**Universidade de São Paulo
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto**

2019

Efeito da terapia de fotobiomodulação por diodo emissor de luz (LED) nas capacidades de força e resistência de atletas de ciclismo.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
REABILITAÇÃO E DESEMPENHO FUNCIONAL
FMRP-USP**

Gabriela de Carvalho

Dissertação de Mestrado

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO

Gabriela de Carvalho

Efeito da terapia de fotobiomodulação por Diodo Emissor de Luz (LED) nas capacidades de
força e resistência de atletas de ciclismo.

Ribeirão Preto

2019

Gabriela de Carvalho

Efeito da terapia de fotobiomodulação por Diodo Emissor de Luz (LED) nas capacidades de força e resistência de atletas de ciclismo.

Versão Corrigida. A versão original encontra-se disponível tanto na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa, quanto na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD).

Área de concentração: Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Roberto de J Guirro

Ribeirão Preto

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo da Publicação

Serviço de Documentação da Faculdade de Medicina
Faculdade de Medicina de
Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

De Carvalho, Gabriela

Efeito da terapia de fotobiomodulação por Diodo Emissor de Luz (LED) nas capacidades de força e resistência de atletas de ciclismo. Ribeirão Preto, 2019.

f.47 :Il.; 30 cm

Orientador: Guirro, Rinaldo Roberto de Jesus.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Reabilitação e Desempenho Funcional. Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo – USP.

1. Desempenho Atlético 2. Fadiga 3. Fotobiomodulação 4. Atletas

Nome: Gabriela de Carvalho

Título: “Efeito da terapia de fotobiomodulação por Diodo Emissor de Luz (LED) nas capacidades de força e resistência de atletas de ciclismo.”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Reabilitação e Desempenho

Funcional da FMRP/USP para obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Fisioterapia.

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedicatória

*Dedico este trabalho aos meus pais, que com seus inimagináveis esforços me fizeram chegar
até aqui.*

Agradecimentos

Sempre acreditei que o que é nosso está guardado, e só tenho à agradecer a quem quer que seja que tenha guardado pra mim as oportunidades que tive. Acredito que essa “pessoa” seja Deus, e à ele tenho a agradecer também pela força, paciência e persistência durante este e todos os outros caminhos que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus pais, minha irmã e meu noivo, sem dúvidas meus maiores incentivadores e patrocinadores, afinal, fazer ciência e sobreviver dela não é fácil em nosso país. Por isto, meus mais sinceros agradecimentos pelos sacrifícios feitos por vocês, e pela nossa parceria infinita.

Agradecer também ao meu orientador, Prof. Dr. Rinaldo Roberto de Jesus Guirro, pela confiança depositada em mim para fazer parte do seu time, e por me permitir trabalhar junto à ele. Foram dois anos incríveis, e de aprendizados incalculáveis.

Aos meus colegas de laboratório (LARF e LAIDEF) pela parceria, discussões produtivas e diversão. Também ao Laboratório do Prof. Dr. Marcelo Papoti, especialmente ao Ronaldo Bucken Gobbi, por toda ajuda durante o processo de coleta de dados e pela amizade sincera, pois não seria qualquer um que toparia embarcar nessa pesquisa intensa comigo. Aos alunos de Iniciação Científica Thales Furquim e Rafael Salvador, pela troca de aprendizados que tivemos e por toda ajuda prestada à mim. E especialmente à minha companheira e amiga Aline Gobbi, que foi colocada no meu caminho como um anjo pra me ajudar e fazer com que essa caminhada fosse mais leve e mais possível. Este trabalho é sem dúvida alguma, nosso!

À todos os ciclistas de Ribeirão Preto e região, que se dispuseram a participar do trabalho, meus mais profundos agradecimentos.

E por último, gostaria de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

“Há alguns que dizem que o destino, é algo além do nosso controle. Que não escolhemos nossa sina. Mas eu sei a verdade. Nosso destino vive dentro de nós. Você só tem que ser valente o suficiente para tê-lo.” – Brenda Chapman

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma do delinemaneto do estudo.	22
Figura 2	Representação cronológica das avaliações e intervenções realizadas nos atletas.	24
Figura 3	Teste incremental com análise de gases.	26
Figura 4	Imagem termográfica dos membros inferiores direito e esquerdo.	28
Figura 5	(A) Manta de LED vermelha ligada (B) manta de LED vermelha desligada desenvolvida na instituição.	29
Figura 6	Valores pré e pós aplicação do LED, de potência e percepção subjetiva de esforço individual durante o teste incremental.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização dos LEDs que compõe o dispositivo – manta de LEDs	29
Tabela 2	Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão das características dos atletas avaliados	31
Tabela 3	Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão dos grupos durante avaliação no dinamômetro isocinético seguidos da avaliação intergrupos após aplicação sequênciada do LED	32
Tabela 4	Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão dos grupos durante avaliação no dinamômetro isocinético seguidos da avaliação intergrupos no fallow-up de 1 semana	33
Tabela 5	Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão dos grupos do tempo total até a exaustão, VO ₂ max, iVO ₂ max, iLAN durante o teste incremental, e temperatura cutânea dos membros inferiores após o teste incremental, seguidos da avaliação da avaliação intergrupo após aplicação sequênciada do LED	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

%	Porcento
°C	Graus Celcius
μl	Micro litro
ATP	Adenosina trifosfato
cm	centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
Cox	Citrocromo-C-Oxidase
CVM	Contração voluntária máxima
EEFERP	Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto
FMRP	Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto
iLAN	Limiar anaeróbio
iLL	Limiar de lactato
IMC	Índice de massa corporal
iVO ₂ max	Intensidade correspondente ao VO ₂ max
J	Joule
Kg	Kilograma
LARF	Laboratório de Recursos Fisioterapêuticos
LED	Diodo emissor de luz
MID	Membro inferior direito
MIE	Membro inferior esquerdo
mL	Mililitro
mW/cm ²	Miliwatt por centímetro quadrado
N/m	Newton por metro
PSE	Percepção subjetiva de esforço
USP	Universidade de São Paulo
VO ₂ max	Consumo máximo de oxigênio
W	Watts

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
INTRODUÇÃO	15
JUSTIFICATIVA.....	18
OBJETIVOS.....	19
Objetivo principal.....	19
Objetivo secundário.....	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	20
Delineamento da pesquisa	20
Amostra	23
Procedimentos de avaliação	23
Anamnese e exame físico	24
Avaliação do desempenho muscular	25
Teste Incremental	26
Análise de gases	27
Análise Sanguínea	27
Termografia	27
Fotobiomodulação	28
ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
RESULTADOS.....	31
DISCUSSÃO.....	36
CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS.....	46
Anexo I - Parecer Comitê de Ética HC/FMRP – USP RIBEIRÃO PRETO.....	46

RESUMO

De Carvalho, G. **Efeito da terapia de fotobiomodulação por Diodo Emissor de Luz (LED) nas capacidades de força e resistência de atletas de ciclismo.** 2019. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2019.

A fotobiomodulação é um mecanismo ergogênico efetivo, mas seu uso em termos de parâmetros, modelos de aplicação e comprimentos de onda é conflitante na literatura. Não há investigação dos potenciais efeitos cumulativos que ela possa gerar quando aplicados sequencialmente sem a influência do treinamento, e qual é o melhor comprimento de onda para criar o melhor benefício para o desempenho. Objetivo: Analisar os efeitos agudos e crônicos da aplicação sequenciada da fotobiomodulação de diodo emissor de luz (LED) em diferentes comprimentos de onda nas capacidades de força e resistência à fadiga de atletas de ciclismo. Métodos: A amostra do estudo foi composta por 48 ciclistas do sexo masculino, distribuídos aleatoriamente em quatro grupos: Grupo LED Infravermelho (IR), Grupo LED Vermelho (RED), LED Infravermelho e Grupo Vermelho (IR / RED) e Grupo Sham. Os atletas foram submetidos à avaliação de desempenho por meio do teste incremental, VO₂máx, análise de lactato sanguíneo, termografia infravermelha e avaliações isocinéticas. A aplicação da fotobiomodulação ocorreu em três dias consecutivos, o LED (180 J) foi aplicado no músculo quadríceps femoral bilateralmente, e após 24 horas da última aplicação, as reavaliações foram realizadas, seguidas de uma semana de follow-up. Adotou-se um nível de significância de 5% e o tamanho do efeito calculado por Cohens'd. Resultados: Não houve diferenças significativas nas variáveis analisadas em nenhuma condição experimental ($p > 0,05$), porém um tamanho de efeito moderado pode ser observado para Pico de Torque a 60 ° / s MIE (0,67), Potência Média a 60 ° / s do MID (0,73) e MIE (0,65) e um grande tamanho de efeito no Pico de torque 60 ° / s do MID (0,98) no grupo IR / RED em comparação ao Sham 24 horas após a última aplicação, bem como um grande tamanho de efeito para o tempo total até a exaustão (1,98) e para o VO₂max (6,96) e um tamanho de efeito moderado para iLAN (0,62) para o grupo IR / RED quando comparado ao Sham. Conclusão: A fotobiomodulação não associada ao treinamento não foi capaz de produzir um efeito cumulativo e aumentar a força e a resistência de ciclismo. No entanto, foram observados grandes e moderados efeitos na associação de dois comprimentos de onda – vermelho e infravermelho- sendo assim, tal associação parece apresentar melhores resultados quando comparado ao LED vermelho, e ao LED infravermelho, assim como ao Sham.

Palavras-chave: Desempenho Atlético; Fadiga; Fotobiomodulação; Atletas.

ABSTRACT

De Carvalho, G. **Effect of light emitting diode (LED) photobiomodulation therapy on the strength and endurance capabilities of cycling athletes.** 2019. Dissertation (Masters). Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2019.

Photobiomodulation is an effective ergogenic mechanism, but its use in terms of parameters, application models, and wavelengths is conflicting in the literature. There is no investigation of the potential cumulative effects it can generate when applied sequentially without the influence of training, and what is the best wavelength to create the best performance benefit. Objective: analyze the acute and chronic effects of the sequenced application of light-emitting diode (LED) photobiomodulation at different wavelengths in the strength and fatigue resistance abilities of cycling athletes. Methods: The study sample consisted of 48 male cyclists, randomly assigned to four groups: Infrared LED Group (IR), Red LED Group (RED), Infrared LED and Red Group (IR / RED) and Group sham. The athletes underwent performance evaluation through the incremental test, VO₂máx, blood lactate analysis, infrared thermography, and isokinetic evaluations. The application of the photobiomodulation occurred on three consecutive days, the LED (180 J) was applied on the quadriceps femoris muscle bilaterally, and after 24 hours of the last application, the reevaluations were performed, followed by a one-week follow-up. A significance level of 5% was adopted, and the effect size calculated by Cohens'd. Results: There were no significant differences in the analyzed variables in any experimental condition ($p > 0.05$), but a moderate effect size could be observed for Torque Peak at 60 ° / sec left lower limb (LLL) (0.67), Average Power at 60 ° / sec of the right lower limb (RLL) (0.73) and LLL (0.65) and a great effect size in the Torque peak 60 ° / sec of the RLL (0.98) in the IR / RED group compared to Sham 24 hours after the last application, as well as a great effect size for total time to exhaustion (1.98) and for VO₂max (6.96), and a moderate effect size for iLAN (0.62) for the IR / RED group when compared to Sham. Conclusion: Photobiomodulation not associated with training was not able to produce a cumulative effect and increase the strength, endurance and subjective perception of effort in cycling athletes. However effects sizes were observed in the association of two wavelengths in the same application, and this seems to present better results when compared to the red LED, and the infrared LED alone, as well as Sham.

Keywords: Performance; Fatigue; Photobiomodulation; Athletes.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que a terapia por fotobiomodulação é capaz de gerar modificações intracelulares por meio do aumento do metabolismo mitocondrial (Ferraresi et al., 2015a). Este aumento está relacionado à absorção de luz pelos cromóforos, que se concentram em sua maioria no Citocromo-C-Oxidase (Cox), presente no complexo IV da cadeia transportadora de elétrons (Hamblin, 2018). Tal absorção gera a fotodissociação do óxido nítrico desse complexo, gerando um aumento de atividade e consecutivamente uma maior síntese de ATP (Lane, 2006).

A partir desses mecanismos, é possível observar benefícios em uma gama de desfechos discutidos em revisões sistemáticas recentes, nas quais resultados promissores quanto ao aumento de força muscular (Ferraresi, Huang e Hamblin, 2016), aumento do tempo até exaustão, diminuição da fadiga e diminuição nos níveis de lactato sanguíneo (Leal Junior et al., 2015; Nampo et al., 2016) foram observados. Também pode-se discutir quanto aos parâmetros da fotobiomodulação que podem apresentar melhores resultados, Ferraresi, Huang e Hamblin, (2016) apresentam uma janela terapêutica de 56 a 315 J para o quadríceps femoral, assim como Vanin et al., (2018), puderam observar valores muito próximos em sua revisão, sendo uma janela terapêutica de dose ideal a de 60 a 300 J para grupos musculares grandes. Ensaios clínicos afirmam que a fotobiomodulação por LED se apresenta como uma técnica benéfica nas capacidades de força muscular, em relação ao aumento de contração voluntária máxima e pico de torque (Ferraresi, Oliveira e Zafalon, 2011, De Almeida et al., 2012, De Paiva et al., 2016, De Marchi et al., 2017). Como descrito no estudo de Vanin et al. (2016), onde aplicou-se o LED vermelho e infravermelho antes da realização de um protocolo de exercícios em indivíduos saudáveis, mostrando que a fotobiomodulação foi capaz de aumentar a contração voluntária máxima desses indivíduos. Além do exposto, o atraso ao início da fadiga e redução o dano celular pela fotobiomodulação se deve pela maior oferta de energia, diminuição de estresse oxidativo (Kelenczet al., 2010; Borsa, Larkin e True, 2013), diminuição dos níveis de lactato sanguíneo, creatina quinase (CK) e proteína C-reativa, demonstrando um efeito protetor contra o dano e fadiga muscular (Leal Junior et al., 2009a;

Leal Junior et al., 2009b; Leal Junior et al., 2010; De Marchi et al., 2017; De Paiva et al., 2016)

Por meio de seus efeitos fisiológicos, terapêuticos e bioquímicos, é possível observar em alguns estudos (De Almeida et al., 2012; Miranda et al., 2016), que o LED promove o aumento da performance de indivíduos saudáveis, no que se diz respeito ao aumento da distância percorrida, aumento do tempo até a exaustão e aumento de VO₂máx. Porém, apesar de seus efeitos estarem muito bem estabelecidos na literatura, há uma diversidade complexa em relação às dosagens, comprimentos de onda, janelas terapêuticas e modelos de aplicação (Lanferdine et al., 2018).

Apesar dos efeitos do laser e LED serem equivalentes, vale destacar que a utilização do LED como fonte de luz é uma modalidade da fototerapia promissora por seu baixo custo, fácil administração, e por não apresentar efeitos colaterais se aplicada de forma correta (Borsa, Larkin e True, 2013). Porém, apesar da técnica se mostrar promissora para aumento do desempenho atlético, os estudos que utilizam essa fonte de luz em uma população de atletas ainda são muito restritos (Leal Junior et al., 2015), além de restritos os ensaios clínicos dos quais utilizam o LED como fonte de luz, descrevem em sua metodologia a associação de dois comprimentos de onda, sendo eles o vermelho e o infravermelho em uma mesma aplicação para atingir os efeitos ergogênicos e protetores almejados. Porém não há ensaios clínicos ou estudos experimentais que sustente a afirmação de que o uso conjunto desses dois comprimentos de onda seja o melhor método de aplicação da fotobiomodulação por LED (Ferreira et al., 2018).

O tempo entre a aplicação e os subsequentes efeitos mitocondriais também ainda é muito discutido na literatura (Beltrame et al., 2018). Passarella et al., (1984) sugerem que o tempo entre a aplicação da terapia e o aumento do metabolismo mitocondrial se dá em 3 minutos. Já, Karu et al. (1995) em seu estudo in vitro observaram um aumento da síntese de ATP em 25 minutos após a aplicação da fototerapia. Estudos mais recentes (Albuquerque-Pontes et al., 2014) observaram modificações do Cox em uma janela de tempo de 5 a 24 minutos após irradiação muscular. Em contrapartida, de Brito Vieira et al. (2012) e Ferraresi

et al, (2015b) afirmam que a aplicação da terapia por fotobiomodulação gera um efeito tecidual de 24 a 48 horas.

Tais resultados aparentam ser conflituosos, desta forma Ferraresi et al. (2016) levanta o questionamento sobre um possível efeito cumulativo dessa técnica quando aplicada repetitivamente. Até o momento, a literatura não apresenta nenhum estudo que investigue esse tipo de aplicação, com uma padronização dos parâmetros para o aumento de performance e a investigação do melhor comprimento de onda a ser utilizado. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi analisar os efeitos agudos e crônicos da aplicação sequenciada da fotobiomodulação LED em diferentes comprimentos de onda nas capacidades de força e resistência à fadiga de atletas de ciclismo.

JUSTIFICATIVA

Portanto, o presente estudo se justifica por se tratar de um estudo clínico que utiliza o LED em dois comprimentos de onda, nos espectros vermelho e infravermelho, aplicados de forma isolado ou associado, com os mesmos objetivos, na mesma energia, onde serão analisadas as respostas agudas e crônicas das capacidades de força e resistência a fadiga de atletas de ciclismo. Os resultados poderão contribuir no âmbito clínico-esportivo, na melhora da recuperação pós-exercício, além de promover um desempenho físico mais efetivo.

OBJETIVOS

Objetivo principal

Analisar os efeitos agudos e crônicos da aplicação da fotobiomodulação por LED nas capacidades de força e resistência à fadiga de atletas de ciclismo.

Objetivo secundário

Analisar a magnitude das respostas biológicas:

- No desempenho muscular durante os Testes incremental e isocinético;
- Nos níveis de lactato sanguíneos;
- Na capacidade cardiorrespiratória por meio de VO₂máx.
- Da temperatura cutânea local por meio da termografia infravermelha.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Recursos Fisioterapêuticos (LARF) da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP), e Laboratório de Cineantropometria e Desempenho Humano, da Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (EEFERP/USP). Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em experimentação com Seres Humanos do Hospital das Clínicas – FMRP/USP, com parecer número: 2.137.629 (ANEXO I), e foi registrado como ensaio clínico no ClinicalTrials.gov (NCT03225976), a fim de disponibilizar à comunidade científica informações quanto aos processos do estudo. O recrutamento dos participantes da pesquisa ocorreu na cidade de Ribeirão Preto e foi feito por meio de mídias sociais da Universidade de São Paulo (rádio e internet) e por panfletos impressos e entregues em pontos estratégicos da cidade, além do convite verbal aos atletas de ciclismo.

Os atletas foram devidamente esclarecidos a respeito do projeto de pesquisa, seus objetivos e características, e após concordarem assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, o qual deixa claro que a qualquer momento podem desistir do estudo, sem nenhum prejuízo ao desenvolvimento da pesquisa. O projeto esteve disponível no local da pesquisa, para leitura e consulta dos voluntários, onde os pesquisadores apresentaram aos mesmos, bem como os esclareceram, quando necessário.

Delineamento da pesquisa

Trata-se de um ensaio clínico randomizado placebo-controlado cego. Os atletas foram avaliados em duas sessões no mesmo horário em dias separados e, submetidos à três dias consecutivos de aplicação de LED no músculo quadríceps femoral, com intervalo de 24 horas entre cada aplicação. As avaliações dos aspectos de performance foram realizados em ambiente controlados e na seguinte ordem: Aquecimento, dinamômetro isocinético, intervalo de 30 minutos, teste incremental e demais avaliações fisiológicas e termografia infravermelha; três dias de aplicação do LED; reavaliação, para avaliação de força pelo dinamômetro

isocinético, ainda foi feito um follow-up de 1 semana (Figura 1).

A randomização e alocação dos atletas foram realizadas por um pesquisador, o qual não participou das intervenções, avaliações e coletas de dados. A randomização foi realizada no início do projeto, dividido entre os grupos: Sham, LED V (620 ± 10 nm), LED IR (940 ± 10 nm) e LED V/IR ($620 + 940$ nm) de forma homogênea. Foi gerada uma tabela numérica no software Excel para a criação de números aleatórios, que foram colocados em envelopes de papel opaco e lacrados, abertos somente na presença do voluntário.

As intervenções foram realizadas pelo pesquisador 1, bem como todas as avaliações foram realizadas pelo pesquisador 2, cegado em relação ao grupo, sendo ambos treinados previamente ao início das coletas dos dados. Já a análise e processamento dos dados foi realizado pelo pesquisador 3, também de forma cega.

Figura 1. Fluxograma do estudo

Amostra

O estudo foi desenhado para detectar uma diferença de força do quadríceps femoral entre os grupos, após as intervenções. O processamento do cálculo amostral foi realizado por meio do software Ene[®], versão 3.0 (Barcelona - Espanha), com base no estudo de Antonielli et al. (2014), considerando-se a diferença entre os grupos de 61,34 N/m, desvio padrão de 26,87 N/m, poder de teste de 95%, um alfa de 0,05. Deste modo, foi determinado o mínimo de 10 atletas para cada grupo.

Considerando uma perda amostral de 20%, foram recrutados 48 atletas, do sexo masculino divididos em quatro grupos, com idade entre 18 e 48 anos e praticantes de ciclismo. Todos os atletas eram indivíduos saudáveis, praticantes regulares de provas regionais e nacionais de ciclismo, sem lesão musculoesquelética nos últimos seis meses, sem nenhum tipo de doença cardiorrespiratória e não faziam uso de esteroides anabolizantes. Os participantes que apresentaram qualquer lesão ou doença citada acima ou fizesse uso de qualquer substância ilícita ou drogas anti-inflamatórias e analgésicas durante o período de coleta dos dados, foram excluídos do estudo.

Procedimentos de avaliação

Os atletas foram instruídos previamente a não realizarem nenhum exercício físico vigoroso 24 horas antes das coletas, e fazerem uma alimentação leve pelo menos duas horas antes do início dos testes.

Os procedimentos do ensaio foram realizados durante 2 semanas. No dia 1 (D1) os atletas foram submetidos à avaliação antropométrica e avaliação por bioimpedância para análise de composição corporal detalhada. Em seguida, foi realizado o teste de contração voluntária máxima (CVM), por meio de Dinamômetro Isocinético. Em seguida foram realizados os Testes isocinético e incremental, e coleta de lactato para determinação de limiar aeróbio. Foram coletadas imagens termográficas no momento basal e imediatamente após o teste incremental.

Após 24, 48 e 72 horas das avaliações iniciais, os indivíduos dos quatro grupos retornaram à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP-USP) para aplicação das respectivas intervenções.

Os testes realizados no primeiro momento de coleta (Dia 1) foram reaplicados na mesma ordem 24 horas após a última aplicação das intervenções (Dia 5). Já a avaliação isocinética, foi realizada também após uma semana de follow-up (Figura 2).

Figura 2. Representação cronológica das avaliações e intervenção realizadas nos atletas.

Anamnese e exame físico

Foram coletados e calculados pelo avaliador os seguintes dados: dados pessoais, massa (kg), altura (m), IMC (Kg/m^2), doenças pregressas, uso de medicamentos, se foi submetido a cirurgias ou tratamento fisioterapêutico.

Além destes dados, foi realizada a análise da composição corporal dos atletas por bioimpedância, para a quantificação da porcentagem de gordura corporal, índice de massa magra, índice de massa gorda e massa muscular esquelética. Avaliada por meio do instrumento de bioimpedância InBodyS10 da marca BioSpace (Gangnam-gu, Seul, Coreia do Sul). Para tal, previamente ao exame, nas 24 horas antecedentes ao teste, os voluntários foram instruídos a não ingerirem nenhum tipo de bebida ou comida estimulantes, e também evitar

atividade físicas nesse período. Antes do início da avaliação, os atletas foram orientados à esvaziarem a bexiga, e posteriormente repousaram em decúbito dorsal por 10 minutos em sala climatizada a $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Foram colocados oito eletrodos, sendo quatro na região inframaleolar, dois no dedo médio e dois no polegar, bilateralmente.

Avaliação do desempenho muscular

A avaliação quantitativa do desempenho muscular foi executada por meio do dinamômetro isocinético Biodex System 4 Pro (Biodex Medical Systems®, Nova Iorque, EUA) com o objetivo de avaliar a função muscular (pico de torque (N/m), potência média (W), e a relação agonista/antagonista (%)) do músculo quadríceps femoral. Os atletas foram posicionados na cadeira do dinamômetro e estabilizados por cintos que fixavam o tronco, pelve e terço distal da coxa. A angulação do encosto da cadeira foi de 80° e o eixo mecânico de rotação do dinamômetro foi alinhado ao epicôndilo lateral do fêmur, sendo a plataforma de resistência fixada 5cm acima do maléolo lateral do tornozelo.

Para evitar movimentos compensatórios, os atletas foram instruídos a segurar as cintas que fixam o seu tronco. Antes de cada avaliação, os atletas realizaram dez contrações isocinéticas a $60^\circ/\text{s}$ e $270^\circ/\text{s}$ para a familiarização com os procedimentos. Em seguida, o atleta realizou 5 contrações isocinéticas máximas concêntricas a uma velocidade angular de $60^\circ/\text{s}$. Após 90 segundos de repouso foram realizadas mais 30 contrações isocinéticas máximas concêntricas na velocidade angular de $270^\circ/\text{s}$, ambas com amplitude de movimento total de 90° . A amplitude de extensão completa foi limitada para evitar o efeito de insuficiência passiva dos isquiotibiais. Para corrigir a influência da gravidade sobre os dados de torque gerados, o membro foi pesado antes de cada teste, de acordo com as instruções do manual do dinamômetro e, assim, os resultados do teste foram corrigidos automaticamente pelo software de aquisição de dados. Todos os testes foram realizados com estímulo verbal, a fim de motivar o esforço máximo dos atletas durante a realização dos testes.

Teste Incremental

Os ciclistas foram submetidos a um teste incremental até a exaustão volitiva, para a determinação dos limiares metabólicos, consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{MÁX}}$), e intensidade correspondente ao $\text{VO}_{2\text{MÁX}}$ ($i\text{VO}_{2\text{MÁX}}$). O teste foi realizado em um rolo estacionário (Tacx™ Fortius Multiplayer, Wassenaar, Netherlands) que permite a manutenção da potência (W) pré-determinada para cada estágio, independentemente da cadência utilizada pelo atleta. O rolo estacionário era acoplado às bicicletas de cada atleta, tornando a avaliação mais próxima do treinamento (Figura 3). A potência inicial foi de 100 W com incrementos de 30 W a cada 2 minutos. O incremento foi aplicado até a exaustão. O tempo de cada voluntário foi cronometrado, para determinar a $i\text{VO}_{2\text{MÁX}}$ caso o participante não terminasse o estágio e assim, poderia-se determinar o tempo até a exaustão.

Figura 3. Teste incremental com análise de gases

Análise de gases

As variáveis ventilatórias e de consumo de oxigênio foram monitoradas constantemente a cada três respirações por meio de um analisador de gases VO2000 (Inbramed, Rio Grande do Sul, Brasil). As variáveis de interesse correspondentes a cada estágio foram expressas por meio das médias dos últimos 30s. O VO₂máx foi assumido como o maior valor observado ao final do teste incremental (média dos últimos 30s). A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi determinada a cada estágio pela escala de Percepção de Esforço de Borg de 10 pontos.

Análise Sanguínea

Antes do teste incremental, e ao final de cada estágio do teste incremental, foram coletados em capilares heparinizados, 25µl de sangue arterializado do lóbulo da orelha, e armazenados em tubo de polietileno tipo ependorff (1,5 mL) contendo 50 µl de fluoreto de sódio (NaF) a 1%, para determinar a concentração de lactato sanguíneo (Buccheit et al., 2012), analisadas em lactímetro (Yellow Springs Instruments 2300, Ohio, USA). Os valores de lactato foram expressos em mmol/L (Bastos et al., 2012). As intensidades correspondentes ao limiar de lactato (iLL) e ao limiar anaeróbio (iLAN) foram determinadas pelas duas inflexões do ajuste bi exponencial da relação potência pela concentração de lactato sanguíneo.

Termografia

Para a avaliação termográfica, os atletas foram instruídos a evitar nas 24 horas antecedentes ao exame: banho quente, prática de exercícios vigorosos, uso de cremes ou pomadas e ingestão de alimentos estimulantes como, cafeína, nicotina e chocolate. Para a captação da imagem basal, os atletas permaneceram sentados por 15 minutos, em ambiente com temperatura controlada à 22° ±2° C (Magalhães et al., 2015) com iluminação fluorescente, sem irradiação de luz solar direta ou presença de equipamentos geradores de calor.

Durante a captação das imagens os atletas permaneceram em posição ortostática, e o local fotografado livre de roupas. Foi utilizada uma câmera térmica modelo T300 (FLIR®

Systems, Danderyd, Suécia), com precisão de até $0,05^{\circ}\text{C}$, e o instrumento foi estabilizado por 10 minutos antes do exame em ambiente controlado ($22^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade de 50%) Magalhães et al., (2015). Foi estabelecida emissividade de 0,98 (Ammer, 2008). Três imagens infravermelhas foram captadas em sequência, a uma distância de 100 cm do voluntário, de forma a permitir o enquadramento dos músculos a serem avaliados (Fig. 4). Para se determinar o valor da temperatura muscular, foi utilizado o software QuickReport, versão 1.2 (FLIR® Systems).

As imagens foram realizadas no momento basal e imediatamente após os Testes Incrementais.

Figura 4. Imagem termográfica dos membros inferiores direito e esquerdo.

Fotobiomodulação

A aplicação da fotobiomodulação ocorreu em 24, 48 e 72 horas após as coletas do momento basal (Dia 1). A fototerapia foi aplicada utilizando uma manta de LED nas dimensões de $25 \times 42\text{ cm}^2$, com distribuição de 1 cm entre os LEDs, permitindo assim uma

energia total por área de 180 J (Figura 5). A terapia foi aplicada bilateralmente sobre o músculo quadríceps femoral.

Figura 5. (A) Manta de LED vermelha ligada; (B) Manta de LED vermelha desligada desenvolvida na instituição.

A manta de LEDs foi desenvolvida no Laboratório de Recursos Fisioterapêuticos (LARF) em parceria com o Laboratório de Fotobiofísica da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, sob a coordenação do prof. Dr. Luciano Bachmann, nos quais foram aferidos os comprimentos de onda, potência e densidade de potência de todos os LEDs. Todas as variáveis das mantas se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos LEDs que compõe o dispositivo - manta.

Variáveis	RED	IR	IR/RED
Comprimento de onda (nm)	620 ± 10	940 ± 10	
Número de LEDs	267	267	141 infra e 126 vermelhas
Diâmetro do LED (cm ²)	0,125	0,178	
Diâmetro da Manta (cm ²)	25x42	25x42	25x42
Densidade de potência (mW/cm ²)	52,86	33,7	
Potência do LED (W)	0,006	0,006	
Potência total da manta (W)	1,76	1,60	1,67
Energia por diodo (J)	0,61	0,64	
Energia Total (J)	360	360	360
	(180 por quadríceps)	(180 por quadríceps)	(180 por quadríceps)
Tempo de irradiação (s/coxa)	102	108	153

Análise Estatística

As análises estatísticas foram feitas utilizando software GraphPad Prism® , versão 8.0 (San Diego, CA, EUA). Os dados estão expressos em média e desvio padrão (média±dp). A normalidade dos dados foi testada pelo teste Shapiro-Wilk. Para comparação das variáveis entre os grupos, foi utilizado One way ANOVA múltiplas comparações com pos-hoc de Tukey. Nível de considerado de significância de 5%. Para se determinar o tamanho do efeito clínico das terapias propostas, foi utilizado o Cohen's d, sendo a interpretação dos valores baseada na classificação estabelecida por Cohen (1992): menor que 0,2 (pequeno efeito); em torno de 0,5 (moderado efeito); acima de 0,8 (grande efeito).

RESULTADOS

Um total de 48 indivíduos participaram do estudo. No período de follow-up, 5 participantes abandonaram o estudo, sendo 3 por lesões musculoesqueléticas e 2 por abandono. Os resultados não foram prejudicados, pois os valores se mantiveram dentro da perda amostral. Não houve diferenças significantes entre os grupos no momento pré-avaliações para nenhuma das variáveis analisadas ($p>0,05$). As características antropométricas dos participantes do estudo está apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão das características dos atletas avaliados (n=48)

Caracterização da amostra	Média $\pm$ Desvio Padrão
Idade (anos)	33,47 $\pm$ 7,52
Massa (Kg)	78,68 $\pm$ 8,87
Estatura (cm)	1,75 $\pm$ 0,06
IMC (Kg/m ²)	25,30 $\pm$ 2,26
Massa Isenta de Gordura (Kg)	63,02 $\pm$ 7,11
Massa Muscular Esquelética (Kg)	35,69 $\pm$ 4,23
Porcentagem de Gordura (%)	19,38 $\pm$ 5,81
Anos de Prática Ciclismo	6,67 $\pm$ 6,62
Treinos por Semana	4,22 $\pm$ 1,15

O pico de torque do quadríceps 60°/seg e 270°/seg, potência 60°/seg e 270°/seg, I:Q 60°/seg e 270°/seg, do MID e MIE não apresentaram diferença em nenhuma condição experimental, tanto 24 após a última aplicação ($p>0,05$; Tabela3), quanto no follow-up de 1 semana ($p>0,05$;Tabela4) Porém pode-se observar um efeito moderado para o Pico de Torque 60°/seg left lower limb (MIE) (0,67), Potência Média em 60°/seg do right lower limb (MID) (0,73) e MIE (0,65) e um grande efeito no Pico de Torque 60°/seg do MID (0,98) no grupo IR/RED comparado ao Sham 24 horas após a última aplicação. Grandes e moderados efeitos também puderam ser observados quando comparado o grupo IR/RED ao RED no Pico de Torque a 60°/seg MID (1,03) e MIE (0,88), Pico de Torque a 270°/seg MID (0,54) e MIE (0,64), Potência Média a 60°/seg MID (0,63) e MIE (0,61), bem como quando comparado ao grupo IR no Pico de Torque a 60°/seg MID (0,62) e MIE (0,50), Pico de Torque a 270°/seg MID (0,62) e MIE (0,60), Potência Média a 60°/seg MID (0,86) e MIE (0,51), e na Potência Média a 270°/seg MID (0,68) e MIE(0,63).

Tabela 3. Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão dos grupos durante a avaliação no dinamômetro Isocinético seguidos da avaliação intergrupos após a aplicação sequenciada do LED

Variables	Post LED				p value					
	Sham	IR	Red	Red/IR	Sham x Red	Sham x IR	Sham x Red/IR	Red x IR	Red x Red/IR	IR x Red/IR
I:Q 60°/seg right (%)	56,15 $\pm$ 17,03	54,37 $\pm$ 9,65	52,79 $\pm$ 7,66	51,64 $\pm$ 10,36	0,90	0,74	0,99	0,98	0,90	0,74
I:Q 60°/seg left (%)	51,32 $\pm$ 7,18	57,35 $\pm$ 19,30	54,39 $\pm$ 14,07	51,80 $\pm$ 7,57	0,90	0,76	0,99	0,97	0,91	0,78
I:Q 270°/seg right (%)	59,90 $\pm$ 7,31	80,18 $\pm$ 51,04	58,55 $\pm$ 13,91	61,93 $\pm$ 5,93	0,99	0,73	0,70	0,77	0,98	0,92
I:Q 270°/seg left (%)	61,33 $\pm$ 8,21	60,11 $\pm$ 10,12	60,12 $\pm$ 11,18	63,41 $\pm$ 5,43	0,99	0,98	0,89	0,99	0,79	0,77
Peak Torque 60°/seg right (N/m)	210,58 $\pm$ 38,47	206,97 $\pm$ 50,92	205,89 $\pm$ 43,24	216,02 $\pm$ 21,92	0,99	0,99	0,43	0,99	0,33	0,86
Peak Torque 60°/seg left (N/m)	198,52 $\pm$ 34,61	201,14 $\pm$ 41,43	191,51 $\pm$ 36,35	230,36 $\pm$ 29,47	0,99	0,98	>0,99	>0,99	0,98	0,98
Peak Torque 270°/seg right (N/m)	134,40 $\pm$ 23,82	124,99 $\pm$ 32,45	131,15 $\pm$ 19,68	97,92 $\pm$ 46,59	0,99	0,99	0,87	0,99	0,84	0,88
Peak Torque 270°/seg left (N/m)	128,28 $\pm$ 23,97	124,25 $\pm$ 25,50	126,41 $\pm$ 16,98	88,45 $\pm$ 11,04	>0,99	0,99	0,88	>0,99	0,44	0,91
Average Power 60°/seg right (W)	146,69 $\pm$ 33,06	142 $\pm$ 35,28	148,28 $\pm$ 36,00	150,60 $\pm$ 17,47	>0,99	>0,99	0,56	0,99	0,53	0,65
Average Power 60°/seg left (W)	136,28 $\pm$ 24,72	137,35 $\pm$ 31,48	135,46 $\pm$ 29,37	165,68 $\pm$ 24,66	>0,99	>0,99	0,72	>0,99	0,77	0,91
Average Power 270°/seg right (W)	218,66 $\pm$ 30,46	205,76 $\pm$ 50,00	236,2 $\pm$ 44,55	136,70 $\pm$ 29,36	0,93	0,98	0,73	0,82	>0,99	0,87
Average Power 270°/seg left (W)	209,29 $\pm$ 29,38	199,65 $\pm$ 43,18	222,22 $\pm$ 39,31	141,28 $\pm$ 29,77	0,98	0,98	0,91	0,91	>0,99	0,90

I:Q – Relação agonista-antagonista; 60°/seg e 270°/seg – velocidade angular utilizada; right – membro inferior direito; left – membro inferior esquerdo.

Tabela 4. Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão dos grupos durante a avaliação no dinamômetro Isocinético seguidos da avaliação intergrupos no follow-up de 1 semana

Variables	1 week follow-up				p value					
	Sham	IR	Red	Red/IR	Sham x Red	Sham x IR	Sham x Red/IR	Red x IR	Red x Red/IR	IR x Red/IR
I:Q 60°/seg right (%)	56,05 $\pm$ 13,37	30,33 $\pm$ 18,13	59,62 $\pm$ 10,85	58,50 $\pm$ 15,05	0,83	0,94	0,97	0,99	0,99	0,97
I:Q 60°/seg left (%)	58,3 $\pm$ 16,22	54,26 $\pm$ 13,91	62,64 $\pm$ 17,63	59,92 $\pm$ 10,32	0,95	0,93	>0,99	0,72	0,94	0,91
I:Q 270°/seg right (%)	64,04 $\pm$ 6,52	67,3 $\pm$ 12,90	68,12 $\pm$ 17,05	70,3 $\pm$ 11,16	0,76	0,90	0,98	0,99	0,92	0,93
I:Q 270°/seg left (%)	60,51 $\pm$ 10,27	60,55 $\pm$ 11,38	65,3 $\pm$ 7,46	62,25 $\pm$ 7,29	0,70	>0,99	0,64	0,73	>0,99	0,67
Peak Torque 60°/seg right (N/m)	203,14 $\pm$ 42,51	206,75 $\pm$ 58,44	204,7 $\pm$ 48,35	208,7 $\pm$ 28,90	>0,99	>0,99	0,85	>0,99	0,93	0,99
Peak Torque 60°/seg left (N/m)	195,01 $\pm$ 39,65	198,35 $\pm$ 38,37	187,54 $\pm$ 30,26	221,08 $\pm$ 33,61	0,99	>0,99	0,94	0,99	0,90	0,99
Peak Torque 270°/seg right (N/m)	131,22 $\pm$ 16,30	124,51 $\pm$ 33,25	127,47 $\pm$ 15,46	96,47 $\pm$ 28,66	0,99	0,99	0,81	>0,99	0,66	0,94
Peak Torque 270°/seg left (N/m)	129,18 $\pm$ 18,26	122,38 $\pm$ 21,60	118,11 $\pm$ 14,54	99,57 $\pm$ 29,71	0,70	>0,99	0,27	0,73	0,84	0,30
Average Power 60°/seg right (W)	141,4 $\pm$ 30,02	146,72 $\pm$ 43,90	147,81 $\pm$ 34,62	144,41 $\pm$ 23,33	0,99	>0,99	0,66	>0,99	0,95	0,99
Average Power 60°/seg left (W)	131,8 $\pm$ 26,34	140,55 $\pm$ 31,88	135,92 $\pm$ 27,87	156,17 $\pm$ 24,39	>0,99	0,99	0,63	0,99	0,99	0,99
Average Power 270°/seg right (W)	229,86 $\pm$ 27,65	206,81 $\pm$ 55,00	231,85 $\pm$ 41,51	133,32 $\pm$ 40,36	>0,99	0,94	0,94	0,94	0,98	0,82
Average Power 270°/seg left (W)	212,01 $\pm$ 22,62	203,21 $\pm$ 44,85	214,61 $\pm$ 44,39	139,42 $\pm$ 42,40	>0,99	0,99	0,50	0,99	0,92	0,78

I:Q – Relação agonista-antagonista; 60°/seg e 270°/seg – velocidade angular utilizada; right – membro inferior direito; left – membro inferior esquerdo.

Não foram observadas diferenças significantes na performance dos atletas quanto ao tempo total até exaustão ($p>0,05$), VO₂máx, LAN e Temperatura cutânea ($p>0,05$; Tabela 5) em nenhum dos grupos. Apesar de não serem observados diferenças estatísticas, o grupo IR/RED comparada ao grupo Sham demonstrou um grande efeito para o tempo total até exaustão (1,98), para o VO₂máx (6,96) e moderado efeito para a iLAN (0,62). Bem como, quando comparado ao grupo IR, foram observados tamanho de efeito grande para VO₂máx (1,02), moderado para tempo total até exaustão (0,69), e também quando comparado ao grupo RED, onde foi observado tamanho de efeito moderado para tempo total até exaustão (0,74) e iLAN (0,49). A PSE dos atletas não sofreu influência significativa independentemente da intervenção, em relação ao tempo total de teste (Fig.6).

Tabela 5. Valores Médios $\pm$ Desvio Padrão dos grupos do tempo total até exaustão, VO2máx e iVO2máx e LAN durante o teste incremental, e da temperatura cutânea dos membros inferiores após o teste incremental, seguidos da avaliação intergrupos após a aplicação sequenciada do LED

Variables	Post LED				p value					
	Sham	IR	Red	Red/IR	Sham x Red	Sham x IR	Sham x Red/IR	Red x IR	Red x Red/IR	IR x Red/IR
Total time to exhaustion (s)	971,25 $\pm$ 194,12	1003,33 $\pm$ 216,7	992 $\pm$ 218,9	1141,83 $\pm$ 179,9	0,99	0,97	0,13	0,99	0,22	0,29
VO2máx (l.min)	33,07 $\pm$ 0,91	38,81 $\pm$ 1,30	40,27 $\pm$ 0,86	40,03 $\pm$ 1,08	0,36	0,58	0,37	0,98	>0,99	0,99
iVO2máx(l/kg.min)	303,33 $\pm$ 44,44	325 $\pm$ 51,47	312,72 $\pm$ 51,00	337,5 $\pm$ 56,42	0,97	0,79	0,42	0,94	0,64	0,93
iLAN (W)	182,96 $\pm$ 24,46	191,19 $\pm$ 38,76	185,23 $\pm$ 32,48	201,96 $\pm$ 35,19	0,99	0,95	0,61	0,98	0,66	0,89
Temperature right limb (°C)	30,17 $\pm$ 1,09	30,26 $\pm$ 1,48	30,48 $\pm$ 0,88	28,60 $\pm$ 1,50	0,93	0,99	0,69	0,97	0,31	0,56
Temperature left limb (°C)	30,33 $\pm$ 1,10	30,39 $\pm$ 1,48	30,7 $\pm$ 0,77	28,69 $\pm$ 1,23	0,88	0,99	0,47	0,92	0,12	0,38

VO2máx – consumo máximo de oxigênio; iVO2máx – intensidade correspondente ao VO2máx; LAN1-primeiro limiar anaeróbio.

Figura 6. Valores pré e pós aplicação do LED de Potência e Percepção Subjetiva de Esforço individual durante o teste incremental.

DISCUSSÃO

Esse estudo buscou investigar possíveis respostas quanto ao modelo de aplicação do LED em diferentes comprimentos de onda para aumento da performance, e a possibilidade de preencher algumas lacunas em relação ao uso desse recurso ergogênico, como a possibilidade de um efeito cumulativo da técnica e um tempo de resposta suficiente para se observar um resultado.

A aplicação da manta de LEDs foi realizada no músculo do quadríceps femoral bilateralmente, recobrando toda extensão muscular em uma única aplicação diária, como recomendada por Ferraresi et al., (2011). Apesar das divergências quanto aos comprimentos de onda, doses e modelos de aplicação presentes na literatura, Leal-Junior et al., (2019) publicaram um masterclass de recomendações para padronização na utilização dos parâmetros da fotobiomodulação, porém algumas questões ainda devem ser elucidadas. Ao que é de nosso conhecimento, até o momento nenhum estudo foi publicado para investigação do efeito cumulativo da técnica, quando não aplicada antes de um treino de força ou endurance.

Com os resultados obtidos no presente estudo, pode-se discutir que a fotobiomodulação tem a sua maior efetividade quando aplicada antes de um treinamento ou como técnica recuperativa para aumento da contração voluntária máxima (MVC) (Vanin et al., 2016; De Marchi et al., 2017). A diminuição do tempo até a exaustão, diminuição do estresse oxidativo e diminuição dos biomarcadores de dano muscular, também são respostas associadas à aplicação da fototerapia como pré-condicionamento muscular. (Nampo et al., 2016; De Paiva et al., 2016; De Marchi et al., 2017). Os estudos de Lanferdini et al., (2018) são, um dos únicos e os mais recentes quanto à aplicação da terapia por fotobiomodulação em atletas de ciclismo. Foram testadas diferentes doses da terapia para avaliações do desempenho físico desses atletas, em avaliações muito similares a de nosso estudo. Porém os autores puderam observar mudanças positivas significativas no tempo até exaustão, principalmente na dose de 135 J, a qual também é muito próxima a dosagem utilizada em nosso estudo (180J). Em um segundo estudo de Lanferdini et al., (2018), onde foi avaliado a cinética do VO₂ nessa mesma população, não foi possível observar uma mudança na amplitude desse VO₂, porém

uma diminuição do déficit de O₂ e do tau foi encontrada. Apesar da similaridade da população e das variáveis, em nosso estudo não foi possível observar esses mesmos ganhos no desempenho desses atletas, uma vez que os modelos de aplicação se diferem, mostrando que a aplicação consecutiva visando um efeito cumulativo não associada ao treinamento parece não ser o melhor cenário para a terapia por fotobiomodulação.

Apesar de não serem observadas diferenças significantes entre os grupos em nenhuma variável analisada, efeitos clínicos relevantes foram encontrados no grupo que recebeu a aplicação da manta IR/RED comparada ao grupo Sham, principalmente para as variáveis de Pico de Torque e Potência Média em 60°/seg, tempo até exaustão, VO₂máx, LAN e também na temperatura cutânea. Tais achados, corroboram com o estudo de De Marchi et al., (2017) e Albuquerque e Pontes et al., (2015) os quais recomendam que a junção dos dois comprimentos de onda na mesma aplicação apresenta um melhor resultado. Porém, do que é de nosso conhecimento não havia até o momento nenhum estudo que comparasse os comprimentos de onda em diferentes grupos, na mesma dosagem e modelo de aplicação para melhora de performance.

A fotobiomodulação pode ser considerada um recurso ergogênico muito bem consolidado na literatura. Seus efeitos estão diretamente relacionados com o aumento da síntese de ATP, e diminuição de estresse oxidativo (Leal-Junior et al., 2015; Ferraresi et al., 2015). Diversas revisões sistemáticas recomendam o seu uso, apesar das questões envolvidas quanto aos parâmetros ideais (Ferraresi et al., 2016; Vanin et al., 2018). A divergência entre os resultados positivos e os não resultados, podem estar diretamente relacionadas à esses parâmetros. Os achados de nosso estudo reafirmam ainda mais que esse recurso ergogênico deve ser aplicado somente antes do exercício ou treinamento, sempre utilizando a combinação de dois comprimentos de onda, e que possivelmente não há efeitos cumulativos.

Além do exposto, o tempo entre a aplicação e a atividade a ser desenvolvida é pertinente. Peserico et al. (2019) sugerem em seu estudo que um pequeno tempo (3-5 minutos) entre aplicação e a performance do exercício parecem não ser o cenário ideal. Estudos prévios levantam tal questão e, apesar de ser algo ainda não esclarecido na literatura,

Ferraresi et al. (2016), sugerem um tempo maior entre a aplicação da fototerapia e o exercício a ser realizado. Conforme os resultados obtidos neste estudo, 24 horas parece não ser o tempo ideal, ultrapassando o tempo seguro para se ter um benefício.

Algumas limitações do estudo são pertinentes principalmente quanto à população avaliada, uma vez que se trata de atletas de modalidades individuais, sendo assim o volume de treinamento prévio ao início do estudo entre um atleta e outro pode variar, podendo tornar-se um viés para os resultados observados. Também deve-se levar em consideração que todo o estudo foi feito em ambiente laboratorial, sem quaisquer influências externas, portanto os resultados podem ser diferentes quando aplicados à um ambiente de treinamento e competição.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a fotobiomodulação não foi capaz de produzir um efeito cumulativo e aumentar as capacidades de força, resistência, e percepção subjetiva de esforço em atletas de ciclismo. Porém bons tamanhos de efeitos foram observados na associação de dois comprimentos de onda na mesma aplicação, e este parece apresentar melhores resultados quando comparados ao LED somente vermelho e ao LED somente infravermelho, bem como ao Sham. Mais estudos são necessários para determinação de um timing-course entre aplicação e efeito da fotobiomodulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque-Pontes GM, de Vieira RP, Tomazoni SS et al. Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of low-level laser therapy on cytochrome c oxidase activity in intact skeletal muscle of rats. *Lasers Med Sci.* 2015; 30(1):59-66

Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. Appendix II: Regions of interest. *Thermol Int.* 2008; (4):136–44.

Antonialli FC, De Marchi T, Tomazoni SS, Vanin AA, dos Santos Grandinetti V, de Paiva PRV, 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):1967–76.

Bastos FN, Vanderlei LCM, Nakamura FY, Bertollo M, Godoy MF, Hoshi R a, et al. Effects of Cold Water Immersion and Active Recovery on Post-Exercise Heart Rate Variability. *Int J Sports Med.* 2012;33(11):873–9.

Beltrame T, Ferraresi C, Parizotto NA, Bagnato VS, Hughson RL. Light-emitting diode therapy (photobiomodulation) effects on oxygen uptake and cardiac output dynamics during moderate exercise transitions: a randomized, crossover, double-blind, and placebo-controlled study. *Lasers Med Sci.* 2018;33(5):1065-107.

Borsa PA, Larkin KA, True JM. Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. *J Athl Train.* 2013;48(1):57–67.

De Almeida P, Lopes-Martins RÁB, De Marchi T, Tomazoni SS, Albertini R, Corrêa JCF, 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):453–8.

De Brito Vieira WH, Bezerra RM, Queiroz RA, et al: Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial. *Photomed Laser Surg.* 2014;32:678-8.

De Marchi T, Schmitt VM, Machado GP, de Sene JS, de Col CD, Tairova O, 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;429–3.

De Paiva PRV, Tomazoni SS, Johnson DS, Vanin AA, Albuquerque-Pontes GM, Machado C dos SM, et al. Photobiomodulation therapy (PBMT) and/or cryotherapy in skeletal muscle restitution, what is better? A randomized, double-blinded, placebo-controlled clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2016;31(9):1925–33.

Ferraresi C, dos Santos RV, Marques G, Zangrande M, Leonaldo R, Hamblin MR, et al. Light-emitting diode therapy (LEDT) before matches prevents increase in creatine kinase with a light dose response in volleyball players. *Lasers Med Sci.* 2015b;30(4):1281–7.

Ferraresi C, Huang Y-Y, Hamblin MR. Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance? *J Biophotonics.* 2016;1299(11):1273–99.

Ferraresi C, Oliveira TDB, Zafalon LDO. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. *Lasers Med Sci.* 2011;26(3):349–58.

Ferraresi C, Victor M, Sousa P De, Huang Y, Bagnato VS, Parizotto NA, et al. Time response

of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. *Lasers Med Sci.* 2015a;30(4):1259-67.

Hamblin MR. Mechanisms and Mitochondrial Redox Signaling in Photobiomodulation. *Photochem Photobiol.* 2018; 94(2):199-212.

Hayworth CR, Rojas JC, Padilla E et al. In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. *Photochem Photobiol.* 2010; 86:673–680.

Karu T, Pyatibrat L, Kalendo G. Irradiation with He-Ne laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. *J Photochem Photobiol B Biol.* 1995; 27:219–223.

Kelencz C a, Muñoz ISS, Amorim CF, Nicolau R a. Effect of low-power gallium-aluminum-arsenium noncoherent light (640 nm) on muscle activity: a clinical study. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(5):647–52.

Lane, N. Cell biology: Power games. *Nature.* 2006; 443:901–903.

Lanferdini FJ, Bini RR, Baroni BM, Klein KD, Carpes FP, Vaz MA. Improvement of Performance and Reduction of Fatigue With Low-Level Laser Therapy in Competitive Cyclists. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;13(1):14-22.

Lanferdini FJ, Krüger RL, Baroni BM, Lazzari C, Figueiredo P, Reischak-Oliveira A, Vaz MA. Low-level laser therapy improves the VO₂ kinetics in competitive cyclists. *Lasers Med Sci.* 2018; 33(3):453-460.

Lanferdini FJ, Krüger RL, Baroni BM, Lazzari C, Figueiredo P, Reischak-Oliveira A, Vaz MA. Low-level laser therapy improves the VO₂ kinetics in competitive cyclists. *Lasers Med Sci.* 2018;33(3):453-460.

Leal ECP, Lopes-Martins RÁB, Rossi RP, De Marchi T, Baroni BM, De Godoi V, et al. Effect of cluster multi-diode Light Emitting Diode Therapy (LEDT) on exercise-induced skeletal muscle fatigue and skeletal muscle recovery in humans. *Lasers Surg Med.* 2009b;41(8):572–7.

Leal Junior ECP, Lopes-Martins RAB, Baroni BM, De Marchi T, Rossi RP, Grosselli D, et al. Comparison between single-diode low-level laser therapy (LLLT) and LED multi-diode (cluster) therapy (LEDT) applications before high-intensity exercise. *Photomed Laser Surg.* 2009a;27(4):617–23.

Leal Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, De Almeida P, Ramos L, Iversen V V., Bjordal JM. Effect of low-level laser therapy (GaAs 904 nm) in skeletal muscle fatigue and biochemical markers of muscle damage in rats. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108(6):1083–8.

Leal-Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, Bjordal JM. Clinical and scientific recommendations for the use of photobiomodulation therapy in exercise performance enhancement and post-exercise recovery: current evidence and future directions. *Braz J Phys Ther.* 2019;23(1):71–75.

Leal-Junior ECP, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho P de TC, Dal Corso S, Bjordal JM. 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;30(2):925–39.

Magalhaes MF., Dibai Filho AV. , Girasol CE , Oliveira, AK., Dias, FRC., Guirro, RRJ ; Guirro ECO . Evolution of Skin Temperature after the Application of Compressive Forces on

Tendon, Muscle and Myofascial Trigger Point. Plos One. 2015; (6):e0129034.

Magalhães MF, Dibai-Filho AV, de Oliveira Guirro EC, Girasol CE, de Oliveira AK, Dias FR, Guirro RR. Evolution of Skin Temperature after the Application of Compressive Forces on Tendon, Muscle and Myofascial Trigger Point. PLoS One. 2015;10(6):e0129034

Miranda EF, Vanin AA, Tomazoni SS, Dos Santos Grandinetti V, De Paiva PRV, Dos Santos Monteiro Machado C, et al. Using pre-exercise photobiomodulation therapy combining super-pulsed lasers and light-emitting diodes to improve performance in progressive cardiopulmonary exercise tests. J Athl Train. 2016;51(2):129–35.

Nampo FK, Cavalheri V, dos Santos Soares F, de Paula Ramos S, Camargo EA. Low-level phototherapy to improve exercise capacity and muscle performance: a systematic review and meta-analysis. Lasers Med Sci. 2016;31(9):1957–70.

Passarella S, Casamassima E, Molinari S, Pastore D, Quagliariello E, Catalano IM, Cingolani A. Increase of proton electrochemical potential and ATP synthesis in rat liver mitochondria irradiated in vitro by helium-neon laser. FEBS Lett. 1984; 175:95–99.

Peserico CS, Zagatto AM, Machado FA. Effects of Endurance Running Training Associated With Photobiomodulation on 5-Km Performance and Muscle Soreness: A Randomized Placebo-Controlled Trial. Front Physiol. 2019;10:211.

Vanin AA, Miranda EF, Machado CSM, de Paiva PRV, Albuquerque-Pontes GM, Casalechi HL, et al. What is the best moment to apply phototherapy when associated to a strength training program? A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial: Phototherapy in association to strength training. Lasers Med Sci. 2016;31(8):1555–6.

Vanin AA, Verhagen E, Barboza SD, Costa LOP, Leal-Junior ECP. Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2018;33(1):181-214

ANEXOS

Anexo I - Parecer Comitê de Ética HC/FMRP – USP RIBEIRÃO PRETO

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA FOTOTERAPIA COM DIODO EMISSOR DE LUZ (LED) SOBRE AS CAPACIDADES DE FORÇA E RESISTÊNCIA EM ATLETAS DE CICLISMO

Pesquisador: Rinaldo Roberto de Jesus Guirio

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 68409617.7.0000.5440

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.137.629

Apresentação do Projeto:

A fototerapia é um recurso terapêutico de crescente utilização na última década. Os seus efeitos fotobiomoduladores são produzidos por meio de lasers de baixa intensidade ou diodo emissor de luz (LED - light emitting diode), sendo seus efeitos teciduais equivalentes. A aplicação desse recurso terapêutico traz benefícios ergogênicos e protetores no desempenho muscular. O uso do LED como fonte de luz é promissor por seu baixo custo, porém não há estudos que respaldam o seu uso em atletas, com enfoque da melhora da performance. Além da carência da amostra, também não há consenso quanto ao uso de diferentes comprimentos de onda para o LED na literatura, abrindo assim, lacunas para o melhor protocolo de aplicação dessa técnica. Portanto um estudo que avalie o uso do LED em atletas, com diferentes comprimentos de onda, para melhora da performance se faz necessário.

Objetivo da Pesquisa:

Analisar os efeitos agudo e crônico da aplicação da fototerapia LEDT nas capacidades de força, temperatura e resistência a fadiga de atletas de ciclismo.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: O pesquisador afirma que não apresenta nenhum risco à saúde dos participantes.

Benefícios: Aumento de performance

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO
 Bairro: MONTE ALEGRE CEP: 14.048-900
 UF: SP Município: RIBEIRÃO PRETO
 Telefone: (16)3602-2228 Fax: (16)3633-1144 E-mail: cep@hcrp.usp.br

USP - HOSPITAL DAS
CLÍNICAS DA FACULDADE DE
MEDICINA DE RIBEIRÃO

Continuação do Parecer: 2.137/2017

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de ensaio Clínico Controlado Randomizado Cego.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Documentos obrigatórios devidamente apresentados. O pesquisador atendeu as pendências solicitadas no parecer anterior.

Recomendações:

não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de inadequações:

Diante do exposto e à luz da Resolução CNS 466/2012, o projeto de pesquisa versão II 06/06/2017, assim como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido versão II 06/06/2017, podem ser enquadrados na categoria APROVADO.

Considerações Finais a critério do CEP:

Projeto Aprovado: Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados ao CEP, relatórios parciais anuais referentes ao andamento da pesquisa e relatório final ao término do trabalho. Qualquer modificação do projeto original deve ser apresentada a este CEP em nova versão, de forma objetiva e com justificativas, para nova apreciação.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_912533.pdf	06/06/2017 13:32:01		Aceito
Outros	CartaResposta.pdf	06/06/2017 13:28:39	Rinaldo Roberto de Jesus Guliro	Aceito
Outros	TermodeconsentimentoVersaoII.pdf	06/06/2017 13:25:40	Rinaldo Roberto de Jesus Guliro	Aceito
Outros	ProjetoVersaoII.pdf	06/06/2017 13:22:25	Rinaldo Roberto de Jesus Guliro	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoFinal.pdf	10/05/2017 09:30:16	Rinaldo Roberto de Jesus Guliro	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	10/05/2017 09:30:00	Rinaldo Roberto de Jesus Guliro	Aceito
Orçamento	Orçamento.pdf	10/05/2017 09:29:24	Rinaldo Roberto de Jesus Guliro	Aceito

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Bairro: MONTE ALEGRE

CEP: 14.048-900

UF: SP

Município: RIBEIRÃO PRETO

Telefone: (16)3602-2228

Fax: (16)3633-1144

E-mail: cep@hcrp.usp.br

Continuação do Parecer: 2.137.029

Cronograma	Cronograma.pdf	10/05/2017 09:28:51	Rinaldo Roberto de Jesus Guilro	Aceito
Folha de Rosto	DOC.pdf	03/05/2017 15:25:49	Rinaldo Roberto de Jesus Guilro	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIBEIRÃO PRETO, 26 de Junho de 2017

Assinado por:
MARCIA GUIMARÃES VILLANOVA
(Coordenador)