

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO PARAIBA
INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

MAURÍCIO BALBINOTTI FERRARI

EFEITOS DA RADIAÇÃO LASER, 660 nm, NA FADIGA MUSCULAR INDUZIDA

**São José dos Campos
2008**

MAURÍCIO BALBINOTTI FERRARI

EFEITOS DA RADIAÇÃO LASER, 660 nm, NA FADIGA MUSCULAR INDUZIDA

Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientadores: Prof. Dr. Renato Amaro
Zangaro
Profa. Dra. Regiane Albertini de Carvalho

**São José dos Campos
2008**

F428e

Ferrari, Maurício Balbinotti

Efeitos da aplicação do laser, na região do vermelho, na capacidade de resistência a fadiga muscular induzida / Maurício Balbinotti Ferrari Orientadores: Prof. Dr. Renato Amaro Zangaro, Profa. Dra. Regiane Albertini de Carvalho.-- São José dos Campos, 2008.

1 Disco laser: color.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba. 2008.

1. Lasers 2. Lactatos 3. Esportes 4. Músculos / lesões I. Zangaro, Renato Amaro, Orient. II. Carvalho, Regiane Albertini de, orient. III. Título

CDU: 62:61

Autorizo exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, por processos fotocopiadores ou transmissão eletrônica, desde que citada a fonte.



Assinatura do aluno:

Data: 17 de dezembro de 2008.

MAURÍCIO BALBINOTTI FERRARI

“EFEITOS DA RADIAÇÃO LASER, 660 nm, NA FADIGA MUSCULAR INDUZIDA.”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. **RENATO AMARO ZÂNGARO** (UNIVAP)

Prof.^a Dra. **REGIANE ALBERTINI DE CARVALHO** (UNIVAP)

Prof. Dr. **CARLOS MARCELO PASTRE** (UNESP)

Prof.^a Dra. Sandra Maria Fonseca da Costa

Diretor do IP&D – UniVap

São José dos Campos, 17 de dezembro de 2008.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Maria Cristina Balbinotti Ferrari e Roberto Falcão Ferrari pelo incentivo, apoio, compreensão, carinho e amor incondicional.

Aos meus irmãos Marcio e Fabrício Ferrari pelos conselhos e amparos fundamentais na minha evolução.

À minha namorada Marina Salomoni Pozza pelo amor, dedicação e tolerância.

Ao colega Rodrigo Jimenez pela amizade.

Aos meus orientadores Regiane Albertini e Renato Zangaro pela constante ajuda.

Aos atletas e voluntários participantes da pesquisa.

Aos professores Fabiano de Barros Souza e Carlos Alberto Kelencz pela ajuda na realização dos inúmeros estudos pilotos.

A todas as pessoas que não foram citadas, mas que de alguma forma contribuíram para a realização desta etapa.

Especialmente ao professor “Nego” pelo “empréstimo” dos atletas para a realização da pesquisa

A CAPES e a UNIVAP pelo apoio financeiro.

EFEITOS DA RADIAÇÃO LASER, 660 nm, NA CAPACIDADE DE RESISTENCIA À FADIGA MUSCULAR INDUZIDA.

RESUMO

A utilização do laser de baixa potencia já possui efeito comprovado para diversas aplicação em tecidos biológicos, porem ainda não há relatos da utilização da LBP em relação a fadiga muscular em contrações concêntricas de membros superiores. O estudo teve como objetivo verificar os efeitos da utilização do laser de baixa potencia, 660 nm em relação a postergação da fadiga muscular. Os voluntários foram divididos em quatro grupos, sendo que dois foram irradiados com laser por 41e 69 segundos em quatro pontos do ventre do músculo bíceps braquial, os outros se tratavam de placebo e controle. Vinte e oito atletas realizaram o protocolo para indução da fadiga muscular para membros superiores. Os efeitos do laser foram verificados através da concentração de lactato sanguíneo, número de repetições de flexo-extensão, tempo total do protocolo, e eletromiografia. Os resultados em relação ao índice de lactato em nenhum dos grupos foi significativa, porem quanto ao numero de repetições e tempo total do protocolo ambos os grupos apresentaram relações estatisticamente significantes $P < 0,05$, porem quando compara-se os grupos irradiados com LBP não observa-se diferenças. Em relação a análise do RMS do sinal eletromiográfico as diferenças apresentadas pelos grupos irradiados com o laser, quanto as relações entre os grupos placebo e controle também não foram significantes, porem quando compara-se os grupos irradiados com os que não receberam a irradiação os resultados significantes $P < 0,001$. Pode-se presumir que o laser apresenta efeito estimulatório em relação a postergação da fadiga muscular, podendo este ser uma importante ferramenta como alternativa para prevenção de lesões.

Palavras-chave: fadiga muscular, laser 660 nm, esporte, prevenção de lesões.

EFFECTS OF RADIATION LASER, 660 NM, IN THE CAPACITY OF RESISTANCE TO MUSCLE FATIGUE INDUCED

ABSTRACT

The low level laser radiation has improved effect in many applications with biological tissues, but there are a lack of cases related to muscular fatigue with concentric contraction in superior members. The aim of this study was to verify the effect of low level laser radiation, 660 nm, in the muscular fatigue. For this study, twenty-eight athletes performed a protocol to achieve muscular fatigue in superior members, and they were divided in 4 groups. The group 1 was irradiated with 69 seconds, group 2 was irradiated with 41 seconds, group 3 was the control group, and group four was the placebo. The group 1 and 2 were irradiated four points in the venter of braquial biceps muscle. The laser effects were verified mensuring the seric lactate concentration, the maxim number of flexo-extension, the total time of the protocol, and the electromyography analyses of the braquial biceps muscle electric activity. The seric concentration of lactate didn't showed statistically significant differences between the analyzed groups $P > 0,05$. In reference to exercise maximum number of repetitions and the maximum period for its realization, the analyzed groups showed statistically significant differences for $P < 0,05$, when compared to placebo and control groups. RMS signal verification, obtained from irradiated groups, are statistically significant between themselves. When compared to the control and placebo groups, this statistic significant level increases to $P < 0,001$. The results allows to affirm the laser interferes in the muscular fatigue process and it could be an important tool as an alternative for the prevention of injuries.

Keywords: muscle fatigue, laser 660 nm, sports, prevention of injury.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Dimensões dos eletrodos | 31 |
| Figura 2: Eletromiógrafo | 32 |
| Figura 3: Laser 660 nm..... | 33 |
| Figura 4: Pontos de colocação dos eletrodos para eletromiografia | 37 |
| Figura 5: pontos de aplicação do laser 660 nm..... | 39 |
| Figura 6: Concentração de lactato sanguíneo basal | 45 |
| Figura 7: Lactato pós fadiga..... | 46 |
| Figura 8: Correlação entre os lactatos obtidos na primeira e segunda avaliação .. | 47 |
| Figura 9: Tempo total so protocolo | 48 |
| Figura 10: Número total de repetições | 49 |
| Figura 11: Regressão linear do sinal do EMG | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Protocolo de irradiação laser 660 nm Grupo Laser 1. | 34 |
| Tabela 2: Protocolo de irradiação laser 660 nm Grupo Laser 2. | 34 |

LISTA DE ABREVIações

Ca: Cálcio

CEP: Comitê de Ética e Pesquisa.

CM: Carga Máxima.

CNS: Conselho Nacional de Saúde.

CO₂: Dióxido de Carbono.

DP: Desvio Padrão.

EMG: Eletromiografia

FMI: Fadiga Muscular Induzida.

H⁺: Íon Hidrogênio.

H₂O: Molécula de Água.

He-Ne: Hélio – Neônio.

J/cm²: Joule por Centímetro Quadrado.

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission Radiation.

LBP: Laser de Baixa Potência.

MCT: Monocarboxilato.

mmol/l: Milimol por Litro (concentração de ácido láctico).

mW/cm²: Miliwatts por Centímetro Quadrado.

nm: Nanômetro.

O₂: Oxigênio.

P> ou P<: Nível de Significância Estatística.

PFMI: Protocolo de Fadiga Muscular Induzida.

pH: Potencial de Hidrogênio Iônico.

RMS: *root-mean-square*

t: Tempo.

VO2 Máx: Consumo Máximo de Oxigênio.

W: Watts.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 FADIGA MUSCULAR..... | 13 |
| 1.2 LACTATO | 15 |
| 1.3 ELETROMIOGRAFIA | 18 |
| 1.4 LASER | 19 |
| 1.4.1 LASER DE BAIXA POTÊNCIA (LBP)..... | 21 |
| 2 OBJETIVOS..... | 25 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 25 |
| 3 METODOLOGIA..... | 26 |
| 3.1 TIPO DE PESQUISA..... | 26 |
| 3.2 AMOSTRA..... | 26 |
| 3.2.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO | 26 |
| 3.2.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO | 26 |
| 3.2.3 GRUPOS | 27 |
| 3.3 INSTRUMENTAÇÃO | 27 |
| 3.3.1 ELETRODOS PARA ELETROMIOGRAFIA | 28 |
| 3.3.2 ELETROMIÓGRAFO | 28 |
| 3.3.3 ESPECIFICAÇÕES DO LASER | 29 |
| 4 PROCEDIMENTOS..... | 32 |
| 4.1 TESTE DE CARGA MÁXIMA..... | 32 |
| 4.2 ALONGAMENTO MUSCULAR..... | 33 |
| 4.3 POSICIONAMENTO DO ELETRODO | 33 |
| 4.4 PROTOCOLO DE INDUÇÃO A FADIGA | 34 |

| | |
|---|----|
| 4.5 COLETA SANGUÍNEA | 36 |
| 4.6 APLICAÇÃO DO LBP | 38 |
| 4.7 ASPECTOS ÉTICOS | 39 |
| 4.8 ANÁLISE DOS DADOS | 39 |
| 5 RESULTADOS | 40 |
| 9 DISCUSSÃO | 15 |
| 10 CONCLUSÃO..... | 22 |
| REFERÊNCIAS | 23 |
| ANEXO A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO | 32 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 FADIGA MUSCULAR

O termo fadiga muscular é utilizado para descrever uma sensação de cansaço e a concomitante redução da eficiência da musculatura. Davis e Bailey, (1997) e Gonçalves (2006) afirmam que a fadiga é a incapacidade de manter um nível constante de desempenho durante um exercício físico, já para Rossi et al., (2000), a fadiga está intimamente relacionada com a diminuição de capacidade de gerar força e para Edward et al., (1972), a fadiga muscular é a incapacidade do músculo de manter sua potência. A fadiga muscular é muito estudada, porém os mecanismos exatos que levam às alterações causadas por ela ainda não são bem estabelecidos (LESS et al., 2001), pois esta caracteriza-se por apresentar natureza multifatorial (ASCENSÃO et al., 2003), sendo que a fadiga é responsável por evitar lesões musculares (SANTOS et al., 2003).

A fadiga está associada com o declínio da propriocepção, aumento da lassidão ligamentar, diminuição de força, potência muscular e interfere no controle do movimento fino (JOHNSTON et al., 1998). Devido à perda na capacidade de absorver energia quando fadigadas, as fibras musculares apresentam aumento no tempo de resposta da unidade motora e uma desregulação do ajuste corporal.

Rassier e McIntosh, (2002), afirmam que a diminuição da força muscular e a indução de fadiga estão relacionadas com a diminuição do Ca^{2+} mioplasmático ou então pela diminuição da sensibilidade a este mediador, através do retículo sarcoplasmático, reduzindo assim a contratibilidade do músculo e consequentemente sua força.

A fadiga muscular, ocasionada pela atividade muscular prolongada, gera alterações metabólicas, incluindo depleção dos estoques de glicogênio (PARKIN et al., 1997), dos suprimentos de ATP, além da acumulação dos produtos de reações bioquímicas (HOLT et al., 1993). Os baixos níveis de glicogênio muscular dependem da intensidade do esforço físico, da dieta, modalidade do exercício, temperatura do ambiente e condicionamento físico (ECONOMOS et al., 1993). O aumento da fadiga muscular é diretamente proporcional à velocidade de depleção de glicogênio (GUYTON, 2000).

A incapacidade em manter potenciais de ação em altas frequências é um importante fator para determinar a instalação da fadiga muscular. A manutenção desse potencial é dependente da capacidade de recapturar os íons de potássio (K^+) para o interior da célula e em retirar os íons de sódio (Na^+) da mesma, a fim de repolarizar a membrana sarcoplasmática e permitir a entrada de um novo impulso elétrico, em conseqüência da diminuição na capacidade de despolarização da membrana, os receptores sensíveis à voltagem têm uma diminuição em sua ativação, e isso gera uma diminuição na liberação de Ca^{2+} das cisternas do retículo sarcoplasmático (GREEN, 1997), também a diminuição das reservas de ATP vem a contribuir para que haja uma instalação do processo de fadiga muscular (DUTKA, 2004 e MAGLISCHO, 1999).

Para Powers e Howley, (1990), a fadiga muscular pode ser classificada conforme o período de sua aparição em três tipos: aguda, subaguda e crônica. Para Terrados e Fernández, (1997), a fadiga aguda trata-se de uma modificação na capacidade de produção de força desejada ou requerida, devido uma deterioração de algum dos processos responsáveis pela excitação-contração-relaxamento muscular.

Historicamente, a base das investigações etiologias da fadiga aguda muscular focaliza-se a partir da localização dos seus mecanismos etiológicos (KIRKENDALL, 2000) podendo esta ser dividida em central e periférica (BIGLAND

et al., 1986; FITTS, 1996; TERRADOS e FERNÁNDEZ, 1997; SANTOS et al., 2003).

Segundo Weist et al., (2004), pode-se diferenciar fadiga periférica e fadiga central. Fadiga muscular periférica ocorre após uma atividade máxima, quando ocorre diminuição do pH e aumento do lactato, conseqüências da falta de oxigênio nos capilares sanguíneos. O sistema central tenta contornar essa situação com aumento da motivação, mas quando a atividade continua tornase difícil realizar essa atividade compensatória devido à insuficiência músculoesquelética.

O ácido láctico acumula-se na fibra muscular somente durante os exercícios de esforços musculares relativamente breves e de alta intensidade. Não se deve julgar o ácido láctico como fator isolado, esse quando não eliminado, se dissocia, transformando-se em lactato e causando o acúmulo de íons hidrogênio (WILMORE e COSTILL, 2001).

O acúmulo de íons de hidrogênio produz uma situação de acidose muscular, comprometendo de fato as fibras musculares. Atividades de curta duração e alta intensidade elevam muito os níveis de lactato e íons hidrogênio, felizmente o organismo possui um sistema de tamponamento que ameniza essa situação de acidose. Mesmo assim, nesse tipo de exercício, o pH fica abaixo dos parâmetros normais, diminuindo conseqüentemente a formação de ATP e energia para o músculo, bem como a contração muscular. (WILMORE e COSTILL, 2001), essa sim pode ser considerada a verdadeira causa da exaustão dos atletas. Assim sendo, quanto mais lactato tiver no organismo, mais íons hidrogênio serão liberados e maior será a acidose do músculo, aumentando sua predisposição a fadiga e a eventual lesão (FOSS ; KETEYIAN, 2000; MACARDLE et al., 2002).

1.2 LACTATO

Lactato é um composto orgânico produzido naturalmente pelo corpo. O nível de lactato em humanos, em repouso, é da ordem de 1 a 2 mmol/l. A principal fonte de produção do lactato é a quebra do glicogênio. O glicogênio se quebra em piruvato e produz energia, sem a utilização de oxigênio, produzindo energia anaeróbia. Quando o piruvato se quebra ainda mais, utilizando oxigênio, produz-se mais energia, chamada aeróbia. Se o piruvato não se quebra, é geralmente transformado em lactato. Quando o piruvato é produzido, as células tendem a usá-los como energia aeróbia, porém se as células perdem a capacidade de metabolizar o mesmo, este se transforma quimicamente em lactato. Com o treinamento as células musculares são capazes de se adaptar a uma maior utilização de piruvato e menor produção de lactato (GUYTON, 2000).

Durante a atividade intensa, ocorre acúmulos de metabólicos, como o ácido láctico, sendo acompanhado por uma queda de pH tecidual. Os maiores responsáveis pela produção de ácido láctico são músculos estriados, esqueléticos ou voluntários (GLADDEN, 2000). Sendo que com o decorrer da atividade muscular, o ácido láctico é difundido das células musculares para o sangue e líquido intersticial (BULLOCK et al., 1998).

O lactato produzido pode ser utilizado pelas células ou transportado para o meio extracelular, por meio do transportador monocarboxilato (MCT). Este pode difundir-se para o interior de outras células, menos ativas, onde podem ser reaproveitados no metabolismo aeróbico (GUYTON, 2000).

Durante o repouso as concentrações de lactato sanguíneos estão reduzidas. No exercício de alta intensidade a demanda de ácido láctico aumenta consideravelmente. Já nos exercícios de baixa intensidade, o aporte de oxigênio é adequado para suprir as necessidades metabólicas (SPRIET et al., 2000).

Após instalado o quadro de fadiga muscular, observa-se o aumento dos níveis de ácido láctico e íons de hidrogênio nas células musculares e sanguíneas,

ocorrendo uma diminuição no pH. O acúmulo de lactato durante atividades físicas está associada à falta de suprimentos de oxigênio na musculatura (GRASSI et al., 1999). O ácido láctico provoca inibição nos canais de cálcio, que contribui para o surgimento da fadiga muscular (FAVERO et al., 1997).

O ácido láctico tem a sua produção constante no organismo, porém no decorrer de uma atividade física de alta intensidade este tende a elevar a sua concentração nas regiões musculares predominantemente utilizadas (YAZNEK, 1994).

O tecido muscular esquelético não é somente o local principal da produção de lactato, mas também é o maior responsável por sua remoção (HASHIMOTO, 2008). Além disso, o lactato pode difundir-se para a corrente sanguínea, onde pode ser consumido pelo coração, fígado ou outras células musculares, e reconvertido em piruvato, posteriormente metabolizado no ciclo de Krebs (pelo coração) ou transformado em glicose pelo ciclo de Cori (no fígado) (GUYTON, 2000).

Assim, a maior parte do lactato produzido é removida durante a atividade física constante, tanto pela musculatura esquelética envolvida na atividade, quanto pelas células vizinhas. Além da captação por diferentes tecidos como rins, coração e fígado. O lactato não é apenas um produto final do metabolismo anaeróbico, mas sim também um intermediário do metabolismo aeróbico (BROOKS et al., 2000).

Se uma atleta conseguir reduzir a produção de lactato, ou conseguir diminuir o período necessário para a eliminação do mesmo, ele também reduziria a produção e eliminação dos íons hidrogênio (H^+), que causam acidose. Recentes pesquisas indicam que reduzir a produção de lactato é importante, mas talvez seja mais importante a redução do período de recuperação. Quando o atleta está bem treinado, o corpo se torna capaz de transportar o lactato produzido para um outro

local qualquer, reduzindo sua concentração nos principais músculos envolvidos no esporte. (BROOKS et al., 2000).

1.3 ELETROMIOGRAFIA

Segundo Hagberg (1979) e Maton (1981) a fadiga pode ser determinada pela amplitude do sinal eletromiográfico, verificada através do aumento desta em função do tempo, durante contrações sustentadas e com carga constante.

Este aumento tempo-dependente do sinal eletromiográfico em função da fadiga muscular pode ocorrer devido ao aumento da amplitude do potencial de ação, à mudanças na ordem de recrutamento de unidades motoras ou ao aumento das taxas de disparo do neurônio motor (EDWARDS; LIPPOLD, 1956; EASON, 1960; TARKKA, 1984; GONÇALVES, 2000); sendo estes fatores utilizados como estratégia de compensação da perda função motora (DeVRIES, 1968).

Por meio da análise dos parâmetros eletromiográficos, a identificação da fadiga muscular tem sido relatada em protocolos que utilizam contrações isométricas (KAY et al., 2000; SILVA et al., 2005) e contrações dinâmicas nos quais se evidencia este fenômeno pela diminuição da frequência mediana e aumento da amplitude do sinal eletromiográfico (OLIVEIRA et al., 2005).

A EMG é utilizada para medição dos potenciais de ação de fibras musculares que são gerados durante a contração da musculatura, permitindo avaliar as despolarizações das membranas das células musculares (APARICIO, 1997).

O sinal obtido através da eletromiografia pode ser quantificado por várias formas de processamentos, entre elas encontra-se o RMS (DE LUCA, 1997). O *RMS* (do inglês, *root-mean-square*) é a raiz quadrada da média dos quadrados

dos valores instantâneos dos sinais sendo uma das formas de avaliação do nível do sinal da eletromiografia. Este processamento não necessita retificação, devido ao fato de que a amplitude do sinal eletromiográfico é elevada ao quadrado (MARCHETTI E DUARTE, 2006), conforme formula descrita a seguir:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

Os valores obtidos através da análise do sinal eletromiográfico por RMS são consideradas uma das informações mais precisas da análise do sinal (BASMAJIAN; DE LUCA, 1985; SILVA, 2003).

1.4 LASER

Em 1916 Albert Einstein, publicou o trabalho “On The Quantum Theory of Radiation”, o qual permitiu que em 1960 Maiman e sua equipe pudessem projetar e desenvolver o primeiro laser, sendo este um laser pulsado de alta potência. (RIGAU, 1996).

O termo laser é um acrônimo da língua inglesa que significa Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, (SULEWSKI 2000), ou seja, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação, sendo uma forma de radiação não ionizante e altamente concentrada (NASCIMENTO, 2001).

A produção desta radiação resulta de um salto quântico de um elétron ou uma molécula previamente estimulada, passando de um estado de baixa energia

para um estado de alta energia e desse modo emite ondas de mesma frequência e direção (KITCHEN e PATRIDGE, 1991; ORTIZ et al., 2001).

Segundo El Sayed e Dyson (1990) a radiação laser apresenta três características que o diferencia da luz emitida por outras fontes luminosas que são a monocromaticidade, coerência e colimação. Monocromaticidade significa que a luz produzida por um laser é de “uma única cor”, portanto com largura de banda muito estreita da ordem de um nm (KITCHEN, 2003).

A monocromaticidade é determinada pelo meio ativo gerador, sendo cada meio, responsável pela geração de um comprimento de onda específico (ORTIZ et al., 2001). El Sayed e Dyson (1990) acreditam que a monocromaticidade é a principal característica da luz laser e que este é o fator determinante na interação fotobiológica e nos efeitos terapêuticos específicos, porém Haczeki et al., (1989), afirmam que a característica de monocromaticidade se perde nos primeiros estratos da pele, uma vez que essa é formada por uma grande variedade de estrutura. Para Fedoseyeva et al., 1988 o efeito da estimulação por LBP está relacionado não só ao comprimento de onda, mas também a intensidade e a dose utilizada.

El Sayed e Dyson (1990) descrevem que a coerência refere-se ao sincronismo dos fótons, os quais se encontram temporalmente em mesma fase. Segundo Ortiz et al., (2001) e Low e Reed, 2001, a coerência pode ser temporal ou espacial. Karu, 1987, descreve que a coerência não é de fundamental importância para a foto estimulação, visto que radiações não coerentes também obtêm efeitos no tecido biológico.

A colimação se refere ao fato de que a luz ou fótons que são emitidos por um laser propagam-se paralelamente, havendo pequena divergência quando a radiação percorre distâncias consideráveis.

Atualmente os equipamentos de radiação laser estão classificados em dois grandes grupos de acordo com a potência de saída da radiação, os lasers de alta potência e a categoria dos de baixa potência (RIGAU, 1996).

Os lasers de alta potencia são utilizados para corte, vaporização e coagulação (KARU, 1999), e posteriormente ao surgimento desses foi desenvolvido o laser de baixa potência, que segundo Stainki et al., 1998 possui efeitos antiinflamatório, analgésico, estimulante celular e modulador do tecido conjuntivo na regeneração e na cicatrização tecidual. Bortolletto, 2000 acrescenta também ao laser ação anti-edematosa, a radiação auxilia também no reparo de fraturas ósseas (STEIN et al., 2005),

Os efeitos da radiação sobre os tecidos biológicos dependem da absorção de energia o qual induz modificações fotobiológicas. Tanto o comprimento de onda, como as características do tecido, formam parte dos fenômenos que determinam a absorção, pois o efeito sobre o tecido biológico depende da quantidade de energia depositada, da penetração e do tempo que a radiação foi absorvida.

1.4.1 LASER DE BAIXA POTÊNCIA (LBP)

O termo laser de baixa potência (LBP) é apenas um dos muitos utilizados para descrever a aplicação destes lasers, dentre eles podemos citar: laser não cirúrgico, laser terapêutico, *Low Intensity laser Treatment*, laser de baixa intensidade, terapia com “soft” laser, laser bioestimulador, laserterapia fria.

Em meados dos anos 70 alguns estudos avaliaram os efeitos do LBP diretamente para com os tecidos humanos, especialmente para avaliar os efeitos da fotobioestimulação no processo de cicatrização e reparo dos tecidos (KITCHEN, 1998).

Os lasers utilizados para terapia ainda não possuem o seu mecanismo de ação, no tecido biológico, totalmente elucidado (GENOT et al., 2005). Oron et al., (2001), afirmam que o LBP é administrado principalmente em três diferentes comprimento de onda, compreendidos na região do visível e infravermelho próximo, He-Ne, 632,8 nm, Ga-Al-As, 805 ou 650 nm e Ga-As, 904nm.

Os principais efeitos da radiação laser no tecido apresentam natureza estimulatória, causando aumento do metabolismo celular, quimiotaxia e vascularização (LOPES; BRUGNERA, 1998), a interação do LBP com o tecido não apresenta um efeito térmico apreciável, não ultrapassando geralmente 1° Celsius (MAEGAWA, 2000; BAXTER, 1997; KLOTH, 1997; KARU, 1987) e não produzindo lesões cutâneas quando aplicados corretamente, sendo que sua utilização tipicamente produz efeitos fotoquímicos (VEÇOSO, 1993; HONMURA et al., 1993). Porém Karu (1989), descreve que para só será obtido os efeitos desejados se a dosagem aplicada ao tecido biológico for adequada, pois doses muito baixas não produzem efeitos e doses muito altas causam bio-inibição.

O LBP age diretamente sobre as organelas celulares, principalmente nas mitocôndrias e membranas (aumentando sua atividade), gerando aumento da síntese de ATP, por meio de sítios ativos de fotoreceptores celulares específicos, dessa forma, o laser acelera em curto prazo, o processo de glicólise e oxidação fosforilativa (KARU, 1987).

A absorção da radiação nos tecidos pode resultar em quatro processos: fototérmico, fotomecânico, fotoquímico e fotoelétrico. Juntamente com os efeitos fotoquímicos pode ser incluída a bioestimulação, sendo o efeito da luz sobre os processos moleculares e bioquímicos que normalmente ocorre nos tecidos (BRUGNERA e PINHEIRO, 1998).

Segundo Veçoso (1993) e Silva et al., (1998) a absorção da radiação laser produz efeitos primários e secundários. Os efeitos primários são subdivididos em bioquímicos, bioelétricos e bioenergéticos conforme a seguir.

- Bioquímicos - estão relacionados com a liberação de substâncias pré-formadas como a histamina, serotonina e a bradicinina, em decorrência da ação do laser. Este efeito pode também ser observado na modificação das reações enzimáticas, excitando ou inibindo este processo. Assim, exerce também estímulo a produção de ATP e na velocidade da mitose (VEÇOSO, 1993).

- Bioelétricos - as células tem o interior eletricamente mais negativo que o exterior, isso se deve a existência de diferentes concentrações de íons positivos e negativos no interior e exterior da célula, existindo então uma tendência à neutralização por difusão que só é realizada devido à ação da bomba de sódio/potássio que mantém o potencial elétrico entre o interior e o exterior da célula com maior eficácia (SILVA et al., 1998). O laser, através da síntese de ATP, promove um aumento da eficiência da bomba sódio/potássio, deste modo a diferença do potencial elétrico do interior e exterior da célula é mantido com melhores resultados (VEÇOSO, 1993).

- Bioenergético - defende-se que o aporte energético da luz laser tem capacidade de normalizar o contingente energético que coexiste com o contingente físico dos indivíduos (KAHN, 2001).

Os efeitos secundários são: estímulo à microcirculação, e ao trofismo zonal. (VEÇOSO, 1993). A ação indireta do laser estimula a microcirculação como conseqüência da ação específica que exerce sobre o esfíncter pré-capilar na união dos capilares das arteríolas e vênulas, paralisando e deixando-o constantemente aberto ao estimular a produção de histamina. Como conseqüência destes efeitos, ocorre aumento da vasodilatação das arteríolas e capilares, melhorando o trofismo zonal, derivado do aumento de nutrientes e do

oxigênio e da eliminação de catabólitos além do aporte de elementos defensivos, promovendo ação antiinflamatória (AGNE, 2005).

Prakki (2003), utilizando radiação na região do vermelho (He-Ne), em mesentério de ratos concluiu que a radiação gerou uma ação direta sobre a estrutura celular, ocasionando angiogênese e vasodilatação. Mester et al., (1977); Lievens (1991) e Miro et al., (1984), também obtiveram como resultados de seus experimentos o aumento do calibre dos vasos e a geração de ATP. Ihsan, (2005), e Maegawa et al., (2000), evidenciaram notável aumento na circulação arterial e colateral em tecidos lesados após a aplicação do LBP, já Lu et al., (2003); e Garcia et al., (1992), relatam que a terapia com LBP, promove vasodilatação local e angiogênese, com conseqüente maior vascularização, e maior aporte de oxigênio, acelerando o processo de reparação.

Lopes-Martins et al., (2006), afirmam que o laser de baixa potência As-Ga-Al, pode interferir de maneira positiva na redução da velocidade da instalação da fadiga, mantendo os níveis de força por mais tempo e possivelmente reduzindo os danos musculares após exercícios exaustivos. O autor observou também a existência de uma relação dose dependente, sendo que doses muito elevada podem ocasionar efeito foto-inibidor.

Tendo em vista os efeitos da radiação laser nos tecidos biológicos, buscou-se neste trabalho avaliar sua ação na fadiga muscular em seres humanos, através da análise da contração muscular via eletromiografia e da concentração basal e pós fadiga através do lactato sanguíneo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da irradiação do laser (660 nm) na capacidade de resistência a fadiga muscular induzida em bíceps braquial.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

O delineamento da pesquisa foi um ensaio clínico randomizado duplocego.

3.2 AMOSTRA

A amostra foi constituída por vinte e oito voluntários treinados, todos do sexo masculino, que concordaram em participar do estudo e que se enquadraram no perfil do mesmo, segundo os critérios de inclusão e exclusão.

3.2.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Sexo masculino, idade entre 15 a 17 anos, apresentar como membro superior dominante o direito e praticar atividades físicas regular com frequência de quatro vezes por semana, por um período mínimo de três meses anteriores a coleta. Os atletas, juntamente com os seus responsáveis assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido anteriormente as coletas.

3.2.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Foram excluídos do estudo os componentes da população que não se encaixarem em todos os critérios de inclusão, ou que sofreram alguma lesão muscular nos últimos quatro meses, apresentando dor, desconforto na região

cervico torácica ou em membros superiores por um período igual ou superior a 15 dias.

3.2.3 GRUPOS

Anteriormente à realização do estudo, os indivíduos foram randomizadamente alocados em quatro diferentes grupos.

- Grupo laser 1: composto por sete integrantes que receberam a aplicação efetiva do laser 660 nm por 69 segundos, antes da realização do protocolo de fadiga induzida (tabela 01).

- Grupo laser 2: composto por sete integrantes que receberam a aplicação efetiva do laser 660 nm por 41 segundos, antes da realização do protocolo de fadiga induzida (tabela 02).

- Grupo controle: composto por sete integrantes que não receberam a aplicação laser em nenhum momento da realização do protocolo de fadiga induzida.

- Grupo placebo: composto por sete integrantes que receberam a aplicação do laser de forma placebo, ou seja, o aparelho encontrava-se desligado.

3.3 INSTRUMENTAÇÃO

3.3.1 ELETRODOS PARA ELETROMIOGRAFIA

O eletrodo utilizado para o experimento foi um eletrodo duplo de superfície, auto-adesivo com condutor Ag/AgCl, e possui as suas dimensões apresentadas a seguir:

- Dimensões do eletrodo duplo: 4 cm x 2 cm.
- Diâmetro da área condutiva de cada um dos dois condutores circulares: 1 cm.
- Distância entre os eletrodos: 2 cm.

As dimensões encontram-se demonstradas a seguir na figura 01

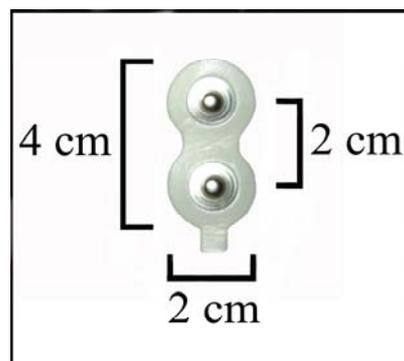


Figura 1: Dimensões dos eletrodos

3.3.2 ELETROMIOGRAFO

Foi utilizado um eletromiógrafo de 4 canais da marca EMG System Brasil e modelo CS 400 AF, conforme o apresentado na figura 02 e com software de aquisição e processamento de sinais plataforma Windows. Durante a coleta o eletromiógrafo estava conectado a um notebook para coletar os dados obtidos

durante o tempo total do protocolo, através do software DATAQ, fornecido pelo fabricante do equipamento (EMG System Brasil).



Figura 2: Eletromiógrafo

3.3.3 ESPECIFICAÇÕES DO LASER

- Potencia de saída – 40 mW
- Tipo de emissão: CW (emissão contínua)
- Comprimento de onda de luz: 660nm+/-10nm
- Área de saída do feixe: 4,0 mm²



Figura 3: Laser 660 nm

Os voluntários receberam a irradiação do laser de baixa potência anteriormente a realização do protocolo de fadiga muscular, conforme os protocolos descritos a seguir:

Tabela 1: Protocolo de irradiação laser 660 nm.

| Parâmetros de irradiação (protocolo 1) | Valores |
|--|----------------------|
| Potência | $36 \times 10^{-3}W$ |
| Comprimento da Onda | 660 nm |
| Área do Feixe | 0,5 cm ² |
| Distância da Pele | 15 cm |
| Tempo de Irradiação | 69 segundos |

Tabela 2: Protocolo de irradiação laser 660 nm.

| Parâmetros de irradiação (protocolo 2) | Valores |
|--|----------------------|
| Potência | $36 \times 10^{-3}W$ |
| Comprimento da Onda | 660 nm |
| Área do Feixe | 0,5 cm ² |
| Distância da Pele | 15 cm |
| Tempo de Irradiação | 41 segundos |

Por questão de segurança, enquanto a radiação do laser estava sendo fornecida aos tecidos, todos os voluntários ou pesquisadores que tiveram envolvidos no processo utilizaram óculos de proteção. Que segundo Almeida-Lopes (2004), cada tipo de laser possui um óculos específico que é capaz de fazer a filtragem do comprimento de onda irradiado.

4 PROCEDIMENTOS

4.1 TESTE DE CARGA MÁXIMA

Previamente ao protocolo foram realizadas duas séries de alongamentos do membro superior, com o objetivo de minimizar as chances de que ocorresse alguma lesão na musculatura.

O voluntário realizou o teste de carga máxima para bíceps braquial em um banco de Scott adaptado, de modo que a flexão de cotovelo acima de 90 graus estava limitada. Para a realização do teste foram utilizados alteres com pesos variados de 1 a 15 kg com graduação de 1KG.

O teste de carga máxima do músculo bíceps braquial foi realizado individualmente através do acréscimo de carga de 1 KG, a cada ensaio da realização de flexão completa (90 graus) de cotovelo. No momento em que o voluntário não conseguisse realizar o grau almejado de flexo-extensão o teste teve o seu termino, sendo o valor adquirido na tentativa anterior considerado como sendo o resultado da força muscular máxima. O tempo entre as tentativas foi padronizado em dois minutos.

Com base no peso adquirido na padronização anterior foi realizado o cálculo de setenta por cento da carga máxima individual do atleta, obtida através do teste de uma repetição máxima (1RM), havendo então padronização do peso tendo por base a porcentagem da força máxima do músculo, sendo então completamente individualizado, para que venha ser minimizada a possibilidade que por os voluntários possuírem forças variadas houvesse alterações nos resultados.

Por motivo de padronização, todos os testes de força muscular máxima foram realizados sete dias antes da data em que foi realizada a coleta dos dados.

4.2 ALONGAMENTO MUSCULAR

Foi realizado um trabalho de alongamento muscular individual para o participante, que consistia em duas repetições de sessenta segundos, envolvendo toda musculatura do membro superior dominante, terminando com o alongamento da musculatura flexora de cotovelo. O protocolo de alongamento foi baseado no estudo realizado por Viveiros et al., (2004).

4.3 POSICIONAMENTO DO ELETRODO

Foi realizada assepsia da epiderme por um algodão com álcool, para a diminuição da bioimpedância da pele. Após foram posicionados os eletrodos sobre o ventre muscular do bíceps braquial. Os pontos para posicionamentos dos eletrodos responsáveis pela captação do sinal do eletromiógrafo (EMG) do músculo bíceps braquial encontram-se demonstrados na figura 04.

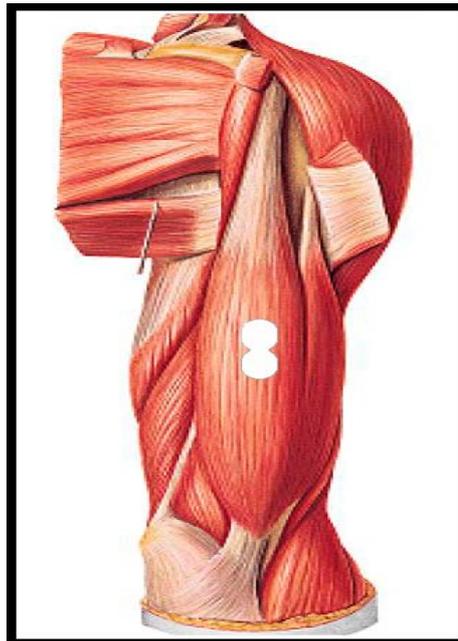


Figura 4: Pontos de colocação dos eletrodos para eletromiografia

4.4 PROTOCOLO DE INDUÇÃO A FADIGA

Os participantes que faziam parte do grupo controle, após o término do alongamento deslocavam-se para o banco de Scott, onde era realizada a aferição do lactato basal e colocação dos eletrodos para captação dos sinais eletromiográficos. Foi padronizado o tempo de seis minutos do momento em que foi feita a análise do lactato basal, mantendo os participantes em repouso, após este tempo deu-se início ao protocolo de indução da fadiga muscular, com carga individual para o protocolo de 70% da carga máxima.

O indivíduo realizou o movimento de flexão do cotovelo do membro dominante em máxima velocidade possível até que o mesmo não mais consiga manter a amplitude de 90 graus de flexão de cotovelo (ponto de encerramento do protocolo da fadiga muscular). Trinta segundos após o encerramento do protocolo

foi mensurada a concentração de lactato no dedo indicador do membro dominante.

Foram realizadas a marcação em quatro pontos distintos no ventre do músculo bíceps braquial nos integrantes dos grupos laser, onde foram irradiados o laser por 69 segundos no Grupo Laser 1, 41 segundos no Grupo laser 2 e no grupo placebo. A localização dos pontos teve como guia os seguintes procedimentos: foi realizada a marcação de dois pontos, o primeiro a 1/5 distância previamente mensurada entre o acrômio e a linha articular do cotovelo e o segundo a 4/5, utilizando-se destes dois pontos como guias foi medida esta distância e dividida por quatro, locais estes que recebiam ou não a irradiação do laser 660 nm, em decorrência do grupo em que o participante estava alocado.

Após a marcação dos pontos os participantes tinham seus membros superiores alongados e posteriormente deslocavam-se para o banco de Scott, onde era realizada a aferição do lactato basal. No grupo laser 1 e no grupo laser 2 os voluntários receberam a aplicação da dose correspondente segundo tabela 01 para o grupo 1 e tabela 02 para o grupo 2, nos pontos anteriormente selecionados, conforme demonstrado na Figura 05. Após o alongamento e a aferição do lactato basal foi colocado os eletrodos para captação dos sinais eletromiográficos, segundo figura 04.

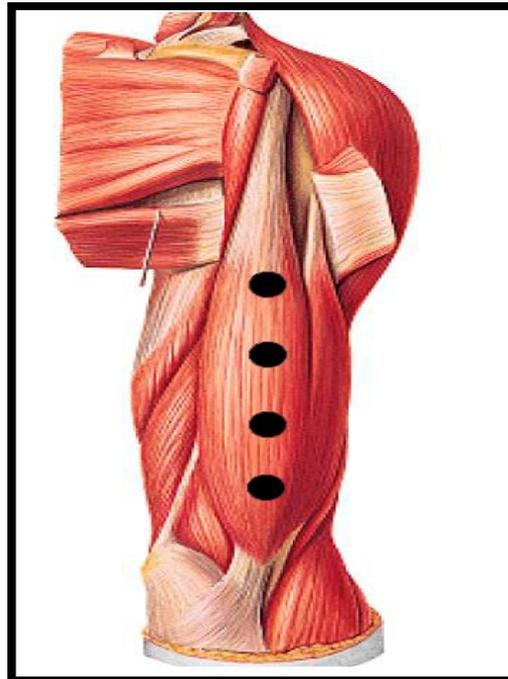


Figura 5: pontos de aplicação do laser 660 nm

Trinta segundos após o término da aplicação do LBP, iniciou-se o protocolo de indução a fadiga muscular, onde o indivíduo realizou o movimento de flexão do cotovelo do membro dominante em máxima velocidade possível até que o mesmo não mais atinja a amplitude de 90 graus de flexão de cotovelo (ponto de encerramento do protocolo da fadiga muscular). Trinta segundos após o encerramento do protocolo foi mensurada a concentração de lactato no dedo indicador do membro dominante.

4.5 COLETA SANGUÍNEA

O estudo envolveu duas coletas de sangue por indivíduo para fins de verificação das concentrações de lactato basal e o lactato pós fadiga muscular. A

aferição do lactato ocorreu anteriormente ao protocolo e trinta segundos após o término do mesmo.

Previamente as coletas, foi realizada a assepsia da pele do dedo indicador do membro dominante do paciente com álcool e algodão, fazendo uso do Lancetador Accu-Chek Soft Clix® e das lancetas descartáveis Accu-Chek Soft Clix® para coleta do material.

O sangue coletado foi para as tiras reagentes da BM Lactato® que estavam inseridas no Analisador de Lactato Portátil Accutrend Lactate®, o qual se apresenta como instrumento válido e fidedigno para a faixa de concentração de lactato sanguíneo analisado (FELL et al., 1998).

Inicialmente foi inserida no aparelho analisador uma fita mestra codificada, a qual, após 5 segundos, torna apta a inserção das demais fitas do lote (total de 25 por lote). Depois de inserida no aparelho a fita reagente demora um minuto para demonstrar a concentração de lactato.

A coleta de sangue foi realizada por uma enfermeira e posteriormente analisada por um educador físico. Para configurar-se o duplo cego os pesquisadores responsáveis pela coleta sanguínea não possuíam conhecimento sobre a alocação dos voluntários nos quatro grupos estudados. Em todos os procedimentos foram utilizadas luvas de látex descartáveis da marca Embramac®.

Vale ressaltar que o lactato pós exercício não representa a fadiga propriamente dita e nem suas concentrações mais elevadas, mas sim a concentração de lactato no sangue em um momento padronizado, ou seja, o lactato muscular pode não estar elevado no momento de verificação de sua concentração sanguínea, já que o lactato no sangue representa o balanço entre a formação do ácido láctico no músculo, sua dissociação em lactato e H⁺ e sua

remoção. Então, as determinações das concentrações de lactato foram nada mais do que uma padronização do momento de uma coleta de sangue.

4.6 APLICAÇÃO DO LBP

Previamente ao início do estudo, o laser foi aferido para certificação da correta potência de saída do mesmo ($36 \times 10^{-3}W$). No grupo controle os voluntários realizaram o protocolo de indução a fadiga muscular sem que houvesse qualquer menção a utilização do raio laser. Inicialmente foi alongado o músculo bíceps braquial e em seguida foi realizada a análise da concentração do lactato sanguíneo (lactato basal) e acoplado o eletrodo para eletromiografia. Trinta segundos após o termino do protocolo foi novamente realizada a coleta do lactato pós fadiga.

Nos integrantes dos grupos efetivos foi realizada a marcação dos quatro pontos guias para que posteriormente fosse realizada a aplicação da radiação laser. Para o grupo placebo, foram adotados os mesmos procedimentos de marcação, porém sem a aplicação efetiva do laser.

A aplicação efetiva ou placebo ocorreram posteriormente á aferição do lactato basal, e trinta segundos após a aplicação do último ponto os indivíduos realizaram o protocolo de indução a fadiga. Todos os participantes receberam a aplicação do laser seja esta realizada de forma efetiva ou placebo de maneira "cega" (sem ter a informação se estava efetivamente recebendo a aplicação efetiva de laser).

Apesar de o laser ser emitido na região do vermelho os participantes acreditavam que o aparelho pudesse também emitir na região do infravermelho, ou seja, que o mesmo pudesse ser visível ou não.

Apenas o pesquisador responsável pela irradiação do laser possuía o conhecimento sobre a alocação dos grupos, e o mesmo não teve acesso aos dados obtidos (índice de lactato, número de repetições, tempo de execução e eletromiografia) antes do término do estudo, deste modo caracterizando o duplo cego.

4.7 ASPECTOS ÉTICOS

Os envolvidos neste estudo foram devidamente esclarecidos quanto a sua participação no mesmo. Aqueles que concordaram em participar assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, permitindo que dados referentes a eles sejam utilizados e publicados no estudo. Neste, também ficou esclarecido que o estudo não implica em custos ou remuneração para os participantes.

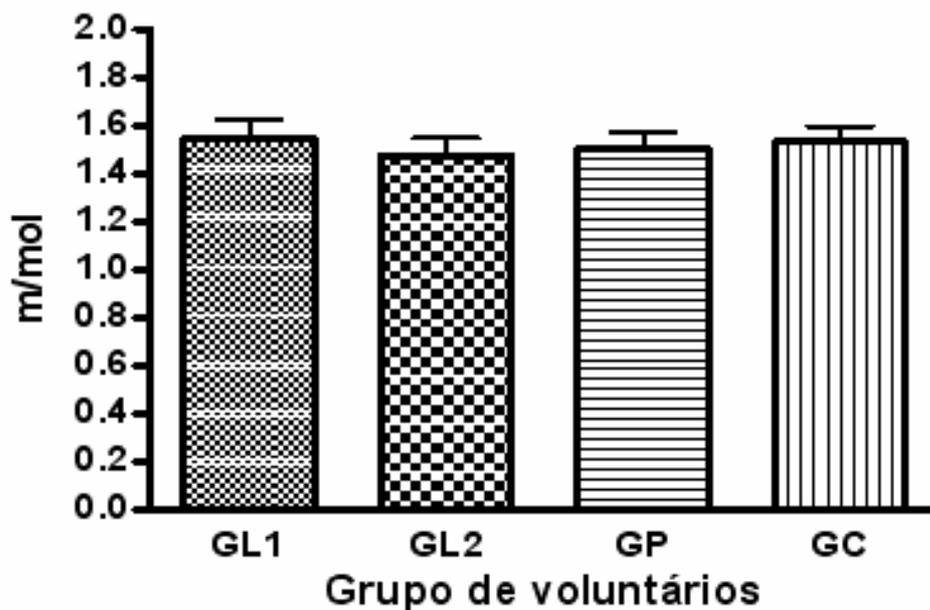
O estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade do Vale da Paraíba conforme determina a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

4.8 ANÁLISE DOS DADOS

Foi realizado um Ensaio Clínico Randomizado duplo cego, através de uma análise quantitativa intergrupar. O teste anova foi utilizado para verificar a se há diferenças estatisticamente significantes para as variáveis analisadas. Em todos os casos, o nível de significância aceita foi o de $P < 0,05$.

5 RESULTADOS

A figura 06 demonstra essa comparação através das médias obtidas pelos dois grupos, em relação a concentração de lactato basal.



GL1 – Grupo laser 1

GP – Grupo placebo

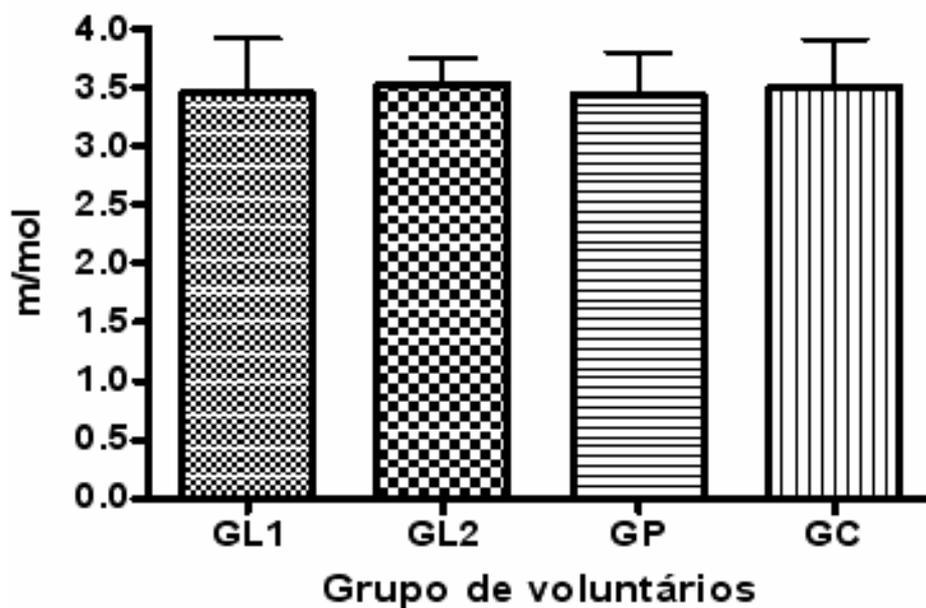
GL2 – Grupo laser 2

GC – Grupo controle

Figura 6: Concentração de lactato sanguíneo basal

Na figura 6 é possível visualizar as concentrações de lactato obtidas anteriormente ao início do protocolo de fadiga. Os resultados não apresentaram diferenças estatísticas significativas, $p > 0,05$, quando comparados os grupos laser 5J, grupo laser 3J, grupo controle e controle.

Na figura 7 demonstrada a seguir evidenciam-se as concentrações de lactato após realização do protocolo de fadiga através das médias obtidas pelos grupos.



GL1 – Grupo laser 1

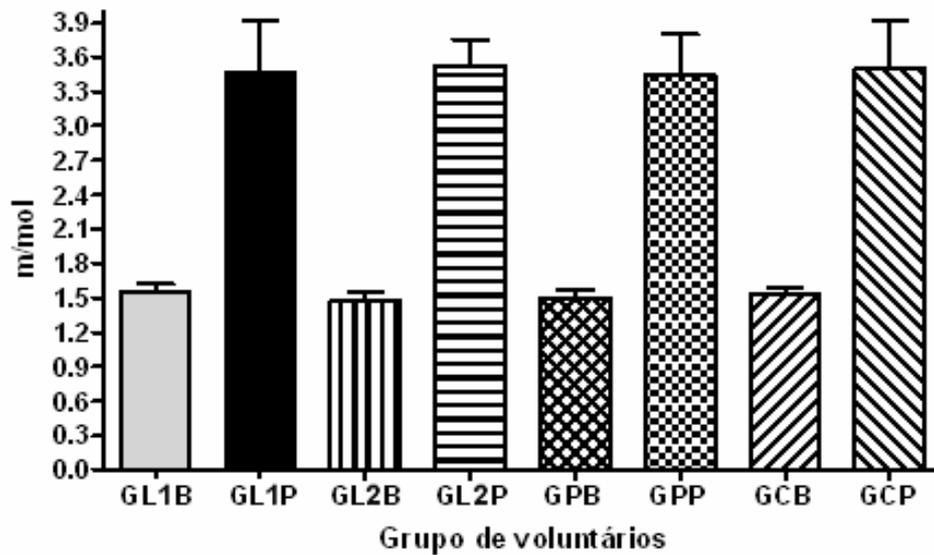
GP – Grupo placebo

GL2 – Grupo laser 2

GC – Grupo controle

Figura 7: Lactato pós fadiga

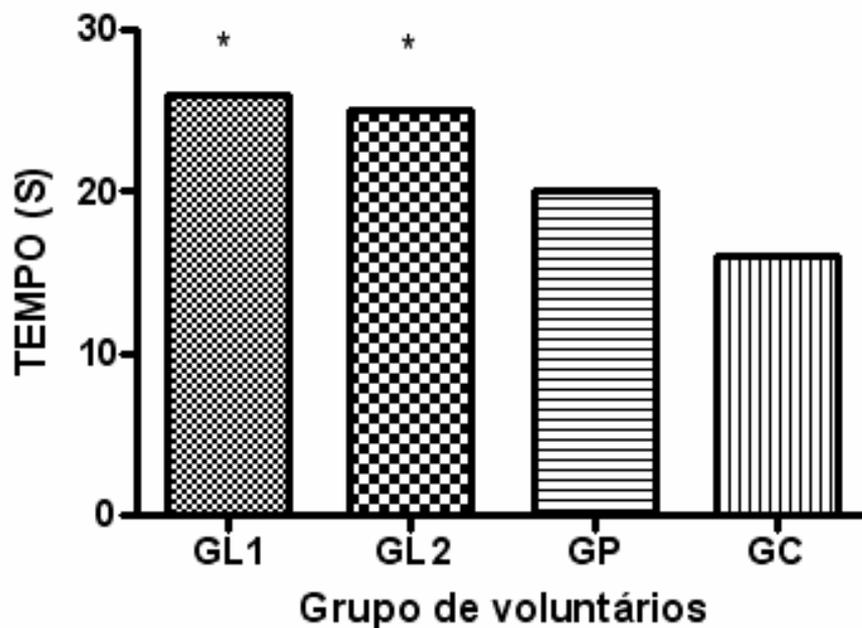
As comparações entre os grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, $p > 0,05$, quando comparados os grupos laser 5J, grupo laser 3J, grupo controle e controle entre si.



GL1B – Grupo laser 1 pré-fadiga GL1P – Grupo laser 1 pós-fadiga
 GL2B – Grupo laser 2 pré-fadiga GL2P – Grupo laser 2 pós-fadiga
 GPB – Grupo placebo pré-fadiga GPB – Grupo placebo pós-fadiga
 GCB – Grupo controle pré-fadiga GCB – Grupo controle pós-fadiga

Figura 8: Correlação entre os níveis de lactato obtidos pré e pós fadiga

A figura 8 mostra os resultados dos níveis de lactato basal e pós fadiga para todos os grupos estudados e pode-se observar importante variação destes níveis em todos os grupos. As diferenças evidenciadas entre as variáveis de um mesmo grupo, não são estatisticamente significativas entre os diferentes grupos ($P > 0,05$).



GL1 – Grupo laser 1

GP – Grupo placebo

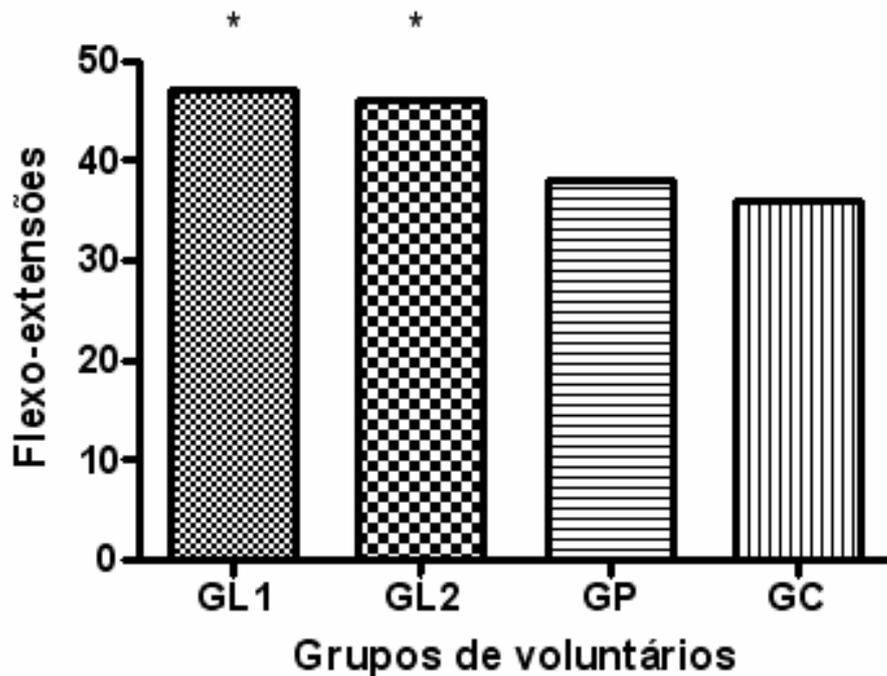
GL2 – Grupo laser 2

GC – Grupo controle

Figura 09: Tempo total do protocolo

Na figura 09 são apresentados os resultados da mediana, para os diferentes grupos em relação ao tempo máximo para se atingir a fadiga muscular. Os grupos irradiados com LBP apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação aos grupos não irradiados ao nível de $P < 0,05$. Comparando-se os grupos irradiados entre si e os grupos placebo e controle também entre si, estes resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($P > 0,05$).

A figura abaixo se refere ao número total de repetições efetuadas durante a execução do protocolo de contração de bíceps braquial.



GL1 – Grupo laser 1

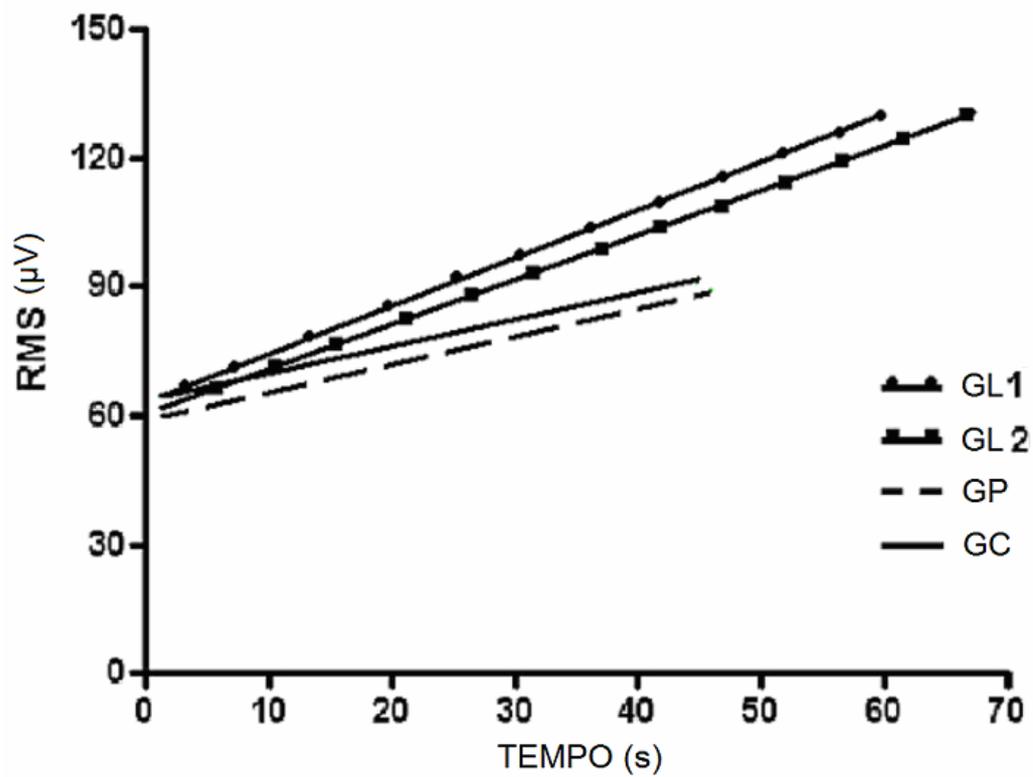
GP – Grupo placebo

GL2 – Grupo laser 2

GC – Grupo controle

Figura 10: Número total de repetições

Os resultados mostrados na figura 10 apresentam a mediana de movimentos de flexo-extensão para que seja atingida a fadiga muscular dos grupos avaliados. Os grupos que receberam aplicação do LBP apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação aos grupos de placebo e de controle, ao nível de $P < 0,05$. Comparando-se os grupos irradiados entre si e os grupos placebo e controle também entre si, estes resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($P > 0,05$).



GL1 – Grupo laser 1

GP – Grupo placebo

GL2 – Grupo laser 2

GC – Grupo controle

Figura 11: Regressão linear do sinal do EMG

Quando comparado os valores obtidos a partir do sinal RMS para cada grupo que receberam irradiação do laser por 69 segundos, 41 segundos, placebo e controle, todos apresentam diferenças significativas entre si ao nível de $P < 0,001$, exceto na comparação entre os grupos controle e placebo entre si $P > 0,05$.

9 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados neste estudo podemos observar que o acréscimo das concentrações de lactato sanguíneo, avaliadas com base no lactato basal e no lactato pós fadiga não apresentou diferenças estatísticas em relação aos grupos avaliados, sendo que a análise comparativa foi realizada apenas em relação aos índices basais e pós exercícios da concentração de lactato sanguíneo, sendo que os resultados encontrados são corroborados por Myers, et al., (1997); que também submetem seus voluntários a um exercício físico intenso e observaram que o aumento das concentrações de lactato é decorrente de uma resposta do exercício físico progressivo. Devido às inúmeras variáveis biomecânicas e biológicas envolvidas, este estudo apresenta limitações decorrentes ao número de indivíduos utilizados em cada grupo experimental.

A radiação laser, na região do vermelho, conforme descreve Prakki, (2003), provoca aumento do calibre dos vasos, o que gera maior aporte sanguíneo. Neste estudo o efeito do laser certamente induz também o aumento do calibre dos vasos, provocado pelo laser, permitindo que o lactato produzido durante o processo de fadiga fosse removido com maior eficácia do interior da musculatura, visto que o aporte sanguíneo da região irradiada é maior.

Colls, (1981), afirma que a aplicação do LBP fornece um maior aporte de oxigênio aos tecidos e conforme McArdle et al., (1998), descreveram, se houver aporte suficiente de oxigênio à glicose, esta fornece energia para que o lactato venha a ser reconvertido em ATP. Isto justifica os resultados encontrados no atual estudo em relação a concentração de lactato e ao número máximo de repetições do exercício de flexo-extensão, já os grupos irradiados aumentaram o trabalho muscular realizado, mantendo o nível de lactato próximo aos dos grupos não irradiados, que realizaram um menor número de repetições.

A microcirculação auxilia também na realização de uma maior retirada de metabólitos (COLLS, 1981; AGNE, 2005) difundindo-os para músculos adjacentes. Prakki, 2003, após aplicação do laser observou um aumento de 10% no diâmetro dos vasos concluindo que desta forma há um aumento do aporte sanguíneo na região irradiada. No presente estudo, os grupos irradiados podem ter desenvolvido um modo mais eficiente para a remoção de metabólitos e com isso conseguiram retardar a fadiga muscular.

Dutka et al., (2004) no seu trabalho evidenciaram que o acúmulo de metabólitos no músculo contribui para que se instale um quadro de fadiga muscular. A ação do laser induz o aumento do calibre dos vasos, o que gera um aumento da retirada dos metabólitos (PRAKKI, 2003). Com base nos resultados obtidos no presente trabalho presume-se que o maior número de contrações e o acréscimo no tempo total do protocolo, realizado pelo voluntário, devem-se ao fato de haver um maior escoamento dos resíduos através da microcirculação, possibilitando maior aporte energético.

Com o estímulo da microcirculação e conseqüente menor concentração de metabólitos na musculatura envolvida, pode-se presumir que o aumento do tempo total de execução do protocolo observado nos grupos irradiados, em relação aos grupos controle e placebo, deve-se ao fato de que eles possuíam uma forma mais eficaz de retirada dos metabólitos do local onde o mesmo é produzido ou que possuem um modo mais eficaz de realizarem o seu reaproveitamento. Resultado semelhante ao de Lopes-Martins et al., (2006), que utilizou dose de $1\text{J}/\text{cm}^2$ no músculo tibial anterior exposto de rato obtendo aumento de 40% do tempo no qual o músculo se manteve em contração máxima, comparado ao controle.

A escolha do comprimento de onda é um fator determinante na geração dos efeitos fisiológicos obtidos, pois este determina a profundidade de penetração da radiação (KNAPPE et al., 2004; BAGRATASHVILI et al., 2001) e o tipo de tecido que absorverá a radiação incidente (BAXTER, 1997; SROKA et al., 1999),

devido à absorção da radiação por moléculas específicas que são capazes de absorver um determinado comprimento de onda (CARROLL et al., 2006). A radiação laser utilizada normalmente para a fotobioestimulação é constituída de comprimentos de onda variando entre 600 e 1000 nm (ASSUNÇÃO et al., 2003). Esta faixa se situa na região do vermelho-infravermelho próximo, faixa essa considerada janela espectral para tecidos biológicos (KITCHEN, 2003). O comprimento de onda utilizado no presente trabalho foi 660 +/- 10nm, como laser de InGaAlP, estando de acordo com experimentos que buscavam verificar os efeitos da radiação laser na fadiga muscular (HALA, 2003; LOPES-MARTINS, 2006).

A literatura especializada descreve que não há efeitos apreciáveis quando se irradia tecidos em homeostase (POGREL, 1997 et al.; EL SAYED et al) ,porém no presente estudo os tecidos encontravam-se muito próximos a esta condição, visto que os atletas não haviam realizado nenhuma atividade extenuante imediatamente antes da realização do protocolo, e mesmo assim foram encontradas diferenças em relação aos grupos irradiados quando comparados com o placebo e controle.

Segundo Martin, (2003), o laser induz aumento no metabolismo celular e na síntese de ATP que conforme Katz, 1988, é o combustível para todos os processos celulares. Com base nos resultados encontrados, havendo uma maior oferta de energia disponível para o sistema utilizar, o mesmo pode desenvolver um sistema mais eficiente de controle da fadiga, fazendo uso do metabolismo aeróbico por mais tempo.

A radiação laser estimula a síntese de ATP, pois atua diretamente sobre as organelas celulares, principalmente nas mitocôndrias e membranas, aumentando sua atividade, por meio de sítios ativos de fotoreceptores celulares específicos, gerando efeitos em poucos segundos ou minutos pós-irradiação; entre estes efeitos encontram-se a foto-estimulação da taxa respiratória e a

síntese de ATP (KARU, 1987; KARU, 1998; KARU, 1995). A falta do ATP é o fator de maior importância para a instalação do processo de fadiga muscular, pois a fadiga muscular é decorrente do esgotamento das reservas energéticas disponíveis na musculatura, sendo a falta do ATP o maior responsável pela fadiga muscular (WESTERBLAD, 1991). Com base nos resultados encontrados, no presente estudo, acredita-se que o principal modo de atuação do LBP neste protocolo de indução da fadiga é devido ao aumento das reservas energéticas.

A escassez de trabalhos científicos utilizando o LBP no processo de fadiga muscular em humanos nos levou a considerar também trabalhos realizados em animais. Em um estudo com ratos, levando em conta a atividade muscular, com aplicação de radiação laser na região do vermelho foi verificado um acréscimo da força muscular e maior resistência à fadiga. Neste caso observou-se o tempo de duração que o animal manteve o nível de força estipulado durante uma contração isométrica (HALA, 2003), sendo que esta forma de contração diminui consideravelmente o aporte de oxigênio para a região muscular por causa da grande pressão intramuscular imposta pela contração (JENSEN et al., 1995). Buscou-se neste trabalho um tipo de contração que favorecesse a retirada de metabolitos e diferentemente do trabalho anterior, definiu-se que a contração, da musculatura irradiada alternaria entre concêntrica e excêntrica visto que, neste caso a maior irrigação sanguínea favoreceria o escoamento de metabólitos da musculatura, já que os diferentes graus de contração geram uma variação da resistência local e alteração do fluxo sanguíneo da região.

Lopes-Martins et al., (2006), relata efeitos do LBP em relação à fadiga muscular, afirmando que a radiação pode interferir de maneira positiva na redução da velocidade da instalação da fadiga, mantendo os níveis de força por mais tempo e reduzindo os danos musculares após exercícios exaustivos. Estes dados corroboram os resultados encontrados no presente estudo, onde os voluntários que receberam a irradiação do LBP no músculo bíceps braquial realizaram um número de flexo-extensão de cotovelo significativamente maior, e por um maior

tempo, que nos grupos não irradiados, sendo que os níveis de lactato periférico foram mantidos com o mesmo limiar dos grupos placebo e controle, indicando a utilização do LBP na prevenção de lesões musculares, conforme descreve LOPES-MARTINS (2006), que ao irradiar o tibial anterior de ratos verificou que os grupos que receberam a radiação diminuíram o nível de lesões em relação aos demais grupos.

Presume-se que a radiação laser, além de postergar a fadiga, devido a seus efeitos sistêmicos, possa promover um “dopping” endógeno, visto que com a retirada do estímulo luminoso todas as alterações efetivamente ocorrem no interior da célula.

Mesmo não havendo diferenças estatísticas entre os grupos irradiados com laser, os resultados obtidos do grupo irradiado por 69 segundos foram superiores ao do grupo irradiado por 41 segundos o que reforça a tese de que o laser é dose dependente, conforme já descrito por Rigau, 1996 e Al-Watban et al., 1995.

Se o exercício for padronizado pelo tempo ou número de repetições e não pela fadiga muscular, as dosagens de metabólitos intramusculares encontrar-se-iam diminuídas nos grupos em que houve a irradiação com o laser, desta forma haveria uma menor chance de que ocorressem lesões. Conforme descreve Lopes-Martins et al., (2006), que conseguiu verificar em ratos que, os níveis de CK-MB encontravam-se diminuídos nos grupos irradiados com dosagens especificam. Neste caso o protocolo utilizou como padrão um número máximo de repetições sem que fosse atingida a fadiga muscular. Como o protocolo do presente estudo não apresentava interrupção, os metabólitos no final do experimento encontravam-se em suas concentrações mais elevadas, e já que os grupos que receberam a irradiação realizaram um maior trabalho os níveis de lactato mantiveram-se equiparados presume-se que a manutenção da produção/escoamento dos

metabólitos nos grupos irradiados é mais efetiva, visto que o músculo manteve-se ativo por mais tempo.

A análise da fadiga muscular foi realizada através da eletromiografia, pois segundo Garcia, (2004), é a técnica eletrodiagnóstica mais utilizada para esta finalidade. Em relação à análise do sinal RMS, todas as comparações entre os grupos exceto o controle comparado com o placebo apresentaram diferenças estatisticamente significantes $P < 0,0001$, sendo que o grupo irradiado em 41 segundos apresentou resultados superiores ao grupo irradiado por 69 segundos.

Considerando um sinal EMG padrão, as alterações provocadas neste sinal têm relação com os processos bioquímicos inerentes à contração do músculo, sendo que o maior responsável por este fato é o aumento do ácido láctico no meio intersticial, gerado pela contração muscular (AZEVEDO, 2007). O que reforça o resultado deste trabalho, já que a intensidade do sinal eletromiográfico apresenta-se de forma crescente em todos os grupos estudados, porém nos grupos que foram irradiados os acréscimos nos valores do RMS são maiores. O motivo pelo qual o sinal RMS apresenta-se de forma crescente é explicado por Andrade (2006), que demonstra este fenômeno como sendo uma forma da musculatura compensar a fadiga a ela imposta através de um maior recrutamento de unidades motoras, desta forma gerando um aumento do sinal.

O ácido láctico apresenta uma grande correlação com os íons de H^+ , estes seriam grandes diminuidores da contração muscular (MARZZOCO; TORRES, 1990; WILMORE; COSTILL, 2001), o que leva a presumir que uma vez os íons H^+ sendo metabolizados ou retirados da musculatura ativa possibilitam um aumento do tempo até a instalação da fadiga. Os grupos de atletas que receberam a irradiação do LBP no músculo bíceps braquial apresentaram resultados muito superiores aos grupos não irradiados.

No grupo irradiado por 69 segundos, a musculatura conseguiu se manter por mais tempo ativa, porém com os valores médios do RMS menores que no grupo laser 2. Presume-se que isso seja devido ao fato de que com doses maiores o efeito do laser manteve-se por mais tempo sem que houvesse a necessidade de recrutamento de mais unidades motoras para que o mesmo conseguisse realizar o protocolo de flexo-extensão.

10 CONCLUSÃO

A aplicação do laser de baixa potência 660 nm em bíceps braquial, com aplicação do laser em 4 pontos distintos, efetuada anteriormente a realização do protocolo de indução a fadiga muscular, proporcionou aos atletas um aumento do número de repetições completas realizadas e um incremento dos tempos de realização desse protocolo por parte dos mesmos, postergando a processo de fadiga muscular (avaliada pela perda da contração muscular diante da resistência empregada). E aumento no nível dos sinais eletromiográficos.

REFERÊNCIAS

AGNE, J. E. **Eletrotermoterapia: teoria e prática**. Santa Maria - RS: Orium, 2005.

ALMEIDA LOPES, L.; BRUGNERA Jr., A. Aplicações Clínicas do Laser não-Cirúrgico. In: BRUGNERA, A J; PINHEIRO, A L.B. **Lasers na Odontologia Moderna**. São Paulo: Pancast. 1998. p. 100-120.

ALMEIDA-LOPES, L. Laserterapia na Odontologia. **Biodonto** Publicações Científicas, v. 1, n. 1, Mar./Ab. 2004.

AL-WATBAN, F.; ZHANG, Z. Stimulative and inhibitory effects of low incident beams of Argon laser energy on wound healing. **Laser Ther.**, v.7, p.11-18, 1995;

ANDRADE M.M. Análise Tempo-Frequência de Sinais Eletromiográficos para a Avaliação de Fadiga Muscular em Cicloergômetro. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília. 2006

APARÍCIO, A.V.; SANZ, M. C. M.; GARCIA, T.M. Electromiografia cinesiológica. **Rehabilitación**, v. 31, n.3, p. 230-236, 1997.

ASCENSÃO A, MAGALHÃES J, OLIVEIRA J, DUARTE J, SOARES J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. **Rev Port Ciênc Des**.v. 3, n.1, p.103-123, 2003.

ASSUNÇÃO, D.; STLL, K. R.; CASTILHO, L.V.; AMORIM, M. H. P. B.; PALMA, M.; FONSECA, P. B.; MENON, V. B. Tratamento fisioterapêutico da acne por meio de laser. **Fisioterapia do movimento**, Curitiba, v. 16, n. 4, p 11-16, out.- dez. 2003.

AZEVEDO, F.M. **Avaliação do sinal eletromiográfico como parâmetro para determinação do limiar de fadiga muscular**. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007

BAGRATASHVILI, V.N. et al., An EPR and optical spectroscopy study of the effect of laser radiation on biological tissues. **High Energy Chemistry**, v. 35, n. 6, p. 423-429, 2001.

BASMAJIAN, J. V.; DE LUCA, C. J. **Muscle alive: their function revealed by electromyography**. 5. ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1985.

BAXTER, G. D. **Therapeutic laser**. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1997.

BIGLAND B, FUNBUSH F, WOODS J. Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. **J Appl Physiol**, v.61, p.421-429, 1986.

BORTOLETTO, R. **Efeito da radiação do Laser de Baixa Potência no potencial de membrana de mitocôndrias em células *in vitro***. 2000. 35 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, SP. 2000.

BROOKS, G. A. et al. **Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Application**. 3. Ed. California: Mayfield Publishing Company, 2000.

BRUGNERA, JR. A.; PINHEIRO, A L.B. **lasers na Odontologia Moderna**. São Paulo: Pancast, 1998.

BULLOCK, J; BOYLE, J; WANG, M. B. **National medical series para estudo independente: Fisiologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

CARROLL L, HUMPHREYS TR.. LASER-tissue interactions. **Clin Dermatol.**; v. 24, n.1:p.2-7, 2006.

COLLS, J.: **La terapia laser, hoy**. Barcelona: Centro de documentación Laser, 1981. p. 39-70.

DAVIS, J.M. BAILEY, S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Med Sci Sports Exerc.**, v.29, p. 45-57, 1997.

DE LUCA, C.J. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. **Journal of Applied Biomechanics**, v.13, p.135-163, 1997.

DeVRIES, H.A. Method for evaluation of muscle fatigue and endurance from electromyographic fatigue curves. **Am. J. Phys. Med.** v.47, n.3, p.125-135, 1968.

DUTKA, T.; LAMB, G.D.. Effect of low cytoplasmic [ATP] on excitation-contraction coupling in fast-twitch muscle fibres of the rat. **J. Physiol.**, v.560, p. 451-468, 2004.

EASON, R.G. Electromyographic study of local and generalized muscular impairment. **J. Appl. Physiol.**, v.15, n.3, p.479-482, 1960.

ECONOMOS, C.D.; BORTZ, S.S.; NELSON, M.E. Nutritional practices of elite athletes. Practical recommendations. **Sports Med** v.16, n.6, p. 381-399. 1993.

EDWARDS, R.G.; LIPPOLD, O.C. The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle. **J. Physiol.**, v.132, n.3, p.677-681, 1956.

EDWARDS, R.H.T. HARRIS, R.C. HULTMAN E. Effect of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contractions sustained to fatigue on the quadriceps muscle in man. **J Physiol.**, v.220, p. 335-352, 1972.

EL SAYED, S. A.; DYSON, M. Comparisson of the effect of multiwavelength light produced by a clister of semiconductor diodes each individual diode on master cell number and phosphorus. **Laser Surgery Medicine.** v.10, p. 559-568, 1990.

FAVERO, T.G; ZABLE, A.C; COLTER, D; ABRAMSON, J.J. Lactate inhibits Ca²⁺ activated Ca²⁺-channel activity from skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. **J Appl Physiol.** v.82, n.2, p. 447-452, 1997.

FEDOSEYEVA, G.E.; KARU, T.I.; LYAPUNOVA T.S., POMOSHNIKOVA N.A., MEISSEI M.N., The activation of yeast metabolism with He-Ne laser radiation. I. Protein synthesis in various cultures, **Lasers Life Sci.**, v.2 , p.137-146, 1988.

FELL, J. W et al., Evaluation of the ®Accusport Lactate Analyser. **The American Journal of Sports Medicine.**, v. 19, n.3, p. 199 - 204, 1998.

FITTS, R. Muscle fatigue: the cellular aspects. **Am J Sports Méd.**, v. 24, p.9-14. 1996.

GARCIA, M. A. C.; MAGALHÃES, J.; IMBIRIBA, L. A. Comportamento temporal da velocidade de condução de potenciais de ação de unidades motoras sob condições de fadiga muscular. **Rev. Brás. Méd. Esporte**, v. 10, n. 4, 2004.

GARCIA, V. G. **Comportamentos de feridas cutâneas submetidas à ação do raio laser: estudo clínico, biométrico e histológico em ratos.** 1992, 132 f. Tese (Livre- Docência) - Faculdade de Odontologia,UNESP, Araçatuba.1992.

GENOT, M.T.; KLASTERSKY, J. Low-level laser for prevention and therapy of oral mucositis induced by chemotherapy or radiotherapy. **Current Opinion in Oncology**; v. 7, p. 236-40, 2005.

GLADDEN,L.B. The role of skeletal muscle in lactate exchange during exercise. Introduction. **Med Sci Sports Exerc.**; v. 32, p.753-755. 2000

GONÇALVES, M. Eletromiografia e a identificação da fadiga muscular. **Revista Brasileira de Educação Física**, v.20, n.5, p.30-36, 2006.

GONÇALVES, R.C.; SAY, K.G.; RENNÓ, A.C.M. Ação do laser de baixa intensidade no tratamento das úlceras cutâneas. Praxisterapia. **Revista de Fisioterapia da Universidade de Cruz Alta**. v. 2, n. 3, p.11-15, 2000.

GRASSI, B.; QUARESMA, V.; MARCONI, C.; FERRARI, M.; CERRETELLI, P. Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. **J. Appl. Physiol.**, v. 87, ,p. 348-355, 1999.

GREEN, H. J. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sci.*, v. 15, p. 247-256, 1997.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças**. 9ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

HACZEKI, O.; TAMURA, M. Near infrared quadruple wl. Spectrophotometry of rat hear. **Adv. Exper, Med, Biol.**, v.248, p. 63, 1989.

HAGBERG, M. The amplitude distribution of surface EMG in static and intermittent static muscular performance. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, v.40, n. 4, p. 265-272, 1979.

HALA, A. Z. A. **Efeito da irradiação laser e da irradiação infravermelha em músculo tibial anterior de rato submetido ao processo de fadiga muscular**. 2003. 73f. Dissertação [Mestrado em Bioengenharia] – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, 2003.

HASHIMOTO, T.; Brooks, G. A. Mitochondrial Lactate Oxidation Complex and an Adaptive Role for Lactate Procuction. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 40 p. 486-494, 2008.

HOLT, G. A. ; KELSEN, S. G. Dyspnea. In: TIERNEY, D. F. (Ed.), **Current Pulmonology**. St. Louis: Mosby, 1993. Vol. 14, pp. 293-320.

HONMURA, A; AKEMI, I; MASAHIRO, Y; OBATA, J; HARUKI, E. Analgesic effect of Ga-Al-As diodo laser irradiation on hyperalgesia in carrageenin-induced inflammation. **Lasers in Surgery and Medicine** , v.13, p.463-469, 1993.

ILSAN, F. R. Low level laser therapies accelerate collateral circulation and enhance microcirculation. **Photomedical laser Surgery**. v. 23, n. 3, p. 289 – 294, 2005.

JENSEN, B. R. et al., Soft tissue architecture and intramuscular pressure in the shoulder region. **Eur. J. Morphol.**, v.3, p.205-220, 1995.

JOHNSTON, R. B. 3rd; HOWARD, M.E.; CAWLEY, P.W.; LOSSE, G. Met al.,. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. **Medicine and Science in Sports and Exercises**, v. 30, n. 12, p. 1703-1707, 1998.

KAHN, J. **Princípios e prática de eletroterapia**. 4 ed. Rio de Janeiro: Santos; 2001.

KARU, T. I. **Photobiology of low-power laser therapy**. London: Harwood Academic Publishers, 1989.

KARU, T. L. Photobiological fundamental of low power laser therapy. **IEEE J. Quant. Elect.** v. 23, p. 1703, 1987.

KARU, T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiatiion on cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 49, p.1-17, 1999.

KARU, T.I.; PYATIBRAT, L.; KALENDO, G. Irradiation with He-Ne laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 27, p. 219-223, 1995.

KARU, T.L. **The science of low power laser therapy**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1998.

KATZ, A.; SAHLIN, K. Regulation of lactic acid production during exercise. **Journal Applied Physical.**, v. 65, p.509, 1988.

KAY, D.; et al., Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. . **J Electr. Kinesiol.**, v. 10, p.425-431, 2000.

KIRKENDALL, D.T. Fatigue from voluntary motor activitiy. In: _____. **Exercise and sport science**. Philadelphia: Lippincott Willians & Wilkins, 2000, p.97-104.

KITCHEN, S. B. S. **Eletroterapia de Clayton**. 10. Ed. São Paulo: Manole, 1998.

KITCHEN, S. S; PARTRIDGE, C. H. A rewiew of low intensity laser therapy, parts 1, 2 and 3. **Phisiotherapy**, v. 77, n. 3, p.166 -170, 1991.

KLOTH, Luther. **Wound Healing: alternatives in management**. New York: Churchill Livingstone. p. 347-364, 1997.

KNAPPE, V.; FRANK, F.; ROHDE, E. Principles of lasers and biophotonic effects. **Photomedicine and Laser Surgery**, New Rochele, v. 22, n. 5, p. 411-417, Oct. 2004.

LESS, S. J; FRANK, P. D; SPANGENBURG, E. E; WILHANS, J. H. Glycogen and glycogen phosphorylase associated with sarcoplasmic reticulum: effects of fatiguing activity. **Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 3, p.1638 – 1644, 2001.

LIEVENS, P. C. The effect of laser irradiation on the vasomotricity of the lymphatic system. **Laser Med. Sci.**, v. 6, p. 189–191, 1991.

LOPES, L. A.; BRUGNERA, A.J. Aplicações Clínicas do Laser não-Cirúrgico. In: BRUGNERA, A J; PINHEIRO, A L.B. **Lasers na Odontologia Moderna**. São Paulo: Pancast. p. 100-120, 1998.

LOPES-MARTINS, R. A. B et al., The effect of Low Level laser Irradiation (As-Ga-Al, 655nm) On Skeletal Muscle Fatigue Induced by Electrical Stimulation in Rats. **Journal of Applied Physiology**. v. 101, n. 7, p. 283 - 321, 2006.

LOW, J.; REED, A. **Eletroterapia Explicada: princípios e prática**. 3.ed. Barueri: Manole,. 457 p 2001.

LU, H.; KRAUT, D.; GERSTENFELD, L.C.; GRAVES, D.T. Diabetes interferes with the bone formation by affecting the expression of transcription factors that regulate osteoblast differentiation. **Endocrinology**. v.144; p.346-352, 2003.

MAEGAWA, Y., et al., Effects of near infrared low level laser irradiation on microcirculation. **Lasers Surgery Medical**, v. 27, n.5, p. 427–437, 2000.

MAGLISCHO, E. W. **Nadando ainda mais rápido**. São Paulo: Manole, 1999.

MARCHETTI, P. H.;DUARTE, M. **Instrumentação em Eletromiografia**.São Paulo: Laboratório de biofísica. Escola de Educação física, Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: < <http://demotu.org/pubs/EMG.pdf>>

MARTIN, R. Laser-accelerated inflammation/pain reduction and realing. **Practical Pain Management**., v.3, n.6, p.20-25, 2003.

MARZZOCO, A.T., TORRES, B.B. **Bioquímica Básica**, Rio de Janeiro:Ed. Guanabara, 1990.

MATON, B. Human motor unit activity during the onset of muscle fatigue in submaximal isometric isotonic contraction. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.**, v.46, n.3, p. 271-281, 1981.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I. ; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício** : energia, nutrição e desempenho humano. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998. 695p.

MESTER, E. et al., Wundheilung und regeneration. Neure untersuchugen über die wirkung der laserstrahlen auf die undheilung. Immunoligische Effect. Z. **Experience. Chirurgery.** v. 10, p. 301, 1977.

MIRÓ, L et al., Estúdio capilaroscópio de la acción de un láser As-Ga sobre la microcirculacion. **Inv. Clinica laser.**, v.1, p. 9 -14, 1984.

MYERS, J.; ASHLEY ,E. Dangerous Curve: A perspective on exercise, lactate and anaerobic threshold. **Chest.**, v. 111, p.787-795, 1997.

NASCIMENTO, P. M. **Efeito da Variação da Intensidade e do Comprimento de Onda do Laser Não Cirúrgico em Feridas Cirúrgicas em Dorsos de Ratos: Estudo Histológico.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba. 2001.

OLIVEIRA, F,B.; et.al. Avaliação de dois modelos de tábua proprioceptiva com dois tipos de apoios por meio da eletromiografia de superfície. **Fisioterapia Brasil.** v.7,n.3. maio/junho 2006.

ORON, U., et al., Low energy laser irradiation reduces formation of scar tissue following myocardial infraction in dogs. **Circulation**, v.103, p.296 -301, 2001.

ORTIZ, M, C. S.; CARRINHO, P. M.; SANTOS, A. A. S.; GONÇALVES, R. C.; PARIZOTTO, N.A. laser de baixa intensidade: princípios e generalidades – parte 1, **Fisioterapia Brasil**, v. 2, n. 4, p. 221-240, 2001.

PARKIN, J.A.; CAREY, M.F.; MARTIN, I.K.; STOJANOVSKA, L.; FEBBRAIO, M.A. Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. **Med Sci Sports Exerc**, v. 29, n.2, p.220-224, 1997.

POGREL, M. A.; CHEN, J. W.; ZHANG, K. Effects of low-energy Gallium-Aluminum-Arsenide laser irradiation on cultured fibroblasts and keratinocytes. **Lasers Surg Med**, v.20, p.426-432, 1997.

POWERS, S.K.; HOWLEY, E.T. **Exercise physiology, theory and application to fitness and performance.** Madison, WI: Brown Publishers, 1990, p.417-426.

PRAKKI, P. **Estudo comparativo da ação do Laser HeNe e de mediadores vasoativos (Noradrenalina e histamina) na microcirculação mesentérico de ratos.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, 2003.

RASSIER, D. E.; MACINTOSH, B. R. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research.**, v.33, n.5, p. 499 – 508, Maio / 2002.

RIGAU, J. **Acción de la luz laser a baja intensidad em la modulacion de la funcion celular.** Réus, 1996, 103 p. Tese (Doutorado em Histologia) Faculdade de Medicina e Ciências da Saúde - Universidade Rovira i Virgili.

ROSSI, L, TIRAPEGUI, J. Aspectos atuais sobre exercício físico, fadiga e nutrição. **Rev Paul Educ Fís.** v. 13, n.1, p. 67-82, 2000.

SILVA, E. C. da; HAIDAR, A. F; MUSSKOPF, D. E. Radiação Laser. In: RODRIGUES, E.; GUIMARÃES, C. **Manual de recursos fisioterapêuticos.** Rio de Janeiro: Revinter Ltda.,1998. p. 17-35.

SILVA, S. R. D.; GONÇALVES, M. Análise da fadiga muscular pela amplitude do sinal eletromiográfico. **R. bras. Ci Mov.**, v.11, n.3, p.15-20, 2003.

SPRIET II, HOWLETT RA, HEIGENHAUSER GJF. An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. **Med Sci Sports Exerc.** v. 32, p. 756 – 763, 2000.

SROKA, R.; SCHAFFER, M.; FUCHS, C.; PONGRATZ, T. Effects on the mitosis of normal and tumor cells induced by light treatment of different wavelengths. **Lasers in Surgery and Medicine**, v. 25, p. 263-271, 1999.

STAINKI, Daniel Roulim et al.,. The gallium arsenide (GaAs) laser radiation in the radial nerve regeneration submitted to secondary surgical repair. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, São Paulo, v. 35, n. 1, 1998.

STEIN, A.; BENAYAHU, D.; MALTZ, L.; ORON, U. Low-level laser irradiation promotes proliferation and differentiation of human osteoblasts in vitro. **Photomedicine And Laser Sugery** , v. 23, n. 2, 2005.

SULEWSKI, J.G. Historical survey of laser dentistry. **Dent Clin North Am.**, v.44, n.4, p. 717-752, 2000.

TARKKA, I.M. Power spectrum of electromyography in arm and leg muscles during isometric contractions and fatigue. **J. Sports Med. Phys. Fit.**, v.24, n.3, p.189-194. 1984;

TERRADOS, N.; FERNÁNDEZ, B. Fatiga muscular. In: CORDOVA MARTINEZ, Alfredo. **La Fatiga muscular en el rendimiento deportivo.** Madrid: Editorial Sintesis, 1997.

VEÇOSO, M. C. **Laser em Fisioterapia**. São Paulo: Rovise, 1993.

VIVEIROS L. et al., Respostas agudas imediatas e tardias da flexibilidade na extensão do ombro em relação ao número de séries e duração do alongamento. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.10, n. 6, p. 459 – 463 nov./dez 2004.

WEIST, R. et al., The Influence of Muscle Fatigue on Electromyogram and Plantar pressure Patterns as an Explanation for the Incidence of Metatarsal Stress Fractures. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 32, n. 8, p.1893 -1898, 2004.

WESTERBLAD H.; LEE J. A.; LANNERGREN J; ALLEN D. G. Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle, **Am J Physiol Cell Physiol.**, v. 261, p. 195-209, 1991

WILMORE, J.;COSTILL, D. **Fisiologia do Esporte e do Exercício**. São Paulo: Manole, 2001.

YAZNEK P. **Condicionamento físico do atleta transplantado**. São Paulo: Sarvier APM, 1994.

ANEXO A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**I - Identificação:**

Nome.....

Sexo..... Data de nascimento:/...../.....

Responsável Legal

Identidade (R.G.).....Telefone:

Endereço.....

Cidade Estado.....

Pesquisador responsável: Maurício Balbinotti Ferrari

II - Dados sobre atividades e intervenções:

O estudo se desenvolverá, no turno da tarde. O dia da avaliação será futuramente agendado pelo responsável do estudo.

O atleta em questão estará sujeito à aplicação Laser, na região do vermelho, em região do músculo bíceps braquial.

Será realizado um protocolo de indução da fadiga muscular, através da flexo-extensão resistida de cotovelo, com 70% da carga máxima até o momento que não mais conseguir chegar a 90 graus de flexão de cotovelo.

O indivíduo será submetido a duas coletas de sangue executadas por um enfermeiro (em dedo indicador através de um lancetador e lancetas descartáveis, precedido da assepsia da pele) para posterior análise do lactato sanguíneo em analisador portátil, procedimento esse que não apresenta riscos aos usuários.

III - Explicações ao paciente:

1 - Justificativa: realização de um exercício que induza a fadiga muscular a fim de proporcionar a produção de lactato no músculo em questão para análise dos efeitos da aplicação do Laser, na região do vermelho, perante os indicadores (concentração de lactato sanguíneo, eletromiografia, tempo da atividade e número de repetições executadas).

2 - Objetivos: este estudo visa analisar os efeitos da aplicação do Laser, na região do vermelho, perante a velocidade de indução da fadiga muscular, através da mensuração da concentração de lactato sanguíneo, objetivando-se ver se torna-se eficaz ou não a aplicação do mesmo antes de atividades extenuantes, como treinos e partidas para posteriorização da fadiga muscular e conseqüentemente aumento da performance esportiva e diminuição da incidência de lesões.

03 - Complicações e Riscos: se o trabalho realizado for devidamente executado, sob observação contínua dos analisadores e concentração por parte dos atletas, os riscos de lesões são praticamente inexistentes.

4 - Ao voluntário será assegurado o direito de desistência em qualquer fase da pesquisa sem nenhum tipo de penalização, e a esse será assegurada a garantia quanto ao sigilo dos dados confidenciais.

5 - O voluntário não receberá nenhum tipo de remuneração referente a participação na pesquisa, não estando previstos nenhum tipo de indenização além das previstas por lei.

6 - Fui esclarecido sobre a garantia de receber resposta a qualquer questionamento ou dúvida a respeito dos procedimentos ou qualquer outro assunto relacionado à intervenção. SIM () NÃO ()

7 - Fui esclarecido que não haverá remuneração financeira proveniente deste projeto? SIM () NÃO ()

8 - Fui esclarecido quanto à possibilidade de desistência em qualquer fase da pesquisa sem qualquer tipo de penalização? SIM () NÃO ()

9 - Fui esclarecido quanto à sigilosidade quanto aos meus dados confidenciais?
SIM () NÃO ()

10 - Autorizo a utilização dos dados referentes à avaliação / intervenção, bem como imagens? SIM () NÃO ()

IV - Consentimento Pós- Informado.

Declaro que após ter sido esclarecido dos riscos e benefícios deste estudo clínico, conforme definido nos itens 1 a 10 do inciso III, consinto em participar das atividades de avaliação / intervenção.

São José dos Campos, de..... de 2008.

.....
Colaborador

Maurício Balbinotti Ferrari

.....
Responsável Legal