

**Universidade do Vale do Paraíba
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento**

CAROLINA LEMOS ROCHA BOTTURA NUEVO

**EFEITOS DO INFRAVERMELHO LONGO NA REDUÇÃO DO
PROCESSO INFLAMATÓRIO NO ESMAGAMENTO DO NERVO
CIÁTICO EM RATOS**

São José dos Campos, SP

2006

CAROLINA LEMOS ROCHA BOTTURA NUEVO

**EFEITOS DO INFRAVERMELHO LONGO NA REDUÇÃO DO
PROCESSO INFLAMATÓRIO NO ESMAGAMENTO DO NERVO
CIÁTICO EM RATOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia da Universidade do Vale do Paraíba, como complementação dos créditos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientadora: Prof^a. Dra Renata Amadei Nicolau.

São José dos Campos, SP

2006

N

Nuevo, Carolina Lemos Rocha Bottura

Efeitos do infravermelho longo na redução do processo inflamatório no esmagamento do nervo ciático em ratos / Carolina Lemos Rocha Bottura Nuevo. São José dos Campos, 2006.

1 disco laser, color

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

1. Nervo ciático 2. fisioterapia 3. infravermelho I. Nicolau, Renata Amadei, Orient., II. Título

CDU: 616.8

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



CAROLINA LEMOS ROCHA BOTTURA NUEVO

Data: São José dos Campos, 06 de novembro de 2006.

“EFEITOS DO INFRAVERMELHO LONGO NA REDUÇÃO DO PROCESSO INFLAMATÓRIO NO ESMAGAMENTO DO NERVO CIÁTICO EM RATOS”

Carolina Lemos Bottura Nuevo

Banca Examinadora:

Prof. Dr. **ALDERICO RODRIGUES DE PAULA JUNIOR** (UNIVAP) Aldérico Paula

Prof^a. Dra. **RENATA AMADEI NICOLAU** (UNIVAP) Renata Amadei Nicolau

Prof^a. Dra. **CRISTINA PACHECO SOARES** (UNIVAP) Cristina Pacheco Soares

Prof^a. Dra. **ALBA REGINA DE ABREU LIMA - CATELANI** (FIFE-FEF) Alba Regina Catelani

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco
Diretor do IP&D - UniVap

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai “Zézo” por sempre acreditar em mim e não medir esforços para que eu realize todos os meus sonhos.

A minha mãe Cristina e minha irmã Mariana pelo carinho, companheirismo, principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao meu namorado Igor por estar sempre ao meu lado e compreender todo o tempo que estive ausente.

A Prof^a. Dra. Renata Amadei Nicolau, pelo estímulo constante e segura orientação.

A Prof^a Cecília Dezan pela disponibilidade e atenção.

Ao serviço de biblioteca do Campus da UNIVAP, em particular a Rúbia Gravito Carvalho Gomes pela disponibilidade, incentivo e colaboração durante todo o período da pesquisa.

A meus queridos amigos de curso, Andréa, Ademir, Ana Heloísa, Ênio, João, Julia, Silviane, Tiago, Zé, e a tantos outros pelo apoio e gostosa convivência durante o curso.

EFEITOS DO INFRAVERMELHO LONGO NA REDUÇÃO DO PROCESSO INFLAMATÓRIO NO ESMAGAMENTO DO NERVO CIÁTICO EM RATOS

RESUMO

Os nervos periféricos são frequentemente traumatizados, ocorrendo perda ou diminuição da sensibilidade e da motricidade no território inervado. Assim, estudos baseados no desenvolvimento de novas terapias, minimamente invasivos se fazem necessários. A radiação no infravermelho longo (IVL) está compreendida entre 4 a 16 μm do espectro eletromagnético, tendo sido relatada como eficaz no tratamento de processos inflamatórios, porém não foi estudada anteriormente como coadjuvante no processo de reparação neuronal. Este estudo teve como objetivo investigar o processo inicial da recuperação do nervo ciático em ratos, após lesão por esmagamento, tratados com IVL através de avaliação funcional (Índice Funcional do Ciático-IFC) e avaliação histomorfométrica (área de bainha de mielina). Foram utilizados neste estudo 12 ratos Wistar, divididos em grupo controle e grupo tratado. O nervo ciático dos animais de ambos os grupos foi abordado, e o esmagamento ocorreu com o auxílio de uma pinça Kelly com pressão de aproximadamente 6N, mantida por 30 segundos. A terapia com IVL foi realizada no grupo tratado, tendo início 30 minutos pós-operatório, repetindo-se após 24h, 48h e 72h. Todos os animais foram sacrificados no 21º dia pós-operatório, para análise histomorfométrica. A recuperação funcional foi avaliada no período pré-operatório e pós-operatório respectivamente nos dias 7º, 14º, 21º, através do cálculo do IFC, apresentando uma melhora progressiva em ambos os grupos, porém os valores mais expressivos foram para o grupo tratado. Houve diferença significativa do IFC do grupo tratado entre 7 e 21 dias pós-operatório ($p < 0,05$), demonstrando expressiva recuperação deste grupo entre duas fases da lesão, uma vez que no grupo controle a evolução do índice não foi estatisticamente notada entre os diferentes períodos de avaliação. O valor médio da área da bainha de mielina não apresentou diferenças significativas na comparação entre o grupo tratado e o controle. Os resultados demonstraram que, ainda que não tenham sido observadas diferenças estatísticas entre grupo controle e tratado, no que se refere à área de mielinização e IFC, neste último observa-se aceleração no processo de reparação entre 7 e 21 dias pós-tratamento.

Palavras-chaves: Infravermelho Longo, nervo ciático, esmagamento.

**"EFFECTS OF THE FAR INFRARED ON INFLAMMATORY PROCESS
REDUCTION IN SCIATIC NERVE CRUSH IN RATS"**

ABSTRACT

The peripheral nerves are often traumatized occurring the loss or sensitivity diminishing as well as the neural territory motoring. So, studies based upon new therapy developments, those least invasive, they make themselves necessary. The radiation in the long infra-red ray (IVL) is acquired between 4 to 16 μm of the electromagnetic spectrum, having being reported as efficient in the treatment of the inflammatory process, however it has not been studied previously as a co-worker in the process of neuronal reparation. This study aimed to investigate the initial process of the sciatic nerve recuperation in rats, after lesion by crushing, treated with IVL through the functional assessment (Sciatic Functional Index) and the histomorphometrical evaluation (area of myelin sheath). Twelve Wistar rats were used in this experiment divided in control group and treated one. The animals' sciatic nerves of both groups were approached and the crushed came about with the handling of the Kelly tweezers with the approximately pressure of the 6N, kept up for thirty seconds. The IVL Therapy was performed in the treated group having 30 minutes pos-operation repeating itself after 24, 48, and 72 hours, respectively. All animals were sacrificed on the 21st pos-operation day for the histomorphometrical analyses. The functional recuperation was assessed in the pre-operative period and pos-operation respectively on the 7th, 14th, 21st days through the IFS calculations showing a progressive improvement in both groups, nevertheless the most expressive values were set to the treated group. There was significant difference of the treated group IFS between the 7th to the 21st pos-operation days ($p < 0,05$), showing a significant recuperation of this group between two lesion phases, once, in the control group, the index evolution was not statistically observed between the different periods of the evaluation. The myelin sheath area median value did not show significant differences in the comparison between the treated group and the control one, respectively. The results showed that even though no statistical differences were not noted between the control and treated groups as to the myelin area and the IFS, in the latter, acceleration has been observed in the reparation process between the 7th and 21st pos-treatment days.

Key-words: *Long Infrared Ray, Sciatic Nerve, Crushing*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação das lesões nervosas.....	12
Figura 2: Representação esquematizada das medições para o cálculo do IFC	20
Figura 3: Faixa do Espectro Eletromagnético	23
Figura 4: Aparelho INVEL.....	26
Figura 5: Abordagem do nervo ciático.....	44
Figura 6: Esmagamento do nervo ciático.....	44
Figura 7: 1ª aplicação: após os primeiros 30 minutos de pós-cirúrgico, ratos ainda anestesiados.....	45
Figura 8: 2ª aplicação: após 24 horas de pós-cirúrgico; ratos sem efeito de anestésico	46
Figura 9: Registro das pegadas na passarela.....	47
Figura 10: Registro das pegadas sem lesão no papel (pata direita)	47
Figura 11: Registro das pegadas com lesão no papel (pata direita)	47
Figura 12: Lâminas do grupo controle respectivamente proximal e distal à lesão	50
Figura 13: Lâminas do grupo tratado respectivamente proximal e distal à lesão	50
Figura 14: Programa <i>Image Pro Plus</i> (versão 4.5.0.29	50
Figura 15: Gráfico com valores médios do IFC, dos grupos controle e tratado	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do IFC, grupo controle	52
Tabela 2: Valores do IFC, grupo tratado	52
Tabela 3: Valores médios do grupo controle em relação à área de bainha de mielina	53
Tabela 4: Valores médios do grupo tratado em relação à área de bainha de mielina	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IVL- Infravermelho Longo

SNP – Sistema Nervoso Periférico

SNC – Sistema Nervoso Central

IFC - Índice Funcional do Ciático

IFT - Índice Funcional do Tibial

IFP – Índice Funcional do Fibular

SIMS – Sistema Gerenciador do Índice Funcional do Ciático

IVP – Infravermelho próximo

µm - micrômetro

nm - nanômetro

FPP – Fibra fóton-platina

E - experimental

N - normal

h - horas

°C - Celsius

ATP - energia

Hz - Hertz

W - Watts

Mm - milímetro

cm - centímetro

TOF – distância de uma pata à outra

PL – comprimento da pegada

TS – espalhar total dos dedos

IT – espalhar intermediário dos dedos

v - volts

CO₂ – gás carbônico

N₂ - nitrogênio

H₂O - água

O₂ - oxigênio

SiC – carbetto de silício

Si₂N₄ – nitreto de silício

ZrO₂-Si₂ - zirconita

MnO₂ – dióxido de manganês

Fe₂O₃ – óxido hipoferroso

g - grama

N - Newton

Hene – Hélio-Neônio

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vi
SUMÁRIO	viii
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Lesão Nervosa Periférica	15
1.2 Lesão Nervosa por Esmagamento	17
1.3 Regeneração nervosa periférica	18
1.4 Avaliação funcional da regeneração nervosa	20
2. INFRAVERMELHO LONGO (IVL)	24
2.1 Absorção e penetração da radiação infravermelho	27
2.2 Fontes de radiação: as cerâmicas	29
2.3 Transferência de calor	32
2.4 Efeitos fisiológicos do calor	32
2.5 Efeitos biológicos da radiação infravermelho	34
3. JUSTIFICATIVA	40
4. OBJETIVO	41
5. METODOLOGIA	42
5.1 Tipo de pesquisa	42
5.2 Animais	42
5.3 Procedimento cirúrgico	43
5.4 Aplicação do Infravermelho longo (IVL- INVEL)	45
5.5 Registro das pegadas	46
5.6 Análise Histológica	48
5.7 Análise Histomorfométrica	49
5.8 Análise Funcional da marcha	51
5.9 Análise Estatística	51
6. RESULTADOS	52
6.1 IFC	52
6.2 Histomorfometria	53
7. DISCUSSÃO	55

8. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE.....	65
ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	66

1. INTRODUÇÃO

Os nervos periféricos são freqüentemente traumatizados, o que resulta em esmagamentos ou secções que trazem como consequência perda ou diminuição da sensibilidade e da motricidade no território inervado. As dificuldades encontradas pelo paciente lesado em executar suas atividades de vida diárias tornam-se elementos primordiais para determinar as metas de recuperação do paciente (MACHADO, 2004).

A recuperação nervosa periférica, após uma lesão, tem gerado muitos trabalhos científicos sobre os diversos aspectos dos métodos de reparação, regeneração e avaliação dos resultados (MIRA,1979; DEVOR et al. 1979; DE MEDINACELI; FREED; WATT, 1982; DE MEDINACELI; DERENZO; WYATT, 1984; BAIN; MACKINNON; HUNTER, 1989). A fisioterapia exerce um papel importante e fundamental na recuperação do processo regenerativo dos nervos periféricos. Faz uso de estimulação elétrica, ultra-som e laser de baixa potência como meios de acelerar a regeneração, chegando, assim, a uma melhora satisfatória do quadro clínico do paciente envolvido.

Segundo Toyokawa et al. (2003), a irradiação com infravermelho longo sobre o tecido em processo inflamatório pode gerar ligeira elevação da temperatura com notado aumento da atividade celular. Teorias indicam que a energia gerada pelo aumento da temperatura é absorvida pelas células através de sua membrana plasmática, melhorando a circulação local. A vasodilatação capilar venosa, aumento do metabolismo celular e aumento da capacidade de drenagem linfática de fluidos intersticiais favorecem o processo de cicatrização tecidual (MAEDA, 1997).

Quando o tecido é lesionado, esse fluxo é alterado no local, dessa forma, a radiação com infravermelho longo pode estimular a reparação neuronal, visando à redução do processo inflamatório (MAEDA, 1997).

A propagação e a absorção da radiação infravermelho longo com comprimento de onda entre 4 a 16 μm nos tecidos biológicos, promovem a bioestimulação para fins terapêuticos como: analgesia, redução de edemas, aumento da microcirculação, aumento do metabolismo celular, síntese de elastina e do colágeno, diminuição dos aglomerados de moléculas de água, eliminação de impurezas e dos radicais livres, diminuição dos hematomas e do espasmo muscular (INOUE; KABAYA, 1989; KITCHEN; PARTRIDGE, 1991). Contudo, nenhum trabalho foi encontrado na literatura empregando a terapia com infravermelho longo (4 a 16 μm) na recuperação tecidual nervosa.

1.1 Lesão Nervosa Periférica

O sistema nervoso periférico (SNP) é geralmente descrito como uma porção fora do sistema nervoso central (SNC), que inclui o cérebro e a medula espinhal. Os principais componentes do SNP incluem neurônios motores, neurônios sensitivos primários fora do SNC e neurônios autonômicos. Os componentes específicos incluem raízes espinhais dorsais e ventrais, nervos espinhais e cranianos, gânglios da raiz dorsal e outros gânglios sensoriais, terminações sensitivas e motoras e o conjunto do sistema autônomo (UMPHRED, 1994).

A classificação de lesões de nervos mais útil, em termos clínicos, é a descrita por Seddon (1975) citado por Stokes (2000), baseada no comportamento do axônio

depois de diferentes tipos de lesões. Na neuropraxia, em um bloqueio de condução não há interrupção do axônio e a arquitetura do nervo fica mais ou menos intacta. É relativamente incomum na prática clínica e, na maioria dos casos, se recupera-se, caso a causa seja removida. Na axonotmese e na neurotmese, o axônio é cortado transversalmente. A parte distal sofre um processo chamado degeneração Walleriana, no qual o axoplasma se fragmenta e desaparece, e a mielina desintegra-se gradualmente. Na axonotmese, os tecidos conectivos do nervo ficam mais ou menos intactos e há grande chance de recuperação espontânea. Na neurotmese, todo o tronco nervoso é seccionado e os cotos se separam. A recuperação espontânea não ocorre no ser humano, sendo necessário o reparo cirúrgico (STOKES, 2000).

A neurotmese é a lesão nervosa periférica mais grave porque há uma ruptura do nervo periférico e o prognóstico de recuperação não é favorável, a menos que a continuidade do nervo seja refeita (UMPHREAD, 1994).

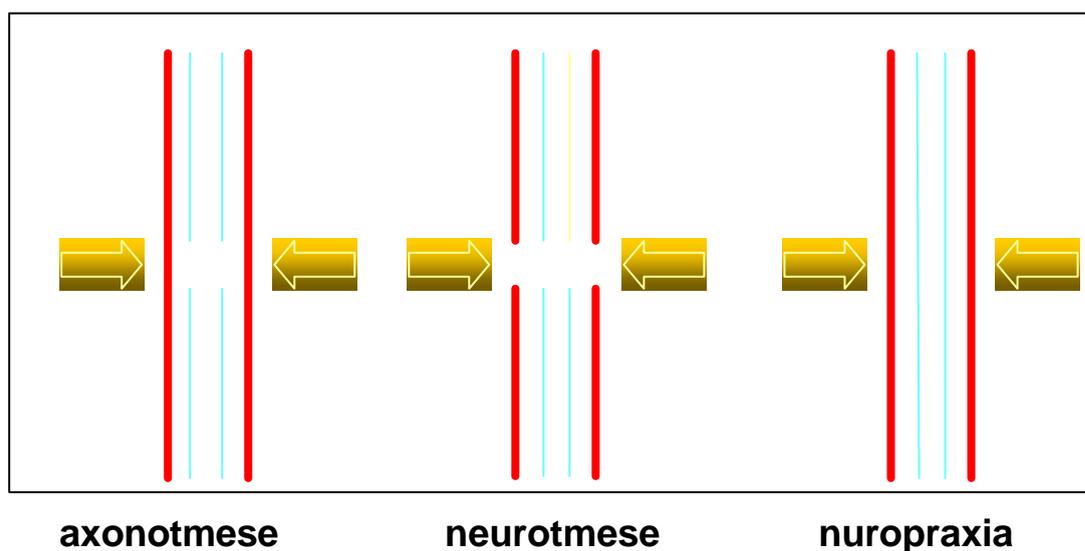


Figura 1: Representação das lesões nervosas.

1.2 Lesão Nervosa por Esmagamento

As lesões nervosas periféricas traumáticas são classificadas como focais ou multifocais, o que inclui ruptura, esmagamento, compressão, estiramento e aprisionamento (UMPHREAD, 1994).

Existem muitos fatores que influenciam para o sucesso de um reparo cirúrgico, quando necessário. Fatores como idade do paciente, nível da lesão, extensão, tempo de atraso desde a lesão até o reparo, tipo de nervo (motor ou sensitivo) são importantes para que ocorra a regeneração nervosa. No caso de esmagamento do nervo, não há necessidade de efetuar o tratamento cirúrgico do mesmo, o que evita inúmeras complicações. No esmagamento (axonotmese), o axônio é lesado, mas a lâmina basal da célula de Schwann permanece intacta com o tecido conectivo do endoneuro. Embora ocorra degeneração Walleriana distalmente à lesão, a regeneração é geralmente efetiva, pois a integridade da célula de Schwann é mantida. A recuperação é geralmente lenta (de vários meses a mais de 1 ano) (UMPHREAD, 1994).

Diversos autores apresentaram proposta para a utilização de modelos experimentais de esmagamento para avaliar a recuperação e regeneração nervosa funcional (BAIN, MACKINNON, HUNTER, 1989; MIRA, 1979; DE MEDINACELI, DERENZO, WYATT, 1984).

Para Bridge, et al. (1994) o esmagamento do nervo através de seis métodos utilizando pinça de joalheiro ou cirúrgica, gerava uma axonotmese. Foram feitos estudos de condução do nervo e exame histológico em dois dias, duas semanas e oito semanas pós-trauma; chegou-se a conclusão de que o esmagamento do nervo

ciático, induzido por quaisquer dos seis métodos, utilizando pinça de joalheiro ou cirúrgica, era semelhante, ou seja, de uma axonotmese.

Usando a técnica de análise funcional da marcha, observaram que a recuperação de nervos ciáticos esmagados ocorria entre o 16º e o 20º dias após a lesão (DE MEDINACELLI, FREED E WYATT, 1982).

Hare et al. (1992) relatam completa recuperação funcional do nervo ciático já na 4ª semana, após uma lesão por esmagamento (axonotmese).

1.3 Regeneração nervosa periférica

Uma força deformante intensa em nervos periféricos pode causar um bloqueio fisiológico reversível, e ocorre desmielinização ou até mesmo degeneração Walleriana. No momento e logo após a lesão, acontece uma proliferação de células de Schwann. O processo completo da degeneração Walleriana prepara o coto nervoso para regeneração e pode também levar à elaboração de fatores neurotróficos que promovem essa meta (MACHADO, 1993).

A célula de Schwann continua ativa durante as primeiras 24h após a lesão. As alterações reativas dentro da célula levam à proliferação através de mitose, ocorrendo a formação de colunas de células ao longo do tubo endoneuronal. Essencialmente, a função dessas colunas é guiar os brotos axonais em regeneração para seu tecido-alvo. Os brotos axonais crescem a partir do coto proximal para o coto distal, sendo a velocidade e progresso dependentes do tipo da lesão. A velocidade de regeneração varia de 1 a 8 mm por dia, dependendo do nervo e da localização, à medida que a regeneração continua distalmente, os axônios podem

tornar mielinizados e alguns podem eventualmente restabelecer as conexões periféricas (UMPHREAD, 1994).

Os processos de degeneração e, conseqüentemente, regeneração nervosa periférica dependerão diretamente do grau de acometimento de suas estruturas. Num período de 4 a 5 dias após a lesão nervosa periférica, o corpo celular prepara-se para o processo de regeneração, sintetizando o material axoplasmático, evidenciado pela presença de corpúsculos de Nilss junto à raiz axonal (STOKES, 2000).

Mira (1979), que estudou a regeneração de fibras nervosas mielinizadas de nervos ciáticos de ratos após lesão por esmagamento, observou que fibras regeneradas aparecem em torno de 10 a 15 dias, com retorno à normalidade em torno do 2º mês. Nesse período, os nervos em regeneração contêm cerca de 15% a mais de fibras mielinizadas do que o lado controle. Constatou que o diâmetro médio das fibras regeneradas e mielinizadas não ultrapassava 80% do normal, mesmo após dois anos do esmagamento. No nervo normal, descobriu que 61% das fibras eram de grande calibre, com diâmetro médio equivalente a 131% do diâmetro médio das fibras restantes. No nervo regenerado, em torno do 7º mês, observou que 47% das fibras eram de grande calibre.

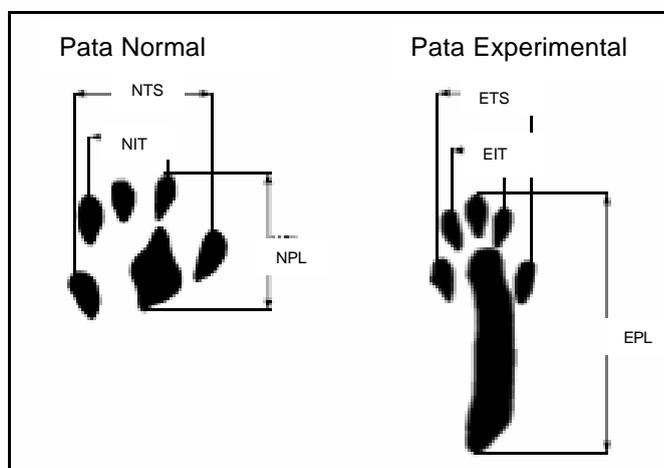
Mackinnon, Hudson, Hunter (1985) estudaram a regeneração nervosa periférica em ratos. Após a ressecção de um segmento de 4,5 mm do nervo ciático de trinta ratos, observaram um crescimento axonal de 27,7 mais ou menos 6,4 mm. Análise morfológica, realizada a intervalos de 1 cm, demonstrou a formação de brotamento axoniais mielinizados no coto proximal e compartimentação de axônios regenerados, distribuídos em fascículos pequenos. Constataram que a população de

fibras mielínicas era percentualmente menor em número e diâmetro quando comparado com valores normais.

1.4 Avaliação funcional da regeneração nervosa

De Medinacelli, Freed e Wyatt (1982) desenvolveram uma técnica que foi realizada entre grupo controle e grupo experimental, após transecção e esmagamento do nervo ciático em ratos, mostrando uma boa confiabilidade quando comparado, às técnicas já utilizadas. Foi proposta a utilização de um método de avaliação funcional, denominado Índice Funcional do Ciático (IFC), baseado em mensurações das pegadas das patas traseiras de ratos. A técnica consistia em obter imagens das pegadas dos animais quando estes caminhassem em uma passarela construída especialmente para esse fim (HRUSKA, KENNEDY, SILBERGELD, 1979), sobre uma tira de filme radiológico, em seguida processado.

Como mostra a figura 1, os parâmetros utilizados por Medinacelli, Freed e Wyatt (1982) eram: distância de uma pata à outra (TOF), comprimento da pegada (PL), espalhar total dos dedos (TS), espalhar intermediário dos dedos (IT).



Onde:

E: experimental

N: normal

TOF: distância de uma pata à outra

PL: comprimento da pegada

TS: espalhar total dos dedos

IT: espalhar dos dedos intermediários

Figura 2: Representação esquematizada das medições para o cálculo do IFC.

Na fórmula abaixo estão colocados os parâmetros encontrados através do registro das pegadas (DE MEDINACELLI, FREED E WYATT, 1982):

$$IFC = \left[\frac{(ETOF - NTOF)}{NTOF} + \frac{(NPL - EPL)}{EPL} + \frac{(ETS - NTS)}{NTS} + \frac{(EIT - NIT)}{NIT} \right] \times \frac{220}{4}$$

Os resultados encontrados por meio dessa fórmula mostram o percentual de déficit do lado não lesado (normal), comparado ao lado lesado. A função normal é mostrada por um índice de 0%, de forma que – 100% mostra a perda completa da função, após uma transecção total do nervo ciático; porém essa técnica envolvia a medida da distância de uma pata à outra, que resultava em muitos erros de cálculo, diminuindo a eficácia do índice.

Em 1984, De Medinacelli; Derenzo e Wyatt sugeriram a utilização de um sistema gerenciador do Índice Funcional do Ciático (SIMS, Sciatic Index Managing System). Nesse as imagens das impressões das pegadas das patas traseiras de ratos eram digitalizadas. Foram examinadas as impressões das pegadas de 7 ratos Sprague-Dawley submetidos ao esmagamento em intervalos regulares. A avaliação funcional dos parâmetros desta pesquisa, quando comparados com aqueles obtidos através do cálculo manual, mostrou que o uso do SIMS era mais rápido e preciso.

A avaliação dos índices funcionais dos nervos fibular e tibial e a eliminação do parâmetro TOF foram propostas por Carlton e Goldberg (1986), baseados na análise da regressão linear dos parâmetros estudados. Usaram a seguinte fórmula:

$$IFC = \left(\frac{NPL - EPL}{EPL} + \frac{ETS - NTS}{NTS} + \frac{EIT - NIT}{NIT} \right) \times 73$$

$$IFT = 125 \times \frac{(NPL - EPL)}{EPL} - 43.8 \times \frac{(ETS - NTS)}{NTS} - 252 \times \frac{(EIT - NIT)}{NIT}$$

$$\text{IFP} = 2 \times \text{IFC} - \text{IFT}$$

Onde:

IFT: índice funcional do tibial

IFP: índice funcional do fibular

Portanto, em 1989, o Índice Funcional do Ciático (IFC), o do Tibial (IFT) e o do Fibular (IFP) passaram por mais uma modificação descrita por BAIN, MACKINNON, HUNTER, tendo em vista a análise de regressão linear múltipla de fatores derivados das medidas das impressões das pegadas de ratos com lesões nervosas definidas. Como nos demais índices, a lesão total do nervo é representada por -100, enquanto que a função normal é representada por 0, a fórmula abaixo mostra os parâmetros utilizados: comprimento da pegada (PL), o espalhar total dos dedos (TS) e o espalhar dos dedos intermediários (TI), mais um fator de correção gerado para cada uma das variáveis:

$$\text{IFC} = -38.3 \times \frac{\text{EPL-NPL}}{\text{NPL}} + 109.5 \times \frac{\text{ETS-NTS}}{\text{NTS}} + 13.3 \times \frac{\text{EIT-NIT}}{\text{NIT}} - 8.8$$

$$\text{IFT} = -37.2 \times \frac{\text{EPL-NPL}}{\text{NPI}} + 104.4 \times \frac{\text{ETS-NPS}}{\text{NPS}} + 45.6 \times \frac{\text{EIT-NIT}}{\text{NIT}} - 8.8$$

$$\text{IFP} = 174.9 \times \frac{\text{EPL-NPL}}{\text{NPL}} + 80.3 \times \frac{\text{ETS-NTS}}{\text{NTS}} - 13.4$$

A utilização do filme radiológico para se obter as impressões das pegadas transforma a técnica de avaliação funcional em um método difícil e trabalhoso. Lowdon, Seaber; Urbaniak (1988) sugeriram usar tiras de papel impregnadas com uma solução de azul de bromofenol, como um método mais barato e eficaz para

obter as impressões, justificando, assim, a vantagem do uso desse material. O papel impregnado com azul de bromofenol mantém uma coloração amarelada e se torna azul quando entra em contato com água ou umidade. Dessa maneira, as impressões das patas traseiras dos animais, mergulhadas em detergente, eram visualizadas no papel em cor azul.

SELLI (1998) criou um programa de computador para medição dos parâmetros utilizados na avaliação funcional, no qual imagens foram digitalizadas por um *scanner* e os parâmetros observados e medidos através de um cursor do mouse em seqüência pré-estabelecida. Os valores dos parâmetros estabelecidos dos nervos ciáticos, fibular e tibial eram imediatamente calculados pelo programa.

2. INFRAVERMELHO LONGO (IVL)

As radiações infravermelhas são produzidas em toda a matéria por vários tipos de vibração molecular. Quando os átomos se movem, afastando-se ou aproximando-se sem quebrar sua união, as moléculas formadas por eles alteram sua forma e são emitidas radiações infravermelhas. Qualquer molécula que se encontra em estado de vibração e rotação pode ser alterada pela absorção de calor, que leva a emissão de muitos comprimentos de onda diferentes de infravermelho. O resultado é que qualquer corpo aquecido emite radiação infravermelho e todo material que esteja com uma temperatura acima do zero absoluto emite radiação infravermelho. Embora as radiações tenham uma ampla faixa de frequências diferentes, essas, em que a máxima intensidade de radiação é emitida, são proporcionais a temperatura. Portanto, quanto mais alta a temperatura, mais alta a frequência máxima e menor o comprimento de onda (LOW; REED, 2001; DOVER; PHILLIPS; ARNDT, 1989).

$$\text{Comprimento onda máx} = \frac{3000 (\text{Kelvin} = \text{graus centígrados} + 273)}{T(^{\circ}\text{K})}$$

Um critério que pode ser utilizado para distinguir o infravermelho, conforme Houghton e Smith (1966), citado por Devezas e Silva em 1991 é o da transparência da atmosfera ao infravermelho. Usando esse critério, distingue um infravermelho próximo entre 0,7 e 3 μm , uma região intermediária entre 3 e 6 μm e um IVL para comprimentos de onda superiores a 6 μm . A atmosfera apresenta faixas de transparência ao infravermelho, havendo três faixas bem distintas deste tipo, cada uma delas correspondendo às regiões distinguidas pelo autor. Essas faixas ou

janelas de transparência situam-se no Infravermelho Próximo para comprimentos e onda de até quase $2,5\mu\text{m}$, na região intermediária entre 3 e $5\mu\text{m}$ (com um forte pico de absorção do CO_2 e N_2 na região de $4,3\mu\text{m}$ e, no Infravermelho Longo, uma grande janela entre $7,5$ e $14\mu\text{m}$, conhecida como janela dos $10\mu\text{m}$). Os principais agentes absorvedores de energia da radiação infravermelho são o CO_2 e o H_2O ; o O_2 e o N_2 são praticamente transparentes ao infravermelho, com exceção dos picos de absorção de $4,3\mu\text{m}$ para o N_2 e $6,43\mu\text{m}$ para o O_2 . Assim, a maior eficiência na transmissão de calor por radiação no ar atmosférico ocorre nas faixas de comprimentos de onda entre 3 a $5\mu\text{m}$ e entre $8,5$ a $12\mu\text{m}$, notadamente nessa última. Talvez por esta razão, toda a literatura atual sobre infravermelho, principalmente o material que chega do Japão, cujo mercado vem sendo “inundado” por centenas de produtos aplicativos das propriedades térmicas do Infravermelho Longo, divide o espectro entre o IVP ($0,75$ a $3,0\mu\text{m}$) e o IVL ($3,0$ a $1.000\mu\text{m}$) (DEVEZAS; SILVA, 1991). Mas esta divisão não segue um padrão rigoroso, sendo utilizados outros parâmetros para classificação.

Este comprimento de onda do infravermelho longo, por ser comparável ao diâmetro de um átomo que, segundo o físico neozelandês Ernest Rutherford citado por Castilho, 2003 é em média $10\mu\text{m}$, após receber energia pode interagir com outros átomos e moléculas mais profundos produzindo vibração molecular, transferindo energia cinética (KITCHEN; BAZIN, 1998), quando os átomos se movem, afastando-se ou aproximando-se. Sem quebrar a união entre elas, as moléculas formadas por eles alteram a sua forma e são emitidas radiações no infravermelho. Qualquer objeto tem uma ou mais frequências naturais nas quais flui

sua vibração; quando este objeto é excitado por algum fator externo em uma de suas frequências naturais, dá-se a ressonância (PÉREZ; MARTINEZ, 1995).

Ressonância é um fenômeno físico em que se registra transferência de energia de um sistema oscilante (neste caso os átomos) para outro, quando a frequência do primeiro coincide com uma das frequências próprias do segundo. Os átomos individuais e as moléculas oscilam em torno de suas posições de equilíbrio, mas a posição média delas não se altera. À medida que elas interagem com os vizinhos, transferem parte de sua energia aos próximos vizinhos, em seqüência, fazendo com que a energia da onda chegue mais profundamente aos tecidos subjacentes. Através disto produz uma ligeira elevação da temperatura, melhorando a circulação local (MAEDA, 1997), provocando uma estimulação térmica da inervação vasomotora, ocasionando vasodilatação reflexa (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995).

Quanto maior o comprimento de onda no espectro eletromagnético, menor o nível de energia por fóton, diminuindo o nível de absorção, ou seja, uma diminuição do calor pode ser induzida com um maior comprimento de onda. Enquanto o raio-X ioniza átomos, UV induz reações fotoquímicas, e a radiação infravermelho induz vibrações moleculares que se manifestam por aumento na temperatura (DOVER; PHILLIPS; ARNDT, 1989).

Segundo Devezas et al. (1991), as descobertas confirmaram a natureza ondulatória da radiação infravermelho e a colocam como parte do espectro de radiações eletromagnéticas.

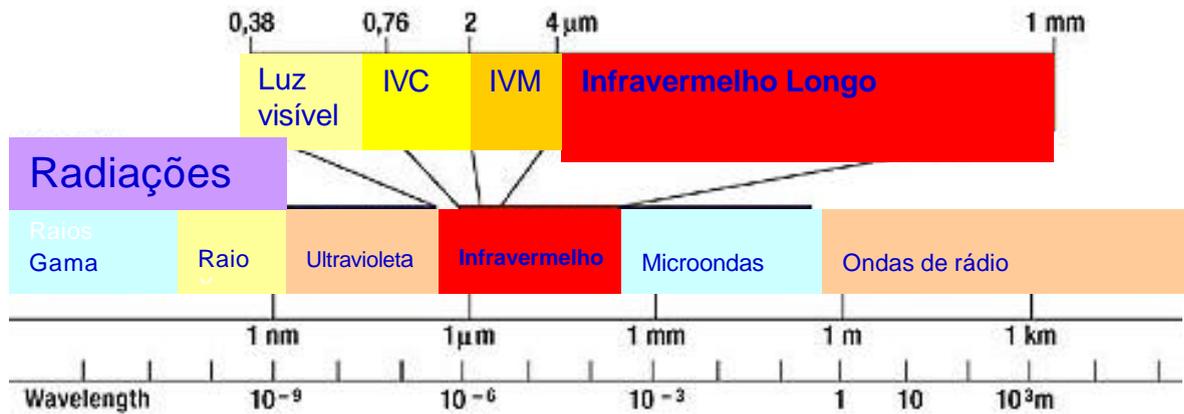


Figura 3: Faixa do Espectro Eletromagnético.

Fonte: http://www.esa.int/esaSC/SEMG0KR1VED_index_0.html

Os comprimentos de onda do espectro eletromagnético há muito vêm sendo utilizados pelo homem no seu dia-a-dia e é, na maioria das vezes, invisível aos nossos olhos. São exemplos as ondas medidas em metros como as de rádio AM e FM; ondas medidas em centímetros e milímetros como as microondas encontradas no telefone celular e radares; ondas em micrometros como o infravermelho, capaz de promover vibrações moleculares da água, gerando calor (BRUGNELA,1998). Os efeitos da radiação luminosa sobre os tecidos já são bastante conhecidas na área da saúde por meio da ação da radiação laser de baixa intensidade da luz visível (vermelha) e invisível (infravermelho), promovendo uma vibração molecular, o que leva os tecidos a um aumento no metabolismo chamado de bioestimulação (RIGAU,1996; KARU,1987).

2.1 Absorção e penetração da radiação infravermelho

Segundo Ward (1986), citados por Low e Reed (2001), algumas radiações que entram em contato com a superfície da pele são refletidas e outras penetram, sofrendo então dispersão, refração e são, finalmente, absorvidas pelos tecidos. A quantidade de reflexão da radiação visível varia com a cor de pele, porém para o

infravermelho terapêutico é insignificante. Quase 95% da radiação aplicada perpendicularmente à pele é absorvida. Pequenas quantidades de radiação podem ser, em algumas circunstâncias, realmente transmitidas, não apenas através da pele, mas dos tecidos subjacentes e mesmo de uma parte do corpo. A pele (epiderme e derme) não é, obviamente, um tecido homogêneo. Trata-se de uma estrutura complexa com múltiplas camadas e irregularidades, com folículos pilosos e as glândulas sudoríparas. Em geral, a água e as proteínas absorvem fortemente o infravermelho longo. Qualquer radiação que interage com a pele depende da estrutura, da vascularização, da pigmentação da pele e do comprimento de onda da radiação.

O infravermelho longo usado terapêuticamente é absorvido na superfície, em grande parte, pela água que está na superfície da pele. Por volta de 3000 nm (3 μm), a profundidade de penetração é cerca de 0,1 mm. A partir daí há uma penetração cada vez maior com redução no comprimento de onda na região do infravermelho próximo, de uma profundidade máxima de penetração de cerca de 3 mm na região de comprimento de onda em torno de 1000 nm (1 μm) (LOW; REED, 2001).

O efeito será um aquecimento acentuado da pele. Parte deste calor será conduzido mais profundamente aos tecidos subcutâneos, em razão da simples condução da superfície (LOW; REED, 2001).

2.2 Fontes de radiação: as cerâmicas

Conforme encontradas na literatura, as vantagens do uso de cerâmicas são resultado de três aspectos principais:

1- Redução do consumo de energia, que se deve à característica das novas cerâmicas desenvolvidas para este fim e que emitem radiação intensamente na faixa de 3 a 10 μm , sendo essa faixa de comprimento de onda exatamente aquela em que se tem a maior eficiência para transferência de calor através da atmosfera.

2- Efeito benéfico da faixa de radiações emitidas por estes materiais 3 a 10 μm sobre o corpo humano.

3- Efeitos benéficos sobre a eliminação de aglomerados de água na faixa de radiação de 3 a 10 μm (DEVEZAS; SILVA, 1991).

Dentre os materiais que vêm surgindo no mercado, como potenciais irradiadores de infravermelho longo, destacam-se as cerâmicas covalentes (SiC e Si_3N_4) e alguns óxidos cerâmicos. Outro material, segundo Ishikawa, citado por Devezas e Silva (1991), com bastante sucesso nesta área é uma mistura de zirconita ($\text{ZrO}_2\text{-Si}_2$), MnO_2 e Fe_2O_3 , com eventual adição de argila.

Conforme a literatura, e segundo alguns resultados preliminares já obtidos, é de se supor que a maioria das cerâmicas sejam covalentes ou referentes às misturas de óxidos cerâmicos puros, constituindo-se em eficientes irradiadores de infravermelho longo (DEVEZAS; SILVA, 1991).

As lâmpadas comuns de infravermelho apresentam o inconveniente de caso sejam operadas em baixa potência, não apresentam a mesma potência de irradiação das novas cerâmicas e, se geradas em alta potência, esquentam muito e emitem radiação na faixa visível. Além disso, grande parte da energia é absorvida pelo vidro

envelope das lâmpadas, o que de forma geral desperdiça energia e, não são tão eficientes quanto os irradiadores cerâmicos.

Isso vem sendo comprovado em diversos estudos em que foram analisadas as propriedades de algumas cerâmicas. Observou-se que elas possuem efeitos foto-térmicos, ou seja, mediante o aquecimento, apresentam a propriedade de emitir radiação infravermelho. O *Fine Ceramic Center*, da universidade de Dalian, China, sintetizou uma biocerâmica com partículas ultrafinas e ultrapuras, termo-excitáveis, capaz de emitir infravermelho longo composta por alumina, óxido de magnésio e sílica (NIWA et al. 1993; GAO HONG, 1997; MAEDA, 1997).

Atualmente, um dos equipamentos utilizados em nível clínico é o Dome Face INVEL, o qual emite radiação na faixa espectral de 3 a 10 μm , promovendo a vibração molecular e gerando efeitos térmicos e de bioestimulação (SIMONEAU, 2000, 2002). Esse tem a parte interna revestida por um tecido comercialmente chamado de fibra Fóton-platina (FPP). A FPP é um tecido de cor branca com 3mm de espessura, textura semelhante ao do feltro, composto por fibras termoplásticas monofilamentosas de poliuretano com 8 μm de diâmetro, entre as quais são colocadas partículas de cerâmicas, conforme a figura 4 (PÉREZ; MARTINEZ, 1995).



Figura 4: Aparelho INVEL.

Características do equipamento

- Estrutura de fibra de vidro moldada em gel de alta resistência, atóxico e antichama;
- Resistência de Níquel Cromo;
- Voltagem de 220/AC Freq: 50~60 Hz Potência: 520 W;
- Dimensões: alt. 50 cm X compr. 40 cm X larg. 43 cm;
- Peso: 5,2 kg.

Para Pérez, Martinez (1995) e Simoneau (2000; 2002), o princípio básico de funcionamento do aparelho deve-se ao aquecimento da resistência elétrica na potência de 520 W e com tensão elétrica de 220 v, na faixa de temperatura entre 35°C e 45°C. A FPP, ao absorver o calor irradiado e proveniente da resistência, torna-se excitada térmica e seletivamente, em função dos componentes da cerâmica. Devido à excitação seletiva desses componentes, ocorre a emissão intensa da radiação infravermelho.

A radiação infravermelha na faixa dos comprimentos de onda de 3 a 10 μm , pode ser detectada através do equipamento modelo IFS-113V marca Bruker, com o uso do detector DTGS, que tem a capacidade de efetuar a medição espectral em função do aumento da temperatura para valores próximos a 37°C.

A emissão da radiação infravermelho do equipamento manifesta-se por meio da transferência de calor ao indivíduo e essa ocorre mediante três diferentes mecanismos, que serão tratados a seguir.

2.3 Transferência de calor

A transferência de calor de equipamentos emissores de infravermelho longo geralmente acontece pela diferença de temperatura corporal do indivíduo submetido a esta radiação. O calor do equipamento é transferido para o corpo do indivíduo, mediante os movimentos vibratórios das moléculas que o constituem, através dos mecanismos convecção, condução e radiação (DOVER; PHILLIPS; AMDT, 1989; GUYTON; HALL,1998).

Conforme Dover, Phillips e Arndt (1998), a transferência de calor por convecção se realiza por meio de correntes de ar que carregam o ar aquecido para moléculas que entram em contato direto com a pele. O mecanismo de transferência de calor por condução consiste na passagem do movimento molecular do ponto mais quente para o mais frio, quando uma superfície corporal fica em contato com outra superfície sólida.

Os mecanismos de condução e convecção provocam evaporação. A evaporação é a transformação do estado líquido para o estado de vapor. O corpo perde calor por evaporação através da sudorese. A evaporação é de grande importância em temperatura ambiental superior a 36°C (GUYTON; HALL, 1998).

2.4 Efeitos fisiológicos do calor

Os efeitos fisiológicos de calor dependem do método de aplicação, da profundidade de penetração e da velocidade e magnitude da mudança de temperatura. Estes efeitos fisiológicos com o aumento da temperatura são:

1- A taxa metabólica celular aumenta com a elevação da temperatura até que uma temperatura seja atingida. Se essa continuar a subir, ocorre uma lentidão gradual da atividade metabólica até aconteça morte celular devido à desnaturação de proteínas dentro do tecido.

2- A velocidade de contração do músculo esquelético aumenta até que a temperatura para os processos metabólicos seja alcançada; então, também diminui gradativamente.

3- A tensão muscular declina, provavelmente porque a energia química é liberada muito rapidamente para ser convertida em energia mecânica.

4- O fluxo sanguíneo local aumenta.

5- A permeabilidade capilar, a pressão hidrostática capilar, e a velocidade de filtração capilar aumentam. Há um escape de proteínas para dentro do espaço intersticial, provocando edema.

6- As anastomoses, que conectam as arteríolas com as vênulas, abrem-se e o sangue é desviado dos capilares. Como as vênulas são mais longas que o capilares, o sangue permanece na área mais longa, dando mais tempo para a transferência de calor para os tecidos.

7- Os espasmos musculares diminuem como resultado da atividade diminuída nos eferentes motores gama e na diminuição na excitabilidade dos fusos musculares.

8- A dor é atenuada (UMPHRED, 1994).

9- Os efeitos terapêuticos do calor são capazes de estimular a liberação de substâncias endógenas, que apresentam propriedades analgésicas. O estímulo térmico inibe a transmissão da dor na medula espinhal (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995).

2.5 Efeitos biológicos da radiação infravermelho

A irradiação com infravermelho longo sobre o tecido em processo inflamatório pode gerar ligeira elevação da temperatura, com notado aumento da atividade celular (TOYOKAWA, et al., 2003). Teorias indicam que a energia gerada pelo aumento da temperatura é absorvida pelas células através da membrana plasmática, melhorando a circulação local.

A vasodilatação capilar venosa, o aumento do metabolismo celular e da capacidade de drenagem linfática de fluídos intersticiais favorecem o processo de cicatrização tecidual (MAEDA, 1997).

O aumento do fluxo sanguíneo na circulação cutânea gera um quadro de hiperemia. Esse efeito é mediado através da ação direta do calor sobre os próprios vasos ou pelo estímulo térmico da inervação vasomotora, ocasionando vasodilatação reflexa (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995).

O organismo possui um isolante térmico constituído de pele, tecidos e gorduras subcutâneas; as glândulas sudoríparas e a rede vascular atuam ativando a regulação térmica. À medida que o corpo necessita dissipar o calor, os vasos sanguíneos da pele dilatam-se, permitindo que uma maior quantidade de sangue chegue à superfície com uma resultante de perda de calor e de água. Esse fenômeno é conhecido como termorregulação (GUYTON; HALL 1998).

Os raios de infravermelho na faixa de 3 a 10 μ m são considerados raios absorvíveis pelos tecidos humanos e têm a ação de bioestimular algumas funções biológicas, provocando a vasodilatação e a hiperemia.

Os maiores efeitos do infravermelho longo são melhorar a circulação, aumentar a imunidade, reparar e regenerar os tecidos e regular os líquidos do corpo.

Também o infravermelho longo aumenta a temperatura do corpo e eleva a mobilidade dos fluídos corporais, aliviando assim as dores (TOYOKAMA, et al., 2003).

A propagação e a absorção da radiação infravermelho na faixa entre 3 a 10 μ m, nos tecido biológicos promovem a bioestimulação para fins terapêuticos como: analgesia, redução de edemas, aumento da microcirculação, aumento do metabolismo celular, síntese da elastina e do colágeno, diminuição dos aglomerados de água, eliminação das impurezas e dos radicais livres, diminuição dos hematomas e do espasmo muscular (KITCHEN; PARTRIDGE, 1991).

Segundo Pérez e Martinez (1995), a radiação infravermelho, quando é transmitida para um tecido vivo, pode atuar nas membranas biológicas reduzindo ou aumentando os processos de conversão energéticas e pode entrar em ressonância com as moléculas de grande tamanho e com os aglomerados de água.

A fibra de fóton-platina e a radiação infravermelho são mecanismos utilizados para a quebra dos aglomerados de moléculas de água, porque são capazes de emitir um valor energético que produz a ressonância e a sincronização da molécula de água. Os fótons emitidos na faixa de comprimento de onda 3 a 10 μ m são iguais aos valores de energia que se requer para obter a rotação da molécula de água. Quando os fótons se chocam contra o dipolo, a carga elétrica negativa do oxigênio desloca o campo elétrico positivo do hidrogênio e recebe a força por outro lado; portanto, a molécula de água começa a girar, fragmentando o aglomerado de água, sem romper as uniões entre hidrogênio e o oxigênio (PÉREZ; MARTINEZ, 1995).

A radiação infravermelho aumenta a concentração de cálcio na membrana e no citoplasma celular, bioestimula a célula, aumenta a permeabilidade de água na

membrana celular por fragmentação dos aglomerados de água e produz a movimentação do cálcio (PÉREZ; MARTINEZ; 1995).

A radiação emitida no infravermelho longo atua no aumento da permeabilidade da membrana celular, favorecendo as trocas de metabólicos com o meio extra-celular, nutrindo-a; atua também sobre as mitocôndrias, promovendo síntese de ATP utilizada na contração muscular. Acredita-se que o tratamento com infravermelho longo proporciona um grau de relaxamento muscular muito interessante, o que favorece a mobilização articular e o uso da musculatura; promove, sobretudo, a síntese de ATP que é utilizada na contração muscular (TOYOKAMA, 2003).

O sistema músculo-esquelético é beneficiado pelos efeitos do infravermelho longo, de forma que sua aplicação promove diminuição dos espasmos musculares. A estimulação da pele diminui a atividade de fibras gama que têm como função excitar o fuso motor, resultando na diminuição da excitabilidade e constituindo, desta forma, a base fisiológica para o relaxamento dos espasmos musculares após o uso do calor (GUYTON; HALL, 1998).

O aumento da temperatura pode alterar as propriedades dos tecidos diminuindo a resistência, promovendo maior extensibilidade dos tendões, o que resulta em um estiramento capaz de produzir alongamento; a temperatura na articulação influencia o grau de resistência, de modo que uma baixa temperatura infere maior resistência ao movimento, e uma elevada temperatura reduz a resistência, favorecendo a mobilidade articular (KITCHEN; BAZIN, 1998).

A estimulação térmica tem a capacidade de produzir informações sensitivas a partir de células aferentes, que, quando estimuladas, começam a inibir a transmissão da dor na medula espinhal, mediante o fechamento do portal da dor.

Isso ocorre através da inibição da excitabilidade das células T utilizando como vias de acesso as células gelatinosas SG, que são receptores de grande calibre e, portanto, passam por elas maiores quantidades de estímulos inibitórios da dor (MACHADO, 1993).

A dor é um sintoma que apresenta limiar diferente de um indivíduo para o outro. Elementos térmicos são capazes de estimular a liberação de substância como as endorfinas e endocefalinas, normalmente presentes no cérebro e dotados de propriedades analgésicas semelhantes às da morfina (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995).

O efeito da radiação infravermelho longo e terapia de baixa potência sobre o processo de reparação de feridas em ratos foram observados ao analisar o comportamento da ferida em dorso de ratos. O efeito positivo do IVL na redução do processo inflamatório é evidente, uma vez que nenhum animal apresentou formação de edema ou exsudato inflamatório entre 24 e 168 horas pós-cirúrgicas. Nos grupos tratados com terapia de baixa potência e controle, onde a redução do processo inflamatório só foi observado após 96h (SONNEWEND et al., 2004).

O infravermelho longo tem influenciado na qualidade do sono em pacientes, tornando-se melhor a qualidade de vida e aumentando, assim, o bem-estar geral do indivíduo que sofre de fadiga crônica. O aumento da temperatura cerebral é associado com o tipo de ativação neuronal, característico do sono no hipotálamo. A excitação do SNC é reduzida pelo aumento da temperatura do sangue no hipotálamo, conseqüentemente a terapia com infravermelho longo tem efeito sonífero. Acredita-se que a melhora dos sintomas pode ser produzida pela redução da fadiga, dor e da melhora dos distúrbios do sono (MASUDA et al., 2005).

A radiação infravermelho longo tem sido aplicada no tratamento de doenças dermatológicas, como a psoríase e a dermatite atópica, no aumento do sangue e, especialmente, na microcirculação. Autores mencionam a aplicação em produtos cosméticos, tendo em vista que alguns produtos têm propriedades piroelétricas e piezoelétricas e, quando excitados, emitem radiação infravermelho devido à composição química (YOO, 2002).

Estudos na *Cline Medical Center* demonstram que em pacientes com fadiga crônica, a hipertemia ajuda a restaurar o “funcionamento “ do sistema nervoso autônomo, comanda funções involuntárias dos músculos, pressão do sangue, digestão e equilíbrio corporal.

Luvas impregnadas com biocerâmica podem controlar a síndrome de Raynounds, proporcionando uma melhora da irradiação sanguínea em áreas isquêmicas dos dedos das mãos de paciente tratados (GORDON; BERBRAYER, 2002).

Simoneau (2002), menciona o uso da radiação infravermelho emitida pela biocerâmica na minimização das dores articulares e para a área da estética, como redução de rugas.

O tratamento da dor é um desafio de difícil controle clínico nos casos de dores reumáticas, artrites, artroses e dores neuropáticas, pois seu tratamento é realizado com drogas estabilizadoras de membranas como antidepressivos, que desencadeiam efeitos colaterais incapacitantes ao paciente. Pesquisadores da UNIFESP realizaram estudos em pacientes com dores neuropáticas submetidos à irradiação de infravermelho longo emitido pelo Dome (INVEL). Durante seis semanas, 13 pacientes tiveram suas medicações suspensas, sendo submetidos a duas aplicações por semana, chegando-se à seguinte conclusão: todos os 13

pacientes tratados obtiveram alívio de suas dores; dos 13 tratados, 4 obtiveram alívio total, constituindo-se em uma importante arma terapêutica, não invasiva e sem efeitos colaterais incapacitantes (RAMOS et al., 2004).

3. JUSTIFICATIVA

O presente estudo justifica-se devido à deficiência de trabalhos específicos e detalhados através da utilização do infravermelho longo na redução do processo inflamatório oriundo do esmagamento de nervo ciático e, em consequência, melhora na reabilitação funcional.

4. OBJETIVO

Investigar o processo inicial da recuperação do nervo ciático em ratos, após lesão por esmagamento, tratados com infravermelho longo através de:

- Avaliação funcional através do Índice Funcional do Ciático;
- Avaliação histomorfométrica da área de bainha de mielina.

5. METODOLOGIA

5.1 Tipo de pesquisa

O tipo de pesquisa realizado foi quantitativo, de modo experimental, destinada a analisar, evidenciar e confirmar as variáveis de interesse no estudo dos animais que foram avaliados.

5.2 Animais

Neste estudo foram utilizados doze ratos machos da raça Wistar (*Rattus norvegicus* variedade albinus), pesando entre 200-300 g. Os animais foram obtidos da Fazenda Anilab e mantidos no biotério da Universidade Camilo Castelo Branco UNICASTELO de Fernandópolis – SP. Os mesmos foram mantidos em gaiolas (dois animais por gaiola), em condições ambientais de temperatura e luminosidade, alimentados com dieta padrão Labina[®] e água *ad libidum*. Permaneceram por um período de ambientação de 21 dias no biotério da UNICASTELO.

Foram dois grupos de seis animais:

Grupo controle: Lesão neuronal

Grupo tratado: Lesão neuronal + radiação com infravermelho longo

5.3 Procedimento cirúrgico

Realizou-se a pesagem dos animais, marcados para identificação posterior; a seguir todos foram treinados a caminhar na passarela de marcha de acordo com De Medinaceli et al. (1982), que foi utilizada em todas as fases da avaliação funcional. Após o aprendizado, obteve-se o registro pré-operatório das pegadas, que foi o parâmetro inicial de avaliação, para comparação dos registros pós-operatórios. O pré-anestésico usado foi Butorfanol (Turbogesic, 2 mg/kg) associado a Acepromazina (Acepran, 1 mg/kg), ambos administrados em dose única via intramuscular. Após 15 minutos, foram administrados Zolazepan e Tiletamina (Zoletil 50, 40 mg/kg). Os animais foram tricotomizados na região dorsal direita. Após a anti-sepsia da região com álcool iodado, foi realizada uma incisão longitudinal na face lateral da coxa direita, desde a altura do trocânter maior até o joelho, expondo-o de sua emergência na borda inferior do glúteo maior até a sua bifurcação nos três ramos distais. Um ponto de sutura (Prolene 3/0, Ethicon®) foi passado no epineuro, a cerca de 3 mm distalmente à sua emergência, para facilitar a visualização da região esmagada.

A área de esmagamento, distal a ponto de sutura foi de cerca de 50 mm de comprimento. Para a analgesia pós-cirurgia foi utilizada a droga Fentanil® por via intra-peritoneal (IP) a uma dose de 0,03 mg/kg, de 12/12 horas, por dois dias consecutivos, após a lesão.

O esmagamento foi realizado com uma pinça Kelly (Kinelato®) em seu primeiro nível de pressão aproximadamente 6N e mantido por trinta segundos, e depois retirada e a ferida suturada com pontos simples de nylon monofilamento (Mononylon 3/0, Ethicom®).

Então a região foi lavada com solução anti-séptica de álcool iodado e o animal recebeu dose única de antibiótico (Penicilina associada à estreptomicina), para prevenir infecções.

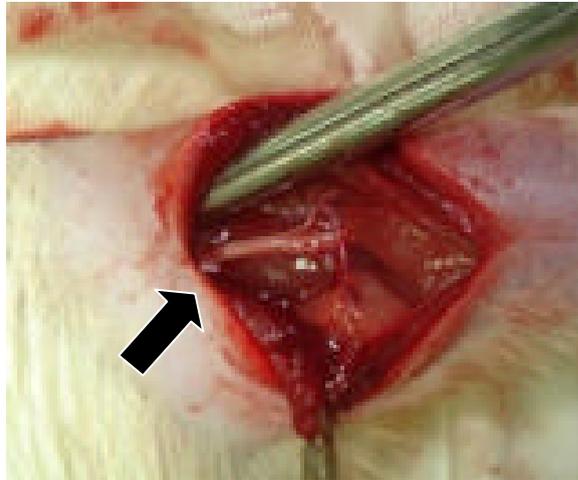


Figura 5: Abordagem do nervo ciático.

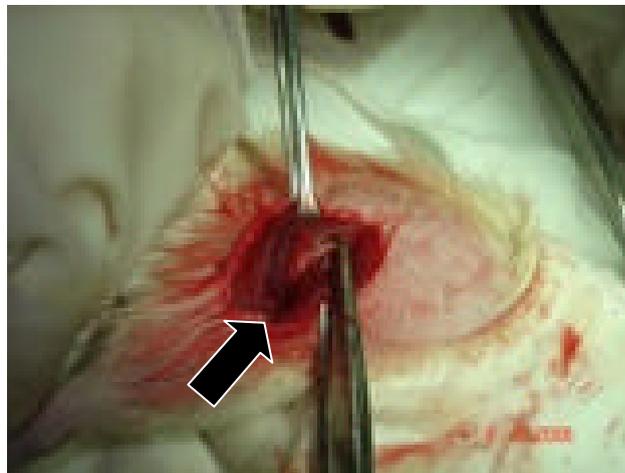


Figura 6: Esmagamento do nervo ciático

5.4 Aplicação do Infravermelho longo (IVL- INVEL)

Os animais do grupo 01 foram mantidos para controle, enquanto os do grupo 02 foram expostos à radiação do infravermelho (IVL - Dome Face® - Invel). Após 30 minutos da lesão, foi realizada a primeira aplicação com duração de 30 minutos e repetida após 24h, 48h e 72h; a temperatura do aparelho Dome Face foi fixada em 36°C. Os animais do grupo 02 foram posicionados em decúbito lateral direito e colocados dentro do aparelho com o auxílio de um tablado de madeira, (Figura 7) coberto com uma espuma fina revestida com um tecido de algodão, semelhante a uma maca, sendo fixado dentro do aparelho (Figura 8).



Figura 7: 1ª aplicação: após os primeiros 30 minutos de pós-cirúrgico, ratos ainda anestesiados.



Figura 8: 2ª aplicação: após 24 horas de pós-cirúrgico; ratos sem efeito de anestésico.

5.5 Registro das pegadas

A região lesada dos animais foi acompanhada diariamente. Todos os animais foram fotografados. As impressões das pegadas foram obtidas com base no método proposto por De Medinaceli et al. (1982), modificado por Lowdon; Seaber; Urbaniak (1988). A passarela utilizada foi construída de acordo com a proposta de De Medinaceli et al. (1982) (figura 8).

Os animais foram colocados para caminhar na passarela revestida com papel sulfite, tendo suas patas traseiras mergulhadas em tinta preta (PILOT), registrando assim as impressões das pegadas. As folhas eram deixadas para secar e armazenadas novamente, até o momento da realização das medidas do Índice Funcional do Ciático (IFC), modificado por Bain; Mackinnon; Hunter (1989).

As impressões das pegadas foram obtidas antes da cirurgia e após 7, 14 e 21 dias. No 21º dia, os animais foram sacrificados para a retirada dos nervos ciáticos, que foram analisados através de estudos histomorfométricos.



Figura 9: Registro das pegadas na passarela.



Figura 10: Registro das pegadas sem lesão no papel (pata direita).



Figura 11: Registro das pegadas com lesão no papel (pata direita).

5.6 Análise Histológica

O sacrifício dos animais no 21º pós - operatório foi realizado no Hospital Veterinário da Universidade Camilo Castelo Branco (UNICASTELO), campus Fernandópolis. Os nervos ciáticos foram abordados cuidadosamente, desde a sua emergência até a bifurcação em ramos filular e tibial e divididos em três segmentos: um proximal (da emergência até o ponto de marcação), um intermediário (local da lesão), e um distal, através da mesma incisão longitudinal. Em seguida foram integralmente removidos e embebidos em solução de glutaraldeído a 2,5%, para a fixação. Os nervos ciáticos (embebidos em glutaraldeído) foram encaminhados para o Laboratório de Histologia da UNESP de Botucatu onde foi realizada a fixação dos segmentos em tetróxido de ósmio, da seguinte maneira:

- 1- Glutaraldeído 2% em tampão fosfato de sódio 0,1M PH 7.3.
 - a- 68 ml tampão.
 - b- 2 ml de aldeído glutárico.
 - c- Fixação máxima 24 h.
- 2- Lavar em tampão fosfato 3 x de 10 min.
- 3- Colocar em tetróxido de ósmio 1% no máximo por 3 h.
- 4- Colocar material em auto-técnico, seguindo o mesmo processamento da histologia.
 - a- Álcool – 5 x de 1 h.
 - b- Xilol - 3 x de 1 h.
 - c- Parafina – 2 x 1 h.
- 5- Em seguida, embrocar (inclusão).
- 6- Cortar em micrótomo rotativo de 2 a 3 mc.

7- Desidratar as lâminas e montar em meio sintético.

Após esse procedimento, foram feitas a captura e o armazenamento das imagens no laboratório de Fluorescência da UNIVAP, em São José dos Campos, utilizando um microscópio LEIKA[®] e uma câmera JVC[®] de aquisição, um computador PCIBM, onde foram armazenadas as imagens que foram capturadas em quadros seqüenciais com objetiva de 40x e ocular de 1.6x.

5.7 Análise Histomorfométrica

A análise histomorfométrica foi realizada com o auxílio do programa *Image Pro Plus* (versão 4.5.0.29). Cada animal forneceu uma lâmina com 4 cortes. Cada corte foi fotografado em cinco quadrantes, sendo quatro periféricas e uma central. Em cada quadrante, selecionou-se uma área retangular de 350 x 350 µm e, a partir desta área, foi realizada a contagem da área total de bainha de mielina, onde quanto maior a área, maior o seu sucesso.

Os passos para a análise foram: a) carregar a figura a ser analisada no programa *Image Pro Plus*; b) selecionar o quadrante; c) selecionar a ferramenta *perform segmentation*; d) abrindo o histograma básico, foi padronizado o valor de coloração de 200; e) abrir a ferramenta *count and measure objects*; f) entrar na ferramenta *measure-select measurements*, utilizando como filtro a área de bainha de mielina; g) fechar a ferramenta *perform segmentation*; h) prosseguir com a contagem (*count*); i) selecionar novamente *measure, auto-classification*, j) selecionar a opção *viewe statistics*, k) finalmente observar o valor médio da área de bainha de mielina.

5.8 Análise Funcional da marcha

Nas impressões das pegadas dos ratos, realizadas em todas as etapas do experimento, foram efetuadas as medidas do comprimento da pegada (PL), o espalhar total dos dedos (TS) e o espalhar dos dedos intermediários (IT), que possibilitaram o cálculo do IFC de Bain et al. (1989), o qual, por sua vez, permite que os resultados obtidos expressem a perda funcional em termos percentuais, sendo que o valor zero representa a função normal, e o valor de menos cem representa a perda total da função do nervo.

5.9 Análise Estatística

Os dados deste estudo estão expressos em média e desvio padrão. Todas as variáveis aferidas no estudo foram analisadas com o auxílio do programa GraphPad Prism[®], com nível de significância estabelecido de 5% ($p < 0,05$). Para comparação dos grupos quanto ao IFC, empregou-se o teste estatístico ANOVA, com pós-teste de Bonferroni e para comparação dos grupos quanto à análise histomorfométrica, empregou-se o teste t-Student.

6. RESULTADOS

6.1 Índice Funcional do Ciático - IFC

O IFC, no grupo controle, teve uma média de -73,12 no 7º dia pós-operatório, melhorando para -38,76 no 14º dia e -12,10 no 21º (Tabela 1). No grupo tratado, esses valores médios foram os seguintes: - 103,66 no 7º dia pós-operatório, - 63,32 no 14º dia e por fim -29,34 no 21º (Tabela 2).

Tabela 1: Valores do IFC, grupo controle

Controle	pré-operatório	7º dia	14º dia	21º dia
RATO 1	-0,85	-125,26	-13,74	-20,44
RATO 2	-15,80	-139,26	-121,44	2,79
RATO 3	-6,73	-17,28	-44,62	-34,85
RATO 4	-11,19	-11,38	27,36	3,51
RATO 5	-10,08	-137,98	-55,53	-19,46
RATO 6	-17,19	-7,60	-24,64	-4,16
MÉDIA	-10,31	-73,13	-38,77	-12,10
DESVIO PADRÃO	6,01	67,12	49,70	15,30

Tabela 2: Valores do IFC, grupo tratado

Tratamento	pré-operatório	7º dia	14º dia	21º dia
RATO 1	-26,13	-120,71	-7,93	-4,96
RATO 2	-9,66	-119,99	-125,03	-26,15
RATO 3	-1,87	-111,25	-64,48	-7,35
RATO 4	-18,06	-118,30	-135,08	-124,39
RATO 5	-18,16	-13,74	-38,37	1,11
RATO 6	6,93	-138,02	-9,07	-14,35
MÉDIA	-11,16	-103,67	-63,33	-29,35
DESVIO PADRAO	12,14	44,93	55,84	47,48

O grupo tratado não apresentou diferença estatística ($p > 0,05$) no IFC, quando comparado com o grupo controle, nos diferentes dias de avaliação. Tanto o grupo controle quanto o grupo tratado apresentaram diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os valores de IFC pré-operatórios comparados os valores de 7º dias pós-operatórios, demonstrando presença da lesão em ambos os grupos. O grupo tratado apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre 7º e 21º dias pós-operatórios, o que não

ocorreu entre os animais do grupo controle entre nenhum tempo avaliado, demonstrando que a recuperação da função do nervo ciático no grupo tratado foi melhor.

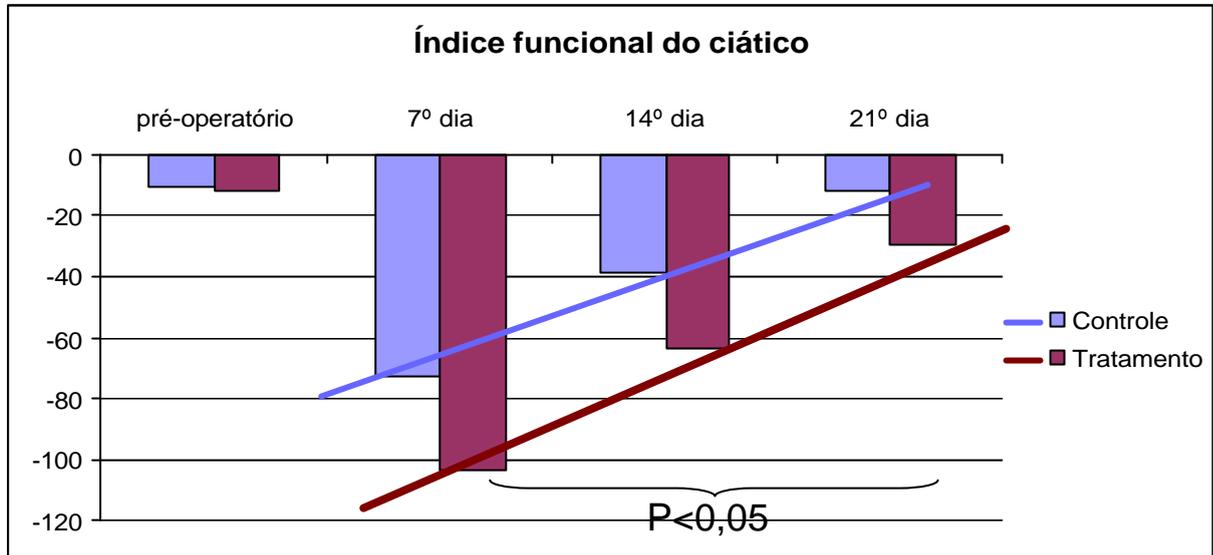


Figura 15: Gráfico com valores médios do IFC, dos grupos controle e tratado.

6.2 Histomorfometria

No grupo controle, o valor médio da área de bainha de mielina foi de $2,55 \pm 2,32$ no segmento proximal à lesão e de $2,3 \pm 1,11$ no segmento distal à lesão. No grupo tratado o valor médio da área de bainha de mielina foi de $4,24 \pm 2,96$ no segmento proximal à lesão e de $3,36 \pm 3,07$ no segmento distal à lesão (tabelas 4 e 5).

Tabela 3: Valores médios do grupo controle em relação à área de bainha de mielina

Grupo controle	Proximal média	Distal média
RATO 1	1,89	1,94
RATO 2	2,38	3,10
RATO 3	1,72	2,06
RATO 4	7,17	3,94
RATO 5	0,96	0,68
RATO 6	1,21	2,22
MÉDIA	2,55	2,33
DESVIO PADRÃO	2,32	1,11

Tabela 4: Valores médios do grupo tratado em relação à área de bainha de mielina

Grupo tratado	Proximal média	Distal média
RATO 1	2,11	2,22
RATO 2	3,86	4,07
RATO 3	0,76	0,71
RATO 4	9,40	2,07
RATO 5	4,65	9,23
RATO 6	4,65	1,84
MÉDIA	4,24	3,36
DESVIO PADRÃO	2,96	3,07

A análise estatística mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa nos valores de área da bainha de mielina nos segmentos proximais e distais entre o grupo controle e o grupo tratado, porém nota-se valores maiores no grupo tratado, onde quanto maior a área, maior o seu sucesso.

7. DISCUSSÃO

Este estudo teve o objetivo de verificar a eficácia da radiação eletromagnética com comprimento de onda entre 4 a 16 μm (infravermelho longo) sobre o processo inicial de reparação do nervo ciático em ratos, após lesão por esmagamento. Optou-se por este comprimento de onda por ser comparável ao diâmetro de um átomo (10 μm) (CASTILHO, 2003). Desta forma o átomo ao ser atingido pela radiação no infravermelho longo pode vibrar e transferir vibração molecular, em camadas mais profundas do tecido biológico (KITCHEN; BAZIN, 1998). Esta radiação também produz efeitos sobre as moléculas de água, pois os fótons emitidos na faixa de 4 a 16 μm são capazes ao *quantum* de energia necessário para obter a rotação das moléculas de água, fazendo com que se fragmentem aumentando a permeabilidade da membrana celular à água (PÉREZ; MARTINEZ, 1995). Este fato pode culminar em aumento do fluxo sanguíneo (ISE et al., 1987; OGITA et al., 1990; GORDON; BERBRAYER, 2002; YOO et al., 2002; TOYOKAWA et al., 2003).

Diversos autores citam que a radiação eletromagnética na região do visível e infravermelho longo do espectro eletromagnético pode exercer efeito fotobiomodulador sobre a regeneração de nervos periféricos (ROCHKIND et al., 1986, 1987a, 1987 b, 1988, 1989, 1990; NISSAN et al., 1986; LOWE; BAXTER; WALSH; ALLEN, 1994). Segundo Rochkind et al. (1986, 1987b, 1988, 1989, 1990), Assia et al. (1989) e Nissan et al. (1986), algumas evidências foram obtidas de que a irradiação na região do visível induz mudanças no processo de regeneração do nervo periférico. Porém, não se observam estudos de base quanto ao uso da radiação no infravermelho longo (IVL), o que norteou a realização da presente investigação.

A metodologia aplicada neste estudo foi baseada na literatura, onde o rato Wistar foi escolhido como animal de experimentação, pois a regeneração nervosa natural desses animais é muito rápida. A estrutura morfológica dos nervos periféricos desses animais se assemelha muito à dos nervos humanos, bem como a fisiologia e os processos de regeneração.

A lesão por esmagamento (axonotmese) foi escolhida, porque preserva a estrutura de sustentação do nervo, mesmo quando sujeito a aplicação de uma determinada pressão, que neste estudo foi de aproximadamente 6N. A preservação da estrutura de sustentação facilita a regeneração, tendo em vista que os tubos neurais estão em continuidade (ROCHKIND et al., 1986, 1987a e b, 1988, 1989, 1990; NISSAN et al., 1986).

A avaliação dos resultados foi realizada pela medida do IFC que tem-se mostrado um instrumento confiável para avaliar o processo de regeneração nervosa periférica, fornecendo um valor numérico da função, permitindo uma análise estatística dos resultados. Outro parâmetro utilizado neste estudo foi a medida da área da bainha de mielina, que reveste cada neurônio.

Os resultados obtidos neste estudo, para o IFC, indicam que não houve diferença significativa entre o grupo controle e o tratado com ILV, em uma análise inter-grupos. Ambos os grupos, controle e tratado, apresentaram diferenças entre valores pré e pós-operatório, demonstrando nível comparável de lesão inter-grupos. Houve diferença significativa no grupo tratado, sob avaliação intra-grupo na comparação entre 7º e 21º dias pós-operatórios, indicando que o IVL pode ter efeito benéfico sobre as estruturas nervosas periféricas durante o processo inicial de reparação, o que não foi observado no grupo controle. A tendência observada através do cálculo do IFC é mais evidente no grupo tratado. Na prática clínica, por

exemplo, ao tratarmos pacientes com comprometimento nervoso periférico, geralmente lombociatalgia, é pouco observado melhora em torno da 1ª semana de tratamento, segundo relatos dos próprios pacientes e da literatura existente, assim trabalhos futuros poderiam ser realizados com animais com períodos maiores de avaliação.

No 21º dia tratado que teve diferença significativa com relação ao 7º dia tratado, observa-se que os valores médios demonstraram provável continuidade da ação do IVL sobre o tecido. Demonstra Assia et al. (1989), que os efeitos da irradiação em diferentes comprimentos de onda são transitórios, permanecendo por até três semanas, sendo mais efetivos com duas semanas, indicaram também que os efeitos da irradiação eletromagnética na região do visível e infravermelho próximo são encontrados após uma semana de irradiação.

A resposta ao estímulo do laser de baixa potência deriva da quantidade de energia total aplicada, portanto do tempo de estimulação sobre a estrutura, observado por Nissan et al. (1986). Contudo a dosimetria da terapia com IVL ainda é insipiente, necessitando estudos nesta área, com modificação de tempo de irradiação, periodicidade de aplicações, etc.

Outro fator observado neste experimento, foi o aumento do sono dos animais tratados com infravermelho longo, porém este parâmetro não foi analisado nesta pesquisa, embora, estudos suportam a hipótese de que o IVL seria capaz de aumentar o fluxo sangüíneo, e poderia interferir nos distúrbios do sono e na dor, Honda e Inoué (1988) demonstraram que a exposição crônica a radiação com IVL modulam os ciclos do sono em ratos, com maior tempo das ondas lentas e menos despertares.

Sabe-se que a radiação emitida no IVL atua no aumento da permeabilidade da membrana celular, favorecendo as trocas de metabólicos com o meio extracelular nutrindo-a, atua também sobre as mitocôndrias promovendo síntese de ATP utilizada na contração muscular (TOYOKAMA et al., 2003). O sistema músculo-esquelético é beneficiado pelos efeitos do IVL, de forma que sua aplicação promove diminuição dos espasmos musculares, a estimulação da pele diminui a atividade de fibras gama que tem como função excitar o fuso motor, resultando na diminuição da excitabilidade, constituindo desta forma a base fisiológica para o relaxamento dos espasmos musculares após o uso do calor (GUYTON; HALL, 1998). Estes eventos podem ter contribuído com a relativa melhora da recuperação intra-grupo observada no grupo tratado. O aumento da temperatura pode alterar as propriedades dos tecidos diminuindo a resistência dos músculos e tendões, promovendo maior extensibilidade destes, resultando em um estiramento capaz de produzir alongamento, a temperatura na articulação influencia o grau de resistência, de modo que uma baixa temperatura infere maior resistência ao movimento, e uma elevada temperatura reduz a resistência, favorecendo a mobilidade articular (KITCHEN; BAZIN, 1998). O aumento da temperatura também culmina em perfusão sanguínea e aumento da atividade neuronal, justificando aumento da capacidade funcional dos animais do grupo tratado.

A análise histomorfométrica mostrou que não houveram valores estatisticamente significativos para comparação entre o grupo controle e o grupo tratado, levando em consideração o valor médio da área de bainha de mielina, que reveste cada neurônio. Estes resultados, associados aos resultados funcionais, conduzem a necessidade de estudos futuros, com tempo de análise mais extenso.

8. CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que, ainda que não tenham sido observadas diferenças estatísticas entre grupo controle e tratado, no que se refere à área de mielinização e IFC, neste último observa-se aceleração no processo de reparação entre 7º e 21º dias pós-tratamento. Assim, novos estudos, com aumento do número de animais ou do tempo de avaliação, são necessários para esclarecer os possíveis mecanismos do infravermelho longo com relação ao processo inicial da recuperação do nervo ciático em ratos após lesão por esmagamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIA, E; ROSNER, M; BELKIN, M; SOLOMON, A; SCHWATZ, M . Temporal parameters of low energy laser irradiation for optimal delay of post-traumatic degeneration of rat optic nerve. **Brain Research**, v. 476, p. 205-212, 1989.
- BAIN, J.R; MACKINNON, S.E; HUNTER, R.T. Functional evaluation of complete sciatic, peroneal e posterior tibial nerve lesions in the rat *Plastic and Reconst. Surgery*, v.83, p. 129-138, 1989.
- BASFORD, J.R; DAUBE, J.R; HALLMAN, H.O; MILLARD, T.L; MOVER,S.K. Does low-intensity helium-neon laser irradiation alter sensory nerve active potentials or distal latencies? **Laser Surg. Med.**, v.10, p. 35-39, 1990.
- BRIDGE, P.M.; BALL, D.J.; MACKINNON, S.E.; NAKAO, Y.; BRANDT, K.; HUNTER, D.A.; HERTL, C. Nerve crush injuries - A model for axonotmesis. **Exp. Neurol.**, v.127, p. 284-290, 1994.
- BRUGNELA JUNIOR, A.; PINHEIRO, A. L. B. **Lasers na odontologia moderna**. São Paulo: Pancast, 1998. 356 p.
- CARLTON, J.M.; GOLDBERG, N.H. Quantitating integrated muscle function following reinnervation. **Surgical Forum**, v.37, p. 611-612, 1986.
- CASTILLHO, C.M.C. Quando e como o homem começou a “ver” os átomos! **Rev. bras. ens. Fis.**. Vol.25 nº 4 São Paulo. Nov/Dez 2003.
- DE MEDINACELI, L.; FREED, W.J. ; WYATT, R.J. An index of the functional condition of rat sciatic nerve based on measurements made from walking tracks. **Exp. Neuro.**, v. 77, p. 6634-643, 1982.
- DE MEDINACELI, L.; DERENZO, E.; WYATT, R.J. Rat sciatic functional index data management system with digitized input. **Comp. Biom. Res.**, v. 17, p.185-192, 1984.
- DEVOR, M.; SCHONFELD, D.; SELTZER, Z.; WALL, P.D. Two modes of cutaneous reinnervation following peripheral nerve injury. **J.Comp. Neurology**, v. 185, p. 211-220, 1979.
- DEVEZAS, T. C.; SILVA, P. H. Irradiadores cerâmicos de infravermelho longínquo. **Aquecimento Industrial**, São Paulo, v.1.3, n. 18, p. 26-31, 1991.
- DOVER, J. S.; PHILLIPS, T. J.; ARNDT, K. A. **Cutaneous effects and therapeutic uses of heat with emphasis on infrared radiation**. Massachusetts: Clinical review, 1989. p. 278-84.
- GAO HONG. Preparation of ultra-pure (>99,999%) and super-fine alumina powders by sol-gel rout. **Journal of Materials Science & Technology**, v.13, p.7, 1997.

GORDON, D. K.; BERBRAYER, D. Effect of Ceramic-Impregnated "Therflow" Gloves of Patients with Raynaud's Syndrome: Randomized, Placebo-Controlled Study. **Alternative Medicine Review**, v. 7, n. 2, p.328-35, 2002.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. H. **Fisiologia humana e mecanismos das doenças**. 6ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998, p.181-190, 514-519.

HARE, G.M.T.; EVANS, P.J.; MACKINNON, S.E.; BEST, T.J.; BAIN, J.R.; SZALAI, J.P.; HUNTER, D.A. Walking track analysis: a long-term assessment of peripheral nerve recovery. **Plastic and Reconst.Surgery**, v. 89, n. 2, p. 251-258, 1992.

HONDA, K.; INOUÉ, S. Sleep-enhancing effects of far-infrared radiation in rats. **Biometeorol.**, v.32, p. 92-94, 1988.

HRUSKA, R. E; KENNEDY, S.; SILBERGELD, E.K. Quantitative aspects of normal locomotion in rats. **Life Sci.**, v. 25, p. 171-180, 1979.

INOUE, S.; KABAYA, M. Biological activities causes by far-infrared radiation. **Biometerol.**, v. 33, p.145-150, 1989.

ISE, N.; KATSUURA, T.; KIKUCHI, Y.; MIWA. Effect of far-infrared radiation on forearm skin blood flow. **Ann. physiol. anthropol.**, Chiba-shi, v. 6, p.31-32, 1987.

JUNQUEIRA L. C.; CARNEIRO J. **Histologia Básica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, cap. 8, p. 108, cap. 9, p. 151, 1995.

KARU, T. I. Phobobiological Fundamental Of Low Power Laser Therapy. **IEEE j. quant elect**, New York, v. 23, p. 1703, 1987.

KITCHEN, S. S.; PATRIDGE, C. J. Infra-red therapy. **Physiotherapy**, London, v.7, n. 4, p. 249-254, 1991.

KITCHEN, S.; BAZIN, S. **Eletroterapia de Clayton**. 10. ed. São Paulo: Manole, 1998.

LOW, John; REED, Ann. **Eletroterapia explicada**. 3. ed. São Paulo: Manole, 200. p. 371-387, 2001.

LOWDON, I.M.R.; SEABER, V.; URBANIAK, J.R. An improved method of recording rat tracks for measurement of the sciatic functional index of De Medinaceli. **J. Neuroscience Meth.**, v.24, p. 279- 281, 1988.

LOWE, A. S.; BAXTER, G. D.; WALSH, D. M.; ALLEN, J. M. Effect of low intensity laser (830nm) irradiation on skin temperature and antidromic conduction latencies in the human median nerve: Relevance of radiant exposure. **Laser Surg. Med.**, v. 14, p. 40-46, 1994.

MACHADO, A.B.M. **Neuroanatomía Funcional**, 2.ed, São Paulo: Atheneu, 1993.

MACKINNON, S.E; HUDSON, A.R; HUNTER, D.A. Histologic assessment of nerve regeneration in the rat. **Plastic and reconstructive surgery**, v.75, n. 3, p. 384-388, 1985.

MAEDA, K. **Far infrared-treatment and medical revolution**, Tokyo: Toppan Insatsu Kabushiki, 1997.

MASUDA, A.; KIHARA, T.; FUKUDOME, T.; SHINSATO, T.; MINAGOE, S.; TEI, C. The effects of repeated thermal therapy for two patients with chronic fatigue syndrome. **J. psychosom. res.**, Oxford, v. 58, p. 383-387, 2005.

MIRA, J. C. Quantitative studies of the regeneration of rat myelinated nerve fibres: variations in the number and size of regenerating fibres after repeated localized freezings. **J. Anat.**, v. 129, p. 77-93, 1979.

NISSAN, M.; ROCHKIND, S.; RAZON, N.; BARTAL, A. HeNe Laser irradiation delivered transcutaneously: its effect on the sciatic nerve of rats. **Laser Surg. Med.**, v. 6, p. 435-438, 1986.

NIWA, Y.; IIZAWA, O.; ISHIMOTO, K.; JIANG, X.; KANO, T. Electromagnetic wave emitting products and "Kikoh" potentiate human leukocyte functions. **Int. j. biometeorol.**, Amsterdam, v. 37, p. 133-138, 1993.

OGITA, S; IMANAKA, M; MATSUO, S; TAKEBAYASHI, T; NAKAI, Y; FUKUMASU, H, MATSUMOTO, M, IWANAGA, K. Effects of far-infrared radiation on lactation. **Ann. physiol. anthropol.**, Chiba-shi, v. 9, n. 2, p. 83-91, 1990.

OLIVEIRA, E.F.; MAZZER, N.; BARBIERI, C.H.; SEILI, M. Correlation between functional index and morphometry to evaluate recovery of the rat sciatic nerve following crush injury: experimental study. **J. Reconstr. Microsurg.**, v.17, n.1, p.69-75, 2001.

PÉREZ, A.C.N., MARTÍNEZ A.J.A. **Fibra de photon-platino**. Cemetec: La Coorunã, 71 p, 1995.

RAMOS, P. E; ABE, G.C; CONRADO, L. A. Treatment of neuropathic pain with bioceramics. In: WORLD CONGRESS FOR PHOTOMEDICINE AND LOW LEVEL LASER THERAPY. 4., 2004, Guarujá, São Paulo. **Proceedings...**Guarujá: Walt,2004.

RIGAU, J. **Accion de la luz laser a baja intensidad em la modulacion de la funcion celular. Réus**. Tese (doutorado em histologia)- Facultat de Medicina i Ciència de la salut Univ. Rovira i Virgili, 1996.

ROCHKIND, S.; NISSAN, M.; RAZON, N.; SCHWARTZ, M.; BARTAL, A. Electrophysiological effect of HeNe laser on normal and injured sciatic nerve in the rat. **Acta Neurochir.**, v.83, p.125-130, 1986.

ROCHKIND, S.; NISSAN, M.; BARR-NEA, L.; RAZON, N.; SCHWARTZ, M.; BARTAL, A. Response of peripheral nerve to He-Ne laser: experimental studies. **Laser Surg. Med.**, v. 7, p. 441-443, 1987a.

ROCHKIND, S.; BARR-NEA, L.; RAZON, N.; BARTAL, A.; SCHWARTZ, M, Stimulatory effect of HeNe dose laser on injured sciatic nerves of rats. **Neurosurgery**, v. 20, n. 6, p. 843-847, 1987.

ROCHKIND, S.; NISSAN, M.; LUBART, R.; AVRAM, J.; BARTAL, A. The in-vivo-nerve response to direct low-energy-laser irradiation. **Acta. Neurochir.**, v. 94, p.74-77, 1988.

ROCHKIND, S.; ROUSSO, M.; NISSAN, M.; VILARREAL, M.; BARR-NEA, L.; REES, D.G. Systemic effects of low-power laser irradiation on the peripheral and central nervous system. cutaneous wounds and burns. **Laser Surg. Med.**, v.9, p. 174-182, 1989.

ROCHKIND, S.; VOGLER, I.; BARR-NEA, L. Spine cord response to laser treatment of injured peripheral nerve. **Spine**, v.15, n.1, p.6-10, 1990.

ROCHKIND, S.; NISSAN, M.; ALON, M.; SHAMIR, M.; SALAME, K. Effects of laser irradiation on the spinal cord for the regeneration of crushed peripheral nerve in rats. **Laser Surg. Med.**, v. 28, p.216-219, 2001.

SELLI, M. F. **Desenvolvimento de um método computadorizado para avaliação funcional das lesões de nervos periféricos através da análise da marcha: modelo experimental em ratos.** São Carlos, 1998. 70 p. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SIMONEAU, L.A. **Mise en evidence des effects dans le domine du bien-être et du confort des infrarouges longs émis par le materiau Invel:** Centure Multi-usages Invel ref. Invel 050 Biophyderm. s.l.: s.n., 2000, 16 p.

SIMONEAU, L. A. **Etude de L'efficace clinique cosmétique & ds effects biometrologique:** d'une methode associant produit cosmétique, soins esthétique, & utilisation du DOME PROFESSIONAL VISAGE INVEL. s.l.: s.n., 2002. [20] p.

SONNEWEND, D.; OLIVEIRA, J.L.R.; NICOLAU, R.A.; MAGALHÃES, R.G.; CONRADO, L.A.; ZÂNGARO, R.A.; PACHECO, M.T.T. O efeito da radiação infravermelho longo e microcorrentes sobre o processo de reparação de feridas em ratos. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica de João Pessoa, nº 2696, 2004. **Anais.** João Pessoa: Universidade do Federal da Paraíba, 2004.

STOKES, M. **Neurologia para Fisioterapeutas.** São Paulo: Premier, 2000.

TOYOKAWA, H. et al. Promotive effects of far-infrared ray on full-thickness skin wound healing in rats. **Experimental biology and medicine**, v. 228, n.6, p.724-9, 2003.

TOKOYAMA, M.; TAKAUCHI, T. Far infrared- results and treatments for câncer. **Tokyo Joshi Ika Daigaku Medical University**. Tokyo: Toppan Insatsu Kabushiki-Kaisha, 1998.

UMPHREAD, D.A. **Fisioterapia Neurológica**. São Paulo: Manole, 1994.

VEÇOSO, M. C. **Laser em Fisioterapia**. 18. ed. São Paulo: Lovise Científica, 1993.

YOO, BH; PARK, CM; OH, TJ; HAN, SH; KANG, HH. Investigation of jewelry powders radiating far infrared rays and the biological effects on human skin. **J. cosmet. dermatol.** Oxford, n. 53, p. 175-184, 2002.

APÈNDICE

Table Analyzed

IFC

Repeated Measures ANOVA

P value 0.0036

P value summary **

Are means signif. different? (P < 0.05) Yes

Number of groups 8

F 3.802

R squared 0.4319

Was the pairing significantly effective?

R squared 0.07194

F 0.9552

P value 0.4583

P value summary ns

Is there significant matching? (P < 0.05) No

ANOVA Table	SS	df	MS	
Treatment (between columns)		49460	7	7065
Individual (between rows)		8876	5	1775
Residual (random)	65050	35	1858	
Total	123400	47		

Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	P value	95% CI of diff
Column A vs Column B	62.82	3.569	P > 0.05	-17.46 to 143.1
Column A vs Column C	28.46	1.617	P > 0.05	-51.82 to 108.7
Column A vs Column D	1.795	0.1020	P > 0.05	-78.48 to 82.07
Column A vs Column E	0.8517	0.04839	P > 0.05	-79.43 to 81.13
Column A vs Column F	93.36	5.305	P < 0.05	13.08 to 173.6
Column A vs Column G	53.02	3.013	P > 0.05	-27.26 to 133.3
Column A vs Column H	19.04	1.082	P > 0.05	-61.24 to 99.32
Column B vs Column C	-34.36	1.952	P > 0.05	-114.6 to 45.92
Column B vs Column D	-61.03	3.467	P > 0.05	-141.3 to 19.25
Column B vs Column E	-61.97	3.521	P > 0.05	-142.2 to 18.31
Column B vs Column F	30.54	1.735	P > 0.05	-49.74 to 110.8
Column B vs Column G	-9.800	0.5568	P > 0.05	-90.08 to 70.48
Column B vs Column H	-43.78	2.487	P > 0.05	-124.1 to 36.50
Column C vs Column D	-26.67	1.515	P > 0.05	-106.9 to 53.61
Column C vs Column E	-27.61	1.569	P > 0.05	-107.9 to 52.67
Column C vs Column F	64.90	3.688	P > 0.05	-15.38 to 145.2
Column C vs Column G	24.56	1.395	P > 0.05	-55.72 to 104.8
Column C vs Column H	-9.420	0.5352	P > 0.05	-89.70 to 70.86
Column D vs Column E	-0.9433	0.05360	P > 0.05	-81.22 to 79.34
Column D vs Column F	91.57	5.203	P < 0.05	11.29 to 171.8
Column D vs Column G	51.23	2.911	P > 0.05	-29.05 to 131.5
Column D vs Column H	17.25	0.9800	P > 0.05	-63.03 to 97.53
Column E vs Column F	92.51	5.256	P < 0.05	12.23 to 172.8
Column E vs Column G	52.17	2.964	P > 0.05	-28.11 to 132.4
Column E vs Column H	18.19	1.034	P > 0.05	-62.09 to 98.47
Column F vs Column G	-40.34	2.292	P > 0.05	-120.6 to 39.94
Column F vs Column H	-74.32	4.223	P > 0.05	-154.6 to 5.960
Column G vs Column H	-33.98	1.931	P > 0.05	-114.3 to 46.30

ANEXO A – CEP



COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVAP

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo n.º L188/2005/CEP, intitulado "*Efeitos do infravermelho longo na redução do processo inflamatório no esmagamento do nervo ciático em ratos*", sob a responsabilidade da Profa. Dra. Renata Amadei Nicolau, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal (COBEA/Junho de 1991) e segue as Normas Para a Prática Didático-Científica da Vivisseccção de Animais (Lei 6638 de 08/05/1979) sendo, portanto, **aprovado** por esta Comissão de Ética em Pesquisa.

Informamos que o pesquisador responsável por este Protocolo de Pesquisa deverá apresentar a este Comitê de Ética um relatório das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação.

São José dos Campos, 18 de novembro de 2005.

PROF. DR. LANDULFO SILVEIRA JUNIOR
Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa da UNIVAP