



A FOTOBIMODULAÇÃO MELHORA O DESEMPENHO E A RECUPERAÇÃO MUSCULAR? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA


DOES PHOTOBIMODULATION IMPROVE MUSCLE PERFORMANCE AND RECOVERY?
 A SYSTEMATIC REVIEW


¿LA FOTOBIMODULACIÓN MEJORA EL DESEMPEÑO Y LA RECUPERACIÓN MUSCULAR?
 UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Ana Flávia Spadaccini Silva de Oliveira¹ 
 (Fisioterapeuta)

Jéssica Lúcio da Silva¹ 
 (Fisioterapeuta)

Carlos Augusto Marcal Camillo¹ 
 (Fisioterapeuta)

Rodrigo Antonio Carvalho Andraus¹ 
 (Fisioterapeuta)

Luciana Prado Maia¹ 
 (Cirurgião Dentista)

1. Universidade Pitágoras-UNOPAR, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Londrina, Paraná, Brasil.

Correspondence:

Luciana Prado Maia
 Universidade Pitágoras Unopar,
 Programa de Pós-Graduação
 em Ciências da Reabilitação,
 Laboratório de Cultura Celular,
 Av. Paris, 675. Jd. Pizza, Londrina,
 PR, Brasil. 86041-140
 lucianapmaia@gmail.com

RESUMO

A fotobiomodulação (PBM) parece amenizar o dano muscular induzido pelo exercício, melhorando a recuperação bioquímica e funcional e reduzindo a inflamação e o estresse oxidativo. Esta revisão sistemática teve como objetivo avaliar a eficácia da fotobiomodulação (PBM) na recuperação do músculo esquelético depois do exercício, abordando os diferentes tipos de lasers e parâmetros utilizados. Foram incluídos estudos clínicos randomizados (RCTs) que comparam os efeitos da PBM. O desfecho primário avaliado foi o desempenho e o secundário foi a expressão de marcadores inflamatórios. Foram analisados estudos publicados até março de 2021. Foram incluídos 15 RCTs que atenderam aos critérios de inclusão. Houve variabilidade significativa quanto às doses e comprimentos de onda usados, bem como aos tipos de laser. Porém, na maioria dos estudos, a PBM promoveu melhora da contração voluntária máxima, melhor consumo de oxigênio, aumento do tempo para atingir exaustão e fadiga, e diminuição dos níveis de creatina quinase (CK), estresse oxidativo e marcadores de fadiga, principalmente quando usado antes do exercício. A fotobiomodulação aplicada antes do exercício, apesar de apresentar grande variabilidade de doses e comprimentos de onda, melhora o desempenho muscular e diminui os níveis de marcadores inflamatórios e de fadiga. **Nível de evidência II; Revisão sistemática de estudos de Nível II.**

Descritores: Terapia a laser de baixa intensidade; Terapia a laser; Função muscular.

ABSTRACT

*Photobiomodulation (PBM) appears to limit exercise-induced muscle damage, improve biochemical and functional recovery, and reduce inflammation and oxidative stress. This systematic review aimed to evaluate the effectiveness of photobiomodulation (PBM) in skeletal muscle recovery after exercise, addressing the different types of lasers and parameters used. Randomized clinical trials (RCTs) comparing the effects of PBM were included. The primary outcome evaluated was performance, and the secondary was inflammatory marker expression. The searches were conducted in March 2021. Fifteen RCTs that met the inclusion criteria were included. There was significant variability regarding the doses and wavelengths used, as well as in the types of lasers. However, in most studies, PBM promoted improvement of maximum voluntary contraction, better oxygen consumption, increased time to achieve exhaustion and fatigue, and decreased creatine kinase (CK), oxidative stress, and fatigue markers, mainly when used before exercise. Photobiomodulation applied before exercise, regardless of variations in doses and wavelengths, improves muscle performance and decreases levels of inflammation and fatigue markers. **Evidence level II; Systematic review of level II studies.***

Keywords: Low-level laser therapy; Laser therapy; muscle function.

RESUMEN

La fotobiomodulación (PBM) parece aliviar el daño muscular inducido por el ejercicio, mejorando la recuperación bioquímica y funcional y reduciendo la inflamación y el estrés oxidativo. Esta revisión sistemática tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la fotobiomodulación (PBM) en la recuperación del músculo esquelético después del ejercicio, abordando los diferentes tipos de láseres y parámetros utilizados. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados (ECA) que compararon los efectos de la PBM. El resultado primario evaluado fue el desempeño y el secundario fue la expresión de marcadores inflamatorios. Se analizaron los estudios publicados hasta marzo de 2021. Resultados: Se incluyeron quince ensayos clínicos aleatorizados que cumplían los criterios de inclusión. Hubo una importante variabilidad en cuanto a las dosis y longitudes de onda utilizadas, así como al tipo de láser. Sin embargo, en la mayoría de los estudios, la PBM promovió una mejor contracción voluntaria máxima, un mejor consumo de oxígeno, un mayor tiempo para alcanzar el agotamiento y la fatiga, y una disminución de los niveles de creatina quinasa (CK), del estrés oxidativo y de los marcadores de fatiga.



especialmente quando se utiliza antes del ejercicio. La fotobiomodulación aplicada antes del ejercicio, a pesar de presentar gran variabilidad de dosis y longitudes de onda, ha demostrado mejorar el desempeño muscular y disminuir los niveles de marcadores inflamatorios y de fatiga. **Nivel de evidencia II; Revisión sistemática de estudios de nivel II.**

Descriptor: Terapia por láser de bajo nivel; Terapia por láser; Función muscular.

DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202329012021_0412

Artigo recebido em 12/10/2021 aprovado em 21/12/2021

INTRODUÇÃO

A prática de atividade física promove saúde e qualidade de vida. No entanto, existe uma ampla gama de riscos envolvidos de acordo com a demanda física de cada esporte para seus praticantes¹. Assim, diversas modalidades terapêuticas têm sido utilizadas após as atividades esportivas para melhorar a recuperação do músculo esquelético, sendo uma delas a fotobiomodulação (FBM). A FBM é um tratamento não farmacológico que visa diminuir a duração do período de recuperação muscular.¹⁻⁴ No entanto, as evidências científicas sobre a eficácia desse tratamento são limitadas.^{3,5,6}

Sabe-se que o exercício aumenta o fluxo de oxigênio mitocondrial e a produção de trifosfato de adenosina (ATP) no músculo esquelético. Como os principais cromóforos da FBM estão localizados dentro da mitocôndria, as células com muitas mitocôndrias e alta atividade metabólica são particularmente responsivas à luz. Assim, hipotetiza-se que o uso de FBM em esportes e exercícios aumenta a citocromo c-oxidase nas fibras musculares esqueléticas, levando à regulação mitocondrial positiva, aumentando a produção de ATP.^{7,8}

O aumento na produção de ATP aumenta a produção de energia e diminui o estresse oxidativo e a produção de espécies reativas de oxigênio, retardando a fadiga muscular e melhorando o estado dos marcadores bioquímicos relacionados à recuperação do músculo esquelético. Quando a FBM é aplicada, uma quantidade extra de Cálcio (Ca²⁺) é transportada para o citoplasma por meio de um processo que promove a mitose celular, a síntese de RNA e DNA e a proliferação celular.³

Nesse contexto, estudos têm demonstrado que a FBM pode limitar o dano muscular induzido pelo exercício, melhorando a recuperação bioquímica e funcional e reduzindo a inflamação e o estresse oxidativo.^{3,4,9-14} Porém, ainda não é um consenso na literatura, visto que alguns estudos não mostraram resultados com a FBM na recuperação muscular após indução à fadiga.^{2,4,5} Além disso, há grande variabilidade nos parâmetros de aplicação (como potência, comprimento de onda, tempo de irradiação e energia) utilizados nos estudos, tornando difícil interpretar os resultados e utilizá-los na prática clínica, mesmo em ambientes esportivos.^{3,15} Portanto, considerando a divergência entre os resultados disponíveis, uma revisão sistemática nesta área é de extrema importância para determinar os melhores critérios a serem utilizados para que se obtenha uma rápida recuperação muscular e o retorno às atividades esportivas.

Embora existam algumas revisões sistemáticas neste campo,¹⁶⁻¹⁸ existem muitas lacunas neste conhecimento, uma vez que muitos estudos analisaram variáveis diferentes ou tinham uma estratégia de busca limitada. Esse fato não permite concluir a respeito da eficácia da FBM sobre o desempenho muscular e marcadores inflamatórios ou de fadiga. Além disso, alguns novos estudos de alta qualidade estão disponíveis, o que pode contribuir para o uso clínico da FBM.

Portanto, essa revisão sistemática teve como objetivo avaliar a eficácia da FBM com terapia a laser de baixa potência (LLLT) na recuperação do músculo esquelético após o exercício, abordando os diferentes tipos de lasers e parâmetros utilizados.

MÉTODOS

Esta revisão sistemática é baseada na estrutura de lista de verificação dos Itens de Relatório Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-Análise (PRISMA)¹⁸ e foi conduzida seguindo a metodologia descrita no Cochrane Handbook of Systematic Reviews of Interventions.¹⁹ Uma pergunta específica foi formulada com base nos critérios de população, intervenção, controle e resultado (PICO). A questão central foi: "Qual é o efeito da FBM na função do músculo esquelético?" De acordo com esses critérios, a população consistia em participantes saudáveis, e a intervenção comparativa foi a FBM em comparação com nenhum tratamento ou placebo. O desfecho primário foi o desempenho (avaliado pela contração voluntária máxima, pico de força, tempo para atingir a exaustão, capacidade isométrica, tempo no campo, tempo para atingir a fadiga/exaustão) e o desfecho secundário foi a expressão de marcadores inflamatórios.

Identificação e seleção de estudos

Dois pesquisadores independentes realizaram busca eletrônica de artigos publicados até março de 2021, nas bases de dados PubMed/MEDLINE, EMBASE, LILACS, Scielo, utilizando a seguinte estratégia de busca: "(terapia a laser OR terapia a laser de baixa intensidade OR terapia a laser de baixa intensidade OR fototerapia OR fotobiomodulação) AND (reparo OR regeneração OR reabilitação) AND (músculo esquelético)". Um terceiro pesquisador analisou todas as inconsistências nas escolhas dos artigos pelos outros dois pesquisadores, e um consenso foi alcançado por meio da discussão.

Os estudos foram selecionados e classificados como "incluídos" ou "excluídos", a partir da leitura do título e resumo dos artigos pelos dois revisores, trabalhando separadamente. Os estudos selecionados como "incluídos" foram ensaios clínicos randomizados, com participantes saudáveis, grupo experimental com tratamento a laser, presença de grupo controle sem tratamento ou placebo e em todos os idiomas. Os critérios de exclusão foram: estudos em que o grupo intervenção recebeu FBM associado a outra terapia; estudos que não especificaram a intervenção; estudos que incluíram participantes com qualquer tipo de doença ou patologia; cartas, relatos de casos, comunicações breves e estudos em modelos animais e *in vitro*.

Extração de dados

Os dados relevantes extraídos de todos os estudos incluíram: o nome do autor; ano de publicação; tamanho da amostra; características dos participantes (sexo, idade, altura, peso, treinados ou não); tipo de laser usado, comprimento de onda, energia, tempo de aplicação, potência, protocolo de aplicação e medidas de resultado.

Avaliação da qualidade e risco de viés

Depois de selecionar os estudos, dois revisores avaliaram independentemente a qualidade de cada estudo incluído usando a Escala PEDro (Center for Evidence-Based Physiotherapy), na qual os estudos são classificados com pontuações de 0 a 10. O risco de viés em estudos individuais foi avaliado de acordo com a ferramenta da Colaboração Cochrane.²⁰ Esta ferramenta compreende sete domínios de avaliação:

randomização, ocultação de alocação, cegamento dos participantes, cegamento dos avaliadores de resultados, dados de resultados incompletos, relatórios de resultados seletivos e outras fontes de viés. A avaliação do risco de viés para cada um dos domínios envolve a classificação em três categorias: (1) baixo risco de viés, quando o domínio descrito pelo estudo é considerado adequado; (2) alto risco de viés, quando o domínio descrito pelo estudo é considerado inadequado; e (3) risco incerto de viés quando o estudo apresenta informações insuficientes para avaliar o risco de viés.

RESULTADOS

O total de estudos obtidos por meio da estratégia de busca eletrônica foi de 4174 referências, sendo 3660 do PubMed/MEDLINE, 27 do LILACS, sete da Scielo e 480 da EMBASE. Um total de 2 publicações foram obtidas em duplicata e eliminadas da análise. Após exclusões com base no título e resumo, 41 estudos foram selecionados e avaliados para elegibilidade. Assim, 15 ECRs¹⁻¹⁵ foram incluídos nesta revisão sistemática (Figura 1).

Avaliação de risco de viés

Efeitos da intervenção

Houve grande variabilidade em relação às doses e comprimentos de onda utilizados e ao tipo de laser. Em cada variação, resultados diferentes foram obtidos, mostrando que outros parâmetros da FBM podem apresentar efeitos distintos no tecido muscular. A heterogeneidade dos estudos, principalmente nos parâmetros do laser e músculos tratados, não permitiu comparações do resultado, e as metanálises desses dados poderiam, portanto, ser questionáveis devido a um possível viés.

Risco de parcialidade

De acordo com a pontuação da escala PEDro, a maioria dos estudos apresentou alta qualidade, com oito deles atingindo a pontuação máxima. Apenas um estudo obteve pontuação média (5/10), pois não apresentou o processo de randomização e cegamento da amostra na validade interna e não apresentou a variabilidade dos dados na validade externa, o que pode ser verificado na (Tabela 1). O mesmo pode ser observado na ferramenta da Colaboração Cochrane, representada na (Figura 2).

Características dos estudos incluídos

Incluimos quinze ECRs publicados de 2012 a 2018 em inglês, todos realizados no Brasil. A (Tabela 2) mostra as características dos participantes dos estudos incluídos. Os estudos envolveram um total de 428 participantes, com amostras variando de 6 a 96. A média de idade variou de 18 a 35 anos, enquanto a altura média variou de 169 a 178,8 cm, e o peso médio variou de 63,58 a 86 kg. Os estudos envolveram participantes de ambos os sexos; a maioria deles incluía voluntários treinados, enquanto

Tabela 1. Escores do estudo de acordo com os critérios da escala PEDro.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Score
Antoniali et al. ⁹	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
Almeida et al. ¹⁵	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	8/10
Dellagrana et al. ⁷	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
De Marchi et al. ¹⁰	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
De Marchi et al. ¹	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
De Marchi et al. ¹¹	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
De Godoy et al. ²	S	S	S	S	S	N	N	S	S	N	S	7/10
Larkin-Kaiser et al. ¹⁴	S	S	S	S	S	N	N	S	S	N	S	7/10
Larkin-Kaiser et al. ⁵	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	S	8/10
Miranda et al. ¹³	S	N	N	S	S	S	N	S	S	N	N	5/10
Oliveira et al. ³	S	S	S	S	S	S	S	N	N	S	S	8/10
Pinto et al. ⁴	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	9/10
Vanin et al. ⁶	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
Zagatto et al. ¹²	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	10/10

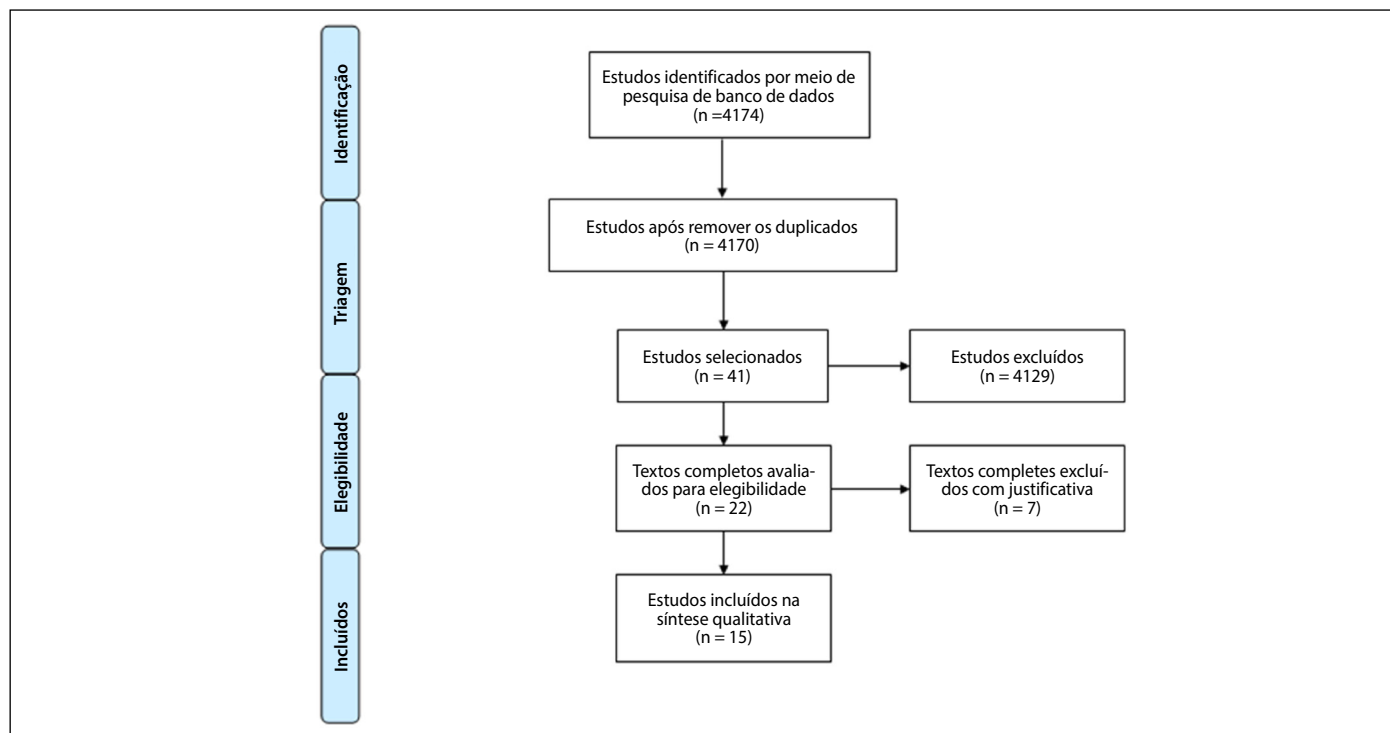


Figura 1. Fluxograma PRISMA e o processo de seleção dos estudos.

	Geração de sequência aleatória (viés de seleção)	Ocultação de alocação (viés de seleção)	Cegamento de participantes e pessoal (viés de desempenho)	Cegamento da avaliação de resultados (viés de detecção)	Dados de resultados incompletos (tendência de atrito)	Relatórios seletivos (viés de relatórios)	Outros
Antoniali et al. ⁹	+	+	+	+	+	+	+
Almeida et al. ¹⁵	+	+	+	+	-	+	+
Dellagrana et al. ⁷	+	+	+	+	+	+	+
De Marchi et al. ¹⁰	+	+	+	+	+	+	+
De Marchi et al. ¹	+	+	+	-	+	+	+
De Marchi et al. ¹¹	+	+	+	+	+	+	+
De Godoy et al. ²	+	+	+	-	+	-	+
Larkin-Kaiser et al. ¹⁴	+	+	+	-	+	+	+
Larkin-Kaiser et al. ⁵	+	+	+	-	+	+	+
Miranda et al. ¹³	+	+	+	+	+	+	+
Oliveira et al. ³	+	+	+	+	+	+	+
Pinto et al. ⁴	+	+	+	+	+	+	+
Vanin et al. ⁶	+	+	+	+	+	+	+
Zagatto et al. ¹²	+	+	+	+	+	+	+

(+) = baixo risco de viés; (-) = alto risco de viés.

Figura 2. Resumo do risco de viés dos estudos incluídos para cada domínio, de acordo com a ferramenta de colaboração Cochrane.

Tabela 2. Características das amostras.

	N	Gênero	Treinado/ Não Treinado	Características das amostras
Antoniali et al. ⁹	40	Masculino	Não treinados	24,10 ± 1,52 anos, 171,44 ± 6,22 cm, 67,05 ± 5,38 kg
Almeida et al. ¹⁵	10	Masculino	Não treinados	19 to 27 anos
Dellagrana et al. ⁷	18	Masculino	Corredores	20,7 ± 4,7 anos, 178,8 ± 5,5 cm, 76,2 ± 7,2 kg
De Marchi et al. ¹⁰	22	Masculino	Não treinados	20 a 25 anos
De Marchi et al. ¹	40	Masculino	Ativos	19 a 29 anos.
De Marchi et al. ¹¹	6	Masculino	Jogadores de futebol	18 a 35 anos.
De Godoy et al. ²	52	Masculino and Feminino	-	18 a 23 anos
Larkin-Kaiser et al. ¹⁴	39	Masculino and Feminino	Ativos	20,0 ± 0,2 anos, 169 ± 2,0 cm, 68,4 ± 1,8 kg
Larkin-Kaiser et al. ⁵	9	Masculino and Feminino	-	24,3 ± 4,97 anos, 171 ± 7,78 cm, 71,2 ± 11,6 kg
Miranda et al. ¹³	96	Masculino and Feminino	Não treinados	18 a 35 anos
Oliveira et al. ³	28	Masculino	Jogadores de futebol	18 a 35 anos
Pinto et al. ⁴	20	Masculino	Jogadores de Rugby	23,50 ± 2,32 years, 178 ± 4,79 cm, 86,00 ± 7,63 kg
Vanin et al. ⁶	28	Masculino	Jogadores de futebol	18,81 ± 0,80 anos, 172,94 ± 4,78 cm, 63,58 ± 4,46 kg
Zagatto et al. ¹²	20	Masculino	Jogadores de Polo Aquático	15,4 ± 1,2 anos, 173,9 ± 5,9 cm, 68,3 ± 10,5 kg

dois incluíam apenas voluntários não treinados. As características do laser podem ser vistas na tabela 3, que envolve diversos tipos e marcas, com comprimento de onda variando de 640 a 905 nm, energia variando de 5 a 480 J e potência variando de 0,05 a 400 w. A (Tabela 3) também apresenta os protocolos de exercícios, aplicação do laser e avaliação dos resultados de força, fadiga e marcadores inflamatórios.

Cinco estudos utilizaram a faixa do vermelho^{1,7,9,13,15} com densidades de energia variando de 5 a 100 J. Em contraste, a maioria dos estudos utilizou a faixa do infravermelho^{1-7,9-11,13,15} com densidades de energia entre 5 e 480 J. Em relação ao momento da aplicação, a maioria dos estudos aplicou a FBM antes do exercício,^{4-7,9-11,13-15} enquanto dois estudos aplicaram ambos, antes e após o exercício,^{3,12} e um dos estudos não relatou o momento da aplicação da FBM.²

A (Tabela 3) também mostra a área de aplicação, sendo eles quadríceps,^{3,6,9} membros inferiores, incluindo além do quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmio,^{4,7,10,11,13} bíceps braquial,^{1,14,15} masseter e temporal anterior² e adutor longo.¹² Apenas um estudo não informou a área de aplicação.⁵

Os desfechos observados foram contração voluntária máxima,^{6,7,9} pico de força¹⁵ e pico de torque,⁷ tempo para atingir a exaustão,^{4,5,10} consumo de oxigênio,^{10,13} marcadores inflamatórios e estresse oxidativo,^{1,3,4} níveis de lactato sanguíneo e marcadores de fadiga⁴ e atividade de CK.^{3,6,9-12}

DISCUSSÃO

Vários estudos foram publicados investigando os efeitos da FBM no desempenho do exercício e na recuperação pós-exercício, e há alguma revisão sistemática sobre esse campo disponível na literatura. Leal-Junior et al.,¹⁶ por exemplo, concluíram que o número de repetições e o tempo até a exaustão aumentaram após a fototerapia, principalmente quando aplicada antes dos exercícios, independente do comprimento de onda utilizado. Corroborando com esses achados, Borsa et al.¹⁷ descobriram que a exposição do músculo esquelético a laser de diodo único e multidiodo, ou terapia LED multidiodo, mostrou afetar positivamente o desempenho físico ao atrasar o início da fadiga, reduzir a resposta à fadiga, melhorar a recuperação pós-exercício e proteger as células dos danos induzidos pelo exercício. O presente estudo atualiza o conhecimento na área, além de apresentar desfechos de força, como tempo de fadiga e exaustão, consumo de oxigênio, marcadores de estresse inflamatório e oxidativo e atividade de CK.

Força Muscular

A maioria dos estudos analisou o desfecho de força, que foi avaliado pela contração voluntária máxima ou pico de torque. Antoniali et al.⁹ usando a combinação de comprimentos de onda de 640, 875 e 905 aumentou a contração voluntária máxima com 10 e 30 J aplicando FBM no quadríceps. Da mesma forma, Vanin et al.⁶ obtiveram um aumento na contração voluntária máxima, utilizando uma dose de 10 e 50 J também no quadríceps, mas com comprimento de onda apenas de 810 nm.

De Marchi et al.¹¹ analisaram a capacidade isométrica com aplicação de laser no bíceps braquial, mostrando aumento do mesmo com comprimento de onda 660 e 850 e dose 41,7 J. Almeida et al.,¹⁵ analisando o pico de força, utilizou comprimento de onda de 660 e 830 nm e, ao contrário de outros estudos, uma dose menor de 5J. No entanto, também mostrou um aumento na força média de pico com aplicações de FBM no bíceps braquial.

Enquanto isso, Dellagrana et al.⁷ não encontraram diferença no pico de torque durante a contração isométrica máxima com comprimento de onda 670, 850, 880 e 950 e dose 15, 30 e 60 J. Este mesmo estudo utilizou um protocolo diferente, realizando quatro sessões de FBM no quadríceps, regiões isquiotibiais e gastrocnêmio, com sete dias de intervalo entre elas.

Tabela 3. Parâmetros do laser, protocolo de aplicação e resultados.

	Tipo do laser	Comprimento de onda (nm)	Densidade de energia (J)	Tempo de aplicação (s)	Densidade de potência (w)	Protocolo de aplicação	Local da aplicação	Resultados
Antoniali <i>et al.</i> ⁹	MR4 LaserShower 50 4D emitter (Multi Radiance Medical): Cluster de 12 diodos	640, 875, 905	10, 30, 50	76, 228, 381	0,07, 16,66, 19,44	Uma aplicação 3 minutos antes do protocolo de exercício.	Seis pontos do quadriceps.	↑ Contração voluntária máxima com 10 e 30 J. ↓ Atividade de CK exceto na dose 50J em 96 horas.
Almeida <i>et al.</i> ¹⁵	Thera Lase (DMC)	660, 830	5	100	17,85	Três aplicações com sete dias de interval entre elas, 3 minutos antes do exercício de fadiga..	Quatro pontos do biceps braquial.	↑ Média do pico de força no vermelho (12.14%) e infravermelho (14.49%).
Dellagrana <i>et al.</i> ⁷	Chatanooga Intellect Mobile Laser 2779 system	670, 850, 880, 950	15, 30, 60	64		Quatro aplicações, sendo uma placebo, com sete dias de interval entre elas, antes dos testes de corrida e força.	14 pontos dos membros inferiores (8 no quadriceps, 4 nos isquiotibiais, 2 nos gastrocnemios)	↔ Pico de torque durante contração isométrica voluntária máxima. A dose 15 J mostrou efeitos benéficos na economia neuromuscular durante corrida de 8 e 9 km. As doses 30 e 60 J mostraram benefícios apenas na corrida de 9km.
De Marchi <i>et al.</i> ¹⁰	Multi-Diodo Cluster 5 diodos	810	30	30	5,495	Uma aplicação, 5 minutos antes do teste de corrida.	12 pontos dos membros inferiores (6 quadriceps, 4 isquiotibiais, 2 gastrocnemios)	↑ tempo total para atingir exaustão e ↑ consume de oxigênio pela irradiação pré exercício. ↓ Lipid (TBARS), SOD e atividade de CK.
De Marchi <i>et al.</i> ¹	Cluster (34 LED vermelho e 35 LED infravermelho)	660, 850	41,7	30	0,05 e 0,15	Uma aplicação dois minutos após contração voluntária máxima.	Ventre muscular do biceps braquial.	↑ capacidade isométrica ↓ estresse oxidativo (TBARS e PC) e CK
De Marchi <i>et al.</i> ¹¹	Cluster (4 super-pulsed infrared)	905	30	228	19,44	Uma aplicação 40 minutos antes do exercício.	9 pontos do quadriceps e isquiotibiais, 6 pontos do glúteo, 2 pontos do gastrocnemio.	↑ tempo em campo ↔ distância percorrida pelo atleta em campo ↓ de CK 18,41% em 48 horas
De Godoy <i>et al.</i> ²	Twin Flex Evolution (MM Optics)	780	25	20	1,25	-	Três pontos do masseter e temporal anterior.	↔
Larkin-Kaiser <i>et al.</i> ¹⁴	K-Laser (near-infrared laser)	800, 970	360	240	3	Uma aplicação antes do protocol de resistência.	15 pontos do biceps braquial.	↔
Larkin-Kaiser <i>et al.</i> ⁵	Lite Cure (near-infrared laser)	810, 980	240, 480	120	1,16, 2,33	Uma aplicação em cada dose com 48 horas entre elas, antes do protocol de fadiga.	-	↑ tempo para atingir a fadiga.
Miranda <i>et al.</i> ¹³	MR4 Laser Therapy Sistens Cluster 12 diodes	640, 875, 905	30	228	0,71	Uma aplicação 5 a 10 minutos antes e depois do teste aeróbico.	9 pontos do quadriceps, 6 pontos dos isquiotibiais e 2 do gastrocnemio.	↑ consume de oxigênio e tempo para atingir exaustão.
Oliveira <i>et al.</i> ³	Cluster 5 diodes	810	10	100, 50, 25 e 60	100, 200, 400	As aplicações foram dois minutos antes do exercício e três minutos após.	6 pontos do quadriceps do membro não dominante.	↓ LDH e CK em 24, 48, 72 e 96 horas após o protocolo. ↓ LDG e CK em 200mW e 400mW. ↔ marcadores inflamatórios e do estresse oxidativo.
Pinto <i>et al.</i> ⁴	MR4 Laser Therapy Systems - Cluster com 12 diodes (Multi raiance Medical)	905, 875 e 640	30	228	0,3125, 15 e 17,5	Uma aplicação antes do protocol de exercício.	9 pontos do quadriceps, 6 pontos dos isquiotibiais e 2 pontos do gastrocnemio.	↑ Tempo médio de sprint e índice de fadiga. ↓ Níveis de lactato sanguíneo e marcadores de fadiga.
Vanin <i>et al.</i> ⁶	Thor Photomedicine - Cluster 5 diodes	810	10, 30, 50	60, 180, 300	5,495	Dois minutos antes da contração voluntária máxima.	6 pontos do quadriceps.	↑ Contração voluntária máxima após exercício por até 24 horas com a dose de 50J e após 24 a 96 horas com a dose de 10J. ↓ CK e IL6 em 10J e 50J ↔ J 30J.
Zagatto <i>et al.</i> ¹²	Laser infravermelho (DMC)	810	48	30	3,57	Seis aplicações, 5 a 40 minutos após cada sessão de treinamento.	8 pontos do adutor longo	↔ tiro de 200 metros ↑ desempenho de 30 segundos após 48 horas. ↓ CK

↑ aumento; ↓ diminuição; ↔ sem diferença.

Tempo para atingir fadiga e exaustão

Dentre os estudos que analisaram o tempo até a exaustão, todos obtiveram aumento no tempo até a fadiga, sugerindo uma melhora no desempenho. De Marchi et al.,¹⁰ De Marchi et al.¹¹ e Pinto et al.⁴ utilizaram uma dose de 30 J, com comprimentos de onda de 810 nm, 905 nm e um cluster de 640, 875 e 905 nm, respectivamente. Todos aplicaram FBM antes do protocolo de exercícios em membros inferiores.

Da mesma forma, Zagatto et al.¹² aplicaram FBM no adutor longo, utilizando comprimento de onda de 810 nm e dose 48J, e Larkin Kaiser et al.¹⁴ utilizaram doses maiores (240 e 480J) com o mesmo comprimento de onda, ambos demonstraram aumento no tempo para atingir a fadiga.

Consumo de oxigênio

Em relação ao consumo de oxigênio, ambos os estudos que analisaram essa variável obtiveram aumento.^{10,13} De Marchi et al.¹⁰ utilizaram um único comprimento de onda de 810 nm com dose de 30J, FBM foi aplicada no quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmio, enquanto Miranda et al.¹³ utilizaram comprimentos de onda de 640, 875 e 905 nm, com a mesma dose de 30 J e regiões de aplicação.

Atividade de CK e marcadores inflamatórios

A maioria dos estudos analisaram o resultado da atividade da CK, marcadores inflamatórios e do estresse oxidativo. Dentre todos os estudos que investigaram o desfecho dos marcadores inflamatórios e do estresse oxidativo, apenas um³ não encontrou diferença nos marcadores inflamatórios, mas mostrou diminuição da atividade da CK, utilizando 810 nm e dose 10 J no quadríceps.

Antoniali et al.⁹ aplicaram FBM em quadríceps com comprimentos de onda de 640, 875 e 905 nm e doses de 10, 30 e 50J, e também demonstraram diminuição da atividade de CK apenas com a dose de 50J. Por outro lado, De Marchi et al.¹¹ observaram redução da CK apenas em um tempo de análise, sendo em 48 horas, aplicando FBM com 905 nm e dose de 30J em membros inferiores.

Com esta mesma dose, 30 J, De Marchi et al.¹⁰ e Pinto et al.⁴ demonstraram uma diminuição no estresse oxidativo (TBARS e PC), atividade de CK e lactato sanguíneo e marcadores de fadiga, usando um comprimento de onda de 810 nm e 640, 875 e 905 nm, respectivamente. De Marchi et al.¹¹ também analisaram marcadores de estresse oxidativo (TBARS e PC) e atividade de CK com FBM aplicado em bíceps braquiais em 660 e 850 nm e dose de 41,7 J e também demonstraram diminuição desses marcadores.

Zagatto et al.,¹² apesar de realizarem diferentes protocolos de aplicação, com seis sessões de aplicação após o exercício, também apresentaram diminuição da atividade da CK com 810 nm e dose 48J.

Treinamento aeróbico

O estudo de De Marchi et al.¹¹ foi realizado com seis atletas profissionais, realizando tratamentos de fototerapia antes das partidas (40 minutos) e utilizando 905 nm e 30 J. Amostras de sangue foram coletadas antes dos tratamentos e imediatamente e 48 h após o término das partidas. Os autores mostraram que o FBM aumentou significativamente a permanência no campo e melhorou todos os parâmetros bioquímicos avaliados. Nenhuma diferença estatisticamente significativa

foi encontrada para a distância percorrida. O estudo sugere que a FBM pré-exercício pode melhorar o desempenho e acelerar a recuperação de jogadores de futsal de alto nível.

Momento de aplicação

Em relação ao momento da aplicação, dez artigos aplicaram a FBM antes do exercício,^{4-7,9-11,13-15} enquanto dois aplicaram depois^{1,12} e dois realizaram antes e depois.^{3,13} Apenas um estudo não informou o tempo de aplicação, mas também não apresentou diferenças significativas.²

Dos estudos que aplicaram FBM antes do exercício ou protocolo de fadiga, apenas um não relatou diferenças significativas,¹⁴ outros dois relataram menos efeito na contração voluntária máxima e no tempo de exaustão.^{5,7} Enquanto outros estudos relataram efeitos benéficos, como aumento da contração voluntária máxima, aumento do pico de força, economia neuromuscular durante a corrida, aumento da captação de oxigênio e tempo de exaustão e diminuição da atividade de CK e níveis de lactato no sangue. e marcadores de fadiga.^{4,6,7,9,10,15}

Analisando os estudos que aplicaram a FBM após o exercício,^{1,12} ambos mostraram uma diminuição nas concentrações dos marcadores bioquímicos do estresse oxidativo (TBARS e PC) e nos níveis de CK. De Marchi et al.¹¹ especificamente apresentaram um aumento na avaliação da capacidade isométrica, enquanto Zagatto et al.¹² relataram que não houve diferença significativa no tiro de 200 metros, mas houve um aumento moderado no desempenho de 30 segundos após 48 horas.

Apenas dois estudos realizaram irradiação antes e após exercícios ou protocolos de fadiga. Oliveira et al.³ aplicaram a FBM 2 minutos pré-exercício e 3 minutos pós-exercício e demonstraram diminuição da atividade da CK e melhora da contração isométrica voluntária máxima em todos os tempos pós-exercício analisados (24, 48, 72 e 96 horas). Miranda et al.¹³ aplicaram a FBM 5 a 10 minutos antes e imediatamente após o teste aeróbico em esteira. Pôde-se observar que o laser aplicado antes e após o exercício aeróbico levou a um aumento significativo no percentual de consumo de oxigênio e no tempo de exaustão.

Limitações do estudo

Uma limitação desta revisão sistemática é que apesar dos estudos incluídos terem boa qualidade, os dados mostraram grande variação nos parâmetros do laser e no músculo tratado. Esta heterogeneidade dos dados impossibilitou a realização de meta-análise.

CONCLUSÃO

Esses achados demonstram a eficácia da FBM na recuperação do músculo esquelético após o exercício. Na maioria dos estudos, promoveu melhora da contração voluntária máxima, melhor consumo de oxigênio, aumento do tempo para atingir a exaustão e fadiga e diminuiu os níveis de CK e marcadores de estresse oxidativo e fadiga. Mesmo considerando que a faixa do comprimento de onda vermelho tem efeito mais superficial, os melhores resultados foram observados em ambos os comprimentos de onda, principalmente quando a FBM foi aplicada antes do exercício.

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

CONTRIBUIÇÃO DO AUTORES: Cada autor contribuiu individual e significativamente para o desenvolvimento deste artigo. AFSSO e JLS: busca sistemática, seleção de estudos, redação; CAMC e RACA: revisão LPM: revisão, análise de dados, correções.

REFERÊNCIAS

1. De Marchi T, Schmitt VM, Machado GP, et al. Does photobiomodulation therapy is better than cryotherapy in muscle recovery after a high-intensity exercise? A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2017;32(2):429-437. doi:10.1007/s10103-016-2139-9
2. De Godoy CHL, Motta LJ, Steagall Júnior W, et al. Effect of Phototherapy on Masseter and Anterior Temporal Muscles before Induction of Fatigue: A Randomized, Sham-Controlled, Blind Clinical Trial. *Photomed Laser Surg.* 2018;36(7):370-376. doi:10.1089/pho.2017.4396

3. De Oliveira AR, Vanin AA, Tomazoni SS, et al. Pre-Exercise Infrared Photobiomodulation Therapy (810 nm) in Skeletal Muscle Performance and Postexercise Recovery in Humans: What Is the Optimal Power Output? *Photomed Laser Surg.* 2017;35(11):595-603. doi:10.1089/pho.2017.4343
4. Pinto HD, Vanin AA, Miranda EF, et al. Photobiomodulation Therapy Improves Performance and Accelerates Recovery of High-Level Rugby Players in Field Test: A Randomized, Crossover, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Study. *J Strength Cond Res.* 2016;30(12):3329-3338. doi:10.1519/JSC.0000000000001439
5. Larkin-Kaiser KA, Borsa PA, Baweja HS, et al. Photobiomodulation delays the onset of skeletal muscle fatigue in a dose-dependent manner. *Lasers Med Sci.* 2016;31(7):1325-1332. doi:10.1007/s10103-016-1979-7
6. Vanin AA, De Marchi T, Tomazoni SS, et al. Pre-Exercise Infrared Low-Level Laser Therapy (810 nm) in Skeletal Muscle Performance and Postexercise Recovery in Humans, What Is the Optimal Dose? A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Photomed Laser Surg.* 2016;34(10):473-482. doi:10.1089/pho.2015.3992
7. Dellagrana RA, Rossato M, Sakugawa RL, Lazzari CD, Baroni BM, Diefenthaler F. Dose-response effect of photobiomodulation therapy on neuromuscular economy during submaximal running. *Lasers Med Sci.* 2018;33(2):329-336. doi:10.1007/s10103-017-2378-4
8. Ferraresi C, Oliveira TDB, Zafalon LDO. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. *Lasers Med Sci.* 2011;349-358. doi:10.1007/s10103-010-0855-0
9. Antonialli FC, De Marchi T, Tomazoni SS, et al. Phototherapy in skeletal muscle performance and recovery after exercise: effect of combination of super-pulsed laser and light-emitting diodes. *Lasers Med Sci.* 2014;29(6):1967-1976. doi:10.1007/s10103-014-1611-7
10. Marchi T De, Cesar E, Leal P, Lopes-martins RÁB, Salvador M. Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running : effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. *Lasers Med Sci.* 2012;231-236. doi:10.1007/s10103-011-0955-5
11. Marchi T De, Leal-junior ECP, Lando KC, et al. Photobiomodulation therapy before futsal matches improves the staying time of athletes in the court and accelerates post-exercise recovery. *Lasers Med Sci.* 2019 Feb;34(1):139-148. doi: 10.1007/s10103-018-2643-1
12. Zagatto AM, de Paula Ramos S, Nakamura FY, de Lira FS, Lopes-Martins RÁB, de Paiva Carvalho RL. Effects of low-level laser therapy on performance, inflammatory markers, and muscle damage in young water polo athletes: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Lasers Med Sci.* 2016;31(3):511-521. doi:10.1007/s10103-016-1875-1
13. Miranda EF, Tomazoni SS, Roberto P, et al. When is the best moment to apply photobiomodulation therapy (PBMT) when associated to a treadmill endurance-training program? A randomized , triple-blinded , placebo-controlled clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2018 May;33(4):719-727. doi: 10.1007/s10103-017-2396-2.
14. Larkin-Kaiser KA, Christou E, Tillman M, George S, Borsa PA. Near-infrared light therapy to attenuate strength loss after strenuous resistance exercise. *J Athl Train.* 2015;50(1):45-50. doi:10.4085/1062-6050-49.3.82
15. Almeida P De, Lopes-martins RÁB, Marchi T De, et al. Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? *Lasers Med Sci.* 2012;27(2):453-458. doi:10.1007/s10103-011-0957-3
16. Leal-junior ECP, Vanin AA, Miranda EF, et al. Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015 Feb;30(2):925-39. doi: 10.1007/s10103-013-1465-4.
17. Borsa PA, Larkin KA, Cat C, True JM. Does Phototherapy Enhance Skeletal Muscle Contractile Function and Postexercise Recovery? A Systematic Review. 2013;48(1):57-67. doi:10.4085/1062-6050-48.1.12
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group TP. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses : The PRISMA Statement. 2009;6(7). doi:10.1371/journal.pmed.1000097
19. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. Published online 2011:1-9. doi:10.1136/bmj.d5928
20. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials *BMJ* 2011; 343:d5928.