

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO
HUMANO**

**EFEITO DA DOSE DE LASERTERAPIA DE BAIXA POTÊNCIA
SOBRE O DESEMPENHO EM TESTES DE CICLISMO**

Porto Alegre, 2016

FÁBIO JUNER LANFERDINI

**EFEITO DA DOSE DE LASERTERAPIA DE BAIXA POTÊNCIA
SOBRE O DESEMPENHO EM TESTES DE CICLISMO**

**Tese de doutorado apresentada à
Escola de Educação Física,
Fisioterapia e Dança da
Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como requisito para
título de doutor em Ciências do
Movimento Humano.**

ORIENTADOR:

PROF. DR. MARCO AURÉLIO VAZ

Porto Alegre, 2016

CIP - Catalogação na Publicação

LANFERDINI, FÁBIO JUNER
EFEITO DA DOSE DE LASERTERAPIA DE BAIXA POTÊNCIA
SOBRE O DESEMPENHO EM TESTES DE CICLISMO / FÁBIO
JUNER LANFERDINI. -- 2016.
91 f.

Orientador: MARCO AURÉLIO VAZ.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de
Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto
Alegre, BR-RS, 2016.

1. Dose de Laserterapia. 2. Fototerapia. 3.
Ciclismo. 4. Exaustão. 5. Desempenho. I. VAZ, MARCO
AURÉLIO, orient. II. Título.

**EFEITO DA DOSE DA LASERTERAPIA DE BAIXA POTÊNCIA
SOBRE O DESEMPENHO EM TESTES DE CICLISMO**

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO:

PROF. DR. ÁLVARO REISCHAK DE OLIVEIRA – UFRGS

PROF. DR. FERNANDO DIEFENTHAELER – UFSC

PROF. DR. NIVALDO ANTÔNIO PARIZOTTO - UFSCAR

AGRADECIMENTOS

Aos professores Álvaro Reischak de Oliveira, Fernando Diefenthaler e Nivaldo Antônio Parizotto, pelas contribuições no desenvolvimento do projeto e na avaliação do trabalho final. Muito obrigado.

À professora Clarice Sperotto dos Santos Rocha, pelo incentivo inicial e ajuda a ingressar no grupo de pesquisa em biomecânica e cinesiologia (GPBiC), além das primeiras lições em ciência. Obrigado.

Aos professores e colegas, Rodrigo Rico Bini, Renata Krüger, Bruno Manfredini Baroni, Jean Marcel Geremia, Felipe Pivetta Carpes, Carol Pieta Dias, Marcos Franken, Fernando Diefenthaler, Fernando Aragão, Rodrigo Rodrigues, Rafael Reimann Baptista, Cíntia Helena Ritzel, Ângela Roberta Conte Muraro, Alexandre Mayer, Fernando de Aguiar Lemos, Natália Albuquerque Goulart Lemos, Matias Fröhlich, Tiago Canal Jacques, Júlio Cezar Lima da Silva, Pedro Figueiredo, Mateus Rossato, Rodolfo Dellagrana, Caetano Lazzari, Raphael Luis Sakugawa, Fabrízio Caputo, Maarten Bobbert, pelos primeiros passos na ciência, sem os quais não chegaria a este momento. Obrigado.

Aos todos os demais colegas da sala 212 e demais salas do LAPEX, pelas colaborações neste ou em outros projetos de pesquisa, pelos conselhos, pela companhia e principalmente pela paciência em aguentar este que vos escreve. Obrigado.

Aos colegas e doutores, Rodrigo Rico Bini e Bruno Manfredini Baroni, pela construção, elaboração, execução, análise e finalização deste projeto, sem o qual não chegaria a lugar algum. Agradeço também às minhas queridas gurias estudantes de graduação e bolsistas de iniciação científica: Kelli Daiana Klein e Juliana Coelho; e de Mestrado: Renata Krüger, sem as quais este trabalho não teria saído do papel. Muito obrigado.

Aos bolsistas de iniciação científica, Amanda Gobbi e Bernardo Fleck Manganelli, pela ajuda na análise dos dados. Obrigado.

Aos professores Álvaro Reischak de Oliveira, Fernando Diefenthaler, Pedro Figueiredo e Fabrízio Caputo pelas sugestões e críticas ao futuro do respectivo projeto de doutorado que eu tinha em mente. Obrigado.

Aos amigos e atletas que aceitaram participar deste estudo, muitos dos quais vieram em coletas nos finais de semana. Obrigado.

Ao professor Álvaro Reischak de Oliveira, e a Mestre Renata Krüger, pelo fornecimento e ajuda nas coletas e análises de dados junto ao setor de fisiologia do exercício para as coletas de dados. Obrigado.

Aos professores, Fernando Diefenthaler e Fabrício Caputo, bem como seus alunos de mestrado e doutorado (Caetano Lazzari, Raphael Luiz Sakugawa, Rodolfo Dellagrana e Mateus Rossato) pelo fornecimento e ajuda nas coletas e análises de dados do segundo projeto de pesquisa avaliado junto à UFSC e à UDESC.

Ao professor Carlos Bolli Mota, pelo incentivo a ciência, pelos conselhos nos momentos que pudemos conversar e pela oportunidade de ingressar em um programa de pós-graduação (Mestrado). Obrigado.

Ao professor Marco Aurélio Vaz, meu orientador, pela oportunidade em ingressar em um grupo de pesquisa (GPBiC), pela ajuda incondicional na construção, elaboração, execução e finalização deste projeto e de outros projetos de pesquisa junto ao grupo ao longo destes 10 anos de GPBiC. Pelo incentivo e dedicação ao fomento da pesquisa no Brasil, o qual sabemos que é muito complicado. Pelos inúmeros conselhos e, por que não, pelos puxões de orelha. Marco, te considero um exemplo de professor e profissional, ao qual tento seguir, em alguns pontos acredito que sim, mas ainda tenho muito a aprender. Muito obrigado.

A todos os professores que passaram pela minha vida (Jardim, Ensino Fundamental, Médio, Graduação, Especialização, Mestrado e Doutorado) que de alguma forma contribuíram para a realização desta e de outras etapas passadas, bem como de etapas futuras que virão na sequência.

Aos meus alunos de graduação da URI Santo Ângelo, com quem, a cada aula, dia, turma, aprendi um pouco mais com vocês ao longo destes anos de docência Universitária.

Aos funcionários do LAPEX, Alex de Oliveira Fagundes, Luciano Souza Wutke, Luiz Pinto Ribeiro, Márcia Paz da Silva, Marli Alves de Melo, Rosangela

Azevedo de Andrade (Dani) e Vili Tissot pelos inúmeros dias em que solicitei a ajuda de vocês, pelos conselhos e desabafos que fiz a alguns de vocês. Obrigado.

Aos professores Flávia Gomes Martinez e Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga, diretores do Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX), pela liberação e apoio incondicional na elaboração dos diversos projetos de pesquisa junto ao laboratório. Obrigado.

Às funcionárias da limpeza do LAPEX, Bruna Souza dos Santos e Nara Patrícia da Conceição Gularte. Obrigado.

Aos funcionários do PPGCMH e Secretária Geral da UFRGS, Ana Lúcia Minor Larratéia, André Luís Carmo dos Santos, Ariadne Martins Soares, Ezequiel da Rosa Medeiros, Jaqueline Cosme, Rafael Cecagno, e Paulo Afonso Rodrigues de Lima, pelos inúmeros certificados, auxílios, dúvidas, solicitações e conselhos que solicitei a vocês. Obrigado.

A minha namorada Líria Sodre Machado, pelo incentivo e compreensão dos objetivos de vida, os quais tracei há muito tempo. Obrigado

Aos meus irmãos Wilson Cesar Lanferdini e Andrieli Mara Lanferdini, por fazerem parte de minha vida, pelas brincadeiras, conselhos e pelo entendimento do objetivo de vida que tracei. Obrigado.

Aos meus pais, Luiz Antônio Lanferdini e Helena Maria Lanferdini, pelos conselhos, apoio e pelos puxões de orelha em todos os momentos destes 35 anos de vida, sem os quais não chegaria onde estou. Pai e mãe, alcancei mais um dos objetivos que havia vos falado (agora o doutorado), ainda faltam outros. Muito obrigado.

Hoje passaram-se 20 anos que o ciclismo começou a correr nas minhas artérias, veias, fluir nos meus vasos sanguíneos, irrigando meus músculos, superando meus limites, sofrendo, sorrindo, caindo e levantando. Hoje faz 10 anos que ingressei em minha trajetória acadêmica, na qual respirei ciclismo, defendi posições, superei obstáculos ou os contornei. Hoje dedico esse trabalho a quem percorreu esta estrada sinuosa ao meu lado, superando seus limites, carregando seus fardos, conquistando seus espaços. Hoje termina mais uma etapa desta prova, amanhã começa outra.

RESUMO

A análise das variáveis associadas à fadiga muscular durante protocolos de ciclismo até a exaustão (incremental e carga constante), ou mesmo simulados (contrarrelógio), e suas implicações em parâmetros cinéticos e cinemáticos, têm sido descritas na literatura em modelos experimentais. Alterações encontradas nas articulações do quadril, joelho e tornozelo, associadas a mudanças no direcionamento das forças aplicadas ao pedal (melhora da técnica de pedalada) durante testes de ciclismo incrementais e/ou constantes, parecem estar relacionados a estratégias musculares intrínsecas para manutenção do trabalho e postergar os efeitos da fadiga. Entretanto, evidências suportam que a aplicação de Laserterapia de Baixa Potência (LBP) reduz os efeitos da fadiga muscular sobre o desempenho, principalmente em modalidades esportivas com um grande componente aeróbico, tal como o ciclismo. Entretanto, ainda não está claro na literatura qual a dosagem ideal de LBP a ser utilizada nessas atividades. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de diferentes dosagens de LBP sobre o desempenho em teste de tempo de exaustão em ciclistas. Além disso, foi analisado os efeitos do LBP sobre o conteúdo de frequências dos sinais de EMG e a cinética de VO_2 durante os testes de exaustão. Vinte ciclistas competitivos do sexo masculino participaram de um estudo, randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. Os atletas realizaram teste incremental de ciclismo até a exaustão (dia 1) para determinar o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2MÁX}$) e a potência máxima ($PO_{MÁX}$), seguido de outros quatro testes até a exaustão (dias 2 a 5) na $PO_{MÁX}$ do teste incremental. Antes de cada teste de exaustão, diferentes dosagens de LBP (3, 6 e 9 J/diódodo, ou 135, 270 e 405 J/coxa, respectivamente) ou placebo. Aumento do desempenho nos testes de exaustão foi observado com a LBP-3J (~22 s; $p < 0,01$), LBP-6J (~13 s; $p = 0,03$) e LBP-9J (~13 s; $p = 0,02$), comparado com o placebo (149 ± 23 s). Embora LBP-6J e LBP-9J não aumentaram a ativação muscular em comparação com o placebo, a LBP-3J, aumentou a ativação das bandas de alta frequência em comparação com o placebo no final do teste de exaustão, em ambos os membros inferiores ($p \leq 0,03$). Os resultados na cinética de VO_2 , resultaram em redução do constante de tempo (Tau) e déficit de O_2 com a aplicação de LBP comparado ao placebo ($p < 0,05$). Não foram encontradas diferenças ($p > 0,05$) entre as condições

experimentais para amplitude de VO_2 e tempo de atraso do VO_2 . Em conclusão, nosso estudo demonstrou que a fototerapia pode ser um agente ergogênico eficaz para aumentar o desempenho de ciclistas (independente da dose utilizada), e isto se deve ao aumento da ativação das bandas de alta frequência (LBP-3J), bem como da redução do Tau e déficit de O_2 (LBP-3 6 e 9J), durante testes máximos de ciclismo até a exaustão.

Palavras-Chave: Dose de Laserterapia; Fototerapia; Ciclismo; Fadiga; Exaustão; Força e Cinemática da pedalada, Cinética de VO_2 ; Desempenho.

ABSTRACT

The analysis of muscle fatigue variables during cycling protocols to exhaustion (incremental and constant load) or simulated (time trial), and its implications on kinetic and kinematic parameters, has been described in the literature for experimental models. Changes in hip, knee and ankle joints (such as increased range of motion and reduced ankle contribution to the total joint torque), associated with changes in the direction of the forces applied to the pedal (improved pedaling technique) during cycling tests, seems to be related to strategies for maintaining muscle work in order to postpone fatigue effects. However, evidences supports that application of low-level laser therapy (LLLT) minimizes fatigue effects on muscle performance. However, the ideal LLLT dosage to improve athletes' performance during sports activities, such as cycling, is still unclear. Therefore, the goal of this study was to investigate the effects of different LLLT dosages on cyclists' performance during a time-to-exhaustion test. In addition, we looked at the effects of LLLT on the frequency content of the EMG signals and kinetics of VO_2 to assess fatigue mechanisms. Twenty male competitive cyclists participated in a crossover, randomized, double-blind and placebo controlled trial. They performed an incremental cycling test to exhaustion (day 1) determine maximal oxygen output (VO_{2MAX}) and maximal power output (PO_{MAX}) followed by four time-to-exhaustion tests (days 2 to 5) at their individual PO_{MAX} . Before each time to exhaustion test, different LLLT dosages (3, 6 and 9

J/diode; or 135, 270 and 405 J/thigh, respectively) or placebo were applied at the quadriceps muscle bilaterally. Power output and muscle activation from both lower limbs were acquired throughout the tests. Increased performance at the exhaustion tests was observed with the LLLT-3J (~22 s; $p < 0.01$), LLLT-6J (~13 s; $p = 0.03$) and LLLT-9J (~13 s; $p = 0.02$) compared to placebo (149 ± 23 s). Although LLLT-6J and LLLT-9J did not show significant differences in muscle activation compared to placebo, LLLT-3J led to an increased high frequency content compared to placebo in both limbs at the end of the exhaustion test ($p \leq 0.03$). The results in kinetics VO_2 , resulting in reduction of time constant (Tau) and deficit O_2 with LLLT applications compared to the placebo condition ($p < 0.05$). No differences ($p > 0.05$) were found between the experimental conditions for VO_2 amplitude and VO_2 delay time. In conclusion, this study has shown that the phototherapy can be an effective ergogenic agent to increase cycling performance (regardless of the dose used), and this is due to increased activation of the high frequency bands (LLLT-3J) as well as the reduction of Tau and deficit of O_2 (LLLT-3, 6 and 9J), during maximum cycling exhaustion test.

Keywords: Laser therapy Dosage; Phototherapy; Cycling; Fatigue; Exhaustion; Forces and Kinematics pedaling; VO_2 Kinetics; Performance

LISTA DE ABREVIações

Ap – Amplitude de VO_2

ATP - Adenosina Trifosfato

ATP-CP – Adenosina Trifosfato - Creatina Fosfato

CVM - Contração Voluntária Máxima Isométrica

EMG - Eletromiografia de Superfície

ESEFID - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança

FE - Força Efetiva

FR - Força Resultante

FT - Força Total

H - Função de Heaviside

IE - Índice de Efetividade

ISAK - International Society for the Advancement of Kinanthropometry

LAPEX - Laboratório de Pesquisa do Exercício

LBP - Laserterapia de Baixa Potência

LEDT - Light Emitting Diodes Therapy

LLLT – Low-Level Laser Therapy

MDF – Mediana da Frequência

MIND - Membro Inferior Não Dominante

NIRS Infrared - Near Infrared Spectroscopy - Espectroscopia de Infravermelho

OBLA – Segundo Limiar de Lactato

PO – Potência

$PO_{MÁX}$ – Potência Máxima

RF – Reto Femoral

RMS – Root Mean Square

RNA - Ácido Ribonucleico

RPM – Rotações por Minuto

SNC - Sistema Nervoso Central

t – Tempo

Tau – Constante de Tempo

TDp – Tempo de Atraso

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VL – Vasto Lateral

VM – Vasto Medial

VO₂ – Consumo de Oxigênio

VO_{2MÁX} – Consumo Máximo de Oxigênio

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
INTRODUÇÃO	18
CAPITULO 1	23
RESUMO	23
ABSTRACT	23
INTRODUÇÃO	24
MÉTODOS	27
Critérios de Elegibilidade.....	27
Estratégia de Busca	27
Seleção dos Estudos e Extração dos Dados	28
Análise de Dados	28
RESULTADOS	29
Descrição dos Estudos.....	29
Carga Incremental.....	30
Carga Constante	31
Carga Variável (Contrarrelógio)	33
DISCUSSÃO	34
Fadiga no Ciclismo.....	34
Carga Incremental.....	35
Carga Constante	37
Carga Variável (Contrarrelógio)	39
Análise Crítica da Literatura	41
CONCLUSÃO	42
CAPITULO 2	43
RESUMO	43
ABSTRACT	44
INTRODUÇÃO	44
MATERIAIS e MÉTODOS	47
Participantes	47
Desenho Experimental	47
Procedimentos	48
Tratamento de LBP/placebo.....	48

Teste de Tempo de Exaustão no Ciclismo.....	50
Análise de dados.....	50
Análise Estatística.....	51
RESULTADOS	52
DISCUSSÃO	55
Tempo de Exaustão	55
Propriedades Espectrais de Ativação Muscular	57
LIMITAÇÕES.....	59
IMPLICAÇÕES PRÁTICAS.....	59
CONCLUSÃO.....	60
CAPITULO 3.....	61
INTRODUÇÃO	62
MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
Participantes	65
Desenho Experimental.....	65
Tratamento de LBP ou Placebo	67
Teste de Tempo de Exaustão	68
Análise de Dados	68
Análise e Estatística	69
DISCUSSÃO	72
Cinética de VO ₂ e Tempo de Exaustão	72
Limitações	75
CONCLUSÃO.....	75
CAPITULO 4.....	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS.....	78

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi motivado pelo anseio em responder as seguintes questões: (1) A laserterapia de baixa potência (LBP) altera o desempenho do teste máximos de ciclismo até a exaustão, comparado a situação placebo?; (2) Qual a dose ideal de LBP para aumentar o tempo do teste de exaustão?; (3) As diferentes doses de LBP podem acarretar em alterações em propriedades neuromusculares durante testes de exaustão, comparadas a situação placebo?; (4) As diferentes doses de LBP provocam alterações na cinética de consumo de oxigênio durante testes de exaustão comparadas a situação placebo?. A busca pelas respostas nos conduziu ao desenvolvimento de um projeto de pesquisa, durante o período de doutorado, junto aos Setores de Fisiologia do Exercício e Plasticidade Neuromuscular do Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Tendo em vista as diferentes perguntas, o conteúdo desta tese é apresentado por meio de quatro capítulos.

A introdução estendida desta tese aborda os efeitos benéficos oriundos da aplicação prévia de LBP sobre o desempenho em diferentes testes de exaustão, tais como: isometria e repetições máximas de flexores do cotovelo, protocolos concêntricos e excêntricos de fadiga dos músculos extensores do joelho, testes incrementais em esteira ergométrica, testes de Wingate 30s em jogadores de voleibol e futsal. Além disso, os benefícios ocasionados pela aplicação prévia de LBP sobre a redução do dano muscular ocasionado pelos referidos protocolos, comparados a situação placebo também são apresentados.

Para que se possa avaliar os efeitos da LBP sobre o desempenho no ciclismo, faz-se necessário primeiro definir desempenho nessa modalidade esportiva e identificar de que forma esse desempenho foi mensurado. O capítulo I apresenta artigo científico de revisão sistemática de literatura a respeito dos diferentes protocolos de ciclismo utilizados para avaliar o desempenho aeróbio de ciclistas e/ou triatletas. O referido capítulo traz evidências encontradas na literatura sobre o comportamento das variáveis cinéticas e cinemáticas, tais como produção de força, torque e alterações de ângulos articulares durante diferentes testes de ciclismo até a exaustão (incremental, carga constante e

contrarrelógio). Além disso, o referido capítulo aborda também questões neuromusculares relacionadas às alterações nos padrões de força e cinemática da pedalada com os efeitos da fadiga muscular em ambos os protocolos mencionados. Este artigo foi submetido ao periódico *Sports Biomechanics*. O desempenho no ciclismo é dependente tanto de variáveis neuromusculares como de variáveis fisiológicas. Os capítulos subsequentes tratam de dois artigos originais oriundos dos experimentos realizados para avaliar aspectos neuromusculares e fisiológicos dos efeitos da LBP sobre a fadiga no ciclismo.

O capítulo II descreve a parte do experimento que teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes dosagens de LBP sobre o desempenho de ciclistas e sobre a ativação (bandas de frequência) dos músculos extensores do joelho em testes de ciclismo até a exaustão comparados a situação placebo. Este artigo foi submetido ao periódico *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

Já o capítulo III descreve a parte do experimento que teve por objetivo avaliar os efeitos da LBP sobre o desempenho e cinética do consumo de oxigênio (Amplitude de VO_2 , *Time Delay*, Déficit de O_2 e Tau), comparados a situação placebo em testes de ciclismo até a exaustão. Este artigo foi submetido ao periódico *Laser in Medical Science*.

O capítulo IV é uma síntese sobre os principais achados desta tese, com explicações e possíveis fatores intervenientes aos resultados encontrados. O capítulo também aborda algumas possibilidades de investigações que poderiam melhor explicar os efeitos da aplicação prévia de LBP sobre o desempenho de ciclistas, durante testes até a exaustão. Além disso, ao final do presente capítulo são abordadas outras áreas do desporto (exemplo: corredores) que poderiam fazer uso da LBP, a fim de otimizar o seu desempenho em testes máximos até a exaustão, e suas implicações e variáveis biomecânicas e fisiológicas durante a corrida.

INTRODUÇÃO

O ciclismo de estrada (*speed*) é um dos esportes mais populares do mundo, com competições de média e longa distância. Essas competições podem ser disputadas em um único dia (e.g. Paris-Roubaix, Milano-San Remo), durante dias subsequentes (exemplo: Paris-Nice, Tirreno-Adriático) ou até mesmo durante algumas semanas [e.g. Giro d' Itália, Tour de France ou Vuelta a España (1)]. No Brasil, competições ciclísticas importantes de média e longa duração têm ocorrido nas últimas décadas, como é o caso da Copa América de Ciclismo, do Giro do Interior de São Paulo, da Volta Ciclística de Farroupilha, do Tour de Santa Catarina, do Tour do Rio e do Tour do Brasil/Volta de São Paulo (2).

As altas exigências biomecânicas, fisiológicas e psicológicas impostas ao atleta de ciclismo se encontram bem documentadas na literatura (3, 4). Da mesma forma, as adaptações dos sistemas neuromuscular (5, 6) e cardiorrespiratório (7) destes atletas em função das demandas específicas da rotina de treinamentos e competições também já foram evidenciadas. No entanto, embora essas adaptações conduzam o atleta a uma melhora de suas capacidades físicas, a fadiga muscular induzida pela elevada exigência sobre a musculatura executora do gesto esportivo do ciclismo permanece como um fator limitante ao desempenho esportivo (8).

O crescente interesse de cientistas da área de Ciências do Esporte sobre os efeitos da fadiga no desempenho esportivo no ciclismo gerou um aumento significativo no corpo de evidências acerca desses efeitos (5, 6, 9-11). Embora muitos aspectos relacionados aos mecanismos de fadiga ainda necessitem ser determinados, há um consenso na literatura de que se trata de um fenômeno multifatorial que conduz a uma queda da capacidade de produção de força máxima do músculo (8). Nos estudos envolvendo o ciclismo, é possível verificar que o atleta em processo de fadiga apresenta as seguintes alterações: [1] redução na estabilidade do movimento articular para os membros inferiores (12, 13); [2] antecipação da ativação dos músculos extensores do joelho e do quadril, sem alterações na produção de torque no joelho (10, 12); [3] redução das altas frequências de ativação do vasto lateral e bíceps femoral (11); [4] aumento da puxada do pedal para trás e força de empurrada para baixo com a instauração

do processo de fadiga muscular (10, 14). A fadiga também produz alterações na arquitetura muscular (aumento do ângulo de penação do músculo vasto lateral e aumento da espessura muscular dos músculos reto femoral e vasto intermédio) imediatamente após teste máximo de ciclismo (9), aumento da concentração de lactato sanguíneo (15), e aumento da frequência cardíaca (16).

Por outro lado, o músculo esquelético de atletas fundistas apresenta maior densidade (tamanho e volume) mitocondrial, e essa característica possibilita uma maior produção de energia por meio do metabolismo aeróbio (17). Entretanto, a redução na produção de energia decorrente do processo de fadiga resulta em redução no desempenho. Em outras palavras, o maior aporte energético nesses atletas pode retardar a instauração da fadiga, mas não consegue evitá-la. Ainda assim, estratégias que minimizem ou retardem os efeitos deletérios da fadiga contribuem para um aumento do desempenho desses atletas. Nesse sentido, a reposição hídrica (18) e a ingestão de suplementos nutricionais (19) durante as provas de ciclismo são comumente utilizadas por atletas com intuito de reduzir os efeitos deletérios da fadiga sobre o desempenho. Entretanto, pouco avanço tem sido documentado nesse campo com a utilização de estratégias não-invasivas, como os recursos de termo, eletro, foto e mecanoterapia.

Embora a fadiga muscular seja um fenômeno multifatorial inevitável a um grupo muscular em exercício, a LBP vem apresentando resultados promissores na redução e/ou postergação dos efeitos da fadiga (20, 21). Esse recurso fototerapêutico já é utilizado nas áreas da medicina, medicina veterinária, odontologia e fisioterapia há várias décadas, apresentando evidências positivas em relação à cicatrização de feridas cutâneas (22); regeneração de tecidos tendinosos (23), musculares (24) e nervosos (25); além da ação analgésica (26) e anti-inflamatória (27).

O efeito da LBP, aplicada anteriormente à realização do exercício, sobre a fadiga muscular foi demonstrado inicialmente por Lopes-Martins et al. (28) em protocolo envolvendo estimulação elétrica do músculo de ratos. Em humanos, estudos envolvendo exercícios com pesos livres (29-32), contrações isométricas (33), dinamômetro isocinético (34, 35), cicloergometro (36-38) e exercícios em

esteira ergométrica máximos (39) apresentam resultados promissores e elevam a fototerapia a uma condição de agente potencialmente eficaz no combate aos efeitos deletérios da fadiga sobre a função muscular, como argumentado por duas revisões recentes sobre essa temática (20, 21).

Apesar dos efeitos positivos, não há consenso na literatura sobre a quantidade de energia (dose) utilizada na LBP e seus efeitos sobre o desempenho nos diferentes testes investigados. A quantidade de energia nos estudos que encontraram resultados promissores da LPB se apresenta bastante variada. Estudos envolvendo exercícios com pesos livres (29-32), utilizaram entre 3 e 30 J por ponto e entre 20 e 60 J por membro avaliado. Estudos utilizando contrações isométricas (33) utilizaram 5 J por ponto e 20 J por membro avaliado. Exercícios em dinamômetro isocinético (34) utilizaram 30 J por ponto e 180 J por membro avaliado. Exercícios em esteira ergométrica máximos (39) utilizaram 30 J por ponto e 360 J por membro avaliado. Desta forma, não é claro qual a interferência da quantidade de energia (J) a ser aplicada no membro avaliado e quais as implicações desta prática sobre os resultados encontrados. Além disso, é provável que, em movimentos que utilizam vários grupos musculares, grandes quantidades de energia advinda da LBP sejam necessárias. Como exemplo, em estudo avaliando os efeitos da aplicação de LBP sobre a corrida foram utilizados 360 J para cada um dos membros inferiores (39). Com isto, há necessidade de avaliação da dose a ser utilizada em gestos multiarticulados, como no caso da pedalada em cicloergômetro.

É interessante notar que os três estudos envolvendo testes em cicloergômetro e fototerapia (36-38) utilizaram protocolos de Wingate (30s de exercício em intensidade máxima) para induzir a fadiga em atletas de voleibol e futebol com doses distintas de energia por membro avaliado (~42; ~83; e ~417 J, respectivamente). Apesar de os autores terem encontrado efeitos benéficos sobre marcadores bioquímicos relacionados à fadiga (menores níveis sanguíneos de marcadores inflamatórios após os testes), não foi verificada qualquer melhora no desempenho (potência anaeróbia máxima) com a utilização de fototerapia nesses atletas. Essa ausência de achados positivos em termos de desempenho discorda dos resultados verificados com outros tipos de protocolos:

(1) aumento do número de repetições em teste de exaustão dos músculos flexores do cotovelo com carga a 75% da contração voluntária máxima isométrica – CVM (30-32) quando comparado ao efeito placebo; (2) maior força isométrica máxima dos músculos flexores do cotovelo (33), quando comparado ao efeito placebo; (3) menor perda de torque máximo para os músculos extensores do joelho após protocolo de fadiga concêntrico (35) e excêntrico (34) em dinamômetro isocinético, quando comparados ao efeito placebo; (4) e aumento do tempo de exaustão e consumo máximo de oxigênio ($VO_{2MÁX}$) durante teste incremental máximo em esteira (39), quando comparado ao efeito placebo. Essa diferença nos resultados pode estar relacionada à baixa familiarização dos atletas de voleibol e futebol (36, 37) ao gesto motor do ciclismo utilizado no teste do Wingate. Além disso, o teste de Wingate avalia a capacidade anaeróbia máxima, e, em função disso, não estaria apropriado para avaliar os efeitos da LBP sobre o retardo da fadiga, tendo em vista que o principal mecanismo de ação da LBP é o aumento da produção mitocondrial de adenosina trifosfato - ATP (portanto, utilizando a via aeróbia de produção de energia), mesmo com uma grande quantidade de energia laser (417 J) aplicada no membro avaliado (37). Assim, permanece incerto se há uma dose de energia de LBP mais efetiva para a redução dos processos da fadiga muscular durante exercícios aeróbios máximos em ciclo ergômetro e, ainda, se é possível incrementar o desempenho de atletas em provas de ciclismo.

Portanto, o primeiro objetivo deste estudo foi investigar os efeitos da dosagem de LBP sobre a fadiga muscular em teste aeróbio de ciclismo (teste de carga constante até a exaustão). Uma vez identificada(s) a(s) dose(s) de LBP que maximiza(m) o desempenho em teste de carga constante até a exaustão, o segundo objetivo deste estudo é avaliar a efetividade desta(s) dose(s) sobre a ativação muscular (bandas de frequência) dos músculos extensores do joelho durante o referidos testes de ciclismo. Além disso, o terceiro objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos das diferentes dosagens de LBP sobre a cinética do consumo de oxigênio em teste de ciclismo até a exaustão, ambos comparados a situação placebo.

Devido à grande variabilidade de doses relatadas como efetivas em outras modalidades de exercício e a carência de conhecimento quanto a dose mais efetiva para exercícios em cicloergômetro, não é possível determinar qual a dose ótima para maximizar o desempenho de ciclistas. Partindo do pressuposto que o uso da LBP é efetivo na ampla maioria de exercícios utilizados, nossa hipótese é a de que o uso dessa técnica de fototerapia deverá produzir melhora do desempenho (aumento do tempo do teste de carga constante até a exaustão), bem como alterações relacionadas ao aumento da ativação das altas frequências e melhoras na cinética de consumo de oxigênio, abordadas nos capítulos 2 e 3, respectivamente.

CAPITULO 1

INFLUÊNCIA DA FADIGA SOBRE A CINÉTICA E CINEMÁTICA DA PELADALADA DURANTE O CICLISMO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Fábio Juner Lanferdini; Rodrigo Rico Bini; Marco Aurélio Vaz

Submetido ao Periódico *Sports Biomechanics*

RESUMO

A análise das variáveis associadas à fadiga muscular durante protocolos de ciclismo até a exaustão (incremental e carga constante), ou mesmo simulados (contrarrelógio), e suas implicações em parâmetros cinéticos e cinemáticos, têm sido descritas na literatura em modelos experimentais. O entendimento da contribuição das articulações do quadril, joelho e tornozelo para o trabalho mecânico realizado pelos membros inferiores, possibilita identificar alguns indicadores dos processos de fadiga durante o ciclismo. A redução na capacidade de produção de força e a consequente redução no desempenho dos atletas tem implicações diretas para a cinemática de cada articulação durante o processo de fadiga. Alterações encontradas nas articulações do quadril, joelho e tornozelo, associadas a mudanças no direcionamento das forças aplicadas ao pedal (melhora da técnica de pedalada) durante testes de ciclismo incrementais e/ou constantes, parecem estar relacionados a estratégias musculares intrínsecas para manutenção do trabalho e postergar os efeitos da fadiga.

ABSTRACT

The analysis of muscle fatigue variables during cycling protocols to exhaustion (incremental and constant load) or simulated (time trial), and its implications on kinetic and kinematic parameters, has been described in the literature for experimental models. Thus, understanding the contribution from hip, knee and ankle joints to the lower limbs mechanical work, as well as the contribution of each joint to the absolute joint moments, helps to identify some of the fatigue processes during cycling. Fatigue reduces the cyclists' ability to

produce power, and, consequently, leads to a reduction in performance. Changes in hip, knee and ankle joints (such as increased range of motion and reduced ankle contribution to the total joint torque), associated with changes in the direction of the forces applied to the pedal (improved pedaling technique) during cycling tests, seems to be related to strategies for maintaining muscle work in order to postpone fatigue effects.

INTRODUÇÃO

A fadiga pode ser definida como a incapacidade de manutenção da força ou potência produzida (4, 40). Atualmente, dois tipos de fadiga têm sido evidenciados na prática de esportes de resistência: a fadiga de origem periférica [Modelo Catastrófico (41)] e a de origem central [Modelo Governo Central (42, 43)], conforme ilustrado na Figura 1.

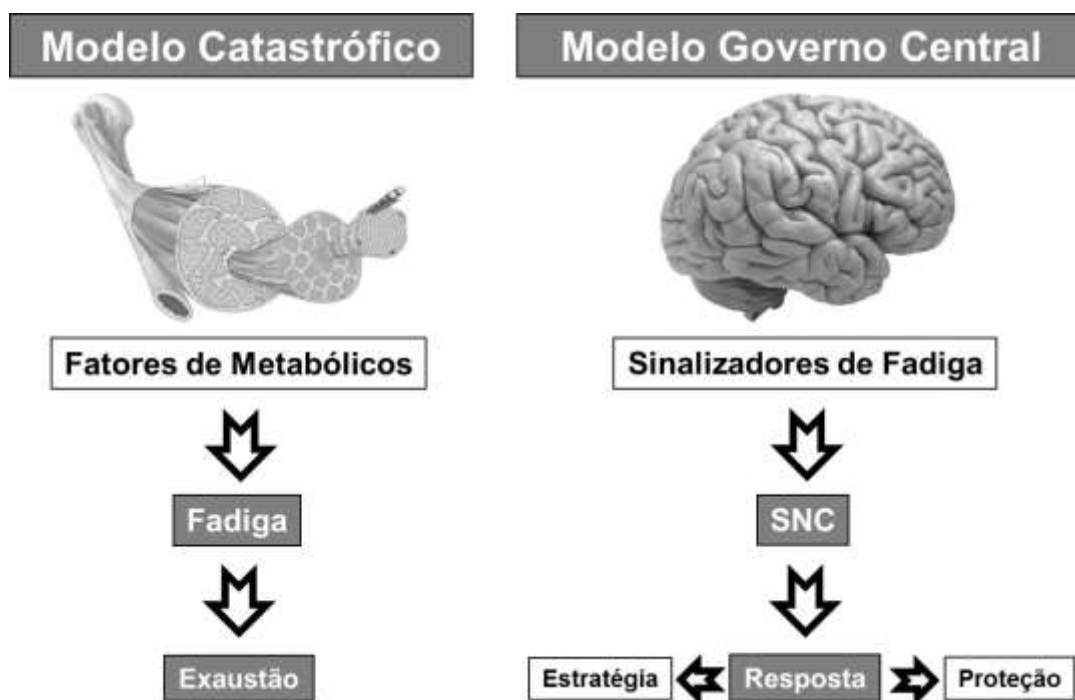


Figura 1. Ilustração dos mecanismos de origem periférica e central da fadiga muscular durante o exercício físico propostos pela literatura.

A fadiga de origem central está relacionada com uma redução na ativação muscular (redução na frequência de disparo e/ou número de unidades motoras ativadas) para a mesma demanda de força (44). Dentre os principais fatores, a fadiga de origem central estaria relacionada a redução da intensidade do exercício pelo sistema nervoso central, que provoca deliberadamente uma inibição muscular (redução da capacidade de ativar todas as unidades motoras e conseqüente redução na produção de força muscular), a fim de evitar lesões musculoesqueléticas (45). A fadiga periférica, no entanto, é observada tanto pela manutenção da força produzida com aumento concomitante da ativação muscular quanto pela redução da força gerada com redução na ativação muscular em um protocolo de exaustão (46).

Dentre os principais aspectos relacionados com a redução na capacidade de produção de força muscular durante a fadiga (periférica), destacam-se: a depleção de compostos energéticos como ATP, a redução na concentração de cálcio no retículo sarcoplasmático por incapacidade das bombas de cálcio em bombear o mesmo para o interior do retículo, o acúmulo de fosfato inorgânico livre do meio intracelular, assim como o aumento na concentração de íons hidrogênio na fenda sináptica que torna o meio extracelular mais ácido dificultando a geração de potenciais de ação na fenda sináptica (47, 48). Este último, portanto, tem sido relacionado com a redução na velocidade de condução do potencial de ação ao longo das fibras musculares, o que tornaria as contrações musculares mais fracas (49).

No ciclismo, a potência produzida durante a pedalada é a medida mais utilizada para representar a instauração dos processos de fadiga em um protocolo de exaustão (8). A potência tem relação direta com dois fatores: a velocidade de contração (e conseqüentemente de encurtamento) e a força máxima gerada. Portanto, a fadiga muscular determina uma redução da potência quando as unidades motoras grandes, de contração rápida e rapidamente fatigáveis, já não podem mais ser recrutadas (reduzindo a capacidade máxima de gerar força rapidamente), e as unidades ainda em atividade são mais lentas na sua contratilidade (reduzindo a velocidade máxima do encurtamento muscular e do movimento articular).

O estudo dos mecanismos de instalação da fadiga no ciclismo tem sido realizado utilizando-se três principais modelos experimentais: [1] Carga incremental, o qual consiste no aumento da carga de trabalho gradativamente até o ciclista entrar em exaustão (50-52); [2] Carga de trabalho constante e sustentada até a exaustão (53, 54); [3] Contrarrelógio, que se propõe a avaliar as implicações da fadiga quando o ciclista possui a liberdade de determinar a carga de trabalho com o objetivo de percorrer uma distância pré-determinada no menor tempo possível (55-57). Estes protocolos (Incremental e Carga Constante) possuem critério voluntário de exaustão, pois a interrupção do teste se deve especialmente a interrupção do teste por parte do ciclista (8). Contudo, o teste de contrarrelógio, apesar de gerar fadiga muscular, não necessariamente gera exaustão, já que depende da percepção de esforço do próprio atleta durante a sua realização. Independente do modelo experimental de escolha da carga de trabalho, foi observado que existe aumento das diferentes variáveis fisiológicas relacionadas com o desempenho (consumo de oxigênio, frequência cardíaca e sensação subjetiva de esforço) após um período prolongado de ciclismo [exemplo: após uma hora (53, 58, 59)]. Entretanto, diferentemente dos demais, no modelo contrarrelógio é possível observar um aumento voluntário da carga de trabalho no final do teste (55, 60, 61). Esses diferentes métodos em gerar fadiga determinam uma dificuldade em se avaliar se as alterações observadas nas variáveis fisiológicas ao longo dos testes de carga incremental e de contrarrelógio se devem ao processo de instalação da fadiga, ao aumento na carga de trabalho, ou à combinação destes fatores.

Portanto, a avaliação das respostas fisiológicas durante um protocolo de ciclismo até a exaustão tem sido bem descrita na literatura. Entretanto, a avaliação de parâmetros cinéticos e cinemáticos da pedalada ainda carece de maiores esclarecimentos, sobretudo em relação aos efeitos decorrentes da fadiga muscular nas alterações de forças no pedal, forças atuantes nas articulações, bem como de mudanças na postura corporal, como por exemplo na amplitude de movimento dos membros inferiores, durante diferentes testes de ciclismo até a exaustão. A análise de força durante a pedalada é extremamente importante, pois, a partir dela, pode-se mensurar não apenas a força produzida pelo atleta durante a pedalada (força resultante - FR), mas também o

aproveitamento desta força durante a pedalada (índice de efetividade - IE), o qual nos dá uma ideia de melhora ou piora na técnica de pedalada (52, 62, 63). O cálculo dos momentos articulares nos possibilita determinar o trabalho produzido pelos músculos que cruzam cada articulação, e alterações nos momentos articulares podem sinalizar mudanças na prioridade de atuação de grupos musculares específicos (12, 64), alterando assim as forças produzidas durante o ciclo de pedalada e, conseqüentemente, a sua técnica. Além disso, a avaliação da cinemática articular ajuda a entender os padrões de movimento, suas alterações decorrentes de protocolos de exaustão e suas implicações nas alterações de comprimentos musculares e, conseqüentemente, na velocidade de encurtamento (13, 14, 50). Entretanto, não foram encontrados estudos na literatura que tenham revisado as implicações decorrentes dos processos de fadiga muscular no comportamento de variáveis cinéticas e cinemáticas durante o ciclismo até a exaustão.

Portanto, o objetivo deste estudo foi revisar a literatura sobre os efeitos da fadiga muscular, gerada em diferentes protocolos de exaustão durante o ciclismo [Incremental; Carga constante; e Carga variável (contrarrelógio)], sobre a cinética (forças) e cinemática (ângulos articulares) da pedalada.

MÉTODOS

Crítérios de Elegibilidade

O presente estudo se caracteriza por uma pesquisa de revisão sistemática da literatura, desenvolvida com base na análise qualitativa de artigos e livros publicados. Foram incluídos nesta revisão estudos avaliando ciclistas e triatletas, competitivos ou recreacionais, com idade entre 18 e 45 anos (65).

Estratégia de Busca

A busca de artigos científicos foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus e Google Acadêmico entre os anos de 1970 a 2016. Foram utilizadas as seguintes palavras chave para a busca dos artigos: Fadiga; Ciclismo; Cinemática; Cinética; Forças; e seus respectivos termos em inglês: *Fatigue; Cycling; Kinematics; Kinetics; Forces*.

Seleção dos Estudos e Extração dos Dados

Inicialmente foram lidos os títulos dos trabalhos encontrados com a estratégia de busca pelo revisor. A partir da primeira seleção, após a leitura dos títulos, foi realizada a leitura dos resumos a fim de obter informações sobre a relação ou não do artigo com o tema de interesse. Foram incluídos no estudo artigos originais relacionados à cinemática e/ou cinética (forças) do ciclismo durante teste incremental, carga constante ou carga variável, redigidos em inglês e/ou português. Artigos de revisão foram excluídos após a busca para esta revisão. Após a análise dos resumos e exclusão dos que não se encaixavam nos critérios de inclusão, foi realizada a leitura completa dos demais artigos que foram incluídos no presente trabalho, os quais deveriam estar de acordo com os critérios de elegibilidade pré-estabelecidos. Por meio de um formulário padronizado, foram extraídas as informações dos estudos incluídos: [1] Autor e ano do estudo; [2] Delineamento do estudo; [3] Participantes; [4] Classificação de qualidade do estudo – GRADE; [5] Metodologia proposta; [6] Principais resultados.

Análise de Dados

Foi elaborado um fluxograma para demonstrar a seleção dos trabalhos inclusos na pesquisa. Após, os estudos foram analisados de forma qualitativa e descritos e tabulados de acordo com os critérios pré-estabelecidos. Além disso, foi realizada a classificação da qualidade metodológica dos estudos incluídos na presente revisão, seguindo os critérios propostos de GRADE *working group: The Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation* (66), sendo o escore apresentado nas tabelas de resultados de cada um dos protocolos avaliados. Artigos com GRADE (66) de 4 pontos ou mais foram classificados como de "alta qualidade", ao passo que estudos com GRADE (66) entre 2-4 pontos foram classificados como de "média qualidade", e estudos com pontuação abaixo de 2, foram classificados como de "baixa qualidade" (67).

RESULTADOS

Descrição dos Estudos

A estratégia de busca resultou em 816 artigos encontrados após a exclusão das duplicatas [609]. Após a leitura dos títulos e resumos, foram inclusos dois resumos de congresso e selecionados 67 artigos, totalizando 69 estudos como potencialmente relevantes e retomados para análise detalhada. Vinte e um desses estudos (2 resumos e 19 artigos) preencheram os critérios de elegibilidade e foram incluídos na revisão sistemática. Além disso, estudos que avaliaram unicamente não-atletas não foram incluídos nesta revisão. A Figura 2 mostra o fluxograma dos estudos incluídos nessa análise e as Tabela 1, 2 e 3 resume as características desses estudos.



Figura 2. Fluxograma dos estudos incluídos na revisão.

Carga Incremental

A partir dos estudos incluídos nesta revisão sistemática, seis destes estudos avaliaram a cinética e/ou a cinemática da pedalada durante testes incrementais (50-52, 64, 68, 69). Black et al. (51) encontraram aumento da dorsiflexão do tornozelo, bem como da FR e força efetiva (FE) com o aumento da carga de trabalho do teste incremental. Corroborando com estes achados, Zameziati et al. (52) também encontraram aumento da força total (FT) e IE, e Bini et al. (70) encontraram aumento da potência e do torque aplicado nos pedivelas com o aumento da carga de trabalho durante o teste incremental. Além disso, Carpes et al. (69) encontraram aumento do deslocamento mediolateral do joelho, especialmente no membro inferior não dominante (MIND), enquanto que Bini e Diefenthaler (64) encontraram aumento do torque dos grupos musculares flexores plantares, flexores do joelho e quadril, bem como alterações na amplitude articular do tornozelo e quadril, com o aumento da carga de trabalho. Por outro lado, Bini et al. (50) encontraram aumento da amplitude articular do tornozelo em ciclistas/triatletas e não atletas, sem alterações nas articulações no quadril e joelho quando houve aumento da carga de trabalho durante teste incremental (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo dos resultados de estudos que investigaram os efeitos da fadiga muscular no teste incremental máximo de ciclismo.

Estudos	Amostra	GRADE	Principais Resultados	
			Scores	Teste Incremental Máximo
Black et al. (51)	5 Ciclistas de Estrada Competitivos	1	25 W/min até a exaustão e cadência de ~80 rpm	↑ Dorsiflexão do tornozelo; e ~100% de ↑ FR, FE com a exaustão
Carpes et al. (69)	5 Ciclistas de Estrada e MTB Competitivos	2	50 W/5 min até a exaustão e cadência entre 75 e 100 rpm	↑ 60% do deslocamento lateral do joelho (MIND) com a exaustão
Zameziati et al. (52)	10 Sujeitos Saudáveis	3	30 W/min até a exaustão e cadência de 80 rpm	↑ FT e IE
Bini et al. (70)	11 Ciclistas de Estrada	2	Carga inicial a 60% da máxima predita por 4 min; após cada 2 min aumento para 75, 90 e 100% e cadência entre 80 e 100 rpm	↑ PO e torque aplicado nos pedais
Bini e Diefenthaeler, (2010)	11 Ciclistas de Estrada Competitivos	4	Carga inicial a 60% da máxima predita por 4 min; após cada 2 min aumento para 75, 90 e 100% respectivamente e cadência entre 70 e 110rpm.	↑ 42% no momento de flexores plantares; ↑ 38% para os flexores do joelho; e ↑ 39% para os flexores do quadril; sem alterações no momento nos flexores dorsais; extensores do joelho e extensores do joelho. ↑ Amplitude articular do tornozelo e quadril; sem alterações na articulação do joelho.
Bini et al. (50)	15 Ciclistas e Triatletas Competitivos; e 14 Não-atletas	5	25 W/min até a exaustão e cadência de ~90 rpm	↑ Amplitude articular do tornozelo, Atletas (17%) e não-atletas (25%), sem alterações nas articulações do quadril e joelho

MTB = Mountain Bike; PO = Potência máxima; FR = Força resultante; FE = Força efetiva; IE = Índice de efetividade; FT = Força total; MIND = Membro inferior não dominante.

Carga Constante

Oito estudos realizaram a avaliação de parâmetros cinéticos e/ou cinemáticos em testes de exaustão em ciclismo com cargas constantes (10, 12, 14, 63, 71-74). Os estudos que utilizaram a carga de trabalho correspondente a

100% da potência máxima de um teste incremental, encontraram aumento da FE (63), bem como aumento do torque (N.m) nas articulações do quadril, joelho e tornozelo (12), sem alterações na FR e IE de ciclistas (63). Entretanto, no caso de triatletas, houve aumento de 18% na FR durante o teste incremental (10) (Tabela 2).

Por outro lado, Dingwell et al. (72) encontraram aumento na plantiflexão do tornozelo, bem como aumento da flexão do tronco, sem alterações nas articulações do quadril e joelho. Além disso, Bini et al. (12) e Diefenthaler et al. (10) também encontraram aumento na amplitude articular do tornozelo, e redução da amplitude articular do quadril (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados de estudos que investigaram os efeitos da fadiga muscular no teste de carga constante no ciclismo.

Estudos	Amostra	GRADE	Metodologia	Principais Resultados
		Scores		
Amoroso et al. (71)	11 Ciclistas de Estrada Competitivos	2	Carga 300 W a 80 rpm	↑ 1,5° no ângulo de extensão do quadril e ↑ 4,1° dorsiflexão do tornozelo; sem alterações da FR, FE e IE.
Sanderson e Black, (14)	12 Ciclistas de Estrada Competitivos	4	Carga 80% da potência máxima a 90 rpm	↑ 18% ângulo extensão do quadril, ↑ 12% na flexão do Joelho e ↑ 17% na plantiflexão; ↑ 11% na FE, sem alterações no IE.
Dingwell et al. (72)	10 Ciclistas de Estrada Competitivos	4	Carga 100% da potência máxima a 90 rpm	↑ Ângulo de plantiflexão, sem alterações no quadril e joelho.
Dorel et al. (73)	10 Ciclistas de Estrada Competitivos	4	Carga 80% da potência máxima a 95 rpm	↑ 7% na FE, sem alterações no IE;
Wiest et al. (74)	4 Ciclistas (MTB) Competitivos	0	1 horas com carga a 80% do VO _{2MAX} e cadência entre 90 e 100 rpm	↑ 75% na amplitude de movimento do tornozelo ao longo do teste, sem alterações nas articulações do quadril e joelho. ↓ 13% no torque do tornozelo e ↑ ~50 no torque das articulações do quadril e joelho; ↓ ~7% na amplitude de movimento do quadril e ↑ ~35% no tornozelo.
Bini et al. (12)	10 Ciclistas de Estrada Competitivos	5	Carga 100% da potência máxima e cadência preferida	↑ 35% na FE, sem alterações na FR e IE; ↑ 47% na amplitude articular do tornozelo.
Diefenthaeler et al. (11)	8 Ciclistas de Estrada Competitivos	3	Carga 100% da potência máxima e cadência preferida	↑ 35% na FE, sem alterações na FR e IE; ↑ 47% na amplitude articular do tornozelo.
Diefenthaeler et al. (10)	14 Triatletas Competitivos	5	Carga 100% da potência máxima e cadência preferida	↑ 18% na FR

MTB = Mountain Bike; FR = Força resultante; FE = Força efetiva; IE = Índice de efetividade; VO_{2MÁX} = Consumo Máximo de Oxigênio.

Carga Variável (Contrarrelógio)

Outro modelo experimental comumente utilizado com fins de avaliar aspectos mecânicos da fadiga no ciclismo é a simulação de provas em laboratório, ou testes de contrarrelógio (13, 55, 58, 60-62). A maioria dos estudos com este modelo encontrou aumento da potência (PO), do torque no pedivela e da FE no final do teste de contrarrelógio (55, 58, 60-62). Bini e Hume (62)

encontraram também um aumento da FR e IE no final do teste de contrarrelógio. Além disso, Sayers et al. (13) encontraram aumento na amplitude de movimento do quadril, redução da amplitude do tornozelo, sem alterações no joelho, durante um teste de contrarrelógio de 60 minutos (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados de estudos que investigaram os efeitos da fadiga muscular no teste com carga variável de ciclismo.

Estudos	Amostra	GRADE	Metodologia	Principais Resultados
		Scores	Teste de Carga Variável (Contrarrelógio)	
Albertus et al. (55)	15 Ciclistas de Estrada Competitivos	5	Contrarrelógio de 20 Km	↑ 30% na PO no final do teste
Carpes et al. (58)	1 Triatleta Competitivo	0	Contrarrelógio de 40 Km	↑ ~40% na PO e ↑ FE no final do teste
Duc et al. (78)	9 Ciclistas de Estrada Competitivos	4	Contrarrelógio de 30 Min	Sem alterações no torque aplicado nos pedivelas
Carpes et al. (61)	6 Ciclistas de Estrada Recreacionais	4	Contrarrelógio de 40 Km	↑ 16% no torque aplicados nos pedivelas no final do teste
Bini et al. (60)	8 Triatletas Competitivos	4	Contrarrelógio de 40 Km	↑ 16% na PO no final do teste
Sayers et al. (13)	10 Ciclistas de Estrada Competitivos	4	Contrarrelógio de 60 Min	↑ 5% na amplitude de movimento do quadril e ↓ 12% no tornozelo, sem alterações no joelho
Bini e Hume (68)	10 Ciclistas de Estrada ou Triatletas Competitivos	4	Contrarrelógio de 4 Km	↑ ~10% na PO durante o teste

PO = Potência; FE = Força efetiva

DISCUSSÃO

Fadiga no Ciclismo

A maior parte dos estudos envolvendo a avaliação da fadiga muscular combina medição de força e da ativação elétrica dos músculos, feita por meio da técnica da eletromiografia de superfície (EMG). No entanto, questiona-se a utilização da EMG com fins de determinar os efeitos da fadiga sobre a velocidade de condução do potencial de ação das unidades motoras durante contrações

dinâmicas, como no caso do ciclismo (75). A velocidade de condução do potencial de ação parece ser reduzida com a instalação da fadiga, devido a fadiga das unidades motoras de maior tamanho. De forma paralela, é possível avaliar a ativação muscular com fins de determinar a magnitude desta e de que forma a fadiga afeta esta variável. Tem se observado que, em atividades submáximas, parece ocorrer um aumento compensatório na magnitude da ativação muscular devido ao recrutamento adicional de unidades motoras, com o objetivo de manutenção da força produzida (8). Portanto, a análise da ativação muscular durante o gesto da pedalada torna-se válida quando mensurada juntamente com a força ou potência produzida, e com a medição da cadência de pedalada nos diferentes modelos de protocolos para avaliar o desempenho no ciclismo. Estas alterações nas forças associadas a instauração dos processos de fadiga do ciclismo, podem trazer respostas importante sobre os efeitos da fadiga muscular na aplicação de forças no pedal ou mesmo torques articulares durante a pedalada.

Carga Incremental

Sanderson e Black (14) analisaram o comportamento dos torques articulares resultantes durante testes de carga incremental. Os autores observaram aumento nos valores de pico dos torques articulares no tornozelo (maior torque flexor plantar), joelho (maior torque flexor) e quadril (maior torque extensor) com o aumento da carga. Partindo-se do pressuposto que os torques articulares são sensíveis à instalação da fadiga muscular, e que o somatório absoluto dos torques articulares seria um indicador importante da fadiga muscular, é possível inferir que há aumento na demanda de força muscular ao longo de um teste de carga incremental.

Além disso, Black et al. (51) observaram aumento na efetividade das forças aplicadas no pedal, com concomitante aumento na FR, devido ao aumento da carga de trabalho no teste incremental. Os autores destacam que ocorreu aumento no ângulo de dorsiflexão do tornozelo, indicando mudança na cinemática devido ao aumento da carga de trabalho e a ocorrência da fadiga. Black et al. (51) indicam que ocorre melhora da técnica de pedalada com o aumento da carga de trabalho e, assim, um conseqüente aumento da eficiência

de pedalada. Os autores ainda sugerem a avaliação dos torques resultantes nas articulações do membro inferior com o objetivo de compreensão do padrão coordenativo com o aumento progressivo da carga de trabalho. Corroborando com os estudos anteriores, Bini e Diefenthaler (64) encontraram aumento do torque de flexores plantares, flexores do joelho e flexores do quadril, sem alterações do torque nos flexores dorsais, extensores do joelho e extensores do joelho no teste com carga incremental. Além disso, os autores também encontraram aumento da amplitude articular do tornozelo e quadril, sem alterações na articulação do joelho com o aumento da carga de trabalho.

Já Zameziati et al. (52) observaram aumento do IE com o aumento da carga de trabalho até a exaustão voluntária, sendo este explicado por uma melhora na técnica de pedalada durante a fase de recuperação do ciclo da pedalada. Estes achados se devem ao melhor aproveitamento da força produzida pelos músculos e consequente melhora na técnica de pedalada com o aumento da carga de trabalho no teste incremental. Bini e Hume (68) complementam ainda que o aumento progressivo da carga de trabalho provoca aumento da força normal e anteroposterior aplicada aos pedais. Bini e Diefenthaler (64) comentam ainda que a melhora da técnica de pedalada pode estar associada ao aumento da demanda de força, o qual deve ser compensado por aumento da força dos músculos flexores do quadril e do joelho.

Bini et al. (50) avaliaram a cinemática articular do membro inferior direito durante teste incremental máximo, e encontraram aumento da amplitude articular do tornozelo com o aumento da carga de trabalho em ambos os grupos (ciclistas e não atletas). Os autores sugerem que, para a sustentação do trabalho mecânico com o aumento da carga de trabalho, seria necessário um aumento da velocidade de encurtamento dos músculos flexores plantares, o qual estaria relacionado à necessidade de aumento na produção de potência muscular.

Percebe-se, a partir dos resultados dos estudos com carga incremental, que ocorrem alterações na cinética e na cinemática com o processo de instalação da fadiga. Estas alterações na cinética e na cinemática implicam na mudança do padrão coordenativo do gesto da pedalada com o processo de instauração da fadiga, sendo este relacionado com o controle da produção de

força muscular durante o gesto. Este controle está relacionado ao aumento da força produzida pelos músculos flexores do quadril e joelho com o aumento da exigência mecânica durante teste incremental (76).

Carga Constante

A literatura descreve mudanças nas variáveis cinéticas e cinemáticas devido ao processo de instauração da fadiga nos modelos experimentais de carga constante até a exaustão (71). Alterações nos torques articulares já foram relatadas nesse modelo experimental (14). A fim de que se possa melhor entender os efeitos da fadiga na musculatura que age sobre as diferentes articulações do membro inferior durante o ciclo da pedalada nesse modelo, se torna importante avaliar a contribuição de cada articulação para o somatório absoluto dos momentos articulares. Mornieux et al. (77) sugerem que parece não ocorrer mudança na contribuição de cada articulação para o somatório absoluto dos momentos articulares como efeito do processo de instauração da fadiga em protocolo de carga constante até a exaustão.

O comportamento dos torques articulares resultantes, durante o protocolo de ciclismo com carga constante até a exaustão, foi investigado por Sanderson e Black (14). Estes autores encontraram mudanças nos valores de pico dos torques articulares no tornozelo (maior torque flexor plantar), joelho (maior torque flexor), e quadril (maior torque extensor) no final do protocolo de exaustão. A única avaliação feita até o momento do padrão coordenativo, por meio da análise dos torques articulares, foi descrita por Mornieux et al. (77) que, ao reanalisarem os resultados de Sanderson e Black (14), observaram manutenção no padrão coordenativo (contribuição dos torques de cada articulação para o torque total do membro inferior) durante o protocolo de fadiga. Da mesma forma, apenas uma análise foi feita em relação ao comportamento das forças articulares, com o objetivo de compreender como estas são influenciadas pelo processo de instauração da fadiga, ou como elas podem influenciar o processo de fadiga. Bini et al. (12) avaliaram ciclistas em um protocolo de ciclismo com carga correspondente a carga de um teste incremental máximo prévio. Os autores analisaram a contribuição e o comportamento dos torques articulares das articulações do quadril, joelho e tornozelo. Neste estudo, houve redução da

contribuição da articulação do tornozelo no final do teste, sugerindo diferente contribuição mecânica desta articulação em relação aos relatos anteriores. Isto se deve à dificuldade dos músculos desta articulação (tríceps sural) em transferir força para o pedal em consequência dos efeitos da fadiga. Também houve aumento do torque resultante das articulações do quadril e joelho no final do teste. Este aumento da contribuição do torque destas articulações se deve à tentativa de manutenção do desempenho pelos ciclistas. Além disso, Diefenthaler et al. (63) avaliaram oito ciclistas durante um protocolo de ciclismo com carga relativa a 100% da PO_{MAX} até a exaustão. Estes autores observaram que o IE não apresentou alterações significativas, indicando manutenção do padrão técnico da força aplicada no pedal com o processo de instauração da fadiga, possivelmente como uma estratégia para manutenção da carga de trabalho durante exercício de intensidade elevada. Dorel et al. (73) associam, ainda, que o recrutamento muscular é alterado com o processo de fadiga devido às alterações na capacidade de produção de força durante o ciclo de pedalada.

Por outro lado, Amoroso et al. (71) observaram aumentos significativos na extensão do quadril e de dorsiflexão tornozelo como resposta aos efeitos da fadiga. Os autores reportam ainda que não foram encontradas diferenças significativas na FR, na FE e na técnica da pedalada, esta última mensurada por meio do IE. Entretanto, os picos de força normal e tangencial foram maiores no final do teste. Sanderson e Black (14) observaram aumento do pico da força efetiva após um protocolo de ciclismo em carga constante até a exaustão (80% do $VO_{2MÁX}$), assim como a redução do pico negativo da força efetiva na fase de recuperação da pedalada. Os ângulos de extensão do quadril e do joelho também foram alterados para maiores ângulos de extensão. Estes resultados nos permitem observar que ocorrem mudanças nas variáveis cinéticas e cinemáticas em um protocolo de ciclismo com carga constante até a exaustão voluntária, e que essas mudanças podem ser resultado de estratégias musculares intrínsecas para manutenção do exercício. Dingwell et al. (72) associam as mudanças das amplitudes articulares com mudanças no recrutamento muscular avaliado por meio de mediana da frequência (MDF) com a instauração do processo de fadiga nos músculos dos membros inferiores. Dingwell et al. (72) encontraram aumento dos ângulos de plantiflexão, sem

alterações nos ângulos articulares do joelho e quadril. Estes resultados estavam associados à redução da MDF do músculo gastrocnêmio medial, o que acarretaria nas alterações no ângulo de plantiflexão.

Carga Variável (Contrarrelógio)

Outro modelo experimental comumente utilizado com fins de avaliar aspectos neurofisiológicos da fadiga no ciclismo é a simulação de provas em laboratório (55, 57, 62). Este modelo possui como vantagem, em relação aos modelos de carga incremental e carga constante, o fato do ciclista escolher a intensidade de esforço, possibilitando a investigação dos fatores que determinam a escolha do ritmo de prova (59).

Duc et al. (78) simularam uma prova de 30 minutos contrarrelógio em cicloergômetro estacionário. Os autores analisaram o comportamento do torque aplicado nos dois pedivelas, assim como o valor médio do root mean square (RMS) e da MDF obtidos a cada cinco minutos de teste. Não houve alteração significativa no RMS e na MDF ao longo dos 30 minutos de ciclismo contrarrelógio. O padrão da curva de torque também não apresentou alteração, assim como a relação da média dos valores RMS/torque, sugerindo que não ocorreu fadiga central e/ou periférica nos indivíduos avaliados. Bini et al. (60) observaram que triatletas submetidos a protocolo de ciclismo de 40 km contrarrelógio aumentaram a potência e o consumo de oxigênio (VO_2) nos minutos finais do protocolo. Da mesma forma, foi observado um aumento no RMS do músculo vasto lateral ao longo do teste, sem alteração na ativação dos demais músculos avaliados (tibial anterior, gastrocnêmio medial, reto femoral e bíceps femoral), o que, segundo os autores, sugere um tipo de ativação seletiva com objetivo de melhora no desempenho e minimização da fadiga muscular. A ativação seletiva dos músculos durante a pedalada pode acarretar em uma mudança nas forças aplicadas no pedal, assim como uma alteração nos torques articulares. Esta hipótese em relação aos torques articulares não foi testada nos estudos apresentados na literatura até o presente momento, assim como não são encontrados na literatura estudos avaliando os torques articulares durante situações competitivas (exemplo: protocolo de prova simulada em laboratório).

Porém, quatro estudos encontrados nesta revisão encontraram aumento da PO, FR, FE, IE e torque ao final dos testes de contrarrelógio (55, 58, 60-62). Estes estudos sugerem que há melhoras da técnica de pedalada no final de teste de contrarrelógio, e que esta pode estar associada ao melhor aproveitamento da força gerada (exemplo: FR) para gerar a propulsão da bicicleta. A melhora da técnica de pedalada no final do teste está associada também ao controle da intensidade de esforço durante o teste, o qual é aumentado próximo ao final do teste, podendo estar associados ao aumento da ativação muscular e melhora do recrutamento muscular, propiciando assim maior eficiência neuromuscular (60).

Por outro lado, Sayers et al. (13), encontraram resultados distintos ao avaliarem a cinemática articular de membros inferiores em ciclistas competitivos durante teste de contrarrelógio de 60 minutos com carga correspondente ao segundo limiar de lactato (OBLA), mensurado em teste incremental. Os autores encontraram aumento da extensão do quadril e dorsiflexão do tornozelo quando comparado o início do teste de contrarrelógio com o final do mesmo teste. No entanto, os autores comentam que, quando comparado a estudos até a exaustão, há uma variação de aproximadamente 10° a menos de amplitude articular do tornozelo para o teste de contrarrelógio. Além disso, as alterações na articulação do quadril poderiam estar relacionadas a mudanças rotacionais da pelve. As mudanças ocorridas na articulação do tornozelo estariam relacionadas ao aumento da utilização do ciclo alongamento-encurtamento. Este mecanismo pode estar relacionado ao aumento da velocidade de encurtamento muscular por meio da liberação da energia elástica absorvida pelos músculos do tornozelo durante a fase excêntrica do ciclo de pedalada (64) durante a fase concêntrica, propiciando aumento da potência produzida pelo ciclo alongamento-encurtamento dos músculos flexores plantares (79).

A mensuração das forças resultantes nas articulações, assim como da cinemática articular, permite o entendimento das estratégias de movimento adotadas pelo sistema nervoso central (SNC) para gerar força durante a pedalada. Além dessas forças musculares, a transferência de energia mecânica entre as diferentes articulações do membro inferior no ciclismo, que ocorre por meio das forças de contato intersegmentar (80) por meio da tensão gerada pelos

músculos bi-articulares (81, 82), contribui para a força resultante sobre o eixo articular. O entendimento dos efeitos do processo de fadiga sobre a sobrecarga articular, por meio da estimativa das forças e torques resultantes nas articulações, fornece indícios de como os aspectos coordenativos do movimento da pedalada são afetados pela fadiga no ciclismo. Contudo, nenhum estudo foi encontrado em relação ao comportamento dos torques das articulações do quadril, joelho e tornozelo durante o ciclo de pedalada em provas simuladas de contrarrelógio. Tal estudo nos possibilitaria compreender como as ações articulares são influenciadas pelo processo de fadiga, e quais alterações cinéticas e cinemáticas, decorrentes desse processo de fadiga durante protocolos com cargas variáveis, têm implicações diretas sobre o desempenho no ciclismo.

Análise Crítica da Literatura

A tentativa de compreensão do processo de instauração da fadiga utilizando os protocolos de carga incremental e de carga constante no ciclismo parecem trazer informações relevantes acerca das repercussões da fadiga sobre a cinética e a cinemática no ciclismo. No entanto, poucos são os estudos que buscaram relacionar as implicações da fadiga com a coordenação de movimento no ciclismo (60, 77, 78), o que indica uma lacuna na literatura acerca dos efeitos da fadiga sobre o controle motor no gesto da pedalada. A vantagem dos modelos experimentais de carga incremental e carga constante em relação ao modelo contrarrelógio reside no controle da intensidade de esforço e na possibilidade de conduzir o ciclista avaliado à condição de exaustão, o que muitas vezes não acontece no modelo contrarrelógio (60, 78). Entretanto, o modelo contrarrelógio possibilita avaliar o desempenho de ciclistas em uma situação mais próxima de uma situação real de prova de ciclismo, o que não ocorre com os dois outros modelos.

A revisão da literatura específica do ciclismo revelou a existência de uma lacuna em relação a estudos de intervenção nos processos de fadiga durante testes de ciclismo até a exaustão. Estudos com retreinamento do gesto por meio de diferentes técnicas [exemplo: a partir da correção de assimetrias da pedalada (62); uso da pedalada unilateral durante o período de treinamento], assim como

o uso de recursos ergogênicos (tal como a laserterapia de baixa potência) (83), são algumas das estratégias que podem auxiliar na manutenção do padrão de movimento da pedalada, postergando o processo de fadiga decorrente de protocolos de exaustão em ciclistas.

CONCLUSÃO

Alterações angulares foram encontradas nas articulações do quadril, joelho e tornozelo, associadas a mudanças no direcionamento das forças aplicadas ao pedal (melhora da técnica de pedalada) durante testes de ciclismo incrementais e/ou constantes, parecem estar relacionados a estratégias musculares intrínsecas para manutenção do trabalho e postergar os efeitos da fadiga. A compreensão destas alterações cinéticas e cinemáticas provocadas pelos processos de fadiga durante o ciclismo, pode permitir a elaboração de estratégias para otimizar a transferência de energia mecânica dos segmentos (membros inferiores) para os pedivelas e, assim, postergar o processo de instauração da fadiga muscular.

CAPITULO 2

LASERTERAPIA DE BAIXA POTÊNCIA PROVOCA MELHORA DO DESEMPENHO E REDUÇÃO DA FADIGA EM CICLISTAS COMPETITIVOS

Fábio Juner Lanferdini; Rodrigo Rico Bini; Bruno Manfredini Baroni; Kelli Daiana Klein; Felipe Pivetta Carpes; Marco Aurélio Vaz

Submetido ao *International Journal of Sports Physiology and Performance*

RESUMO

Evidências suportam que a Laserterapia de Baixa Potência (LBP) minimizam os efeitos da fadiga muscular sobre o desempenho, principalmente em modalidades esportivas com um grande componente aeróbico, tal como o ciclismo. Entretanto, ainda não está claro na literatura qual a dosagem ideal de LBP a ser utilizada nessas atividades. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de diferentes dosagens de LBP sobre o desempenho em teste de tempo de exaustão em ciclistas. Além disso, foi analisado os efeitos do LBP sobre o conteúdo de frequências dos sinais de EMG. Vinte ciclistas competitivos do sexo masculino participaram de um estudo, randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. Os atletas realizaram teste incremental de ciclismo até a exaustão (dia 1), seguido de outros quatro testes até a exaustão (dias 2 a 5) na potência máxima individual ($PO_{MÁX}$) do teste incremental. Antes de cada teste de exaustão, diferentes dosagens de LBP (3, 6 e 9 J/diodo, ou 135, 270 e 405 J/coxa, respectivamente) ou placebo. Aumento do desempenho nos testes de exaustão foi observado com a LBP-3J (~22 s; $p < 0,01$), LBP-6J (~13 s; $p = 0,03$) e LBP-9J (~13 s; $p = 0,02$), comparado com o placebo (149 ± 23 s). Embora LBP-6J e LBP-9J não aumentaram a ativação muscular em comparação com o placebo, a LBP-3J, aumentou a ativação das bandas de alta frequência em comparação com o placebo no final do teste de exaustão, em ambos os membros inferiores ($p \leq 0,03$). Em conclusão, a LBP aumenta o tempo de exaustão em ciclistas competitivos, e esta intervenção pode ser um possível agente ergogênico para aumentar o desempenho no ciclismo.

ABSTRACT

Evidence supports that low-level laser therapy (LLLT) minimizes fatigue effects on muscle performance. However, the ideal LLLT dosage to improve athletes' performance during sports activities, such as cycling, is still unclear. Therefore, the goal of this study was to investigate the effects of different LLLT dosages on cyclists' performance during a time-to-exhaustion test. In addition, we looked at the effects of LLLT on the frequency content of the EMG signals to assess fatigue mechanisms. Twenty male competitive cyclists participated in a crossover, randomized, double-blind and placebo controlled trial. They performed an incremental cycling test to exhaustion (day 1) followed by four time-to-exhaustion tests (days 2 to 5) at their individual maximal power output (PO_{MAX}). Before each time to exhaustion test, different LLLT dosages (3, 6 and 9 J/diode; or 135, 270 and 405 J/thigh, respectively) or placebo were applied at the quadriceps muscle bilaterally. Power output and muscle activation from both lower limbs were acquired throughout the tests. Increased performance at the exhaustion tests was observed with the LLLT-3J (~22 s; $p < 0.01$), LLLT-6J (~13 s; $p = 0.03$) and LLLT-9J (~13 s; $p = 0.02$) compared to placebo (149 ± 23 s). Although LLLT-6J and LLLT-9J did not show significant differences in muscle activation compared to placebo, LLLT-3J led to an increased high frequency content compared to placebo in both limbs at the end of the exhaustion test ($p \leq 0.03$). In conclusion, LLLT increased time-to-exhaustion in competitive cyclists, suggesting this intervention as a possible non-pharmacological ergogenic agent in cycling.

INTRODUÇÃO

A LBP, é uma modalidade de fototerapia (exemplo: uso de energia luminosa para fins terapêuticos) utilizada desde a década de 1960 (84). A LBP é conhecida principalmente por ajudar na cicatrização de feridas cutâneas (22) e regeneração tendínea (23), muscular (24), e tecidos nervosos (25), assim como pelos seus efeitos positivos na redução da dor (26) e respostas inflamatórias (27). Na última década, estudos em modelos animais e em humanos têm investigado os efeitos da fototerapia (especialmente LBP e *Light Emitting Diodes*

Therapy - LEDT) aplicada previamente ao exercício sobre o desempenho muscular e fadiga.

Lopes-Martins et al. (28) foram pioneiros no estudo desta técnica de fototerapia, demonstrando os efeitos positivos da fototerapia na fadiga muscular dos músculos isolados de ratos submetidos a um protocolo de estimulação elétrica neuromuscular. Estudos subsequentes apoiaram estas descobertas com sapos (85), ratos (86) e cultura de células (87). Estudos em humanos envolvendo o uso da LBP e/ou LEDT, demonstraram eficácia da aplicação prévia sobre exercícios isoinercial (30-32, 38), isométrico (33, 88, 89), isocinético (34, 35), ciclismo (36, 37, 90) e corrida em esteira (39, 91). Uma revisão sistemática (20) e uma meta-análise (92) concluem que a fototerapia é um agente potencialmente eficaz para combater os efeitos da fadiga sobre a função muscular.

Apesar dos resultados promissores em estudos que envolvem exercícios de força (29-35, 88) e corrida na esteira (39, 93), evidências envolvendo testes de ciclismo (29, 36, 37, 90) não encontraram melhoras do desempenho após a aplicação de fototerapia. Estes estudos investigaram sujeitos não treinados saudáveis (90), jogadores de voleibol profissional (94), e atletas de futebol jovens (29). Os resultados demonstraram ser positivos e parciais (somente redução dos marcadores bioquímicos relacionados à fadiga muscular e danos foram encontrados) sem melhora no desempenho no ciclismo durante o teste de Wingate, que pode estar relacionado à baixa de familiarização dos participantes com os movimentos do ciclismo.

Outro fator importante é o efeito da dose-resposta de fototerapia (95, 96). Até agora, não há consenso sobre a quantidade ideal de energia luminosa (dosagem) para minimizar a fadiga em seres humanos. Por exemplo, em estudos envolvendo os músculos flexores do cotovelo em exercícios isotônicos/isométricos (30-33, 38), as doses utilizadas foram entre 0,9-6 J/diodo [ou uma dose total de 20-60 J/músculo]. Estudos com músculos extensores do joelho irradiaram com energia entre 0,3-0,9 J/diodo [125 J/músculo (35, 88)] ou 6 J/diodo [180 J/muscular (34)], previamente a exercícios isométricos e isocinéticos. Além disso, em estudos envolvendo atividades funcionais, Ferraresi et al. (93) aplicaram dose de 0,75 J/diodo [37,5 J/músculo] e De Marchi et al. (39)

aplicaram dose de 6 J/diodo [180 J/músculo] prévios a corrida em esteira, e foram bem sucedidos na melhora do desempenho, enquanto que doses entre 0.3-6J/diodo [12-83 J/muscular] foram aplicados prévios a testes de ciclismo, sem provocar melhoras de desempenho (29, 37, 90, 94). Portanto, embora as evidências existentes sugerem o uso de dosagens entre 5-6 J/diodo, doses menores tem sido utilizadas para evitar uma overdose na área irradiada (92).

Quaisquer efeitos potenciais de doses LBP também poderiam refletir em alterações nos componentes de alta e baixa frequência de ativação muscular de membros inferiores durante o ciclismo, uma vez que são afetados pela fadiga muscular durante a prática de ciclismo em alta intensidade (97). Embora tenha sido estabelecido que, durante a fadiga, há redução no percentual de ativação de unidades motoras de alta frequência e um aumento no recrutamento de unidades motoras de baixa frequência (98), contudo, isto não é consistente para o ciclismo. Macdonald et al. (99) e Cannon et al. (100) não observaram alterações na velocidade de condução da fibra muscular e conteúdo do sinal de EMG, respectivamente, durante protocolo de exaustão em ciclismo. Diferentemente, Diefenthaler et al. (11) encontraram aumento na ativação da banda de baixa frequência no músculo bíceps femoral durante o ciclismo até a exaustão, o que poderia estar associado a mudanças na técnica de pedalada (73). Portanto, não está claro se o conteúdo de bandas de frequência de EMG durante o ciclismo é afetado pela instauração dos processos de fadiga e se estas mudanças podem ser alteradas com o uso de LBP.

Portanto, o objetivo principal deste estudo foi investigar os efeitos de quatro diferentes dosagens de LBP sobre o desempenho durante teste de exaustão em ciclistas competitivos. Além disso, o segundo objetivo do estudo foi investigar os efeitos da aplicação de LBP sobre as propriedades espectrais de EMG (total, altas e baixas frequências) durante o teste de exaustão.

Com base em evidências anteriores, a hipótese deste estudo foi que a aplicação prévia de LBP, independentemente da dose, provoca melhoras no desempenho em comparação ao efeito placebo. Além disso, se espera maior ativação de alta frequência no final do teste de exaustão em situações de LBP em comparação com o placebo. Dada a falta de estudos comparando o efeito de

diferentes doses de LBP sobre o desempenho humano, não temos nenhuma hipótese sobre a dosagem ideal para ciclistas neste estudo, uma vez que não se conhece ainda a dose ótima para minimizar os efeitos da fadiga.

MATERIAIS e MÉTODOS

Participantes

Vinte ciclistas do sexo masculino com 29 ± 7 anos de idade; 77 ± 10 kg de massa corporal; e $179 \pm 8,1$ cm de altura participaram do estudo. Os atletas possuíam experiência de treinamento de $\sim 2,5$ anos; e volume de treinamento de 4,6 dias e ~ 260 km/semana [Categoria Clube de acordo com Ansley e Canglely (101)]. Antes da entrevista de seleção, todos os procedimentos foram apresentados aos participantes que assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido para participar do estudo, que foi aprovado pela Comissão de Ética de Pesquisa em Seres Humanos, onde o estudo foi realizado (número 708,362).

Desenho Experimental

Este estudo caracteriza-se como um crossover, randomizado, e duplo-cego controlado com placebo. Os ciclistas participaram de cinco sessões de testes em laboratório. Na sua primeira sessão, foram realizados o teste incremental e a familiarização com o teste de tempo de exaustão. Nas outras sessões (dias 2-5), os ciclistas realizaram testes de tempo de exaustão após a aplicação de diferentes doses de LBP (3, 6 ou 9 J/díodo) ou placebo nos músculos extensores do joelho, em uma ordem aleatória (Figura 3).

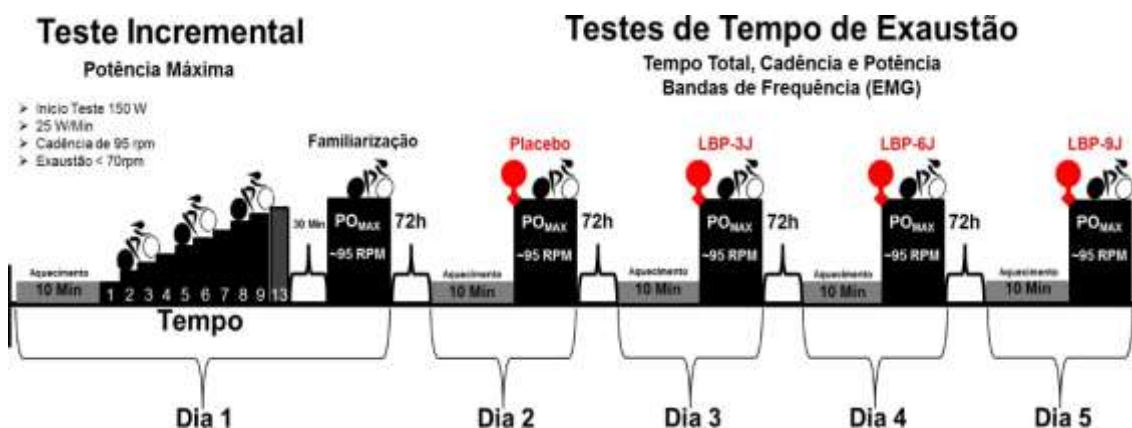


Figura 3. Delineamento experimental do estudo.

Procedimentos

Na primeira sessão, foi avaliada a antropometria (estatura e massa corporal) de acordo com a International Society for the Advancement of Kinanthropometry - ISAK (102). Depois disso, os ciclistas realizaram aquecimento com potência de 150 W durante 10 minutos. Os ciclistas foram testados usando um padrão de bicicleta de ciclismo de estrada (Giant TCR avançada, EUA) com a configuração de guidão e posição de selim definidos para suas características antropométricas (103). A bicicleta foi acoplada sobre um ciclossimulador estacionário (CompuTrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, WA, EUA) para determinar a potência máxima - PO_{MAX} (em Watts) durante o teste incremental de ciclismo. Antes dos testes, a pressão da roda da bicicleta traseira foi calibrada de acordo com as instruções do fabricante (~100 psi), temperatura laboratorial (26-28°) e umidade (~50%) para minimizar os efeitos da temperatura sobre a pressão do pneu da bicicleta e as medições de potência (104). O incremento da carga no teste de rampa foi de 25 W a cada minuto (~0.42W/s) até a exaustão por meio de uma rotina utilizada no software do ciclossimulador (CompuTrainer, CS 1.6, Racermate Inc., Seattle, WA, EUA). A cadência foi mantida próxima a 95 ±5 rpm para todos os ciclistas, usando feedback visual. Após o teste incremental, os ciclistas pedalarão ~30 min a 50 W para fins de recuperação e, por fim, os ciclistas realizaram familiarização com o teste de tempo de exaustão na PO_{MAX} e cadência 95 ±5 rpm.

Nas sessões seguintes (2 a 5) os ciclistas retornaram ao laboratório (intervalo de 72 horas entre as visitas) para realizar testes de tempo de exaustão (PO_{MAX} a 95 ±5 rpm) após a aplicação de fototerapia: LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J ou placebo.

Tratamento de LBP/placebo

Os tratamentos de fototerapia (LBP e placebo) foram aplicados utilizando um equipamento de LBP (THOR Unidade DD2 Control, THOR® - Londres, Reino Unido), com um cluster de laser infravermelho, que consiste em cinco diodos de 810nm de comprimento de onda, e área do ponto com 0,029 cm² e 200 mW de potência de saída, a mesma utilizada nos estudos anteriores de nosso grupo de pesquisa (34, 35, 105). O tratamento com placebo foi realizado exatamente do

mesmo modo que o tratamento LBP, mas com o dispositivo desligado. Os tratamentos foram realizados imediatamente antes do teste de exaustão de ciclismo com a sonda mantida estacionária em contato com a pele em um ângulo de 90° com uma leve pressão. Os atletas utilizaram óculos opacos para a proteção e para bloquear sua visão (cegamento dos olhos). Portanto, o estudo, além de ser randomizado, também foi duplo-cego (cegamento dos atletas e do pesquisador responsável em relação ao tratamento). A randomização foi realizada por um desenho simples de lotes (A, B, C ou D) na primeira sessão de exercício, o que determinou a ordem de execução dos testes com as diferentes dosagens de LBP: LBP-3J (A), LBP-6J (B), LBP-9J (C), ou placebo (D). O código do sorteio foi entregue a um terapeuta que programou a unidade de controle de acordo com a dosagem LBP ou modo placebo. O terapeuta foi instruído a não comunicar o tipo de tratamento para os atletas, ou para o pesquisador responsável. A dosagem de placebo ou LBP foi aplicada em nove pontos sobre pele em cada uma das coxas previamente a cada teste de exaustão (Figura 4).

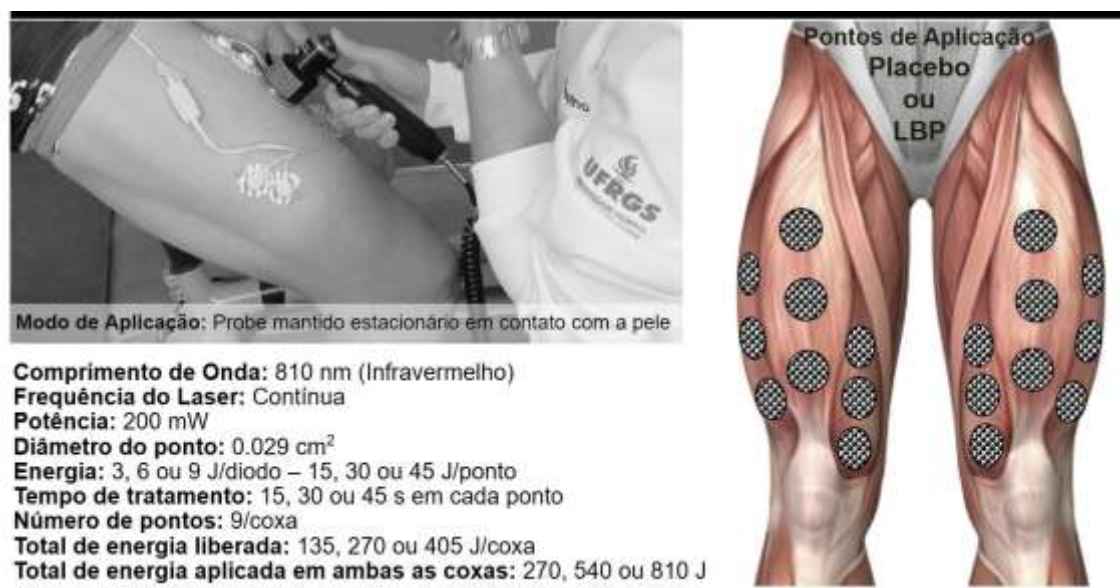


Figura 4. Parâmetros e locais de aplicação da Laserterapia de baixa potência (LBP) ou placebo previamente ao teste de tempo de exaustão, e ilustração dos pontos de aplicação em cada um dos atletas.

Teste de Tempo de Exaustão no Ciclismo

Nas sessões de 2 a 5, os ciclistas realizaram o teste de tempo de exaustão na sua PO_{MAX} com uma bicicleta de estrada posicionada sobre o ciclossimulador estacionário (Computrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, WA, EUA). A exaustão foi definida como o momento em que cada ciclista não foi capaz de manter a cadência acima de 70 rpm. Durante os testes de tempo de exaustão, a cadência e a potência (PO) foram medidas no ciclossimulador estacionário e a ativação muscular dos músculos extensores do joelho (VL, RF e VM) em ambos os membros foi monitorada com um sistema eletromiografia - EMG (Miotool 800, Miotec®, Brasil) a 2000 Hz de taxa de amostragem/canal. Pares de eletrodos Ag/AgCl (Medi-Trace 100, Kendall, Chicopee, Canadá; 22mm de diâmetro) na configuração bipolar foram posicionados sobre a pele após cuidadosamente raspar e limpar a área usando um algodão abrasivo e álcool, a fim de reduzir a impedância da pele como recomendado pela Sociedade Internacional de Eletrofisiologia e Cinesiologia (98, 106). Os eletrodos foram colocados sobre o ventre dos músculos (SENIAM), em paralelo às fibras musculares e fixados para a pele com micropore (3M Company, EUA). O eletrodo de referência foi colocado sobre a pele na face anterior da tíbia. Fitas elásticas foram utilizadas para fixar os cabos dos eletrodos e assim reduzir o movimento que pode gerar artefato dos mesmos no sinal EMG. A cadência, PO e os sinais EMG foram adquiridos de forma contínua durante os testes de tempo de exaustão.

Análise de dados

Os dados de cadência, PO e EMG durante os primeiros e os últimos 10 segundos do teste foram excluídos da análise para minimizar os efeitos de aceleração e de desaceleração sobre os dados. Os valores médios de cadência, PO e EMG foram obtidos do início (10-20s de teste), meio (10s centrais no meio do teste) e final (últimos 10s de teste) dos testes usando rotinas matemáticas escritas em ambiente MATLAB (MathWorks, EUA). A análise de conteúdo de frequência a partir dos sinais EMG do VL, RF e VM, de ambos os membros inferiores, foram calculados. Para a análise de conteúdo de frequência dos sinais EMG, foram utilizados múltiplos filtros passa-banda (descritos em mais detalhes em (11)). Os sinais de EMG de cada músculo foram filtrados usando filtros digitais

Butterworth com zero-atraso e quinta ordem, em nove frequências passa-banda. Cada um dos nove sinais de EMG foi filtrado e, em seguida, retificado em média por cada 10s de tempo de ensaio. A soma das nove bandas de frequência média foi calculada para a ativação total de cada músculo (isto é, a ativação de todas as bandas de frequência do sinal de EMG). A quinta, sexta e sétima (193,45 - 300,80 Hz) banda foram utilizadas para calcular os componentes de alta frequência dos sinais, as quais acredita-se representam a resposta de grandes unidades motoras (107). A primeira e segunda bandas (26,95 - 48,45 Hz) foram utilizadas para calcular as componentes de baixa frequência dos sinais, que representam a resposta de pequenas unidades motoras (107). Os valores médios dos valores retificados a partir das bandas de frequência alta e baixa foram normalizados pelo valor médio retificado do início ativação muscular total, para cada músculo, em cada uma das situações, para cada ciclista, em cada teste de exaustão. O valor retificado médio de ativação muscular no início, meio e final medido a cada teste de tempo de exaustão foi então normalizado pelo início ativação muscular total, para cada músculo, em cada uma das situações, para cada ciclista, em cada teste de exaustão, onde o efeito de fadiga foi mínimo. Todo o processamento de sinais foi realizado usando rotinas escritas em ambiente MATLAB (MathWorks, EUA). As bandas de frequência média $[(VL + RF + VM)/3]$ de ambos os membros inferiores (direito e esquerdo) foram computadas no início, meio e final dos testes para comparar os efeitos da dosagem LBP (0J, 3J, 6J e 9J/diodo).

Análise Estatística

A normalidade e homogeneidade dos dados foram avaliadas com os testes de Shapiro-Wilk e Mauchly, respectivamente. O teste ANOVA para medidas repetidas foi utilizado para comparar o tempo de exaustão entre as quatro diferentes condições de fototerapia (placebo, LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J). As comparações de tempo de exaustão foram realizadas utilizando transformação logarítmica dos dados. O teste MANOVA foi utilizado para comparação de cadência entre as diferentes condições de fototerapia (placebo, LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J) para o início, meio e fim dos testes de exaustão. O teste MANCOVA (utilizando a cadência como covariante) foi utilizado para a

comparação de PO e bandas de frequências entre as condições LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J e placebo no início, meio e fim do teste de tempo de exaustão. A fim de encontrar as diferenças significativas exatas, foi utilizado os teste post-hoc LSD. A análise estatística foi realizada com o software SPSS 20.0, com um nível de significância de $\alpha = 0,05$ e poder observado - $\beta (\geq 0,80)$.

RESULTADOS

Os atletas completaram os quatro testes de tempo de exaustão de forma adequada. A cadência, que foi controlada e mantida em aproximadamente 95 ± 5 rpm durante os testes, diminuiu durante os testes à medida que o atleta atingiu a exaustão. Não houveram diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$ e poder observado $> 0,90$), e não foram encontradas mudanças na PO durante os testes ou entre as condições ($p > 0,05$ e poder observado $< 0,30$), conforme ilustrado na Figura 5.

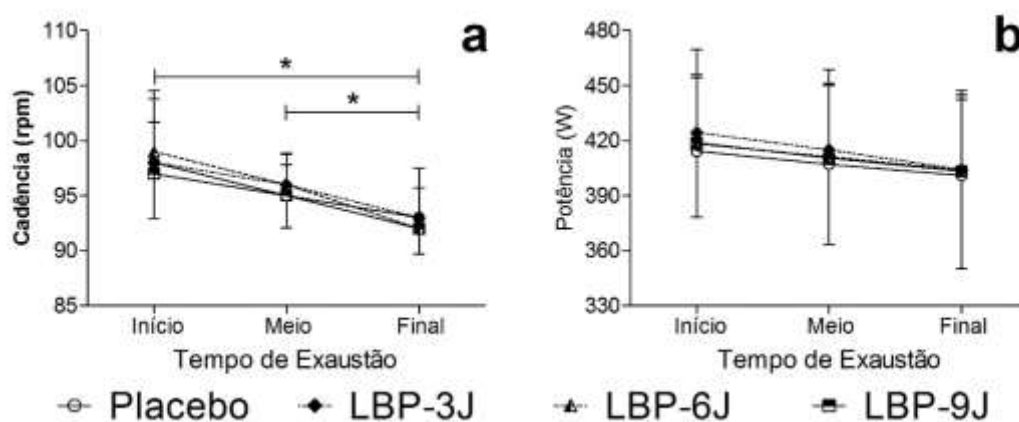


Figura 5. (a) Cadência (em rpm) no início, meio e final de cada teste de exaustão. * Indica diferença significativa entre os instantes do teste (início vs. meio vs. final de cada teste) ($p < 0,05$; poder observado $> 0,90$); (b) Potência (em watts) no início, meio e final de cada teste ($p > 0,05$; poder observado $< 0,30$).

Aumento do desempenho no ciclismo foi observado para todas as condições LBP (LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J) em comparação com a situação placebo. A LBP-3J provocou aumento do tempo até à exaustão de $\sim 15\%$ em

comparação com placebo ($p < 0,01$; poder observado = 0,97), enquanto incrementos de 9% no tempo do teste de exaustão foi encontrado com LBP-6J ($p = 0,03$; poder observado = 0,97) e LBP-9J ($p = 0,02$; poder observado = 0,97), em comparação com a situação placebo. Não houve diferença no tempo de exaustão entre as três dosagens de LBP ($p > 0,05$; Figura 6).

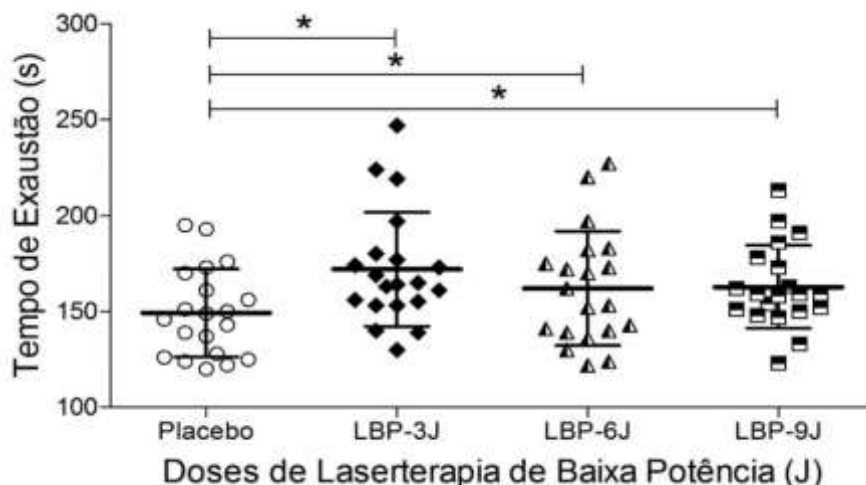


Figura 6. Resultados de média \pm dp e valores individuais de tempo de exaustão em cada uma das condições (Placebo, LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J). * Indica diferenças significativas entre placebo comparado a LBP-3J, LBP-6J e LBP-9J ($p < 0,05$; poder observado = 0,97).

A ativação total, de altas e de baixas frequências, não apresentou diferenças entre o início e meio dos testes de exaustão nas quatro condições ($p > 0,05$). Ao final dos testes de exaustão houve aumento significativo da ativação total e de baixa frequência em comparação com o início e meio do teste em todas as condições ($p < 0,01$; poder observado = 1,00). No entanto, apenas LBP-3J provocou aumento significativo da ativação de alta frequência no final do teste, comparado ao início e meio do teste de exaustão ($p \leq 0,03$; poder observado $\geq 0,83$). Além disso, a LBP-3J também apresentou maior conteúdo de alta frequência, comparado a situação placebo no final do teste de exaustão ($p < 0,01$; poder observado $\geq 0,80$), enquanto que as dosagens de LBP-6J e LBP-9J não mostraram diferenças significativas em comparação com a situação placebo ($p > 0,05$; Figura 7).

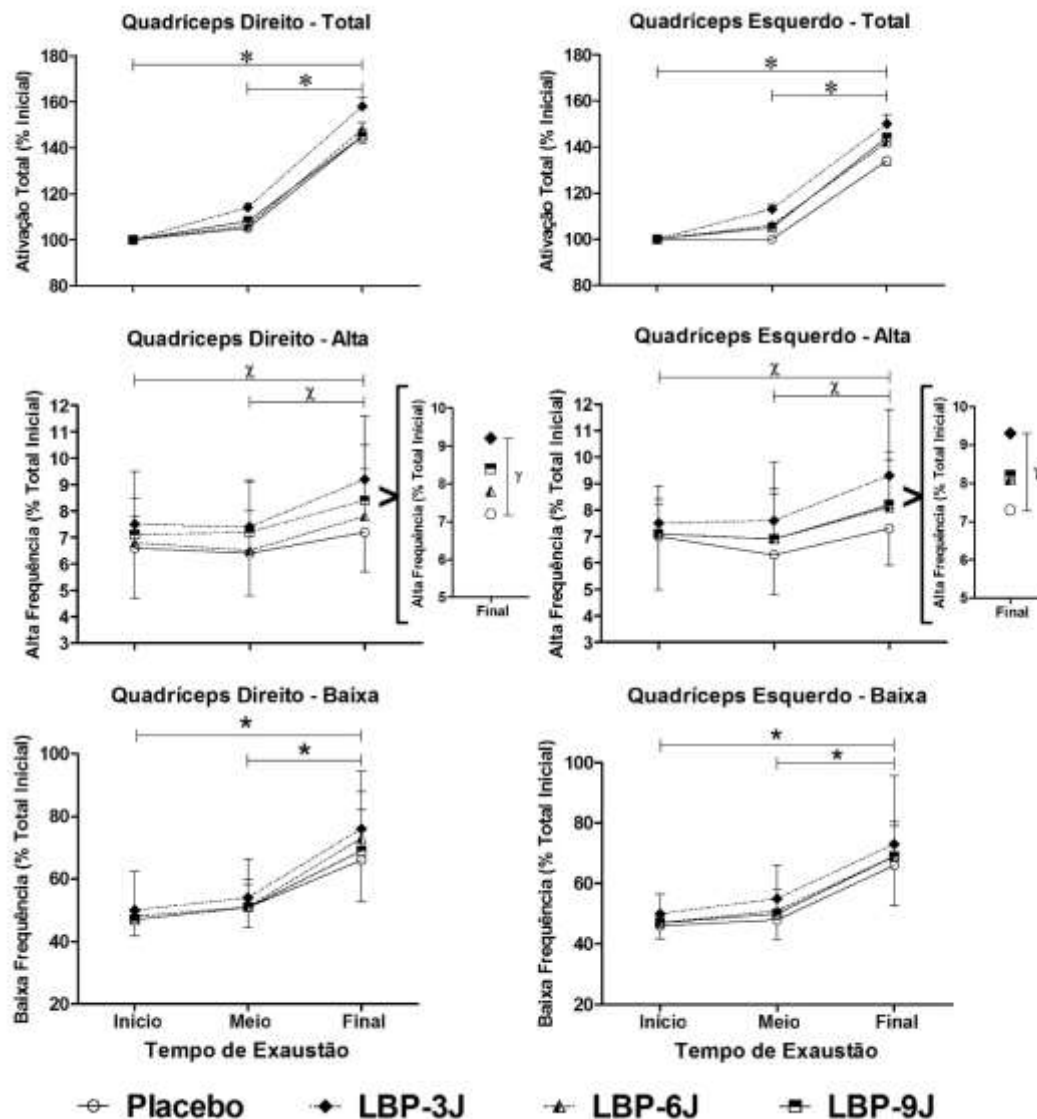


Figura 7. Análise de bandas de frequência da ativação dos músculos do quadríceps (total, alta e baixa frequência) durante os testes de exaustão. * Indica diferença significativa entre o início vs. meio vs. final do teste ($p < 0,08$; poder observado $> 0,80$) em todas as condições; X Indica diferenças significativas entre o início, meio e final do teste ($p < 0,05$; poder observado $> 0,80$) na condição de fototerapia LBP-3J. Y Indica diferença significativa entre placebo para LBP-3J no final do teste ($p < 0,05$; poder observado $> 0,80$). A ampliação do final do teste é mostrada nas figuras de bandas de alta frequência apenas com valores médios, a fim de mostrar as diferenças entre LBP-3J e placebo.

DISCUSSÃO

Segundo nosso conhecimento, este estudo é o primeiro estudo a investigar a possível ação benéfica da fototerapia (LBP) sobre o desempenho de ciclistas competitivos. De acordo com nossos resultados, a laserterapia, aplicada aos músculos do quadríceps previamente a um teste de tempo de exaustão, foi capaz de aumentar a tolerância dos ciclistas ao exercício máximo. Além disso, observou-se que diferentes dosagens de LBP promovem mudanças específicas na resposta da ativação muscular ao final do teste, suportando o efeito dose-resposta de fototerapia.

Tempo de Exaustão

Na última década, resultados promissores têm sido relatados em estudos envolvendo efeitos LBP/LEDT sobre a fadiga muscular induzida por exercícios de força (29-35, 88). De Marchi et al. (39) e Ferraresi et al. (93) também demonstraram que LBP e LEDT foram capazes de aumentar o tempo limite de exercício em testes com carga incremental e com carga constante na esteira, respectivamente, enquanto nenhum aumento de desempenho foi encontrado em testes de ciclismo (29, 36, 37, 90). Uma possível explicação para esses resultados negativos dos estudos envolvendo a fototerapia e desempenho no ciclismo, é a baixa familiarização, tanto dos indivíduos saudáveis não treinados (90) quanto de atletas de futebol/vôlei (29, 36, 37), com os testes de avaliação que foram de ciclismo.

Portanto, ciclistas de nível clube foram incluídos em nosso estudo, que também incluiu uma sessão de familiarização ao teste de tempo de exaustão, a fim de evitar qualquer efeito de aprendizagem em situações LBP/placebo. Portanto, nossos resultados suportam evidências de estudos anteriores, que avaliaram indivíduos saudáveis fisicamente ativos (39) e um único corredor de elite (93), tornando este o primeiro estudo a demonstrar a melhora no desempenho funcional por meio da fototerapia em um grupo de ciclistas competitivos.

A segunda possível explicação para os resultados negativos em alguns dos estudos anteriores de ciclismo (29, 37, 94) é a característica do teste de

Wingate (principalmente dependente do metabolismo do ATP-CP) utilizado nesses estudos. Embora a ação da fototerapia nas células musculares ainda necessite de maiores esclarecimentos, parece que o mecanismo primário de LBP é o aumento da produção de ATP pela via mitocondrial [usando via aeróbica (86)]. De acordo com este mecanismo, a energia da luz é absorvida por alguns fotorreceptores moleculares ou cromóforos, tais como citocromo C-oxidase na mitocôndria, o que leva ao aumento da taxa de síntese de ATP e RNA e aumento da síntese de proteínas, assim como uma mudança no potencial redox e maior liberação de óxido nítrico (96). Assim, uma cascata de reações bioquímicas induzidas pela aplicação de fototerapia poderia levar a melhoras na função do músculo e, conseqüentemente, no desempenho durante o exercício. No entanto, o exercício máximo de 30s (tal como o teste de Wingate) não parece fazer uso da principal vantagem deste tratamento (isto é, a fototerapia gera energia adicional por via aeróbia). Isso significa que a LBP é mais útil para melhorar o desempenho em atividades aeróbias, mas não em atividades anaeróbias. Além de nossos resultados, esta hipótese é ainda apoiada por evidências de testes incrementais de corrida (39) e de ciclismo (90), que demonstraram melhoras significativas no consumo máximo de oxigênio com a aplicação de LBP.

A terceira hipótese para os diferentes resultados observados no nosso estudo em comparação com os estudos anteriores com o uso de bicicletas (29, 36, 37, 90), é a dosagem total de fototerapia insuficiente entregue ao músculo nesses estudos. O presente estudo usou dosagens de 135J, 270J e 405J de LBP por grupo muscular previamente a testes de ciclismo. Estudos anteriores (29, 37, 90, 94) utilizaram doses totais de 12J a 83J em cada quadríceps, consideravelmente menor do que as doses usadas em nosso estudo e as utilizadas em estudos que se concentraram em exercícios isolados de extensores do joelho [125 - 180J/grupo muscular (34, 35, 88)]. Embora esta hipótese poderia ser apoiada pela aplicação de 180J de LBP em cada quadríceps usada por Marchi et al. (39). Além disso, Ferraresi et al. (93), também observaram resultados positivos com a aplicação de apenas 37,5J de LEDT em cada quadríceps em um único corredor. Contudo, recomenda-se precaução ao generalizar os resultados de um estudo de caso para os estudos quantitativos. Os resultados deste estudo demonstraram que doses de 135J a 405J para cada

quadríceps foram bem-sucedidas em aumentar o tempo de exaustão (aumento da performance) durante um teste de fadiga no ciclismo. Entretanto, a dosagem ideal em execução ou desempenho no ciclismo permanece incerta, assim como a influência de diferentes fontes de luz (LBP ou LEDT) e de outros parâmetros de fototerapia (por exemplo: comprimento de onda, potência, tempo de aplicação).

O conceito de dose-resposta em tratamentos de fototerapia está bem estabelecido na literatura (96). Em geral, se a quantidade de energia absorvida pelo tecido alvo não é suficiente (sub dosagem), não há reações ou ocorrem pequenas mudanças. Já a quantidade ideal de energia pode melhorar significativamente a função celular, enquanto a quantidade excessiva de energia (overdose) pode suprimir ou inibir o funcionamento celular (108). As doses ótimas, que tem sido prescritas na literatura, foram determinadas para diferentes fins de tratamento, mas muitas vezes baseadas em estudos que utilizaram culturas de células e experimentos com animais (20). Portanto, este efeito dose-resposta foi bem descrito em estudos com animais envolvendo a fototerapia e exercício (28, 109, 110), mas são poucos os estudos com seres humanos que têm investigado os efeitos de diferentes doses de LBP sobre o desempenho muscular (89, 111). Em uma recente meta-análise (92), os autores sugerem dosagens de 5-6J/diodo com base em resultados positivos anteriores com estas quantidades de energia; contudo, ainda são necessários mais estudos em humanos utilizando diferentes dosagens de LBP para determinar a dose ideal para cada situação de estudo. Neste cenário, o nosso estudo contribui para a literatura, pois todas as três doses LBP testadas em nosso estudo foram capazes de aumentar o tempo de exaustão em testes específicos de ciclismo, o que confirma nossa hipótese inicial. No entanto, apenas a condição LBP-3J provocou alterações significativas no padrão de ativação muscular no final do teste de exaustão, confirmando parcialmente a hipótese inicial.

Propriedades Espectrais de Ativação Muscular

Análise de componentes de alta e baixa frequência da ativação muscular, permite verificar de forma indireta a resposta específica de pequenas unidades motoras (fracas e resistentes à fadiga) e de grandes unidades motoras (fortes e

facilmente fatigáveis) durante testes de ciclismo (107). É bem estabelecido que a fadiga geralmente promove redução do recrutamento de unidades motoras de alta frequência (grandes) e aumento no recrutamento de unidades motoras de baixa frequência (pequenas) durante protocolos máximos (98). Contudo, isto não tem sido consistente para ciclistas competitivos. Macdonald et al. (112) e Cannon et al. (100) não observaram alterações na velocidade de condução da fibra muscular [vasto medial e lateral] e conteúdo da frequência do sinal EMG (gastrocnêmio lateral e vasto lateral), respectivamente, durante a fadiga no ciclismo. Contudo, Diefenthaler et al. (11) observaram aumento da ativação de baixa frequência do bíceps femoral durante o ciclismo até a exaustão, o que poderia estar relacionado a mudanças na técnica de pedalada (73). A análise das bandas de frequência tem sido utilizada por alguns estudos com protocolos de fadiga no ciclismo (11, 97). Entretanto, o comportamento dos conteúdos das frequências de EMG durante o ciclismo ainda não está claro na literatura. Neste cenário, nossas descobertas sustentam que a ativação total, de altas e de baixas frequências dos músculos extensores do joelho são todas aumentadas durante um teste de tempo de exaustão no ciclismo com carga máxima (PO_{MAX}).

Estudos anteriores, que avaliaram respostas da EMG durante exercícios realizados após a aplicação LBP/LEDT, encontraram resultados conflitantes. Da Silva et al. (90) e Higashi et al. (113) não encontraram nenhum efeito da fototerapia na ativação (valores Root Mean Square - RMS) dos músculos extensores e flexores do joelho e do cotovelo, respectivamente. Outros estudos encontraram menor redução na MDF no final de um teste isométrico após a aplicação LBP nos músculos extensores do joelho em comparação com placebo (88). Menor ativação do músculo tibial anterior e nenhuma mudança na frequência média com aplicação LBP em comparação com o grupo controle também foram observados (114), bem como maior ativação muscular dos músculos masseter com a aplicação de LBP em relação ao grupo controle também foram relatados (89). Embora estes estudos tenham utilizado valores RMS (89, 90) e de MDF (88, 113, 114) do sinal de EMG, o nosso estudo parece ser o primeiro a avaliar bandas de frequências (Ativação Total, Altas e Baixas Frequências) do sinal EMG. Nossos resultados sugerem que a aplicação de LBP-3J foi capaz de aumentar a ativação da banda de alta frequência dos

músculos do quadríceps na fase final do teste de exaustão em comparação com o efeito placebo, o que contribuiria para a manutenção do esforço máximo durante um período mais longo. Contudo, não podemos explicar este efeito seletivo da fototerapia LBP-3J para a ativação das bandas de altas frequências (unidades motoras grandes) do espectro EMG, e por que motivo não foram observadas diferenças entre as condições nas bandas de baixas frequências do espectro EMG (unidades motoras pequenas).

LIMITAÇÕES

Este estudo teve algumas limitações. Nós não tivemos acesso a análise bioquímica ou análise de troca gasosa, o que possibilitaria avaliar alguns marcadores de fadiga (por exemplo, o lactato), possíveis danos do musculares (por exemplo, creatina kinase, interleucina-6, proteína c-reactiva) e a cinética de oxigênio durante fadiga, o que permitiria determinar melhor alguns dos efeitos da LBP na função muscular. Outra possibilidade seria medir localmente a concentração de oxihemoglobina e deoxihemoglobina, através da utilização de equipamento de *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) de infravermelhos, a fim de investigar o efeito de LBP na concentração do oxigênio muscular local. Estes marcadores de fadiga podem ser adicionados em estudos futuros para permitir uma compreensão mais completa dos efeitos fototerapia no tecido muscular e metabólico. Estudos futuros devem controlar as seguintes variáveis não controladas em nosso estudo: nível competitivo dos ciclistas, familiarização com a tarefa de ciclismo, adoção de uma ou mais sessões de familiarização ao teste de tempo de exaustão.

IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Acreditamos que estudos adicionais devem ser realizados a fim de determinar a melhor dosagem para a melhora do desempenho de ciclistas. Além disso, evidências sugerem o momento ideal para a aplicação LBP (93) e o melhor comprimento de onda/fonte de luz (95), ou a combinação de fontes de comprimentos de onda/fonte de luz (111). Portanto, esses aspectos devem ser

esclarecidos em estudos futuros. Após isso, o passo decisivo será em testes de campo, tal como durante uma prova de ciclismo, a fim de identificar o uso de LBP como um agente ergogênico em esportes competitivos de elite.

CONCLUSÃO

A laserterapia é uma técnica que possibilita uma intervenção com potencial para aumentar o desempenho de ciclistas competitivos durante testes máximos de exaustão no ciclismo. Os nossos resultados também demonstraram que a fototerapia é capaz de mudar os padrões de ativação muscular no final do teste e de forma dependente da dose. Este efeito dose-resposta exige maior investigação para o estabelecimento das dosagens ideais de LETD/LBP para diferentes grupos musculares, populações e/ou mesmo diferentes tipos de exercício. No entanto, este estudo demonstrou pela primeira vez que a fototerapia pode ser um agente ergogênico eficaz para o aumento de desempenho no ciclismo.

CAPITULO 3

LASERTERAPIA DE BAIXA POTÊNCIA MELHORA A CINÉTICA DE VO₂ EM CICLISTAS DURANTE TESTE DE TEMPO DE EXAUSTÃO

Fábio Juner Lanferdini; Renata Krüger; Bruno Manfredini Baroni; Caetano Lazzari; Pedro Figueiredo; Álvaro Reischak de Oliveira; Marco Aurélio Vaz

A ser submetido ao *Laser in Medical Science*

RESUMO

Algumas evidências suportam que a LBP reduz a fadiga neuromuscular, e, assim, provoca aumento no desempenho esportivo. Entretanto, o efeito dose-resposta para melhorar o desempenho no ciclismo ainda não está claro, bem como não estão claros os efeitos de LBP sobre a cinética de VO₂ durante testes máximos de exaustão no ciclismo. Portanto, este estudo teve por objetivo investigar os efeitos das diferentes dosagens de LBP sobre a cinética do VO₂ durante teste de tempo de exaustão no ciclismo. Vinte ciclistas competitivos do sexo masculino (29 anos) participaram de um estudo randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. No primeiro dia, os atletas realizaram um teste de ciclismo incremental até a exaustão para determinar o consumo máximo de oxigênio (VO_{2MÁX}) e a POMÁX, bem como a familiarização com o teste de exaustão. Nos dias seguintes (2 a 5), todos os atletas realizaram testes de tempo de exaustão na POMÁX. Antes de cada teste de exaustão, diferentes doses de LBP (3, 6 e 9 J/diodo; ou 135, 270 e 405 J/coxa, respectivamente) ou placebo. Todos os testes de exaustão foram monitorados por um sistema de ergoespirometria, a fim de avaliar a amplitude VO₂, tempo de atraso do VO₂, constante de tempo (Tau) e déficit de O₂. O Tau e déficit de O₂ reduziram com aplicações de LBP comparado ao placebo ($p < 0,05$). Não foram encontradas diferenças ($p > 0,05$) entre as condições experimentais para amplitude de VO₂ e tempo de atraso do VO₂. Além disso, estudo prévio de nosso grupo mostrou aumento do tempo de exaustão com LBP-3J (15%), LBP-6J (9%) LBP-9J (9%) em comparação com o teste placebo. Em conclusão, a LBP reduziu o Tau e o déficit O₂ durante os testes de tempo de exaustão em ciclistas.

ABSTRACT

There is some evidence that supports that low-level laser therapy (LLLT) reduces neuromuscular fatigue, thereby incrementing sports performance. However, the dose-response effect of LLLT, the optimal dosage for improving cycling performance, as well as the effects of LLLT on the VO_2 kinetics during maximal exhaustion cycling tests remains unclear. Therefore, this study was designed with two goals: (1) to investigate the effects of different LLLT doses on time-to-exhaustion in cyclists; and (2) to evaluate effects of different LLLT dosages on the VO_2 kinetics during a cycling time-to-exhaustion test. Twenty male competitive cyclists (29 years) participated in a crossover, randomized, double-blind and placebo-controlled trial. On the first day, the participants performed an incremental cycling test to exhaustion to determine maximal oxygen output (VO_{2MAX}) and PO_{MAX} , as well as a familiarization with the time-to-exhaustion test. In the following days (2 to 5), all participants performed time-to-exhaustion tests at PO_{MAX} . Before the exhaustion test, different doses of LLLT (3, 6 and 9 J/diode; or 135, 270 and 405 J/thigh, respectively) or placebo were applied bilaterally to the quadriceps muscle. All exhaustion tests were monitored online by an open-circuit spirometry system in order to analyze the VO_2 amplitude, VO_2 delay time, time constant (Tau) and deficit O_2 . Tau and deficit O_2 decreased with LLLT applications compared to the placebo condition ($p < 0.05$). No differences ($p > 0.05$) were found between the experimental conditions for VO_2 amplitude and VO_2 delay time. Moreover, previous study of our group showed increased time-to-exhaustion with LLLT-3J (15%), LLLT-6J (9%) and LLLT-9J (9%) tests compared to the placebo test. In conclusion, LLLT decreases Tau and O_2 deficit during time-to-exhaustion tests in competitive cyclists.

INTRODUÇÃO

Na última década, resultados promissores foram encontrados a respeito dos efeitos da aplicação de fototerapia (LBP e LEDT) sobre a fadiga humana [Abordada pelas revisões de literatura, de Ferraresi et al. (21); Borsa et al. (20); e Leal Junior et al. (92)]. No entanto, apesar do efeito dose-resposta ser bem

documentado de fototerapia (96) não há consenso sobre a dosagem ideal para reduzir e/ou postergar os efeitos deletérios da fadiga neuromuscular em seres humanos. Resultados positivos foram encontrados em estudos que envolvem os músculos do quadríceps com doses de 0,3-0,9 J/diodo [125 J/músculo (35, 88)] e 6 J/diodo [180 J/músculo (34)]. Dosagens de LBP de 0,7 J/diodo [37,5 J/coxa (93)] a 6 J/diodo [180 J/coxa (39)], têm sido capazes de aumentar a tolerância ao exercício em execução de testes incrementais de corrida. Mas nenhum desses estudos testou uma série de doses diferentes de fototerapia, a fim de esclarecer a dosagem ideal capaz de melhorar o desempenho físico.

Curiosamente, a maioria dos estudos anteriores envolvendo protocolos de ciclismo, não encontraram nenhum efeito da fototerapia no desempenho (29, 36, 37, 90). Estes estudos envolveram sujeitos saudáveis não treinados (90), jogadores profissionais de voleibol (29, 37) e jovens jogadores de futebol (29, 36). Uma possível resposta para a ausência de melhorias de desempenho pode estar relacionado à baixa familiarização dos participantes com o movimento do ciclismo utilizado no teste de avaliação de desempenho. Diante deste problema, o nosso grupo realizou um estudo randomizado, duplo-cego e controlado por placebo, com desenho cruzado em 20 ciclistas competitivos do sexo masculino [Capítulo 2 - Não Publicado]. Todos os atletas realizaram teste de tempo de exaustão no ciclismo, imediatamente após serem tratados com quatro doses diferentes de LBP (0, 3, 6 e 9 J/diodo, ou 0, 135, 270 e 405 J/coxa, respectivamente) nos músculos que compõem o quadríceps. Todas as doses de LBP aumentaram a tolerância ao exercício comparadas à aplicação do placebo (0J). Entretanto, os mecanismos responsáveis por este aumento no desempenho necessitam ser esclarecidos, pois podem fornecer evidências que possibilitarão utilizar a fototerapia como um agente ergogênico eficaz no ciclismo e em outros esportes de resistência.

A fototerapia é capaz de estimular o metabolismo mitocondrial e aumentar a disponibilidade de energia para as células musculares (21, 86), o que pode agir sobre alguns mecanismos de fadiga muscular e contribuir para a melhoria do desempenho ao postergar esses efeitos da fadiga sobre a função muscular. Tendo em vista este efeito da fototerapia no metabolismo mitocondrial, parece

razoável assumir que a captação de oxigênio (cinética de VO_2) também possa ser afetada pela fototerapia (86). Entretanto, resultados conflitantes têm sido encontrados em testes incrementais de corrida em indivíduos não treinados saudáveis (39, 90, 115). De Marchi et al. (39) e Da Silva Alves et al. (90) relataram maiores valores de pico de VO_2 com a aplicação de fototerapia em comparação a condição placebo, enquanto que Miranda et al. (115) não encontraram nenhum efeito da fototerapia no desempenho em teste similar. Além disso, é de nosso conhecimento, que apenas um estudo avaliou os efeitos da fototerapia durante teste incremental de corrida na cinética do VO_2 (93), que possibilita a análise sobre a eficiência do fornecimento de oxigênio pelo sistema cardiopulmonar e a utilização de oxigênio pelas mitocôndrias (86, 116). Os resultados deste estudo deste estudo pioneiro demonstraram que houve aumento do desempenho induzida pela aplicação de LEDT, e estes resultados estão associados com a redução no déficit de O_2 , Tau e aumento da amplitude VO_2 (93). No entanto, é importante notar que Ferraresi et al. (93) avaliaram apenas um corredor masculino, o que se constitui em um estudo de caso, de modo que mais estudos são necessários para elucidar o efeito da fototerapia no cinética de VO_2 .

Em resumo, o possível aumento do desempenho em ciclismo após a aplicação de fototerapia ainda carece de uma explicação mecanicista. Devido ao efeito da fototerapia no metabolismo mitocondrial, nossa hipótese é a de que a LBP deverá produzir melhora na cinética do VO_2 . Caso a mesma se confirme, ela nos ajudará a melhor entender os motivos que levam a tolerância ao exercício ser aumentada após o uso da fototerapia. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de diferentes doses de LBP (placebo, 3, 6 e 9 J/diodo) na cinética do VO_2 (Déficit O_2 , Tau, Amplitude de VO_2 e tempo de atraso) durante teste de tempo de exaustão no ciclismo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Participantes

Vinte ciclistas do sexo masculino participaram deste estudo (Tabela 4). Os atletas tinham cerca de 2,5 anos de experiência em ciclismo e volume de treinamento de 4,6 dias/semana (~260 km/semana), classificados como Categoria Clube de acordo com Ansley e Cangle (101). Todos os participantes forneceram seu consentimento por escrito para participar deste estudo, que foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal do Rio Grande Ética do Sul (número 708.362).

Tabela 4. Caracterização antropométrica e composição corporal. Potência máxima ($PO_{MÁX}$) e consumo máximo de oxigênio ($VO_{2MÁX}$) durante teste incremental máximo de ciclismo.

Caracterização Ciclistas	N = 20
Idade (anos)	29 ± 7,2
Massa corporal (kg)	77 ± 10,1
Estatura (cm)	179 ± 7,9
Massa Muscular (kg)	39 ± 5,7
Massa de Gordura (kg)	18 ± 4,2
$PO_{MÁX}$ (W)	378 ± 34,5
$VO_{2MÁX}$ (ml.kg.min⁻¹)	57 ± 7,8

Desenho Experimental

Este estudo caracteriza-se como um crossover, randomizado, duplo-cego e placebo-controlado. Cada sujeito veio para o laboratório em cinco dias, com um período de intervalo de pelo menos 72 horas entre as visitas. Na primeira sessão de testes, foi realizada a avaliação antropométrica, seguido por um teste incremental de ciclismo, a fim de determinar a potência máxima ($PO_{MÁX}$). Em seguida, os participantes foram aleatoriamente designados para realizar quatro testes de tempo de exaustão (dias 2-5) após a aplicação de diferentes doses de LBP (3, 6 ou 9J/díodo) ou placebo nos músculos do quadríceps. A randomização

foi realizada pelo terapeuta responsável pela aplicação de fototerapia e usou um desenho simples de lotes (A = LBP-3J; B = LBP-6J; C = LBP-9J; D = placebo). O terapeuta foi instruído a não comunicar o tipo de tratamento aos participantes bem como aos outros pesquisadores antes do final da coleta de dados.

Primeira Sessão (Dia 1)

Na primeira sessão, a antropometria foi mensurada de acordo com a Sociedade Internacional de Cineantropometria, além da composição corporal que foi calculada utilizando o método de cinco componentes (102). Em seguida, os participantes realizaram aquecimento de 10 minutos com 150 W de potência. Os ciclistas foram testados usando uma bicicleta de ciclismo de estrada (Giant TCR Advanced, EUA) com a configuração de guidão e selim posicionadas de acordo com as características antropométricas de cada atleta (103). A bicicleta foi acoplada sobre um ciclossimulador de ciclismo estacionário (CompuTrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, WA, EUA) para determinar a potência máxima ($PO_{MÁX}$). Antes do ensaio, a pressão da roda de bicicleta traseira foi calibrada de acordo com as instruções do fabricante (~100 psi). A temperatura laboratorial foi mantida entre 26-28° e a umidade ~50%, para todos os ensaios, a fim de minimizar os efeitos da temperatura sobre a pressão do pneu da bicicleta e das medidas de potência (104). O teste incremental de ciclismo foi realizado para determinar o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2MÁX}$) e $PO_{MÁX}$. O teste consistiu de uma carga inicial de 150 W seguido por um aumento progressivo com incrementos da carga de 25 W/min (~1 W a cada 2 segundos) até à exaustão. O teste de esforço foi realizado utilizando um script no software do ciclossimulador (CompuTrainer, CS 1.6, Racermate Inc., Seattle, WA, EUA). Os participantes foram instruídos a manter a cadência de pedalada próximo a ~95 rpm ao longo do teste usando um feedback visual. O consumo de oxigênio (VO_2) foi medido por um sistema de ergoespirometria de circuito aberto (CPX/D, Medical Graphics Corp., St Louis, EUA), e o $VO_{2MÁX}$ foi definido como o maior valor obtido no último estágio de teste, juntamente com a $PO_{MÁX}$ (117). Para a recuperação os atletas pedalarão durante 30 min a 50 W. Imediatamente após a recuperação isso, foi realizado a familiarização com o teste de tempo de exaustão.

Tratamento de LBP ou Placebo

O tratamento de LBP ou placebo foi aplicado em nove locais em cada uma das coxas, previamente aos testes de exaustão (Figura 8). A sonda foi mantida estacionária acima da pele em um ângulo de 90°. Os tratamentos foram administrados utilizando uma unidade de Controle THOR DD2 (THOR® - Londres, Reino Unido), com um conjunto lasers infravermelhos consistindo de cinco diodos com 810 nm cada e potência de saída de 200 mW. Ensaios anteriores de nosso grupo de pesquisa aplicaram 30 segundos em cada local, totalizando 6 J por diodo ou 30 J/local (34, 105). Neste estudo, nós também testamos uma dose menor e uma dose mais alta do LBP: 3 J/diodo (15 s de terapia/local) e 9 J/diodo (45 s de terapia/local). O tratamento com placebo foi realizado exatamente do mesmo modo que o tratamento LBP (30 s/local de aplicação), mas com o dispositivo desligado. Os atletas utilizaram óculos opacos para a proteção dos olhos, bloqueando a visão dos raios infravermelhos do dispositivo de fototerapia.



Figura 8. Parâmetros de Laserterapia de Baixa Potência (LBP) e locais de aplicação da LBP ou placebo previamente aos testes de tempo de exaustão.

Teste de Tempo de Exaustão

Nas sessões de 2 a 5, os testes de tempo de exaustão foram realizados cerca de 4-5 minutos depois de tratamento com LBP ou placebo. Os ciclistas realizaram os testes em sua $PO_{MÁX}$ com uma bicicleta de estrada (Giant TCR Advanced, EUA), acoplada ao ciclossimulador estacionário (Computrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, WA, EUA). A bicicleta teve o guidão e selim configurados de acordo com as características antropométricas de cada atleta (103, 118). As condições com carga correspondente a $PO_{MÁX}$ e cadência de 95 ± 5 rpm foram fornecidas, por meio de feedback visual, para todos os atletas. A exaustão foi definida como o momento em que cada ciclista não foi capaz de manter uma cadência acima de 70 rpm. Durante os testes, a troca gasosa pulmonar e a ventilação foram medidas pelo método *breath-by-breath* por um sistema indireto de troca de circuito aberto (CPX/D, Medical Graphics Corp., St Louis, EUA). Os gases foram calibrados previamente a cada teste de exaustão, com concentração de gases conhecida, e o transdutor de volume da turbina foi calibrado com uma seringa de 3 litros.

Análise de Dados

A fase inicial de VO_2 (primeiros 20 segundos) é atribuído principalmente ao aumento do débito cardíaco e fluxo sanguíneo pulmonar. Portanto, o início do exercício não foi considerado para análise do modelo (fase cardiodinâmica). As respirações erradas (por exemplo, causada por deglutição, tosse e falta de sinais) foram excluídas da análise de VO_2 , incluindo apenas aqueles valores de VO_2 com média ± 4 desvios padrão. Após este processo, as respostas de VO_2 individuais foram suavizadas utilizando média de três respirações móveis a cada 5 segundos (119). A cinética de VO_2 foi implementada no software MATLAB (Mathworks, EUA). Para permitir a comparação da resposta de VO_2 , os dados foram modelados utilizando um modelo exponencial simples para caracterizar as respostas de VO_2 durante o teste máximo de tempo de exaustão no ciclismo. O modelo mono-exponencial, foi utilizado devido ao tempo de cada teste ter duração aproximada de três minutos (116), ou seja, sem o aparecimento do componente lento na curva de VO_2 (Equação 1).

Equação 1.

$$VO_2(t) = VO_2 \text{ baseline} + H(t - TDp) \times Ap (1 - \exp^{- (t-TDp/\tau)})$$

Onde: O $VO_2(t)$ representa o VO_2 absoluto ao tempo (t); VO_2 repouso, representa a média de VO_2 durante o período de repouso; Ap, TDp, e τ representam a amplitude de VO_2 , tempo de atraso, e constante de tempo (Tau = τ), respectivamente. H representa a função de Heaviside, como descrita por Ma et al. (120). Além disso, também foram calculados os déficits totais de oxigênio muscular [Déficit $O_2 = (\tau + TDp) Ap$], função descrita por Whipp e Casaburi (121).

Análise e Estatística

A normalidade dos dados e homogeneidade foram testadas por meio dos testes de Mauchly e Shapiro-Wilk, respectivamente. O teste ANOVA para medidas repetidas foi utilizado para comparar as variáveis cinética do VO_2 (Déficit de O_2 ; Tau; Amplitude de VO_2 ; e Tempo de Atraso) entre as quatro diferentes condições de fototerapia (placebo, LBP-3J, LBP-6J, LBP-9J). Os principais efeitos foram verificados com o teste post-hoc LSD, afim de identificar as diferenças significativas. A análise estatística foi realizada com o software SPSS 20.0 para Windows, com um nível de significância de $\alpha = 0,05$ e β poder observado ($OP \geq 0,80$).

RESULTADOS

Os ciclistas completaram os quatro testes adequadamente, uma vez que a cadência-alvo (95 ± 5 rpm) foi mantida durante os testes (Placebo = ~ 95 rpm; LBP-3 J = ~ 96 rpm; LBP-6J = ~ 96 rpm; LBP-9J = ~ 95 rpm; $p > 0,05$ e poder observado $< 0,10$). Não foram observadas mudanças na PO entre os testes de exaustão (Placebo = ~ 407 W; LBP-3 J = ~ 414 W; LBP-6J = ~ 411 W; LBP-9J = ~ 411 W; $p > 0,05$ e poder observado $< 0,30$).

As três doses de fototerapia aplicadas previamente ao exercício reduziram o déficit de O_2 (Figura 9) e o Tau (Figura 10), em comparação com a situação placebo. A LBP-3J reduziu o déficit de O_2 em 23% ($p < 0,01$ e poder observado = 0,81) e o Tau em 37% ($p < 0,01$ e poder observado = 0,86), em comparação com o placebo. A aplicação de LBP-6J reduziu o déficit de O_2 em

17% ($p = 0,02$ e poder observado = 0,81) e o Tau em 33% ($p = 0,01$ e poder observado = 0,86). Já a LBP-9J provocou redução de 18% no déficit de O_2 ($p = 0,01$ e poder observado = 0,81) e o Tau em 33% ($p = 0,01$ e poder observado = 0,86). Não foram observadas diferenças entre as condições de fototerapia para a amplitude de VO_2 (Figura 11; $p = 0,49$ e poder observado = 0,21) e tempo de atraso (Figura 12; $p = 0,97$ e poder observado = 0,06) em comparação com o placebo.

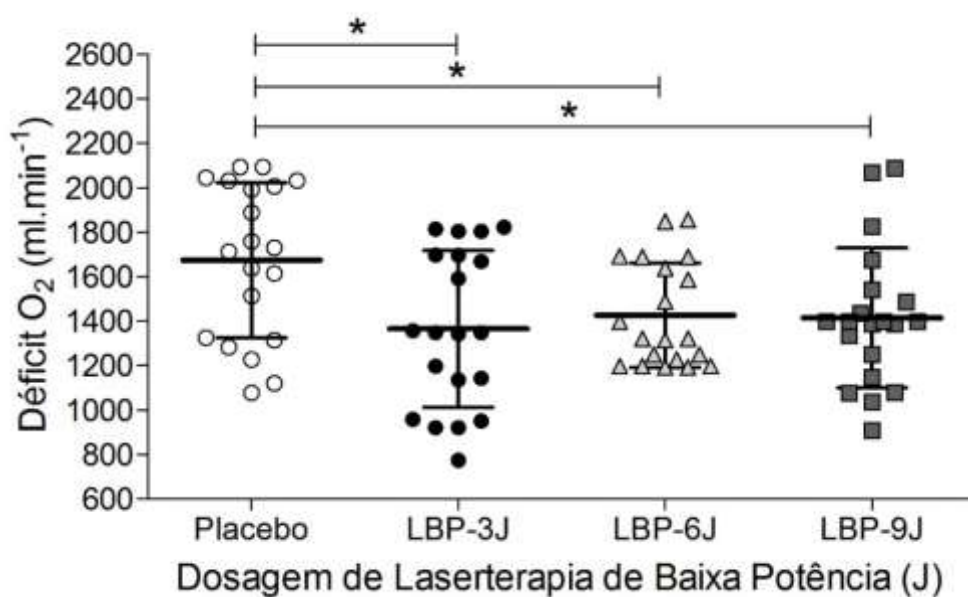


Figura 9. Resultados de média \pm dp e valores individuais de déficit de O_2 . * Diferença significativa entre as condições de LBP em comparadas com o placebo ($p \leq 0,02$ e poder observado = 0,81).

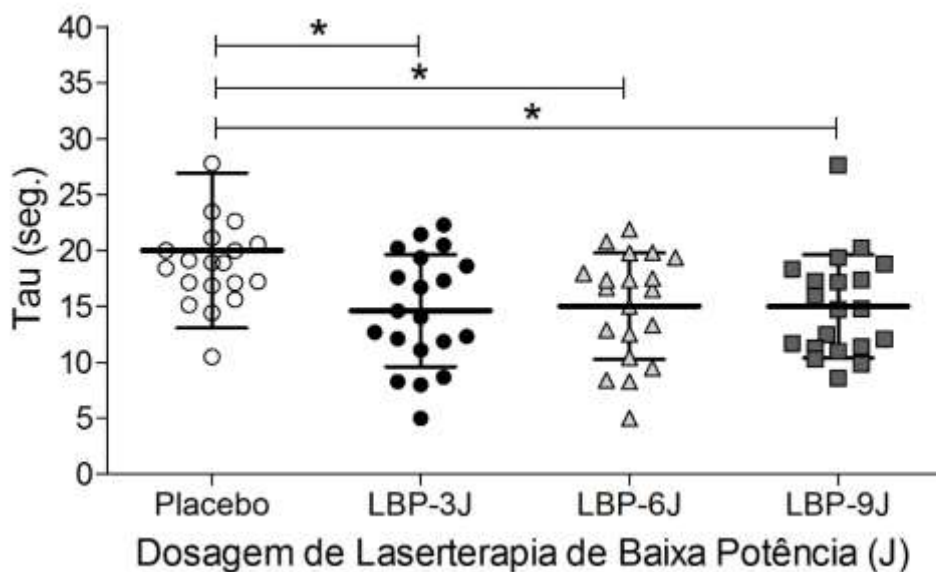


Figura 10. Resultados de média \pm dp e valores individuais do Tau. * Diferença significativa entre as condições de LBP em comparadas com o placebo ($p = 0,97$ e poder observado = 0,06).

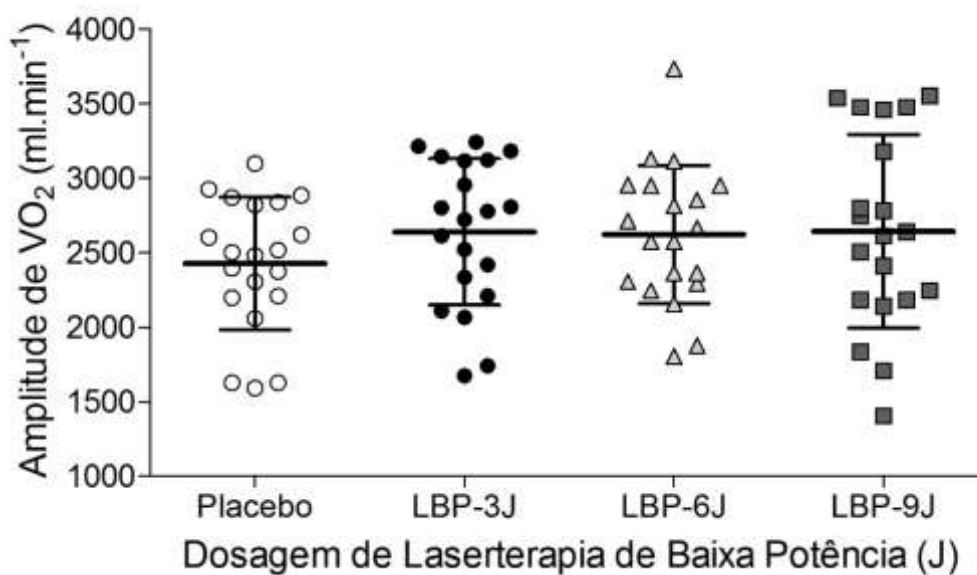


Figura 11. Resultados de média \pm dp e valores individuais de VO_2 . Sem diferenças significativas entre as condições de LBP e placebo ($p = 0,49$ e poder observado = 0,21).

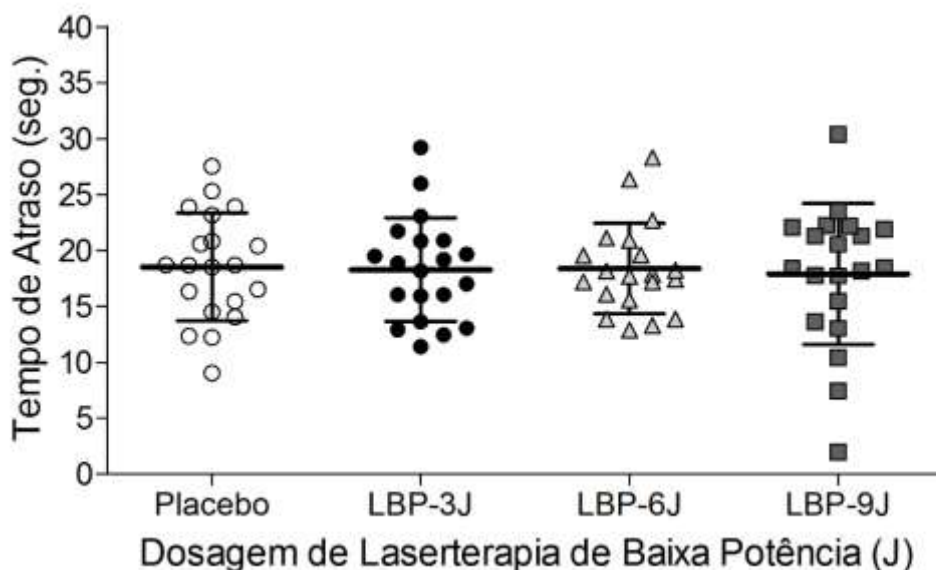


Figura 12. Resultados de média \pm dp e valores individuais de Tempo de Atraso. Sem diferenças significativas entre as condições de LBP e placebo ($p = 0,49$ e poder observado = 0,21).

DISCUSSÃO

O principal resultado do presente estudo foi a redução do déficit de O_2 e Tau induzidos pelas diferentes dosagens LBP aplicados previamente ao teste de tempo de exaustão, comparadas a situação placebo em ciclistas competitivos. Estas mudanças na resposta da cinética de VO_2 podem ser um dos possíveis mecanismos para explicar o aumento de desempenho do teste de tempo de exaustão em nosso teste anterior (Capítulo 2 – Dados não Publicados).

Cinética de VO_2 e Tempo de Exaustão

A redução do déficit de O_2 , associado à redução do Tau (aumento da taxa de aumento do VO_2 durante a transição repouso-exercício máximo, segundo Hughson et al. (122), envolve dois aspectos: Central (transporte de oxigênio); e periférico (extração e utilização mitocondrial do O_2). Os resultados do presente estudo, demonstram que as diferentes doses de LBP provocam redução do déficit de O_2 , associado a aceleração do Tau (redução do Tau) comparados a situação placebo. Estes resultados, podem estar associados a maior eficiência

no transporte e utilização do ATP pelo metabolismo aeróbio (fosforilação oxidativa) e pelo metabolismo anaeróbio alático [sistema PCr (123)]. Além disso, os resultados deste estudo sugerem uma maior quebra de ATP pelo metabolismo aeróbio em fibras de contração rápida (93), resultando em aumento da ativação muscular das fibras de contração rápida (bandas de alta frequência) e, conseqüentemente, provocando aumento do tempo limite até a exaustão com a utilização da LBP, comparada à situação placebo (Capítulo 2 – Dados não Publicados). Tem sido relatado que a fototerapia pode aumentar a atividade do complexo IV [citocroma c oxidase; (124)], bem como os outros complexos de corrente de transporte elétrico mitocondrial (125)]. Assim, a melhoria do transporte de oxigênio arterial para a entrega nas células musculares, em conjunto com o aumento do metabolismo mitocondrial, pode modular a resposta de O_2 durante o exercício, explicando os resultados da cinética de O_2 . Portanto, a análise da cinética de VO_2 pode mostrar o quão eficaz é o desenvolvimento da oferta de oxigênio (pelo sistema cardiorrespiratório) e utilização de oxigênio (pela mitocôndria). Sendo assim, entre os métodos atuais para a análise, e modelagem exponencial de dados O_2 , a cinética, parece fornecer a melhor informação sobre a resposta de O_2 durante o exercício [Isto é, velocidade da resposta do VO_2 ao exercício, que se dão por alterações no Tau e déficit de O_2 (126, 127)].

Além disso, estudos com animais demonstraram que a aplicação de LBP pode melhorar a função mitocondrial, resultando em aumento da liberação de ATP (86, 128), aumento da microcirculação e oxigenação tecidual (129, 130)]. Além do mais, estudos com seres humanos saudáveis demonstraram melhoras da função muscular, da resistência à fadiga, e aumento do consumo, bem como aumento do tempo de exaustão em testes máximos de corrida (21, 39, 93), e redução da concentração de lactato e marcadores de dano muscular (29, 31, 39). O aumento da síntese de ATP, bem como da síntese de RNA e proteínas, provoca mudanças no potencial redox celular e maior liberação de óxido nítrico (96). Portanto, estas reações bioquímicas em cascata induzidas pela fototerapia podem levar a melhoras de função muscular e, por conseqüência, melhorar o desempenho do exercício.

Entretanto, não foram encontradas alterações entre diferentes dosagens de LBP e a cinética de VO_2 sobre o desempenho no teste de tempo de exaustão (Capítulo 2 – Dados não Publicados). Estas ausências de diferença entre as dosagens LBP podem ser relacionadas com as diferenças do volume de massa do músculo do quadríceps entre os ciclistas avaliados em nosso estudo. Os diferentes volumes musculares podem exigir diferentes dosagens LBP para promover mudanças no desempenho durante um teste máximos de exaustão no ciclismo. Borsa et al. (20), sugerem que doses mais baixas (sub-dosagem) não produzem qualquer efeito ou apenas um efeito mínimo sobre a função celular, ao passo que doses moderadas a fortes, podem aumentar positivamente a função celular. Por outro lado, doses muito fortes (super-dosagem), podem suprimir ou inibir a função celular. Portanto, as três dosagens de LBP testadas neste estudo podem ter promovido efeitos diferentes em diferentes ciclistas.

Além disso, estudos anteriores com a utilização de testes de ciclismo (29, 37, 90, 94) aplicaram doses de LBP 12J e 83J em cada grupo muscular do quadríceps, que são consideravelmente menores do que os aplicados em nosso estudo (135, 270 e 405J/quadríceps) ou em estudos com foco em exercícios isolados dos extensores do joelho [125-180J/ grupo muscular (34, 35, 88)]. Esta dosagem inferior de LBP parece ser insuficiente para promover o aumento do desempenho no ciclismo. De Marchi et al. (39) e Ferraresi et al. (93) observaram resultados positivos com uma dosagem menor de LEDT (37,5J) em cada grupo muscular do quadríceps em um único corredor. Entretanto, recomenda-se cautela ao generalizar os resultados de um estudo de caso para os estudos quantitativos.

Nossos resultados mostraram que doses LBP de 135J a 405J aplicada por grupo muscular do quadríceps provocaram aumento no tempo até a exaustão (melhor desempenho), em ciclistas (Capítulo 2 – Dados não Publicados) na cinética de VO_2 . Entretanto, a dosagem ótima LBP, e a influência de diferentes fontes de luz (LBP ou LEDT) e outros parâmetros de fototerapia (por exemplo: comprimento de onda; potência de saída; e tempo de aplicação), para aumentar o desempenho no ciclismo ou mesmo na corrida, permanecem obscuros. O efeito da dose-resposta tem sido bem descrito em

estudos com animais envolvendo a fototerapia e exercício (28, 109, 110), mas apenas alguns estudos em humanos têm investigado os efeitos de diferentes dosagens de LBP no desempenho muscular (89, 111). Recentemente, uma meta-análise (92) sugeriu que a dose óptima de LBP variam entre 5 e 6 J/diodo, contudo, ainda se faz necessário a investigação de mais estudos em humanos se faz necessária para elucidar qual a dose ideal de fototerapia por grupo muscular, em diferentes exercícios e populações.

Limitações

As limitações deste estudo estão associadas a não utilização de nenhum marcador de fadiga (por exemplo o lactato), marcador de dano muscular (por exemplo creatina quinase, interleucina-6, e proteína c-reativa). Outra limitação é a de não medição de concentrações de oxihemoglobina e deoxihemoglobina, através da utilização de equipamento de espectroscopia infravermelho (NIRS), a fim de investigar o efeito da LBP sobre a concentração de oxigênio local. Além disso, evidências sugerem o melhor momento para a aplicação LBP é cerca de 10 minutos prévios ao exercício [8] e a melhor comprimento de onda / luz deve ser entre 600 e 900nm [47], ou a combinação dos comprimentos de onda / fontes de luz [46]. Portanto, estes aspectos devem ser esclarecidos em estudos futuros. O passo decisivo e natural será a futura utilização da LBP em testes de campo, tal como durante uma prova de ciclismo, a fim de identificar o uso de LBP como um possível agente ergogênico em esportes de alto rendimento.

CONCLUSÃO

Em resumo, a aplicação das diferentes doses de LBP de provocaram mudanças na cinética de VO_2 , resultando em redução do Tau e do déficit de O_2 em relação a aplicação de placebo. Este efeito dose-resposta exige ainda maiores esclarecimentos para o estabelecimento da dosagem ideal de fototerapia em diferentes tamanhos musculares (massa muscular) ou ainda diferentes tipos de exercícios.

CAPITULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A instauração do processo de fadiga muscular no ciclismo acarreta diversas alterações neuromusculares, fisiológicas e biomecânicas. Contudo, ainda há lacunas na literatura a respeito das causas e/ou dos efeitos do processo de fadiga muscular, sobre as alterações biomecânicas, tais como as mudanças nos ângulos articulares (cinemática) do quadril, joelho e tornozelo, bem como na transferência de energia mecânica intersegmentar destas articulações para os pedivelas e suas implicações na potência ou força produzida durante o ciclo de pedalada (cinética). A compreensão destas alterações impostas pelos processos de fadiga muscular durante o ciclismo pode permitir a elaboração de estratégias para otimizar a transferência de energia mecânica do segmento para os pedivelas e, assim, postergar o processo de instauração da fadiga muscular. Dentre estas estratégias, podemos destacar o uso da LBP como uma técnica que permite postergar os efeitos deletérios da fadiga muscular durante a prática do ciclismo e, com isso, postergar a exaustão durante testes máximos.

Os resultados da presente tese nos permitem afirmar que a laserterapia é uma intervenção eficaz para aumentar o desempenho de ciclistas durante testes máximos de exaustão em cicloergômetro. Os resultados também demonstraram que a fototerapia é capaz de mudar os padrões de ativação muscular (aumentar a ativação das bandas de alta frequência) no final do teste de exaustão, e é dependente da dose (LBP-3J > LBP-6J e LBP-9J). Além disso, a aplicação de fototerapia previamente a testes máximos de ciclismo, provoca alterações na cinética de $\dot{V}O_2$, reduzindo o tau e o déficit de O_2 . Estes resultados sugerem que independente da dosagem de LBP (3, 6 e 9J) utilizadas neste estudo, esta técnica propicia menor perda do aporte energético celular (via mitocondrial) durante a instauração dos processos de fadiga decorrentes de testes máximos de ciclismo. Isto corrobora com estudo prévio que encontrou aumento da disponibilidade de ATP após a aplicação de fototerapia (86), bem como alterações na cinética $\dot{V}O_2$ (91) e no aumento do desempenho de corredores em testes máximos que vem utilizando a fototerapia como mecanismo para minimizar os processos de fadiga durante o exercício (21, 39, 91, 92).

Estes efeitos dose-resposta da fototerapia, ainda exigem maiores investigações para o estabelecimento das dosagens ideais de LETD/LBP em diferentes grupos musculares e tamanhos musculares associados a prática do ciclismo e/ou mesmo diferentes tipos de testes ou ainda diferentes exercícios. Estudos com a utilização de malhas de LED e variações de diferentes dosagens de fototerapia com o tamanho muscular (AST muscular), poderiam melhor elucidar qual a dosagem ideal de LBP a ser aplicada em determinado exercício com o intuito de postergar maximamente os mecanismos de fadiga no sistema músculo esquelético, e assim, aprimorar o desempenho. No estudo apresentado no capítulo 4, tentamos identificar o que a aplicação prévia de LBP provoca no desempenho de teste e reteste máximos de ciclismo e quais as alterações energéticas que ocorrem centralmente (cinética de VO_2) e localmente no tecido muscular por meio da técnica de espectroscopia infravermelha (NIRS). Resultados preliminares demonstraram que a LBP provoca aumento. A LBP melhora o desempenho nos testes e retestes de exaustão comparada ao placebo, e isto pode ser explicado pelo aumento da oxigenação muscular. Contudo, parece haver uma atenuação dos efeitos da LBP ao longo dos retestes de exaustão, comparados a situação placebo, o que sugere que uma nova dose de LBP seria necessária após um determinado tempo a fim de aumentar o efeito ergonômico da LBP em protocolo de fadiga até a exaustão.

Entretanto, não existem estudos que tenham identificado não apenas os efeitos agudos, mas também os efeitos crônicos do uso da LBP em um protocolo de fadiga até a exaustão ou de protocolos com diversos testes de fadiga até a exaustão, semelhante ao que ocorre em competições de alto rendimento nas quais os atletas participam de diversas etapas em um mesmo dia de competição. Portanto, fazem-se necessárias novas investigações com o objetivo de aplicar previamente a LBP em outros testes de ciclismo, tais como testes incremental e de contrarrelógio e averiguar quais as implicações no desempenho dos atletas, bem como alterações fisiológicas e biomecânicas. Após isso, o passo decisivo deve ser a aplicação de técnica de fototerapia em testes de campo, tal como aprimoramento da recuperação durante os processos de treinamentos ou mesmo durante provas de ciclismo, a fim de identificar o uso de LBP como um agente ergogênico em esportes competitivos de elite

Em conclusão, nosso estudo demonstrou pela primeira vez que a fototerapia pode ser um agente ergogênico eficaz para o aumento de desempenho no ciclismo, e isto se deve ao aumento da ativação das bandas de alta frequência, bem como da redução do déficit de O₂ durante testes máximos de ciclismo até a exaustão.

REFERÊNCIAS

1. INTERNACIONALE UC. Disponível em: <<http://www.uci.ch/>>. Acessado em: 2016.
2. CICLISMO CBD. Disponível em: <<http://www.cbc.esp.br/>>. Acessado em: 2016.
3. Savelberg HH, Meijer K. Contribution of mono- and biarticular muscles to extending knee joint moments in runners and cyclists. *J Appl Physiol.* 2003;94(6):2241-8. Epub 2003/01/21.
4. Faria EW, Parker DL, Faria IE. The science of cycling: physiology and training - part 1. *Sports Med.* 2005;35(4):285-312. Epub 2005/04/16.
5. Chapman A, Vicenzino B, Blanch P, Hodges P. Do differences in muscle recruitment between novice and elite cyclists reflect different movement patterns or less skilled muscle recruitment? *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2009;12(1):31-4.
6. Chapman AR, Vicenzino B, Blanch P, Hodges PW. Leg muscle recruitment during cycling is less developed in triathletes than cyclists despite matched cycling training loads. *Exp Brain Res.* 2007;181(3):503-18. Epub 2007/06/06.
7. Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiology of professional road cycling. *Sports Med.* 2001;31(5):325-37. Epub 2001/05/12.
8. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med.* 2005;35(10):865-98. Epub 2005/09/27.
9. Brancaccio P, Limongelli FM, D'Aponte A, Narici M, Maffulli N. Changes in skeletal muscle architecture following a cycloergometer test to exhaustion in athletes. *J Sci Med Sport.* 2008;11(6):538-41. Epub 2007/10/02.

10. Diefenthaler F, Coyle EF, Bini RR, Carpes FP, Vaz MA. Muscle activity and pedal force profile of triathletes during cycling to exhaustion. *Sports Biomech.* 2012;11(1):10-9. Epub 2012/04/24.
11. Diefenthaler F, Bini RR, Vaz MA. Frequency band analysis of muscle activation during cycling to exhaustion. *Brazilian J Kineanth Human Perf.* 2012;14(3):243-53.
12. Bini RR, Diefenthaler F, Mota CB. Fatigue effects on the coordinative pattern during cycling: kinetics and kinematics evaluation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(1):102-7. Epub 2008/11/26.
13. Sayers MG, Tweddle AL, Every J, Wiegand A. Changes in drive phase lower limb kinematics during a 60 min cycling time trial. *J Sci Med Sport.* 2012;15(2):169-74. Epub 2011/10/25.
14. Sanderson DJ, Black A. The effect of prolonged cycling on pedal forces. *J Sports Sci.* 2003;21(3):191-9. Epub 2003/04/22.
15. Tenan MS, McMurray RG, Blackburn BT, McGrath M, Leppert K. The relationship between blood potassium, blood lactate, and electromyography signals related to fatigue in a progressive cycling exercise test. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(1):25-32. Epub 2010/10/12.
16. Billat V, Faina M, Sardella F, Marini C, Fanton F, Lupo S, et al. A comparison of time to exhaustion at VO₂ max in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics.* 1996;39(2):267-77. Epub 1996/02/01.
17. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.* 2001;31(10):725-41. Epub 2001/09/08.
18. Vallier JM, Grego F, Basset F, Lepers R, Bernard T, Brisswalter J. Effect of fluid ingestion on neuromuscular function during prolonged cycling exercise. *Br J Sports Med.* 2005;39(4):e17. Epub 2005/03/29.
19. Jeukendrup AE. Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J Sports Sci.* 2011;29 Suppl 1:S91-9. Epub 2011/09/16.
20. Borsa PA, Larkin KA, True JM. Does Phototherapy Enhance Skeletal Muscle Contractile Function and Postexercise Recovery? A Systematic Review. *J Athlet Training.* 2013;48(1):57-67.

21. Ferraresi C, Hamblin MR, Parizotto NA. Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. *Photonics Lasers Med.* 2012;1(4):267-86.
22. Minatel DG, Frade MA, Franca SC, Enwemeka CS. Phototherapy promotes healing of chronic diabetic leg ulcers that failed to respond to other therapies. *Lasers Surg Med.* 2009;41(6):433-41. Epub 2009/07/10.
23. Oliveira FS, Pinfildi CE, Parizoto NA, Liebano RE, Bossini PS, Garcia EB, et al. Effect of low level laser therapy (830 nm) with different therapy regimes on the process of tissue repair in partial lesion calcaneous tendon. *Lasers Surg Med.* 2009;41(4):271-6. Epub 2009/04/07.
24. Cressoni MD, Dib Giusti HH, Casarotto RA, Anaruma CA. The effects of a 785-nm AlGaInP laser on the regeneration of rat anterior tibialis muscle after surgically-induced injury. *Photomed Laser Surg.* 2008;26(5):461-6. Epub 2008/09/20.
25. Rochkind S, Geuna S, Shainberg A. Chapter 25: Phototherapy in peripheral nerve injury: effects on muscle preservation and nerve regeneration. *Int Rev Neurobiol.* 2009;87:445-64. Epub 2009/08/18.
26. Chow RT, Johnson MI, Lopes-Martins RA, Bjordal JM. Efficacy of low-level laser therapy in the management of neck pain: a systematic review and meta-analysis of randomised placebo or active-treatment controlled trials. *Lancet.* 2009;374(9705):1897-908. Epub 2009/11/17.
27. Lopes-Martins RA, Albertini R, Martins PS, Bjordal JM, Faria Neto HC. Spontaneous effects of low-level laser therapy (650 nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan. *Photomed Laser Surg.* 2005;23(4):377-81. Epub 2005/09/08.
28. Lopes-Martins RA, Marcos RL, Leonardo PS, Prianti AC, Jr., Muscara MN, Aimbire F, et al. Effect of low-level laser (Ga-Al-As 655 nm) on skeletal muscle fatigue induced by electrical stimulation in rats. *J Appl Physiol* (1985). 2006;101(1):283-8. Epub 2006/04/22.
29. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Baroni BM, De Marchi T, Taufer D, Manfro DS, et al. Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. *Lasers Med Sci.* 2009;24(6):857-63. Epub 2008/12/06.

30. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Dalan F, Ferrari M, Sbabo FM, Generosi RA, et al. Effect of 655-nm low-level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Photomed Laser Surg.* 2008;26(5):419-24. Epub 2008/09/27.
31. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Frigo L, De Marchi T, Rossi RP, de Godoi V, et al. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(8):524-32. Epub 2010/05/04.
32. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, Vanin AA, Baroni BM, Grosselli D, De Marchi T, et al. Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans. *Lasers Med Sci.* 2009;24(3):425-31. Epub 2008/07/24.
33. de Almeida P, Lopes-Martins RA, De Marchi T, Tomazoni SS, Albertini R, Correa JC, 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. Epub 2011/08/05.
34. Baroni BM, Leal Junior EC, De Marchi T, Lopes LA, Salvador M, Vaz MA. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110:789-96.
35. Baroni BM, Leal Junior EC, Geremia JM, Diefenthaler F, Vaz MA. Effect of light-emitting diodes therapy (LEDT) on knee extensor muscle fatigue. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(5):653-8. Epub 2010/07/16.
36. Leal Junior EC, de Godoi V, Mancalossi JL, Rossi RP, De Marchi T, Parente M, et al. Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes--preliminary results. *Lasers Med Sci.* 2011;26(4):493-501. Epub 2010/11/20.
37. Leal Junior EC, Baroni BM, Rossi RP, de Godoi V, De Marchi T, Tomazoni SS, et al. A fototerapia com diodo emissor de luz (LEDT) aplicada pré-exercício inibe a peroxidação lipídica em atletas após exercício de alta intensidade. Um estudo preliminar. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte.* 2011;17(1):8-12.

38. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, 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.* 2009;41(8):572-7. Epub 2009/09/05.
39. De Marchi T, Leal Junior EC, Bortoli C, Tomazoni SS, Lopes-Martins RA, Salvador M. Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running: effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. *Lasers in medical science.* 2012;27(1):231-6.
40. Rattey J, Martin PG, Kay D, Cannon J, Marino FE. Contralateral muscle fatigue in human quadriceps muscle: evidence for a centrally mediated fatigue response and cross-over effect. *Pflugers Arch.* 2006;452(2):199-207. Epub 2005/12/21.
41. Amann M, Venturelli M, Ives SJ, McDaniel J, Layec G, Rossman MJ, et al. Peripheral fatigue limits endurance exercise via a sensory feedback-mediated reduction in spinal motoneuronal output. *J Appl Physiol (1985).* 2013;115(3):355-64. Epub 2013/06/01.
42. Noakes TD. The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. *Sports Med.* 2007;37(4-5):374-7. Epub 2007/05/01.
43. Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med.* 2004;38(4):511-4. Epub 2004/07/27.
44. Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle Nerve.* 1984;7(9):691-9. Epub 1984/11/01.
45. Millet GY, Lepers R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Med.* 2004;34(2):105-16. Epub 2004/02/18.
46. Candotti CT, Castro FAS, Scheeren EM, Pressi AMS, Loss JF, Vaz MA, et al. EMG signal behavior in human vastus lateralis, tibialis anterior and soleus muscles during fatigue. *Brazilian Journal of Biomechanics.* 2004;5(7):15-9.

47. Giannesini B, Cozzone PJ, Bendahan D. Non-invasive investigations of muscular fatigue: metabolic and electromyographic components. *Biochimie*. 2003;85(9):873-83. Epub 2003/12/04.
48. Lambert EV, St Clair Gibson A, Noakes TD. Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Br J Sports Med*. 2005;39(1):52-62. Epub 2004/12/25.
49. Vollestad NK. Measurement of human muscle fatigue. *J Neurosci Methods*. 1997;74(2):219-27. Epub 1997/06/27.
50. Bini RR, Senger D, Lanferdini F, Lopes AL. Joint kinematics assessment during cycling incremental test to exhaustion. *Isokinetics and Exercise Science*. 2012;20:99-105.
51. Black AH, Sanderson DJ, Hennig EM. Kinematic and kinetic changes during an incremental exercise test on a bicycle ergometer. *XIVth ISB Congress in Biomechanics*. 1993:186-87.
52. Zameziati K, Mornieux G, Rouffet D, Belli A. Relationship between the increase of effectiveness indexes and the increase of muscular efficiency with cycling power. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(3):274-81. Epub 2005/11/12.
53. Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F. Physiological responses to cycling for 60 minutes at maximal lactate steady state. *Can J Appl Physiol*. 2000;25(4):250-61. Epub 2000/08/23.
54. Passfield L, Doust JH. Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(11):1935-41. Epub 2000/11/18.
55. Albertus Y, Tucker R, St Clair Gibson A, Lambert EV, Hampson DB, Noakes TD. Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(3):461-8. Epub 2005/03/03.
56. Bentley DJ, McNaughton LR, Thompson D, Vleck VE, Batterham AM. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(12):2077-81. Epub 2001/12/12.
57. Hue O, Le Gallais D, Chollet D, Boussana A, Prefaut C. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during

running in triathletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;77(1-2):98-105. Epub 1998/02/12.

58. Carpes FP, Bini RR, Nabinger E, Diefenthaler F, Mota CB, Guimarães ACS. Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*. 2005;19(2):105-13.

59. Liedl MA, Swain DP, Branch JD. Physiological effects of constant versus variable power during endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(10):1472-7. Epub 1999/10/20.

60. Bini RR, Carpes FP, Diefenthaler F, Mota CB, Guimaraes AC. Physiological and electromyographic responses during 40-km cycling time trial: relationship to muscle coordination and performance. *J Sci Med Sport*. 2008;11(4):363-70. Epub 2007/08/21.

61. Carpes FP, Rossato M, Faria IE, Bolli Mota C. Bilateral pedaling asymmetry during a simulated 40-km cycling time-trial. *J Sports Med Phys Fitness*. 2007;47(1):51-7. Epub 2007/03/21.

62. Bini RR, Hume PA. Relationship between pedal force asymmetry and performance in cycling time trial. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(9):892-8. Epub 2015/10/17.

63. Diefenthaler F, Bini RR, Vaz MA. Análise da técnica de pedalada durante o ciclismo até a exaustão. *Motriz*. 2012a;18(3):476-86.

64. Bini RR, Diefenthaler F. Kinetics and kinematics analysis of incremental cycling to exhaustion. *Sports Biomech*. 2010;9(4):223-35. Epub 2011/02/12.

65. Ansley L, Cangle P. Determinants of "optimal" cadence during cycling. *Eur J Sport Sci*. 2009;9(2):61-85.

66. GRADE. GRADE working group: the Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation. Available from: <http://www.gradeworkinggroup.org>. 2016.

67. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2008;336(7650):924-6. Epub 2008/04/26.

68. Bini RR, Hume PA. Between-day reliability of pedal forces for cyclists during an incremental cycling test to exhaustion. *Isokinetics and Exercise Science*. 2013;21(3):203-9.
69. Carpes FP, Dagnese F, Bini RR, Diefenthaler F, Rossato M, Mota CB, et al. Características cinemáticas da pedalada em ciclistas competitivos de diferentes modalidades. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 2006;6:7-14.
70. Bini RR, Diefenthaler F, Carpes FP, Mota CB. External work bilateral symmetry during incremental cycling exercise. *International Conference on Sports Biomechanics*. 2007.
71. Amoroso A, Sanderson DJ, Hennig EM. Kinematic and kinetic changes in cycling resulting from fatigue. *Proceedings of 14th International Congress of Biomechanics*. 1993:94-5.
72. Dingwell JB, Joubert JE, Diefenthaler F, Trinity JD. Changes in muscle activity and kinematics of highly trained cyclists during fatigue. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2008;55(11):2666-74. Epub 2008/11/08.
73. Dorel S, Drouet JM, Couturier A, Champoux Y, Hug F. Changes of pedaling technique and muscle coordination during an exhaustive exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 2009;41(6):1277-86.
74. Wiest MJ, Carpes FP, Rossato M, Mota CB. Efeito de um exercício extenuante sobre o padrão angular de pedalada: estudo preliminar. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. 2009;11(4):386-91.
75. Farina D, Ferguson RA, Macaluso A, De Vito G. Correlation of average muscle fiber conduction velocity measured during cycling exercise with myosin heavy chain composition, lactate threshold, and VO₂max. *J Electromyogr Kinesiol*. 2007;17(4):393-400. Epub 2006/05/20.
76. Kautz SA, Neptune RR, Zajac FE. General coordination principles elucidated by forward dynamics: minimum fatigue does not explain muscle excitation in dynamic tasks. *Motor control*. 2000;4(1):75-80; discussion 97.
77. Mornieux G, Guenette JA, Sheel AW, Sanderson DJ. Influence of cadence, power output and hypoxia on the joint moment distribution during cycling. *Eur J Appl Physiol*. 2007;102(1):11-8. Epub 2007/09/12.

78. Duc S, Betik AC, Grappe F. EMG activity does not change during a time trial in competitive cyclists. *International Journal of Sports Medicine*. 2005;26(2):145-50.
79. Connick MJ, Li FX. The impact of altered task mechanics on timing and duration of eccentric bi-articular muscle contractions during cycling. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23(1):223-9. Epub 2012/09/27.
80. Fregly BJ, Zajac FE. A state-space analysis of mechanical energy generation, absorption, and transfer during pedaling. *J Biomech*. 1996;29(1):81-90. Epub 1996/01/01.
81. Hof AL. The force resulting from the action of mono- and biarticular muscles in a limb. *J Biomech*. 2001;34(8):1085-9. Epub 2001/07/13.
82. Vans Ingen Schenau GJ, Pratt CA, MacPherson JM. Differential use and control of mono- and biarticular muscles. *Human Movement Science*. 1994;13(3-4):495-517.
83. 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. Epub 2013/05/16.
84. Mester E, Szende B, Gartner P. [The effect of laser beams on the growth of hair in mice]. *Radiobiol Radiother (Berl)*. 1968;9(5):621-6. Epub 1968/01/01. Die Wirkung der Lasstrahlen auf den Haarwuchs der Maus.
85. Komatsu M, Kubo T, Kogure S, Matsuda Y, Watanabe K. Effects of 808 nm low-power laser irradiation on the muscle contraction of frog gastrocnemius. *Lasers Surg Med*. 2008;40(8):576-83. Epub 2008/09/18.
86. Ferraresi C, de Sousa MV, Huang YY, Bagnato VS, Parizotto NA, Hamblin MR. Time response of increases in ATP and muscle resistance to fatigue after low-level laser (light) therapy (LLLT) in mice. *Lasers Med Sci*. 2015;30(4):1259-67. Epub 2015/02/24.
87. Xu X, Zhao X, Liu TC, Pan H. Low-intensity laser irradiation improves the mitochondrial dysfunction of C2C12 induced by electrical stimulation. *Photomedicine and laser surgery*. 2008;26(3):197-202. Epub 2008/05/20.
88. Miranda EF, Leal-Junior EC, Marchetti PH, Dal Corso S. Acute effects of light emitting diodes therapy (LEDT) in muscle function during isometric exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease: preliminary results of a

randomized controlled trial. *Lasers Med Sci.* 2014;29(1):359-65. Epub 2013/06/08.

89. Kelencz CA, Munoz IS, Amorim CF, Nicolau RA. Effect of low-power gallium-aluminum-arsenium noncoherent light (640 nm) on muscle activity: a clinical study. *Photomedicine and laser surgery.* 2010;28(5):647-52. Epub 2010/10/22.

90. da Silva Alves MA, Pinfildi CE, Neto LN, Lourenco RP, de Azevedo PH, Dourado VZ. Acute effects of low-level laser therapy on physiologic and electromyographic responses to the cardiopulmonary exercise testing in healthy untrained adults. *Lasers Med Sci.* 2014;29(6):1945-51. Epub 2014/06/14.

91. Ferraresi C, Beltrame T, Fabrizzi F, do Nascimento ES, Karsten M, Francisco Cde O, et al. Muscular pre-conditioning using light-emitting diode therapy (LEDT) for high-intensity exercise: a randomized double-blind placebo-controlled trial with a single elite runner. *Physiother Theory Pract.* 2015;31(5):354-61. Epub 2015/01/15.

92. Leal-Junior EC, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho Pde T, 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. Epub 2013/11/20.

93. Ferraresi C, Beltrame T, Fabrizzi F, Nascimento ES, Karsten M, Francisco Cde O, et al. Muscular pre-conditioning using light-emitting diode therapy (LEDT) for high-intensity exercise: a randomized double-blind placebo-controlled trial with a single elite runner. *Physiotherapy theory and practice.* 2015;31(5):354-61.

94. Leal Junior EC, Lopes-Martins RA, 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. *Photomedicine and laser surgery.* 2009;27(4):617-23.

95. Albuquerque-Pontes GM, Vieira Rde P, Tomazoni SS, Caires CO, Nemeth V, Vanin AA, 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 in medical science.* 2015;30(1):59-66. Epub 2014/06/25.

96. Huang YY, Sharma SK, Carroll J, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy - an update. *Dose Response*. 2011;9(4):602-18. Epub 2011/01/01.
97. Priego-Quesada I, Bini RR, Diefenthaler F, Carpes FP. Spectral properties of muscle activation during incremental cycling test. *J Sci Cycling*. 2015;4(1):7-13.
98. De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*. 1997;13:135-63.
99. Macdonald JH, Farina D, Marcora SM. Response of electromyographic variables during incremental and fatiguing cycling. *Medicine and science in sports and exercise*. 2008;40(2):335-44. Epub 2008/01/19.
100. Cannon DT, Kolkhorst FW, Cipriani DJ. Electromyographic data do not support a progressive recruitment of muscle fibers during exercise exhibiting a VO₂ slow component. *J Physiol Anthropol*. 2007;26(5):541-6.
101. Ansley L, Cangle P. Determinantes of "optimal" cadence during cycling. *Eur J Sports Sci*. 2009;9(2):61-85.
102. Marfell-Jones M, Olds T, Stewart A, Carter L. International standards for anthropometric assessment. Potchefstroom, South Africa, ISAK. 2006.
103. de Vey Mestdagh K. Personal perspective: in search of an optimum cycling posture. *Applied ergonomics*. 1998;29(5):325-34.
104. Davison RCR, Corbett J, Ansley L. Influence of temperature and protocol on the calibration of the Computrainer electromagnetically-braked cycling ergometer. *International Sport Medicine Journal*. 2009;10(2):66-76.
105. Baroni BM, Rodrigues R, Freire BB, Franke Rde A, Geremia JM, Vaz MA. Effect of low-level laser therapy on muscle adaptation to knee extensor eccentric training. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(3):639-47. Epub 2014/11/25.
106. Merletti R, Botter A, Troiano A, Merlo E, Minetto MA. Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: state of the art. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009;24(2):122-34. Epub 2008/12/02.
107. Wakeling JM. Spectral properties of the surface EMG can characterize motor unit recruitment strategies. *Journal of applied physiology*. 2008;105(5):1676-7; discussion 5.

108. Huang YY, Chen AC, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose-response : a publication of International Hormesis Society*. 2009;7(4):358-83.
109. de Almeida P, Lopes-Martins RA, Tomazoni SS, Silva JA, Jr., de Carvalho Pde T, Bjordal JM, et al. Low-level laser therapy improves skeletal muscle performance, decreases skeletal muscle damage and modulates mRNA expression of COX-1 and COX-2 in a dose-dependent manner. *Photochem Photobiol*. 2011;87(5):1159-63. Epub 2011/07/14.
110. Santos LA, Marcos RL, Tomazoni SS, Vanin AA, Antonialli FC, Grandinetti Vdos S, et al. Effects of pre-irradiation of low-level laser therapy with different doses and wavelengths in skeletal muscle performance, fatigue, and skeletal muscle damage induced by tetanic contractions in rats. *Lasers in medical science*. 2014;29(5):1617-26. Epub 2014/03/22.
111. Antonialli FC, De Marchi T, Tomazoni SS, Vanin AA, dos Santos Grandinetti V, de Paiva PR, et al. Phototherapy in skeletal muscle performance and recovery after exercise: effect of combination of super-pulsed laser and light-emitting diodes. *Lasers in medical science*. 2014;29(6):1967-76. Epub 2014/06/20.
112. Macdonald JH, Farina D, Marcora SM. Response of electromyographic variables during incremental and fatiguing cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2008;40(2):335-44.
113. Higashi RH, Toma RL, Tucci HT, Pedroni CR, Ferreira PD, Baldini G, et al. Effects of low-level laser therapy on biceps braquialis muscle fatigue in young women. *Photomedicine and laser surgery*. 2013;31(12):586-94. Epub 2013/12/11.
114. dos Santos Maciel T, Munoz IS, Nicolau RA, Nogueira DV, Hauck LA, Osorio RA, et al. Phototherapy effect on the muscular activity of regular physical activity practitioners. *Lasers in medical science*. 2014;29(3):1145-52.
115. Miranda EF, Vanin AA, Tomazoni SS, Grandinetti Vdos S, de Paiva PR, Machado Cdos S, 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. Epub 2016/03/05.

116. Arena R, Humphrey R, Peberdy MA. Measurement of oxygen consumption on-kinetics during exercise: implications for patients with heart failure. *J Card Fail.* 2001;7(4):302-10. Epub 2002/01/10.
117. Duc S, Betik AC, Grappe F. EMG activity does not change during a time trial in competitive cyclists. *Int J Sports Med.* 2005;26(2):145-50. Epub 2005/02/24.
118. Bini R, Hume PA, Croft JL. Effects of bicycle saddle height on knee injury risk and cycling performance. *Sports Med.* 2011;41(6):463-76. Epub 2011/05/28.
119. Sousa A, Figueiredo P, Zamparo P, Pyne DB, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Exercise Modality Effect on Bioenergetical Performance at V O₂max Intensity. *Medicine and science in sports and exercise.* 2015;47(8):1705-13. Epub 2014/11/21.
120. Ma S, Rossiter HB, Barstow TJ, Casaburi R, Porszasz J. Clarifying the equation for modeling of VO₂ kinetics above the lactate threshold. *J Appl Physiol (1985).* 2010;109(4):1283-4. Epub 2010/10/14.
121. Whipp BJ, Casaburi R. Characterizing O₂ uptake response kinetics during exercise. *Int J Sports Med.* 1982;3(2):97-9. Epub 1982/05/01.
122. Hughson RL, Tschakovsky ME, Houston ME. Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 2001;29(3):129-33. Epub 2001/07/28.
123. Hepple RT. The role of O₂ supply in muscle fatigue. *Can J Appl Physiol.* 2002;27(1):56-69. Epub 2002/03/07.
124. Karu TI. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. *IUBMB Life.* 2010;62(8):607-10. Epub 2010/08/04.
125. Silveira PC, Silva LA, Fraga DB, Freitas TP, Streck EL, Pinho R. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in muscle healing by low-level laser therapy. *Journal of photochemistry and photobiology B, Biology.* 2009;95(2):89-92.
126. Barstow TJ, Casaburi R, Wasserman K. O₂ uptake kinetics and the O₂ deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *Journal of applied physiology.* 1993;75(2):755-62. Epub 1993/08/01.

127. Rossiter HB, Ward SA, Kowalchuk JM, Howe FA, Griffiths JR, Whipp BJ. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. *J Physiol*. 2002;541(Pt 3):991-1002. Epub 2002/06/18.
128. Hayworth CR, Rojas JC, Padilla E, Holmes GM, Sheridan EC, Gonzalez-Lima F. In vivo low-level light therapy increases cytochrome oxidase in skeletal muscle. *Photochem Photobiol*. 2010;86(3):673-80. Epub 2010/04/23.
129. Ferraresi C, Kaippert B, Avci P, Huang YY, de Sousa MV, Bagnato VS, et al. Low-level laser (light) therapy increases mitochondrial membrane potential and ATP synthesis in C2C12 myotubes with a peak response at 3-6 h. *Photochem Photobiol*. 2015;91(2):411-6. Epub 2014/12/03.
130. Maegawa Y, Itoh T, Hosokawa T, Yaegashi K, Nishi M. Effects of near-infrared low-level laser irradiation on microcirculation. *Lasers in surgery and medicine*. 2000;27(5):427-37. Epub 2000/12/29.