

**Espectroscopia óptica no infravermelho próximo (NIRS)****Optical spectroscopy in the near infrared (NIRS)**

DOI:10.34117/bjdv6n2-113

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 11/02/2020

**Kamylla Caroline Santos**

Fisioterapeuta pela Universidade Federal de Goiás. Discente do programa de pós-graduação em Biociência animal - nível mestrado da Universidade Federal de Jataí.

Instituição: Universidade Federal de Jataí

Endereço: Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio - Jataí, GO - Brasil

E-mail: kamyllacarolinefisio@gmail.com

**Paulo Freitas Gomes**

graduação, mestrado e doutorado em Física pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é docente efetivo do curso de Física da Universidade Federal de Jataí.

Instituição: Universidade Federal de Jataí

Endereço: Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio - Jataí, GO - Brasil

E-mail: paulogomestl@gmail.com

**Gustavo Henrique Marques Araujo**

graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Viçosa, mestrado e doutorado em Medicina Veterinária pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é docente do programa de pós-graduação em Biociência animal - nível mestrado da Universidade Federal de Jataí.

Instituição: Universidade Federal de Jataí

Endereço: Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio - Jataí, GO - Brasil

E-mail: gustavoaraujovet@gmail.com

**Maisa Ribeiro**

graduação em Biomedicina pela Universidade Federal de Goiás, mestrado em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de Goiás e doutorado em andamento pelo programa Ciência Animal da Universidade Federal de Goiás. Atualmente é docente substituta do curso de Biomedicina da Universidade Federal de Jataí.

Instituição: Universidade Federal de Jataí

Endereço: Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio - Jataí, GO - Brasil

E-mail: maisaribeiro22@outlook.com

**Keila Márcia Ferreira de Macêdo**

graduação em Educação Física pela Universidade Federal de Goiás, mestrado em Ciências da Religião pela Universidade Católica de Goiás e doutoranda em andamento em ciências da saúde pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente é docente efetiva do curso de Educação Física da Universidade Federal de Jataí.

Instituição: Universidade Federal de Jataí

Endereço: Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio - Jataí, GO - Brasil

E-mail: keilafef@gmail.com

**Glauco Lima Rodrigues**

graduação em Fisioterapia pela Universidade de Fortaleza e mestrado em Educação, Administração e Comunicação pela Universidade São Marcos. Atualmente é docente efetiva da Universidade Federal do Piauí.

Instituição: Universidade Federal do Piauí.

Endereço: Av. São Sebastião, nº 2819 - Nossa Sra. de Fátima, Parnaíba - PI - Brasil

E-mail: glaucolrodrigues@hotmail.com

**Gisella Maria Lustoza Serafim**

graduação em Fisioterapia pela Universidade de Fortaleza. Mestrado profissional em Gestão de Tecnologia e Inovação em Saúde pelo Hospital Sírio-Libanês. Atualmente é servidor público da secretaria de saúde do Estado do Piauí (SESAPI).

Instituição: Instituto de Doenças Tropicais Natan Portela - Sesapi

Endereço: Rua Governador Arthur de Vasconcelos, 151. Centro - Teresina, PI - Brasil

E-mail: giselaserafim@yahoo.com.br

**Bárbara de Lima Lucas**

graduação pela Universidade Federal de Uberlândia (FOUFU), mestrado pela Universidade Federal de Uberlândia (FOUFU), doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (FOP/UNICAMP) e pós-doutorado pela Universidade de São Paulo (FORP/USP). Atualmente é docente efetiva do curso de Medicina da Universidade Federal de Jataí.

Instituição: Universidade Federal de Jataí

Endereço: Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio - Jataí, GO - Brasil

E-mail: lucas.barbara@gmail.com

**RESUMO**

Esse estudo reuniu os resultados experimentais disponíveis na literatura após a aplicação da espectroscopia óptica do infravermelho próximo - NIRS - a fim de verificar o que a literatura descreve como parâmetros associados à atividade tecidual durante o exercício intenso. O levantamento bibliográfico foi realizado entre os meses de setembro 2015 a Janeiro 2016, nas bases de dados da (Pub Med, Scielo, Lilacs) e abrangeu publicações de 1980 a 2015. Dentre as publicações identificadas, foram selecionados 11 artigos que tratam diretamente sobre o tema pesquisado. A partir da pesquisa, verificou-se que os processos fisiológicos associados ao controle do aparelho locomotor pelo sistema neural, durante a adaptação muscular ao exercício e à fadiga, ainda não estão completamente descritos na literatura. Sendo assim, esta revisão abordará a aplicabilidade e eficácia da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) como metodologia para análise da função tecidual.

**Palavras-chaves:** espectroscopia do infravermelho; músculo; córtex cerebral.

**ABSTRACT**

This study gathered the experimental results available in the literature after the application of near infrared optical spectroscopy - NIRS - in order to verify what the literature describes as parameters associated with tissue activity during intense exercise. The bibliographic survey was carried out between September 2015 and January 2016, in the databases of (Pub Med, Scielo, Lilacs) and covered publications from 1980 to 2015. Among the publications identified, 11 articles were selected that deal directly with the researched topic. From the research, it was found that the physiological processes associated with the control of the locomotor system by the neural system, during muscle adaptation to exercise and fatigue, are not yet fully described in the literature. Therefore, this review will address the applicability and effectiveness of near infrared spectroscopy (NIRS) as a methodology for analyzing tissue function.

**Keywords:** infrared spectroscopy; muscle; cerebral cortex.

## 1 INTRODUÇÃO

O princípio da espectroscopia NIRS (espectroscopia no infravermelho próximo) consiste em medidas de difusão da intensidade luminosa no comprimento de onda do infravermelho (IV) próximo para avaliar de forma não invasiva o fluxo sanguíneo e as concentrações de oxigênio, baseado na relação das concentrações da deoxiemoglobina e da oxiemoglobina do tecido [1]. NIRS pode monitorizar a saturação de oxigênio (O<sub>2</sub>) na vascularização dos tecidos neural e muscular. A quantificação é obtida por um aparelho (Figura 1) a partir de um método multidistância que permite a analisar o tecido, além da dispersão e absorção coeficiente [2].

Quando a luz é irradiada, penetra na pele, no músculo ou em outro tecido de interesse, e é absorvida por componentes teciduais, reduzindo a intensidade da luz incidente [3].



**Figura 1: Exemplo de um espectrofotômetro tecidual para a NIRS**

Em tecidos humanos, na região do infravermelho, o espalhamento é muito maior que a absorção, o que significa tratar-se de um meio denso. Estudando-se os coeficientes de absorção e de espalhamento de um tecido é possível determinar a concentração de moléculas espalhadoras ou absorvedoras segundo sua oxigenação, indicando assim sua vascularização [1]. A saturação reflete, portanto, o equilíbrio entre suprimentos de oxigênio (O<sub>2</sub>) e solicitações energéticas [4].

Há controvérsias na literatura quanto às predições dos fatores limitantes de exercícios aeróbios máximos. No final de um exercício o músculo perde a capacidade de contração, como consequência da baixa disponibilidade de oxigênio (O<sub>2</sub>) e aumento da acidose metabólica [5]. Um modelo que defende que o esforço é regulado centralmente sugere a presença de reserva neurofisiológica em qualquer exercício aeróbio máximo. Ambas seriam causadas pela oferta inadequada de oxigênio (O<sub>2</sub>) aos músculos ativos, devido ao débito cardíaco limitado [2].

O recrutamento muscular em atletas durante o exercício é aumentando até mesmo em condições de hipóxia, sugerindo assim, que a nível muscular, atletas são capazes de entregar mais oxigênio (O<sub>2</sub>) ao músculo, que sedentários. Ao contrário do cérebro, o músculo esquelético

geralmente desoxigena durante o exercício, esse fato ocorre devido a sua vulnerabilidade e mecanismo de proteção contra a hipóxia [6].

O tecido neural do córtex cerebral é mais vulnerável a hipóxia do que o muscular esquelético [7]. A capacidade de restaurar a oxigenação muscular durante as fases de contração e relaxamento é um importante preditor de resistência [8]. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo analisar a produção científica e resultados experimentais utilizando esta técnica para entendermos os parâmetros envolvidos no consumo de energia em exercícios físicos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma busca eletrônica nas bases de dados SciELO–Brasil, Lilacs e Medline/Pubmed no período Setembro 2015 a janeiro 2016, cujo método permitiu a inclusão simultânea de diversos tipos de pesquisas, analisando fontes da literatura e trabalhos sobre o uso da técnica de NIRS. A pesquisa foi feita por dois autores/avaliadores que discutiram sobre o cruzamento dos seguintes descritores e seus correspondentes em inglês: espectroscopia e próximo e infravermelho e músculo e tecido, todos incluídos no Medical Subject Headings (MeSH).

Outra estratégia utilizada foi a busca manual em listas de referência dos artigos identificados e selecionados. As discrepâncias apresentadas pelos autores foram discutidas e contou com os critérios de exclusão para o esclarecimento. A pesquisa contou com restrição de idiomas. Não foi considerado um limite em relação ao período de publicação, sendo os artigos selecionados posteriormente por critérios de inclusão e exclusão.

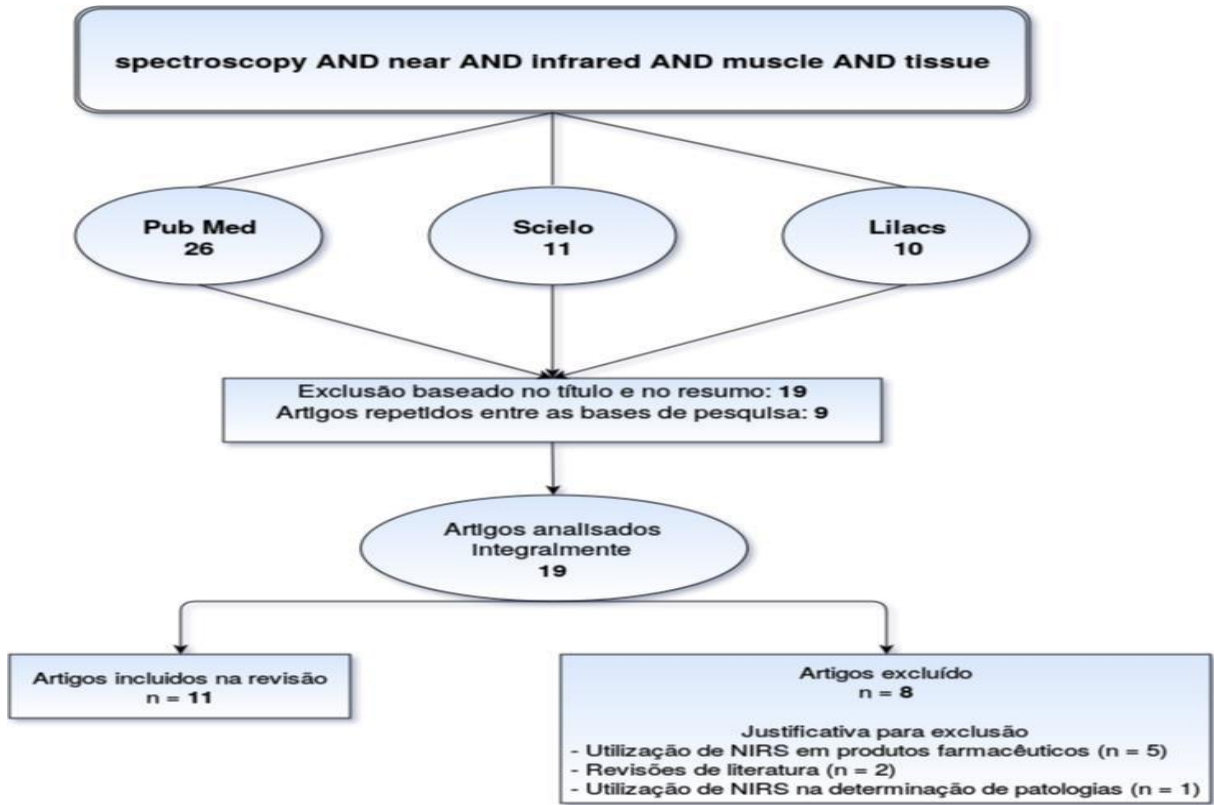
Critérios de inclusão:

Estudos em humanos e em animais;

Todos os quatro tecidos do corpo: epitelial, conjuntivo, muscular e neural;

Situações de esforço físico e basal. Critérios de exclusão:

1. artigos de outros idiomas que não Português/Inglês e revisões de literatura. Após a localização dos artigos, realizou-se a leitura dos resumos do material encontrado e, em seguida, a pré-análise, com leitura e fichamento dos artigos selecionados. As etapas do estudo envolveram: identificação do material por meio da leitura exploratória; fichamento dos artigos procurando destacar as evidências e as recomendações, e a sistematização, onde os artigos foram categorizados conforme a Metodologia (amostra, grupos, tipo de estudo, tipos de tecidos analisados, aparelho e protocolo NIRS); Resultado/discussão (valores de saturação, distribuição amostral e teste estatístico aplicado). A figura 3 ilustra a sistematização e o número de artigos encontrados e incluídos.



**FIGURA 3:** Número de artigos encontrados e selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão segundo descritores e bases de dados

### 3 RESULTADOS

Observou-se que a técnica estudada foi aplicada em diferentes situações no que se refere aos sujeitos em estudo e ao delineamento metodológico. As datas de publicação variaram entre os anos de 1995 e 2015; 3 publicações ocorreram no ano de 2012; entre os anos de 1999-2006 não foram encontradas publicações que atendessem aos critérios de inclusão propostos nesta sistematização assim como nos anos 2011, 2010, 2008 e 1997. Este demonstrativo leva a inferir que no período de 2007 a 2015 ocorreu um aumento de publicações que tratam do tema desse estudo. Este fato pode ter relação com o surgimento de novos equipamentos que possibilitam a realização mais facilitada da técnica de NIRS.

A expansão da técnica é atribuída ao desenvolvimento tecnológico e de obtenção dos dados, associados aos programas para este tipo de análise como aos programas de estatística, possibilitando seu uso em grande escala na área da química analítica [9]. Durante a seleção dos artigos mediante os critérios de inclusão e exclusão, foi observado que a maioria das publicações descartadas utilizava NIRS para determinar o tamanho de partículas em produtos farmacêuticos e matérias primas.

Dentre os estudos selecionados, cinco foram realizados no continente Europeu sendo: três no Reino Unido, um na Itália e um na França; 2 Americanos: um no Canadá e um no EUA; 2 Asiáticos: Um em Catar e outro no Japão e 2 na Oceania: Ambos na Austrália. Houve um aumento do número de países com fisiologistas utilizando NIRS aplicado ao tecido muscular [6].

Quadro 1. Levantamento bibliográfico dos trabalhos experimentais que utilizaram a técnica de NIRS durante a adaptação muscular e neural ao exercício físico,

Autores/ano	Título	Periódico	País	Impacto (IF)
Macleod. et.al/2007	Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance and eccentric isokinetic muscle actions	Journal Of Sports Sciences	Reino Unido	2.25
De Blasi. et. al/1995	Cerebral and muscle oxygen saturation measurement by frequency-domain near infra-red spectrometer.	Med. E Biol. Eng. E Comput	Itália	1.726
Vijaya. et.al/2012	Changes in detrusor muscle oxygenation during detrusor overactivity contractions	BJOG	Reino Unido	1.695
Gayda et al/2015	Muscle VO2 and forearm blood flow repeatability during venous and arterial occlusions in healthy and coronary heart disease subjects	Clinical Hemorheology and Microcirculation	Canadá	2.242
Bourdillon et al/2009	Interaction between hypoxia and training on NIRS signal during exercise: Contribution of a mathematical model	Respiratory Physiology & Neurobiology	França	1.971
Delcanho et al/1996	Haemodynamic changes induced by submaximal isometric contraction in painful and non-painful human masseter using nearinfra- red spectroscopy	Archs oral Biology	EUA	1.735
Racinais et al/2014	Breakpoints in ventilation, cerebral and muscle oxygenation, and muscle activity during an incremental cycling exercise	Frontiers in Physiology	Catar	3.534
Robbins et al/2012	Localised muscle tissue oxygenation during dynamic exercise with whole body vibration	Journal of Sports Science and Medicine	Reino Unido	1.025
Nioka et al/1998	Muscle deoxygenation in aerobic and anaerobic exercise	Adv Exp Med Biol	Japão	1.958
Thomson et al/2012	Intensity dependent repetitive transcranial magnetic stimulation modulation of blood oxygenation	Journal of affective Disorders	Austrália	3.383
Cao et al/2013	A Near Infra-Red Study of Blood Oxygenation Changes Resulting From High and Low Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation	Brain Stimulation	Austrália	4.399

publicados entre os anos de 1996 a 2014.



Autores	N	Faixa etária	Grupos	Aparelho NIRS	Protocolo NIRS	Tecidos avaliados	Distribuição Amostral	Médias Medianas	Testes estatísticos aplicados	Conclusões
Macleod et.al	a = 9 b = 11	20-25	a = Escaladores intermediários  b = Não-alpinistas	NIRO-500 Hamamatsu Photonics K.K., Japan	Eletrodos posicionados a 4 cm de distância da superfície do antebraço anterior, no ventre do músculo flexor superficial dos dedos e no músculo flexor digital superficial. As concentrações foram calculadas pelo software ON-Hamamatsu Photonics.	Tecido muscular (Músculo flexor superficial dos dedos e músculo flexor digital superficial.)	Normal	(P = 0.023 – 40%, P = 0.014 – 60%)	Teste T	A reoxigenação muscular diante a fase de repouso é um bom preditor para o desempenho e resistência em escaladas.
De Blasi et. al	12	24-44	7 homens e 5 mulheres saudáveis e não praticantes de exercícios físico	--	Região frontal da cabeça e no antebraço. Os eletrodos foram colocados 3 cm na linha mediana do músculo braquiorradial e no lobo pré-frontal.	Tecido muscular e tecido neural	Normal	58.4 - 68.4%	Teste T pareado	Em repouso, a saturação de oxigênio muscular foi maior que a cerebral.
Vijaya et.al	55	37-67	55 Mulheres com sintomas do trato urinário inferior	--	Eletrodos foram posicionados 2cm acima da sínfise púbica.	Tecido muscular - Músculo detrusor da bexiga	Normal	Hb enchimento p = 0,028. Hb contração p = 0,2	Teste T pareado	Houve uma mudança nos níveis de hemoglobina desoxigenada devido a um maior consumo de oxigênio durante a contração do músculo detrusor.
Gayda et al	a=18 b=12	a=25-67 b=66-78	a = saudáveis  b = doença cardíaca coronária	Artinis, Oxymon Mk III system, Netherlands	Os eletrodos posicionados no músculo braquiorradial. Foram amostrados sinais durante o descanso por um período de 2 min, 2 oclusões venosas sucessivas e a oclusão arterial de 5 em 5 min.	Tecido muscular (Músculo braquiorradial)	Normal	P> 0,05	One-Way ANOVA, Teste de Bonferoni, Análise de Bland e Altman	Foram encontradas uma boa concordância entre o consumo de oxigênio muscular em oclusões venosas e oclusões arteriais.
Bourdillon et al	a = 6 b = 5	a=23-30 b=24-38	a = sedentários  b = resistência, atletas	NIRS, Tissue InSpectra Espectrômetro Modelo Hutchinson Tecnologia, MN, EUA	Os eletrodos foram posicionados no vasto lateral da perna direita, 15cm acima da patela, com uma distância de 2,5 cm entre os emissores de luz e os detectores.	Tecido muscular - Músculo vasto lateral	Normal	p <0,05	ANOVA, Teste de Bonferoni	Atletas tiveram maior queda de oxiemoglobina do que indivíduos sedentários durante exercícios progressivos sob condições de hipóxia.



Delcandro et al	a = 8 b = 10	21-45	a = controle  b= dores musculares	Run-Man, NIM Inc, Philadelphia, PA, U.S.A	Os eletrodos colocados 15mm entre si sobre a superfície do músculo masseter direito com o globo de emissão de luz fixados no zigomático, e fixado em torno da cabeça do participante e no queixo.	Tecido muscular - Músculo masseter	Normal	p = 0,042	Test T, ANOVA	Foi notado uma redução na concentração de HB intramuscular e diminuição dos níveis de saturação de o <sub>2</sub> durante o início da contração do m. masseter. Após a cessação da contração, a concentração de Hb aumentou e em seguida caiu para linha de base. O grupo com dor muscular crônica, mostrou menor variação de concentração de Hb na recuperação.
Racinais et al	25	29-45	clicistas	Oxymon MkIII, Artinis, The Netherlands	Um par de eletrodos emissor-detector foi colocado sobre o lóbulo pré-frontal esquerdo, um segundo par emissor- detector foi colocado na parte distal do músculo vasto lateral direito (Cerca de 15cm acima da borda proximal da patela) espaçamento entre eletrodos foi de 45mm.	Tecido muscular e tecido neural	não-normal os dados foram transformados de log	53+- 8ml.min - 1.kg-1	Teste de Shapiro-wilk	<u>Eventos ventilatórios que caracterizam o limiar cardiovascular pode afetar tanto níveis de oxigenação cerebral e musculares, e por sua vez as respostas de recrutamento muscular.</u>
Robbins et al	a = 14 homens  b = 6 mulheres	19-39	praticantes de exercícios físicos	NIRO 300 Hamamatsu Photonics, Japan	Eletrodos posicionados na região lateral do músculo gastrocnêmio com a distancia central entre o emissor e o detector de 1/3 da distância entre a cabeça da fibula e do calcâneo. A distância de 4cm foi mantida entre o emissor e o detector.	Tecido muscular (gastrocnêmio)	normal e não normal	HHb: 13.7 O2Hb: -18.1	Para normalidade (teste de Shapiro - Wilk), Samples T - Test, ANOVA Não-normal: teste de Wilcoxon	Durante o exercício de levantar o calcanhar com a adição de vibração não foi notado aumento no custo do exercício para o músculo, mas sim aumento do fluxo sanguíneo.

Nioka et al	14	19-23	14 velocistas do sexo masculino	Runman, NIM Incorporated	Eletrodos foram colocados sobre o músculo vasto lateral direito e sinais foram registrados a cada 0,5 segundos a partir do repouso, de forma contínua.	Tecido muscular - Músculo vasto lateral da perna direita	normal	exercício aeróbico: 40,0+-5,6% exercício anaeróbico: 80,2+-12,2%.	<u>teste Anova</u> (análise de variância).	Mesmo o exercício aeróbico precisando mais de O <sub>2</sub> que o anaeróbico. A desoxigenação muscular ocorre mais nos exercícios anaeróbicos.
Thomson et al	a = 5 b = 13 c = 10	a = 21-33 b = 24-36 c = 24-30	a = controle em córtex motor b = destros c = segundo grupo de controle	96108 (OxiTS; ISS Inc, Champaign, IL, USA)	Eletrodos foram colocados na região frontal esquerda.	Tecido neural	Normal	(F = 5,2, p .05; F = 20,4, p < .05)	ANOVA	A frequência de entrega da estimulação magnética transcraniana (TMS) e os níveis HBO locais permanecem a um nível inferior do que no início da sessão, explicando potencialmente alterações na sensibilidade à estimulação com TMS.

**Quadro 2. Artigos incluídos e descritos com os seguintes critérios: autor, número amostral, faixa etária, grupos, aparelho NIRS, tecidos avaliados, distribuição amostral, média, testes estatísticos e conclusão.**

Como mostra o quadro 2, a população de estudo foi composta por jovens e adultos, com faixa etária em média de 33,7 anos. Com relação às populações que compuseram os experimentos, houve diferença no número de indivíduos, as amostras variaram entre 12 e 55 sujeitos estudados, sendo o número médio de indivíduos por pesquisa igual a 22, o que pode ser explicado pela diversidade de locais em que as pesquisas foram realizadas. Através dos protocolos NIRS, foram medidas as alterações no volume sanguíneo e na oxigenação muscular.

A razão entre oxiemoglobina/hemoglobina são utilizadas para calcular a saturação muscular [2]. O posicionamento dos eletrodos NIRS foram diferentes em cada experimento, assim como as regiões e músculos, mas de forma geral a distância média de 4cm foi mantida entre o emissor e o detector, tanto em tecidos musculares, quanto neurais.

De acordo com a tabela 2, podemos ver que há grande possibilidade de quantificação e monitoramento de saturação de oxigênio (O<sub>2</sub>) muscular por IV-próximo. Depois de completar testes de resistência, os músculos dos indivíduos ficam mais firmes, constituindo um tipo de fadiga muscular, onde haverá a restauração e a reoxigenação muscular durante as fases de contração e relaxamento, sendo estes importantes preditores de resistência [8]. As concentrações de oxigênio (O<sub>2</sub>) no tecido muscular de atletas podem influenciar o seu desempenho e por este motivo, vem sendo muito observadas. Ao

contrário do cérebro, o músculo esquelético geralmente desoxigena durante o exercício, esse fato ocorre devido a sua vulnerabilidade e mecanismo de proteção cerebral contra a hipóxia [7].

Os resultados a partir de dados de NIRS sugerem que a nível muscular, indivíduos treinados são mais afetados por hipóxia, sendo assim, provavelmente atletas seriam capazes de entregar mais oxigênio (O<sub>2</sub>) ao músculo graças a um débito cardíaco maior e a melhor vasodilatação e aumento da capilaridade [6]. Mudanças nas estratégias de recrutamento muscular podem estar relacionadas a alterações na oxigenação cerebral, a diminuição na PaCO<sub>2</sub> induz vasoconstrição cerebral e reduz o fluxo sanguíneo resultando em ativação neuronal reduzida, e, por sua vez conduz a ativação muscular [10].

#### **4 DISCUSSÃO**

Dos trabalhos incluídos, dois não apresentam o modelo do aparelho de NIRS utilizado para obter os valores de saturação tecidual [2]. De acordo com o trabalho de Nioka et al. (1998) NIRS foi usado em atletas que utilizavam toda a capacidade do músculo, ou seja, que corriam longas distâncias com a mesma velocidade o tempo todo [7]. Assim foi medida a dessaturação da hemoglobina (liberação de oxigênio pela hemoglobina) no músculo, e observou-se que o oxigênio (O<sub>2</sub>) não é um fator limitante para o exercício de estado estacionário.

Há uma controvérsia na literatura em relação aos fatores limitantes do exercício físico. De acordo com o modelo tradicional de fisiologia do exercício, existe um limite periférico (muscular) em todo exercício aeróbio máximo, devido à hipóxia severa causada pela oferta inadequada de oxigênio ao músculo esquelético. Já o modelo de regulação central do esforço defende a existência de reserva neurofisiológica em todo exercício aeróbio máximo [1].

No trabalho de Bourdillon et al, (2009) NIRS foi usado em grupos de indivíduos treinados e sedentários para medir a oxigenação tecidual durante o exercício. Os resultados a partir de dados de NIRS mostraram que a nível muscular, indivíduos treinados foram mais afetados que os sedentários por entregar mais oxigênio (O<sub>2</sub>) ao músculo, graças a um débito cardíaco maior e provavelmente melhor vasodilatação e aumento da capilaridade [6].

#### **5 CONCLUSÃO**

Concluimos nessa revisão sistemática que a técnica de NIRS possui grande potencial no estudo das variações da oxigenação e perfusão tecidual. A disposição de informações presentes na literatura não é sólida o suficiente para afirmar se o limitante do exercício físico é modulado pelo sistema nervoso central (cérebro) ou sistema nervoso periférico (músculo). Entretanto, existe uma falta de padronização do método que inviabiliza a comparação dos resultados.

**REFERÊNCIAS**

- SILVA-JUNIOR, F L. et al. Provável reserva neurofisiológica na execução de exercícios aeróbios máximos. **R. Bras. Ci. e Mov**, v.22, n.1, p. 168-174, 2014.
- DE BLASI, R. A. et al. Cerebral and muscle oxygen saturation measurement by frequency-domain near-infra-red spectrometer. **Medical and Biological Engineering and Computing**, v. 33, n. 2, p. 228-230, 1995.
3. LIMA, A.; BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para a monitorização da perfusão tecidual. **Rev Bras Ter Intensiva**, v.23, n. 3, p. 341-354, Julho 2011.
4. GAYDA, Mathieu et al. Muscle VO<sub>2</sub> and forearm blood flow repeatability during venous and arterial occlusions in healthy and coronary heart disease subjects. **Clinical hemorheology and microcirculation**, v. 59, n. 2, p. 177-183, 2015.
5. HILL, A. V.; LUPTON, Hartley. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **QJM**, n. 62, p. 135-171, 1923.
6. BOURDILLON, Nicolas et al. Interaction between hypoxia and training on NIRS signal during exercise: contribution of a mathematical model. **Respiratory physiology & neurobiology**, v. 169, n. 1, p. 50-61, 2009.
7. NIOKA, S. et al. Muscle deoxygenation in aerobic and anaerobic exercise. In: **Oxygen Transport to Tissue XX**. Springer US, 1998. p. 63-70.
8. MACLEOD, D. et al. Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. **Journal of sports sciences**, v. 25, n. 12, p. 1433-1443, 2007.
9. MOORE, D.S., WHITE, J.S., HARBIN, B.A. Infrared sample preparation and interpretation using a knowledge system. **Anal. Chi. Acta**, v.294, p.85-94. 1994.
10. RACINAIS, Sebastien; BUCHHEIT, Martin; GIRARD, Olivier. Breakpoints in ventilation, cerebral and muscle oxygenation, and muscle activity during an incremental cycling exercise. **Frontiers in Physiology**, v. 5, 2014.