia.

CONCLUSÕES

Podemos concluir que a avaliação da SmO₂ em atletas recreativos é influenciada pela localização do aparelho e pela massa gorda do sujeito, com maiores diferenças no gastrocnêmio entre homens e mulheres. No momento de esforço máximo, a SmO₂ do gastrocnêmio mantém relação inversa com o teor de gordura do indivíduo em geral e do membro inferior em particular.

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

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES: Cada autor contribuiu individual e significativamente para o desenvolvimento deste artigo. MJPR: elaboração do projeto de pesquisa, redação, coleta de dados, análise estatística e revisão do artigo; MJR: coleta de dados e revisão do artigo; VFR: redação, revisão e conceito intelectual; IMGM: elaboração do projeto de pesquisa, redação, coleta de dados, análise estatística e revisão do artigo escrito. Todos os autores revisaram e aprovaram a versão final do artigo.

REFERÊNCIAS

1. Özyener F. Evaluation of intra-muscular oxygenation during exercise in humans. *J Sports Sci Med*. 2002;1(1):15-9.
2. Inglis EC, Iannetta D, Murias JM. Evaluating the NIRS-derived microvascular O₂ extraction "reserve" in groups varying in sex and training status using leg blood flow occlusions. *PLoS One*. 2019;14(7):1-33.
3. Ryan TE, Brophy P, Lin CT, Hickner RC, Neuffer PD. Assessment of in vivo skeletal muscle mitochondrial respiratory capacity in humans by near-infrared spectroscopy: a comparison with in situ measurements. *J Physiol*. 2014;592(15):3231-41.
4. Willingham TB, McCully KK. In vivo assessment of mitochondrial dysfunction in clinical populations using near-infrared spectroscopy. *Front Physiol*. 2017;8(1):1-11.
5. Ferrari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques and limitations of near infrared spectroscopy. *J Appl Physiol*. 2004;29(4):463-87.
6. Hamaoka T, McCully KK, Quaresima V, Yamamoto K, Chance B. Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *J Biomed Opt*. 2007;12(6):1-16.
7. Wilkinson TJ, White A, Nixon DG, Gould DW, Watson EL, Smith A. Characterising skeletal muscle haemoglobin saturation during exercise using near-infrared spectroscopy in chronic kidney disease. *Clin Exp Nephrol*. 2019;23(1):32-42.
8. Dias VW, Thomas C, Passerieux E, Hugon G, Pillard F, Andrade A, et al. Impaired oxygen demand during exercise is related to oxidative stress and muscle function in facioscapulohumeral muscular dystrophy. *Phy Med Exp*. 2018;1(1):1-14.
9. Williamson S, Sanni AA, McCully KK. The influence of muscle length on gastrocnemius and vastus lateralis muscle oxygen saturation and endurance. *J Electromyogr Kinesiol*. 2019;49(1):1-5.
10. Jones S, D'Silva A, Bhuva A, Lloyd G, Manisty C, Moon JC, et al. Improved exercise-related skeletal muscle oxygen consumption following uptake of endurance training measured using near-infrared spectroscopy. *Front Physiol*. 2017;8(1):1018.
11. Endo T, Kime R, Watanabe T, Fuse S, Murase N, Kurosawa Y, et al. Reduced optical path length in the vastus lateralis during ramp cycling exercise. *Adv Exp Med Biol*. 2020;1232(1):239-44.
12. Humon. Humon Hex. Available in: <https://humon.es/> [Access 4 april 2020].
13. Peng G, Bing-Hong G. Correlation between muscle oxygen and cardiopulmonary of young cyclists at ventilation threshold. *Exerc Bioc Rev*. 2018;1(3):23-5.
14. Casajús JA, Piedrafita E, Aragónes MT. Criteria for maximal exercise test. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte*. 2009;9(35):217-31.
15. Van der Zwaard S, De Ruyter CJ, Noordhof DA, Sterrenburg R, Bloemers FW, De Koning JJ, et al. Maximal oxygen uptake is proportional to muscle fiber oxidative capacity, from chronic heart failure patients to professional cyclists. *J Appl Physiol*. 2016;121(3):636-45.
16. Gepner Y, Wells A, Gordon JA, Vera AN, Varanoske NA, Coker DH. Differences in muscle oxygenation between young and middle-aged recreationally active men during high-volume resistance exercise. *Kinesiology*. 2019;51(1):3-11.
17. Kuroiwa M, Fuse S, Amagasa S, Kime R, Endo T, Kurosawa Y, et al. Relationship of total hemoglobin in subcutaneous adipose tissue with whole-body and visceral adiposity in humans. *Appl Sci*. 2019;9(12):2442.
18. Cournoyer A, Cossette S, Paquet J, Daoust R, Marquis M, Notebaert É, et al. Association between the quantity of subcutaneous fat and the inter-device agreement of 2 tissue Oximeters. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019;33(11):2989-94.
19. Lucero A, Addae G, Lawrence W, Neyway B, Credeur DP, Faulkner J, et al. Reliability of muscle bloodflow and oxygen consumption response from exercise using near-infrared spectroscopy. *Exp Physiol*. 2018;103(1):90-100.
20. Woolcott OO, Bergman RN. Relative fat mass (RFM) as a new estimator of whole-body fat percentage - A cross-sectional study in American adult individuals. *Sci Rep*. 2018;8(1):1-11.
21. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(1):1292-2.
22. Fletcher JR, Esau SP, Macintosh BR. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol*. 2009;107(6):1918-22.
23. Hindistan IE, Ozdogan EC, Bilgin G, Colak OH, Ozkaya YG. Effects of sprint interval training on sloping surfaces on aerobic and anaerobic power. *Biomed Hum Kinet*. 2020;12(2):41-50.
24. Bastida-Castillo A, Gómez-Carmona CD, Pino Ortega J. Effects of recovery type in muscular oxygenation during squat exercise. *Kronos*. 2016;2(15):1-12.
25. Niwayama M, Yamamoto K, Kohata D, Hirai K, Kudo N, Hamaoka T. A 200-channel imaging system of muscle oxygenation using CW near infrared spectroscopy. *Trans Inf Syst*. 2002;85(1):115-23.
26. Yoshimatsu T, Yoshida D, Shimada H, Komatsu T. Relationship between near-infrared spectroscopy and subcutaneous fat and muscle thickness measured by ultrasonography in Japanese community-dwelling elderly. *Geriatr Gerontol Int*. 2013;13(2):351-7.
27. Bellotti C, Calabria E, Capelli C, Pogliaghi S. Determination of maximal lactate steady state in healthy adults: can NIRS help. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(6):1208-16.
28. Crum EM, O'Connor WJ, Van Loo L, Valckx M, Stannard SR. Validity and reliability of the Moxy oxygen monitor during incremental cycling exercise. *J Physiol Sci*. 2017;17(8):1037-43.
29. Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Ferrer-Lopez V, Martínez-González-Moro I. Quadriceps muscle oxygenation during a maximum stress test in middle-aged athletes. *Montenon J Sport Sci Med*. 2020;9(2):202-6.