

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

OSWALDO RIBEIRO MARQUEZ NETO

OSCILAÇÕES TÉRMICAS DO NERVO FACIAL *IN VITRO* EM
MASTOIDECTOMIAS DESCOMPRESSIVAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências da Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Orientadora: Profa. Dra. Iruena Moraes Kessler

BRASÍLIA
2013

OSWALDO RIBEIRO MARQUEZ NETO

OSCILAÇÕES TÉRMICAS DO NERVO FACIAL *IN VITRO* EM
MASTOIDECTOMIAS DESCOMPRESSIVAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências da Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Orientadora: Profa. Dra. Iruena Moraes Kessler

Aprovado em 21 de novembro de 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Iruena Moraes Kessler
Faculdade de Ciências de Saúde, UnB

Prof. Dr. Aldo Pereira Neto
Faculdade de Ciências de Saúde, UnB

Prof. Dr. Márcio Nakanishi
Faculdade de Medicina, UnB

Prof. Dra. Suélia Rodrigues Fleury Rosa, Laboratório de Engenharia e Biomaterial –
BioEngLab, UnB

*Aos meus pais, Tito e Heloiza, por me ensinarem o que sei;
À minha esposa Camila e ao meu filho Miguel por cada dia compartilhado e, mesmo
em face das alegrias e tristezas, estarem sempre ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Tito e Heloiza; e aos meus irmãos Cynthia, Tito e Eduardo pelo amor e apreço que sempre a mim ensinaram.

À minha esposa Camila pela paciência, companheirismo e amor.

À minha orientadora, Dra. Iruena Kessler, que muito me ensinou, agradeço pelo incansável apoio, dedicação e auxílio na elaboração desta dissertação com aceite deste trabalho em revista indexada internacional.

Ao Dr. Aldo, a quem considero como meu pai na neurocirurgia, pois me ensinou uma subespecialidade e, durante a sua supervisão, possibilitou-me a aquisição de uma segunda subespecialidade. Sem o seu apoio e incentivo, eu não teria conseguido tantas realizações profissionais.

A Deus, pelas alegrias e tristezas.

RESUMO

Introdução: Há diversas situações médicas que exigem a descompressão aguda do nervo facial (NF), inclusive lesões traumáticas ou neoplásicas. No entanto, o NF é altamente vulnerável às oscilações térmicas e/ou mecânicas, as quais podem vir a ocorrer durante procedimentos cirúrgicos que requerem a utilização de brocas.

Objetivos: Avaliar possíveis lesões térmicas ocasionadas por brocas de alta e baixa rotação, bem como comparar suas peculiaridades durante a mastoidectomia radical para descompressão do NF. **Método:** Oito espécimes de osso temporal obtidos de cadáveres foram submetidos à descompressão do NF pela técnica de mastoidectomia radical, usando brocas de alta rotação e baixa rotação, com irrigação contínua ou sob demanda. As oscilações de temperatura transoperatórias foram medidas através de sensores térmicos ligados ao osso temporal. Estes sensores seguiam o trajeto do NF, à distâncias de 10, 5 e 2mm, utilizando-se ponteiros cortantes de 2,4 milímetros ou ponteiros rombas diamantadas de 2,1mm.

Resultados: O uso de brocas de alta velocidade com irrigação sob demanda provocou uma oscilação significativa de temperatura no NF quando comparadas às brocas de baixa velocidade sob irrigação contínua ($p < 0,05$). As temperaturas mais elevadas foram diretamente proporcionais a suas distâncias do NF. No entanto, nenhuma das brocas apresentou níveis de temperaturas altas o suficiente para causar dano ao NF. **Conclusões:** As oscilações térmicas secundárias ao uso de brocas em mastoidectomias radicais são consideradas um fator de risco potencial ao NF. Porém, as brocas de alta e de baixa velocidade atualmente disponíveis, sob condições adequadas, usando irrigação contínua e à uma distância limitada do NF, mostraram oscilações térmicas transoperatórias seguras.

Palavras-chave: traumatismo craniano; descompressão do nervo facial; lesão térmica; mastoidectomia radical.

ABSTRACT

Introduction: There are many medical situations that demand facial nerve decompression, including traumatic or neoplastic lesions. However, the facial nerve is highly vulnerable to thermal oscillations, which can be observed during surgical procedures that demand the use of drills. **Objectives:** To assess potential thermal injuries caused by drills of high and low speed, and compare their peculiarities during radical mastoidectomy for facial nerve decompression. **Methods:** Eight temporal bone flaps obtained from cadavers were submitted to facial nerve decompression by the radical mastoidectomy technique, using both high- and low-speed drills with continuous irrigation or irrigation on demand. The temperature oscillations during all of the procedures were measured using thermal sensors attached to the temporal bone, following the path of the facial nerve, at distances of 10, 5, and 2mm, using cutting burrs of 2.4mm or diamond ball burrs of 2.1mm. **Results:** High-speed drilling with irrigation on demand generated a higher temperature rise in the facial nerve when compared to low-speed drilling under continuous irrigation ($p < 0.05$). The closer the burrs were to the facial nerves, the higher the temperatures measured. Neither the high-powered drill nor the low-powered drill presented levels of temperatures high enough to cause facial nerve damage. **Conclusions:** Thermal oscillations secondary to the use of drills in radical mastoidectomies should be considered a potential risk factor in surgical procedures for facial nerve decompression. However, the recently developed disposable devices, high- or low-powered drills were safely used in these procedures under adequate conditions, by using continuous irrigation and a limited distance from the facial nerve.

Keywords: head trauma; facial nerve decompression; thermal injury; radical mastoidectomy.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA – Análise de variância

Chor. – Corda

IC – Irrigação Contínua

NC – Nervo Craniano

ID – Irrigação sob demanda

HBDF – Hospital de Base do Distrito Federal

BAR – Brocagem de Alta Rotação

BAR-IC – Brocagem de Alta Rotação com Irrigação Contínua

BAR-ID – Brocagem de Alta Rotação com Irrigação sob Demanda

Hz – Hertz

k Ω – kiloohms

BBRV – Brocagem de Baixa Rotação Velocidade

BBR-IC – Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação Contínua

BBR-ID – Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda

BC – Broca Cortante

BD – Broca de Diamante

DNF – Distância do Nervo Facial

Mast. – Mastóide

ml/s – Mililitro por segundo

mm – Milímetro

N – Número de aferições

NF. – Nervo Facial

Seg. – Segmento

Timp. – Tímpano

μ V – microvolts

MR – Mastoidectomia Radical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 LESÃO DO NERVO FACIAL.....	9
1.2 ANATOMIA DO NERVO FACIAL E SEUS SEGMENTOS.....	9
1.3 DESCOMPRESSÃO CIRÚRGICA DO NF.....	10
1.4 MASTOIDECTOMIA E LESÃO DO NF.....	10
2. OBJETIVOS	11
3. MATERIAL E MÉTODO	12
3.1 AMOSTRAS DE OSSO TEMPORAL HUMANO.....	12
3.2 TÉCNICAS CIRÚRGICAS E PROCEDIMENTO DE BROCAGEM.....	12
3.3 AFERIÇÃO DE TEMPERATURA E AQUISIÇÃO DE SINAL.....	14
3.3.1 Termopar	15
3.3.2 Condicionamento e conversão do sinal analógico	16
3.3.3 Aquisição de sinal e visualização de software	16
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	17
4. RESULTADOS	18
5. DISCUSSÃO.....	22
6. CONCLUSÕES.....	24
7. REFERÊNCIAS	25
8. ANEXOS.....	28
Anexo 1 - TCLE Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	28
Anexo 2 - Aprovação do Comitê de Ética	29
Anexo 3 - Confirmação do aceite do trabalho em revista internacional B3/B4 (Qualis Capes).....	30
Anexo 4 - Artigo completo a ser publicado em revista internacional B3/B4 (Qualis Capes).....	31

1. INTRODUÇÃO

1.1 LESÃO DO NERVO FACIAL

Há várias causas descritas de lesões do nervo facial (NF), incluindo traumatismo craniano (acidentes automobilísticos ou agressões, em mais de 50% dos casos), oscilações térmicas, processos inflamatórios, doenças infecciosas e neoplasias [1]. Quanto associados ao trauma, 70% a 90% de fraturas longitudinais do osso temporal estendem-se ao longo do eixo da pirâmide petrosa. Em 10% a 20% destes casos, a fratura pode atravessar o assoalho da fossa craniana média adjacente ao forame espinhoso e anteriormente ao labirinto ósseo, causando lesão do NF intra ou proximal ao segmento labiríntico [2,3,4].

1.2 ANATOMIA DO NF E SEUS SEGMENTOS

A divisão motora do NF é composta por cerca de 7.000 axônios motores com corpos celulares localizados no tronco encefálico [5]. O núcleo facial emite as fibras que originam o NF que em seguida cursa medialmente ao núcleo do nervo abducente na ponte dirigindo-se ao ângulo ponto-cerebelar [6]. O NF cursa superiormente a crista falciforme, no aspecto lateral do canal e é separado do nervo vestibular superior por uma crista vertical de osso (barra de *Bill*), dividindo-se no osso temporal em cinco segmentos [7,8]:

a) segmento pontino: entre o tronco cerebral e o *porus* (23 e 24mm de comprimento);

b) segmento meatal, dentro do canal auditivo interno (7 a 8mm de comprimento);

c) segmento labiríntico, entre o segmento do meato e o gânglio geniculado (4 mm de comprimento);

d) segmento do tímpano ou horizontal, entre o gânglio geniculado e o segundo joelho (12 a 13mm de comprimento);

e) segmento mastóide ou vertical, entre o segundo joelho e o forame estilomastóide (15 a 20mm de comprimento).

1.3 DESCOMPRESSÃO CIRÚRGICA DO NF

Quando lesado, o NF reage com edema significativo. No entanto, a sua localização em um canal ósseo inelástico pode implicar sofrimento neural grave, requerendo descompressão aguda, realizada por mastoidectomia radical (MR) [3]. A MR tem por objetivo aliviar a compressão do canal ósseo sobre o NF. Neste procedimento, a mastóide é removida e a identificação do canal de falópio e a exposição do NF são feitas utilizando-se uma broca de 2mm e uma microcureta. As possíveis variações na distribuição anatômica do NF e a falha em observar os elementos fundamentais da técnica cirúrgica influenciam nos riscos de seqüela pós-operatória [4].

1.4 MASTOIDECTOMIA E LESÃO DO NF

Considerando a complexidade anatômica do NF, que exige um processo cirúrgico de dissecação meticuloso, podem ocorrer complicações transoperatórias secundárias a lesões traumáticas ou térmicas causadas pelo movimento físico de salto durante a brocagem e/ou superaquecimento da broca ou bipolar [9,10].

Há relatos que associam a taxa de rotação da broca a um aumento significativo da temperatura e dano ao tecido [11,12,13]. A quantidade de calor gerada pela broca depende das forças de atrito, do tipo de lâmina e da velocidade de rotação, sendo recomendadas brocas de baixa rotação [14,15,16]. Por outro lado, alguns relatos não associaram a velocidade de rotação da broca à lesão tecidual [17,18,19]. São necessárias temperaturas entre 41°C a 45°C para causar lesão permanente no NF [20,21] e acima de 50°C ocorre a necrose óssea [22, 23,24,25,26,27].

Visando minimizar os riscos de lesões iatrogênicas do NF, várias técnicas de monitorização transoperatória podem ser adotadas, inclusive a monitorização acústica contínua, estimulação direta do NF ou eletroneuromiografia contínua, com evidência de superioridade desta técnica [28,29].

O presente estudo visa avaliar possíveis oscilações térmicas durante MR para descompressão do NF submetidas a brocas convencionais de alta (BAR) e baixa rotação (BBR), utilizando termosensores.

2. OBJETIVOS

- 1- Avaliar oscilações térmicas ocasionadas por BAR ou BBR em amostras de osso temporais *in vitro* submetidos à MR para descompressão do NF.
- 2- Identificar se os detalhes inerentes à técnica cirúrgica, incluindo o uso de irrigação contínua (IC) ou irrigação sob demanda (ID) influenciam na lesão térmica do NF.
- 3- Avaliar se os dispositivos de brocagem disponibilizados para realização MR estão em conformidade com temperaturas consideradas seguras para preservação do NF.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 AMOSTRAS DE OSSO TEMPORAL HUMANO

O estudo foi realizado no Laboratório de Anatomia Humana no Hospital de Base, Brasília (DF), Brasil. Oito fragmentos de osso temporal foram obtidos a partir de quatro cadáveres do sexo masculino entre 20 e 40 anos de idade, com óbito por hemorragia intracerebral ocorrida em até oito horas. O estudo encontra-se em conformidade com as regras de pesquisa clínica em seres humanos e obteve o consentimento dos familiares, bem como aprovação do Comitê de Ética da Universidade de Brasília. Após a remoção, os espécimes foram preservados em formol a 10% em temperatura ambiente (20°C).

3.2 TÉCNICAS CIRÚRGICAS E PROCEDIMENTO DE BROCAGEM

O mesmo cirurgião realizou o procedimento de brocagem. Os oito espécimes de ossos temporais foram divididos aleatoriamente por sorteio em quatro grupos de dois: o primeiro grupo se submeteu à BAR ou à BBR, sendo os subsequentes alternados. A técnica cirúrgica escolhida foi a MR *wall down* [3]. Os campos operatórios incluíram toda a mastóide, o ouvido médio e epítímpano, com a remoção da parede posterior do canal do NF. Para acessar a área rebaixada do NF, as cápsulas dos canais posterior e lateral e os segmentos faciais tímpano-mastóide foram expostos (Figura 1).

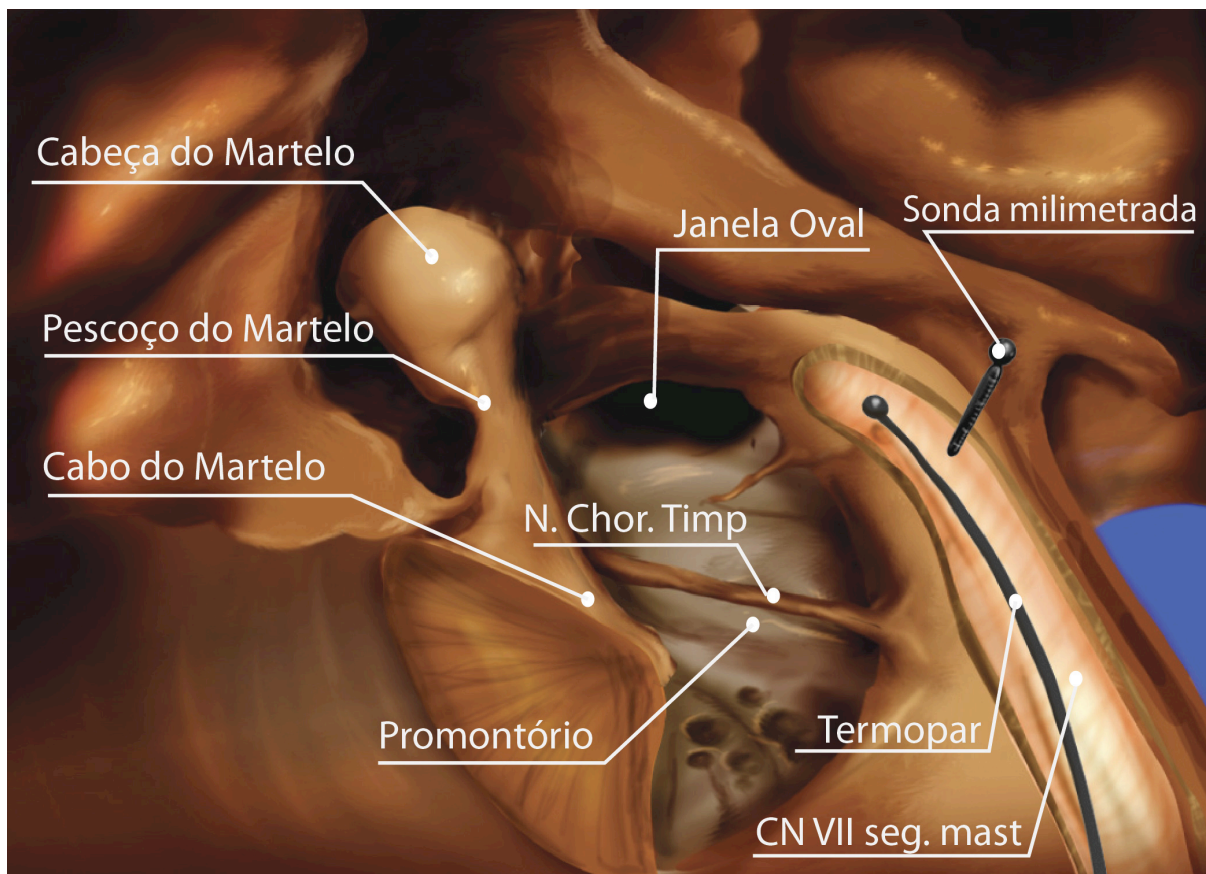


Figura 1. Aspecto final da cirurgia realizada. Chor. = Corda, CN = Nervo Craniano; Mast. = Mastóide; N. = Nervo; Seg. = Segmento; Timp. = Tímpano. Cortesia do Dr. Eduardo de Sousa, e-mail: 007.eduardo@gmail.com

As amostras dos ossos temporais foram perfurados com um sistema de BAR (Codman[®], Chicago, IL) à velocidade máxima (100.000 rpm) ou com um sistema de BBR (LB 100, Beltec[®], UK) à velocidade máxima (30.000 rpm), utilizando um microscópio (OMNI, Zeiss[®], GR) sob irrigação. A irrigação era contínua (IC) e controlada através do módulo de irrigação CMC-II (Malis, Johnson & Johnson, Chicago, IL) com soro fisiológico a 0,9% e temperatura ambiente (20°C a uma taxa de irrigação de 0,2 ml/s ou sob demanda (ID), de acordo com o pedido do cirurgião. Temperatura, pressão e tempos de perfuração foram estabelecidos pelo cirurgião, a fim de simular uma cirurgia real.

Os procedimentos realizados utilizaram uma broca cortante *fluted ball tip cutter* (BC) de 2,4mm de diâmetro ou uma broca de diamante *Diamond ball burr* (BD) de 2,1mm de diâmetro e o acesso ao NF foi obtido. Enquanto a temperatura no osso temporal foi registrada empregando uma microssonda de metal, a distâncias de perfuração do NF (DNF), de 10mm, 5mm e 2mm (Figura 2).



Figura 2. Os quatro grupos incluídos no estudo: Brocagem de Alta Rotação (BAR) com Irrigação Contínua (IC); Brocagem de Baixa Rotação (BBR), com Irrigação Contínua (IC); Brocagem de Baixa Rotação (BBR) com Irrigação sob Demanda (ID); Brocagem de Baixa Rotação (BAR), com Irrigação sob Demanda (ID). O tempo de perfuração em cada posição e os valores de temperatura foram registrados até o cirurgião alcançar totalmente o ponto seguinte, guiado pela microssonda.

3.3 AFERIÇÃO DE TEMPERATURA E AQUISIÇÃO DE SINAL

Uma microssonda com sensores térmicos foi colocada ao longo do NF durante a MR. Esses sensores eram capazes de traduzir os estímulos mecânicos

durante a brocagem da mastóide em um sinal elétrico análogo e codificado por um *software* de computador desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília (DF), Brasil [28].

Foi possível capturar e armazenar os dados de temperatura no computador em um arquivo de texto usando o sistema de aquisição de dados. Os dados dos dois canais de medição foram armazenados como uma sequência de dados para cada canal, os valores médios das sequências foram calculados e resultaram em uma curva de temperatura em função do tempo decorrido. O sistema de aquisição de sinal concebido foi dividido em quatro blocos: 1) termopar (sensor de temperatura); 2) condicionamento de sinal; 3) a conversão do sinal analógico; e 4) a aquisição do sinal e visualização por *software*.

O primeiro bloco envolveu os sensores de temperatura – termopar. Estes dispositivos reagem e respondem a perturbação do ambiente, devido à variação de uma determinada propriedade física, ou seja, a temperatura no presente caso. Estas respostas às perturbações ambientais foram medidas pela transformação desta energia em um sinal analógico elétrico: a tensão. Tensão esta medida é de pequena magnitude e para ser analisada deve ser condicionada por meio de um amplificador.

O segundo bloco foi construído usando amplificadores operacionais, circuito integrado de alto ganho, em uma configuração não-invertida, que mantém o sinal na mesma fase. O terceiro bloco do sistema de aquisição de sinais utilizou um conversor analógico para digital. Estes sinais foram convertidos em *bits*, e transmitidos através da porta de comunicação paralela ao microcomputador para o processamento e armazenamento dos dados.

3.3.1 Termopar

Trata-se de um sensor de temperatura passivo, constituído por um contato elétrico entre um par metálico que, ao sofrer uma variação de temperatura, gera uma diferença de potencial elétrico (tensão elétrica) proporcional. A variação dessa tensão elétrica pode ser relacionada por meio de aferição da variação de temperatura no contato do termopar. Após o estudo inicial das condições de medição de temperatura e do seu intervalo de variação no fenômeno em estudo,

optou-se pelo termopar Tipo K (crómio/alumínio). Este tipo de termopar, além de ser de baixo custo, possui um intervalo de medição de -200°C a 1200°C e uma sensibilidade de cerca de $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (microvolts).

3.3.2 Condicionamento e Conversão do Sinal Analógico

O conversor de sinal é um circuito integrado que recebe um sinal analógico (contínuo) e o transforma em um sinal digital (discreto) por meio da subdivisão do sinal analógico e da representação binária de cada subintervalo. O amplificador utilizado neste trabalho foi o LM324N em configuração não invertida, mantendo a fase do sinal, operando entre 0V e 5V. Durante o estudo inicial, optou-se por utilizar um ganho de amplificação 2 para a adequação do sinal de temperatura medido na faixa de tensão de operação do amplificador. Esse ganho foi obtido utilizando-se resistores de $100\text{k}\Omega$ e $200\text{k}\Omega$ (kiloOhms). Neste estudo, o conversor adotado foi o ADC0804 de 8 *bits*, ou seja, converte o sinal analógico em 512 subintervalos de tensão representados em notação binária.

Em seguida, os sistemas de amplificação e de conversão foram montados sobre uma placa de ensaio e os valores obtidos foram aferidos em relação a um termômetro padrão. Finalmente, no processo de condicionamento do sinal introduziu-se um filtro digital passa-baixa de 10Hz, uma vez que a variação de temperatura no fenômeno ocorre lentamente e não ultrapassa a faixa de 5Hz, dessa forma, eliminou-se quaisquer interferências de sinais espúrios em faixas acima de 10Hz.

3.3.3 Aquisição de Sinal e Visualização de Software

O sinal de temperatura medido, amplificado e condicionado é transmitido ao microcomputador para processamento e armazenamento por meio da porta paralela de comunicação. A interface de comunicação paralela foi selecionada devido à velocidade de comunicação que pode ser obtida e à capacidade de utilização bidirecional. No computador pessoal, a porta paralela utiliza um conector de 25 pinos (DB-25), onde oito são usados para dados bidirecionais, quatro para vias de controle,

cinco para vias de estado, enquanto os pinos de saída servem para seleccionar o canal de leitura do multiplexador analógico.

Para realizar a comunicação lógica entre o microcomputador e o sistema de medição desenvolvido, foi elaborado um programa computacional em linguagem de programação C. O *software* desenvolvido realiza não só o controle do sistema de medição bem como a aquisição dos sinais medidos organizando os dados para posterior análise estatística qualitativa e quantitativa (Figura 3).

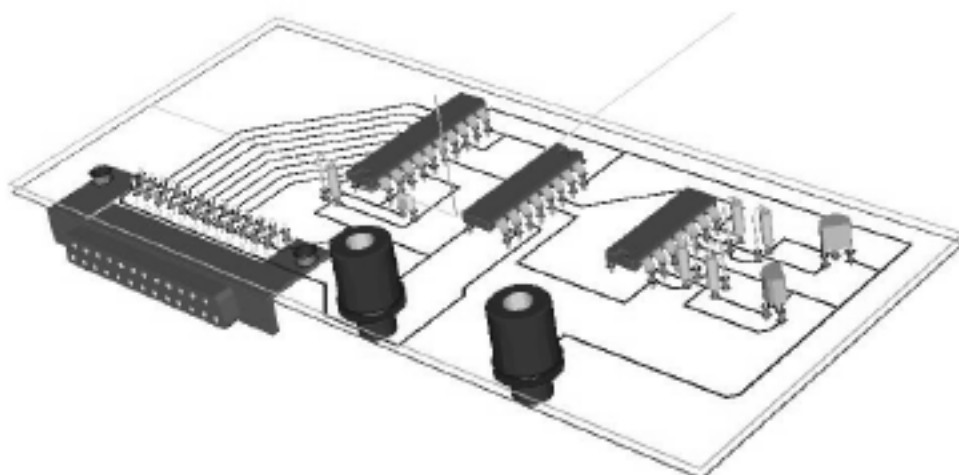


Figura 3. Modelo 3D da placa de aquisição utilizada. Paula PM, Rodrigues SS, Altoe ML, Santos LS, Rocha AF. *Electronic temperature monitoring during the decompression surgery of the facial nerve. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2010*. Reproduzido com permissão do autor.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As oscilações de temperatura entre os pontos submetidos à brocagem combinando as variáveis BAR ou BBR com IC *versus* ID foram comparados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) por BioSTAT versão 3.0 para *Windows*. Os valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

4. RESULTADOS

Oito amostras de osso temporal retiradas de cadáveres foram incluídas no estudo. Todos eram provenientes de indivíduos do sexo masculino entre 20 e 40 anos de idade, com média de 33,6 anos. O tempo médio para realização do procedimento de MR foi de 51 minutos (32-60 min) (Tabela 1).

Tabela 1 - Estágios da MR registrado em minutos

Estágio	Minutos
Início	00:00:00
Células aeradas da mastóide	00:08:03
Uncus	00:15:32
Rebaixamento do CNF	00:22:08
10mm DNF	00:25:03
5mm DNF	00:26:19
1 a 2mm DNF	00:40:13
Abertura do CNF	00:42:14
Descompressão do CNF	00:51:00

DNF: Distância do Nervo Facial; CNF: Canal do Nervo Facial

A temperatura média (TM) ao longo do NF durante o procedimento de brocagem nos quatro grupos (BAR-ID, BAR-IC, BBR-ID, BBR-IC) variou entre 32,20°C a 22,17°C. Utilizou-se uma BC de 2,4mm a 5mm e 10mm de DNF, e uma BD de 2,1mm a 2mm de DFN, ($p < 0,05$) (Tabelas 2 a 4).

No grupo em que a BC de 2,4mm foi utilizada a 10mm de DFN, a TM variou de 22,17°C (BBR-IC) a 25,08°C (BAR-ID) ($p < 0,05$) (Tabela 2), e 25,10°C (BBR-IC) a 26,94°C (BAR-ID) quando a 5mm de DFN ($p < 0,05$) (Tabela 3). A menor TM foi de 22,17°C, no grupo BBR-IC a 10mm de DNF utilizando uma BC (Tabela 2), e a mais elevada foi de 32,20°C, no grupo BAR-ID utilizando BD a 2mm em DFN (Tabela 4).

Tabela 2 - Temperatura média (°C) do NF durante brocagem a 10mm de DNF usando brocas cortantes de 2,4mm de diâmetro.

Grupo	N	Média de temperatura °C
BAR-ID	155	25,08 ^b
BAR-IC	187	24,36 ^b
BBR-ID	605	23,67 ^c
BBR-IC	176	22,17 ^d

BAR-ID–Brocagem de Alta Rotação com Irrigação sob Demanda, BAR-IC–Brocagem de Alta Rotação com Irrigação Contínua, BBR-ID–Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda, BBR-IC–Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda.

N= número de medidas.

Medidas com letras iguais não apresentam diferenças significativas pelo teste ANOVA ($p < 0,05$).

Tabela 3 - Temperatura média (°C) do NF durante brocagem a 5mm de DNF utilizando brocas cortantes de 2,4mm de diâmetro

Grupo	N	Média de temperatura °C
BAR-ID	111	26,94 ^a
BAR-IC	119	25,46 ^b
BBR-ID	145	25,32 ^b
BBR-IC	834	25,10 ^c

BAR-ID Brocagem de Alta Rotação com Irrigação sob Demanda; BAR-IC, Brocagem de Alta Rotação com Irrigação Contínua; BBR-ID, Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda BBR-IC; Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda

N= número de medidas

Medidas com letras iguais não apresentam diferenças significativas pelo teste ANOVA ($p < 0,05$)

Para o grupo em que foi utilizada a BD de 2,1mm a um DNF de 2mm, a TM variou entre 27,05°C (BBR-IC) a 32,20°C (BAR-IC) ($p < 0,05$) (Tabela 4).

Tabela 4 - Temperatura média (°C) do NF durante brocagem a 2mm de DNF usando brocas diamantadas de 2,1mm de diâmetro.

Grupo	N	Média de temperatura °C
BAR-ID	616	32,20 ^a
BAR-IC	332	28,45 ^b
BBR-ID	190	28,60 ^b
BBR-IC	360	27,05 ^c

BAR-ID–Brocagem de Alta Rotação com Irrigação sob Demanda, BAR-IC–Brocagem de Alta Rotação com Irrigação Contínua, BBR-ID–Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda BBR-IC–Brocagem de Baixa Rotação com Irrigação sob Demanda.

N= número de medidas.

Medidas com letras iguais não apresentam diferenças significativas pelo teste ANOVA ($p < 0,05$).

A oscilação térmica observada ao longo do NF foi diretamente proporcional à irrigação, registrando nítida redução da temperatura após a instilação de soro fisiológico a 0,9% em procedimento utilizando BAR e BAR a 5mm, 10 mm e 2mm de DNF e ID (Figura 3).

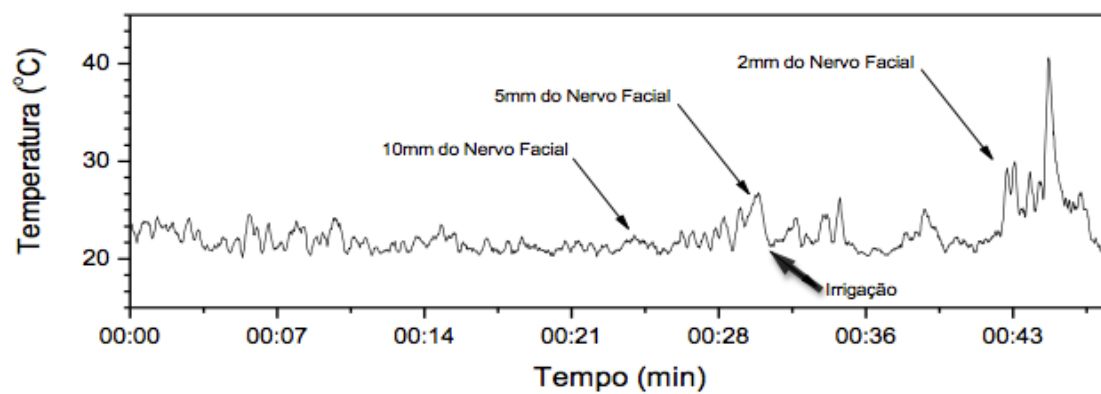


Figura 4 - Oscilação térmica observada durante a mastoidectomia usando BAR com ID. A seta sólida mostra a redução de temperatura após a irrigação.

5. DISCUSSÃO

Dentre as lesões potenciais do NF, o superaquecimento secundário à brocagem da mastóide em MR ou uso de bipolar são causas iatrogênicas comumente descritas [25]. O uso inadequado de brocas adjacentes à mastóide pode ocasionar oscilação térmica e causar edema interaxonal, lesão miélnica e processo inflamatório no NF.

O tamanho das lâminas, as características das brocas, bem como a velocidade de rotação da broca e a irrigação contínua podem influenciar na gravidade da lesão do NF [26]. Como fator agravante, por estar restrito a um canal ósseo, o NF pode sofrer dano irreversível caso não haja decompressão em tempo hábil [14]. O tempo entre a lesão do nervo do NF e sua decompressão têm sido descrito como variando de 30 a 60 minutos [8]. No presente estudo, as dissecações da NF ocorreram em um tempo médio de 51 minutos, estando em consonância com a literatura [10] [Tabela 1].

No entanto, para realizar uma MR rápida e eficaz é necessário o uso de BBR ou BAR, podendo induzir a um sobreaquecimento no NF [9,10]. Este efeito pode ser minimizado através de uma solução de soro fisiológico a 0,9% e IC ou ID. Este efeito é ilustrado na Figura 3, que mostra as variações da temperatura durante o processo de brocagem a 10mm, 5mm e 2mm de DNF usando uma BAR com ID. Em alguns estudos testaram um novo sistema de brocagem irrigado internamente, havendo evidente redução da temperatura nas amostras proporcional à taxa de irrigação, observaram ainda que brocas mais espessas geraram maior temperatura sugerindo transferência de calor ao tecido ósseo diretamente proporcional à espessura da broca [30,31,32].

A DNF foi também uma variável significativa. Quanto menor a DNF e a velocidade de irrigação, maiores foram as oscilações térmicas. A BAR com ID a 2 mm de DNF teve a maior média de temperatura (32,20°C), comparada à BBR com IC a 10mm de DNF com temperatura média de (22,17°C) ($p < 0,05$) (Tabelas 2 a 4). Estes resultados estão de acordo com outros relatos que recomendam o uso de BBR com IC sendo mais seguras que BAR com ID [22]. Por outro lado, apesar de gerar temperaturas mais baixas, as BBR tem a desvantagem de aumentar o tempo do procedimento e exigir maior pressão mecânica do que uma BAR [23].

Convém ressaltar que para danificar permanentemente o NF, seriam necessárias temperaturas de 41°C a 45°C, acarretando necrose óssea acima de 50 graus [24]. No entanto, as temperaturas relatadas em nosso estudo não ultrapassaram 32°C, independentemente do tipo de broca (BBR ou BAR), de DNF (10mm, 5mm e 2mm), de característica de corte (BC ou BD) ou de irrigação (IC ou ID) (Tabelas 2 a 4). Como utilizamos dispositivos de brocagem de uso corriqueiro em MR: sistema de BAR (Codman ®, Chicago, IL) à velocidade máxima (100.000 rpm) ou sistema de BBR (LB 100, Beltec ®, UK) à velocidade máxima (30.000 rpm), os achados mencionados sugerem que estas brocas apresentam um perfil técnico seguro em relação à oscilação térmica para a descompressão do nervo facial.

Alguns relatos também associam as oscilações de temperatura à morfologia das brocas, as que possuem maior espessura por perfurarem maior área de tecido ósseo gerariam mais calor durante a brocagem, enquanto brocas mais finas, como as diamantadas, causariam menos calor. No entanto, em situações especiais, brocas pequenas também poderiam apresentar aumentos significativos de temperatura local, quando utilizadas em alta velocidade de rotação [27-30].

Tendo em vista os dados do presente estudo, pode-se inferir que as condições mais seguras e rápidas para a realização de uma descompressão do NF poderia se iniciar o procedimento com uma BAR com IC a 5 e 10mm DNF e terminar o procedimento usando uma BBR com BD a 2mm DNF sob IC. No entanto, há que se observar que as análises foram observadas, *in vitro* utilizando amostras de cadáveres e estarem sujeitas a múltiplas variáveis que podem influenciar no efeito físico de geração e transferência de calor, tais como: movimento da broca pelo campo cirúrgico, utilização de brocas com diâmetros diferentes e a distâncias variadas, pressão exercida na broca pelo cirurgião. O fato de todos os procedimentos terem sido realizados pelo mesmo cirurgião e sob fluxo de irrigação contínuo contribuiu para minimizar os efeitos destas restrições. Outra limitação consiste na impossibilidade de obtenção de dados relativos ao período transoperatório quanto à abordagem do nervo facial.

6. CONCLUSÕES

O registro de oscilações de temperatura ao longo do NF em procedimentos de MR descompressiva requer atenção e pode evitar lesões secundárias ao hiperaquecimento. O entendimento de particularidades da técnica cirúrgica quanto de métodos de aferição transoperatória são imprescindíveis. O presente estudo verificou que a TM ao longo do NF durante a MR é inversamente proporcional à DNF e a utilização de IC é diretamente proporcional à velocidade de rotação da broca. A utilização de BAR registrou temperaturas significativamente maiores que as BBR. Contudo, não foram registradas elevações de temperatura sustentadas e suficientes para lesão neural, sugerindo que os dispositivos de brocagem disponíveis têm configuração segura, quando adequadamente utilizados.

REFERÊNCIAS

1. Turner JWA. Facial palsy in closed head injuries. *Lancet* 1944;246:756-757.
2. Adour KK, Wingerd J. Nonepidemic incidence of idiopathic facial paralysis. Seasonal distribution of 419 cases in three years. *JAMA* 1974;227(6):653-654.
3. Fisch U. Facial paralysis in fractures of the petrous bone. *Laryngoscope* 1974;84(12):2141-2154.
4. Gragnaniello C, Kamel M, Al-Mefty O. Utilization of fluorescein for identification and preservation of the facial nerve and semicircular canals for safe mastoidectomy: a proof of concept laboratory cadaveric study. *Neurosurgery* 2010;66(1):204-207.
5. Crumley RL. Mechanisms of synkinesis. *Laryngoscope* 1979;89(11):1847-1854.
6. Hadlock TA, Cheney ML, McKenna MJ. Facial reanimation surgery. In: Nadol JB Jr., McKenna MJ, eds. *Surgery of the Ear and Temporal Bone*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p.123-133.
7. Nager GT, Proctor B. Anatomical variations and anomalies involving the facial canal. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1982;91:45-61.
8. Schuknecht HF, Gulya AJ. *Anatomy of the Temporal Bone With Surgical Implications*. Philadelphia: Lea & Febiger; 1986. p.161-184.
9. Castañares S. Facial nerve paralyses coincident with, or subsequent to, rhytidectomy. *Plast Reconstr Surg* 1974;54(6):637-643.
10. Keim RJ, Erdreich J, Love TJ. Thermal hazards in mastoid surgery: an evaluation of instruments and irrigation techniques. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1979;87(4):472-478.
11. Anderson R, Finlayson BL. Sequelae of transfixation of bone. *Surgery* 1943;13:46-54.
12. Peterson LT. Principles of internal fixation with plates and screws. *AMA Arch Surg* 1952;64(3):345-354.
13. Thompson HC. Effect of drilling into bone. *J Oral Surg (Chic)* 1958;16(1):22-30.

14. Abbas GM, Jones RO. Measurements of drill-induced temperature change in the facial nerve during mastoid surgery: a cadaveric model using diamond burs. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2001;110(9):867-870.
15. Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent* 1983;50(1):101-7.
16. Horner DB. A self-powered, low-speed surgical drill: prevention of thermal necrosis. *Am J Orthop* 1961;3:278-283.
17. Boyne PJ. Histologic response of bone to sectioning by high speed rotary instruments. *J Dent Res* 1966;45(2):270-276.
18. Hall RM. The effect of high speed bone cutting without the use of water coolant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;20:150-153.
19. Moss RW. Histopathologic reaction of bone to surgical cutting. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1964;17:405-414.
20. Aslan A, Vatansever HS, Aslan GG, Eskiizmir G, Giray G. Effect of thermal energy produced by drilling on the facial nerve: histopathologic evaluation in guinea pigs. *J Laryngol Otol* 2005;119(8):600-605.
21. Kondo S, Okada Y, Iseki H, et al. Thermological study of drilling bone tissue with a high-speed drill. *Neurosurgery* 2000;46(5):1162-1168.
22. Bachus KN, Rondina MT, Hutchinson DT. The effects of drilling force on cortical temperatures and their duration. An in vitro study. *Med Eng Phys* 2000;22(10):685-691.
23. Krause WR, Bradbury DW, Kelly JE, Lunceford EM. Temperature elevations in orthopaedic cutting operations. *J Biomech* 1982;15(4):267-275.
24. Lundskog J. Heat and bone tissue. An experimental investigation of the thermal properties of bone and threshold levels for thermal injury. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1972;9:1-80.

25. Sams WM Jr, Winkelmann RK. Temperature effects on isolated resistance vessels of skin and mesentery. *Am J Physiol* 1969 Jan;216(1):112-6
26. Firoozbakhsh K, Moneim MS, Mikola E, Haltom S. Heat generation during ulnar osteotomy with microsagittal saw blades. *Iowa Orthop J* 2003;23:46-50.
27. Yetiser S. Total facial nerve decompression for severe traumatic facial nerve paralysis: a review of 10 cases. *Int J Otolaryngol* 2012;2012:607359.
28. Paula PM, Rodrigues SS, Altoe ML, Santos LS, Rocha AF. Electronic temperature monitoring during the decompression surgery of the facial nerve. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010;2010:1186-9.
29. Romstöck J, Strauss C, Fahlbusch R. Continuous electromyography monitoring of motor cranial nerves during cerebellopontine angle surgery. *J Neurosurg*. 2000;93(4):586-93.
30. Takenaka S, Hosono N, Mukai Y, Miwa T, Fuji T. The use of cooled saline during bone drilling to reduce the incidence of upper-limb palsy after cervical laminoplasty. *J Neurosurg Spine* 2013 Aug 16. [Epub ahead of print].
31. Augustin G, Davila S, Udiljak T, Staroveski T, Brezak D, Babic S. Temperature changes during cortical bone drilling with a newly designed step drill and an internally cooled drill. *Int Orthop* 2012;36(7):1449-56.
32. Augustin G, Davila S, Mihoci K, Udiljak T, Vedrina DS, Antabak A. Thermal osteonecrosis and bone drilling parameters revisited. *Arch Orthop Trauma Surg* 2008;128(1):71-7.

ANEXOS

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

O _____ (a) Senhor _____ (a) responsável pelo Senhor (a) _____ está sendo convidado (a) a participar do projeto: Análise da variação térmica no canal do nervo facial induzida por dissecação da mastoide com o uso de Drill de alta e baixa potência. O nosso objetivo é comprovar a importância da variação térmica no canal do nervo Facial em cirurgias de dissecação da mastóide utilizando drill de alta e baixa potência, melhorando o prognóstico neurológico e cirúrgico com minimização dos danos ao nervo facial dos pacientes a curto e longo prazo. O (a) senhor (a) ou seus familiares receberão todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá, sendo mantido o mais rigoroso sigilo através da omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo (a).

Os cadáveres participantes dessa pesquisa serão selecionados aleatoriamente para serem submetidos dissecação do osso temporal com drill de alta e baixa potência. Tal procedimento já é utilizado com frequência em países desenvolvidos com monitorização eletrofisiológica do nervo Facial. A qualquer momento o senhor ou outros responsáveis antes de realizado o procedimento podem solicitar a saída da pesquisa.

O pesquisador deste projeto se compromete em dar o conhecimento ao responsável de todo o procedimento e término do mesmo.

Os resultados da pesquisa serão divulgados aqui no Setor de Neurocirurgia e para todo o Hospital de Base do Distrito Federal podendo inclusive ser publicados posteriormente. Os dados e materiais utilizados na pesquisa ficarão sobre a guarda do Setor de Neurocirurgia do HBDF. Se o Senhor (a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor, telefone para: Dr. Oswaldo Ribeiro Marquez Neto, na Unidade de Neurocirurgia do HBDF, pelo telefone: (61) 3315 1477, no horário comercial de segunda a sexta-feira.

Este projeto foi Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da SES/DF. Qualquer dúvida com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do sujeito da pesquisa podem ser obtidos através do telefone: (61) 3325-4955.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o sujeito da pesquisa.

 Nome / assinatura:
 Parentesco _____ (em _____ caso _____ de
 familiar): _____
 Pesquisador Responsável
 Nome e assinatura:

Brasília, ___ de _____ de _____



GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL
SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE
Fundação de Ensino e Pesquisa em Ciências da Saúde



COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA/SES-DF

Carta Nº 0341/2011 - CEP/SES/DF.

Brasília, 24 de agosto de 2011.

Ilmº (a) Senhor(a)

DIRETOR do(a): HOSPITAL DE BASE DO DISTRITO FEDERAL (com vistas à Chefia da Unidade de Neurocirurgia) – SES/DF

Assunto: aprovação do projeto de pesquisa – 357/11 - CEP/SES/DF

Senhor(a) Diretor(a),

Participamos a V. Sa. que o projeto “ANÁLISE DA VARIAÇÃO TÉRMICA NO CANAL DO NERVO FACIAL INDUZIDA POR DISSECÇÃO DA MASTÓIDE COM O USO DE DRILL DE ALTA E BAIXA POTÊNCIA” encontra-se em conformidade com a Resolução 196/96 Conselho Nacional de Saúde/Ministério da Saúde - CNS/MS e suas complementares.

Data da aprovação: 24/08/2011

Validade do parecer: 24/08/2013

Pesquisador responsável e telefone: OSWALDO RIBEIRO MARQUEZ NETO – (61) 3315-1477

Os dados serão coletados na SES-DF o pesquisador deverá observar as responsabilidades que lhe são atribuídas na Resolução 196/96 CNS/MS, incisos IX.1 e IX.2, em relação ao desenvolvimento do projeto.

Ressaltamos que a conduta do pesquisador, assim como o seu acesso à Unidade de Saúde deve seguir as normas e os procedimentos preconizados pela Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal. O pesquisador deve se apresentar ao Diretor da Unidade de Saúde para os procedimentos administrativos necessários.

Atenciosamente,

Maria Rita Carvalho Garbi Novaes
Comitê de Ética em Pesquisa/SES-DF
Coordenadora

AL-CEP/SES/DF

Fundação de Ensino e Pesquisa em Ciências da Saúde - SES
Comitê de Ética em Pesquisa
Fone/Fax: 3325-4955 – e-mail: cepsesdf@saude.df.gov.br
SMHN – Q. 501 – Bloco “A” – Brasília – DF – CEP.: 70.710-907
BRASILIA - PATRIMONIO CULTURAL DA HUMANIDADE

journals2.dept@minervamedica.it

to me ▾

Mar 22 ☆



Dear Mr. OSWALDO NETO,

I am pleased to inform you that your manuscript entitled

ANALYSIS OF THE THERMAL VARIATION IN THE FACIAL NERVE INDUCED BY DISSECTION OF THE MASTOID WITH THE USE OF LOW AND HIGH-POWER DRILLS

received by the editorial office of Chirurgia and registered under no. Chirurgia-4154 has been accepted for publication as Original Article.

Before preparation of the proofs, the manuscript will undergo copy-editing to align it with the journal's editorial standards. You will be contacted by the editorial staff should any questions arise.

Thank you for considering the journal Chirurgia for publication of your paper.

Sincerely,

Prof. Alberto Oliaro
Managing Editor
Chirurgia

.....
Edizioni Minerva Medica
Corso Bramante 83-85
10126 Torino, Italy
Phone [+39-011-678282](tel:+39-011-678282), fax [+39-011-674502](tel:+39-011-674502)
www.minervamedica.it
.....

Analysis of the thermal variation in the facial nerve induced by dissection of the mastoid with the use of low and high-power drills

O. NETO^{1,2}, T. OLIVEIRA², T. DIAS¹, S. ROSA⁴, M. ALTOÉ⁴
F. MOURA⁴, T. FREITAS^{1,2}, N. SCHECHTMAN¹, I. KESSLER²

Aim. Due to the large number of car accidents nowadays, and their close association with head trauma, considered a frequent cause of facial nerve injury and because of the anatomical transpetrosal route, a possible surgical decompression in some selected cases may be possible. Intraoperative thermal injuries, due to decompressive procedure to the facial nerve, are common. These phenomena and their impact on the outcome of functional recovery of the facial nerve have not been assessed yet. This study aims to evaluate the thermal variation (in °C) of the facial nerve during a standard radical mastoidectomy performed both with a high and a low speed drill, using drilling with continuous irrigation versus drilling with irrigation on demand.

Methods. The sample group consisted of eight samples of Temporal Bones preserved in 10% Formaldehyde solution operated on continuous irrigation or irrigation on demand. Four were drilled with a high-speed drill and the other with a low speed device. Analysis of variance (ANOVA) was used for analysis of the data resulting from the study.

Results. The procedure performed with the high-speed drill with irrigation on demand had a higher temperature rise in the facial nerve in relation to other series. The low-speed drill with continuous irrigation provided the smallest temperature increase in the facial nerve ($T = 20.1 \pm 0.2$ °C).

Conclusion. In the series with low and high-speed drilling with irrigation on demand the temperature increase caused by the drilling was sufficiently high enough to inflict potential thermal injury to the nerve.

Key words: Facial nerve - Accidents, traffic - Surgical flaps.

Due to the large number of motor vehicle accidents and their close association with head trauma, one of the most common causes of facial nerve injury is blunt trauma to the skull. By virtue of its intratemporal route, sometimes the damaged nerve needs decompressive surgery.¹ Blunt trauma is the most common cause of facial nerve injury, and more than 50% of temporal bone fractures are caused by vehicular accidents.² Longitudinal fractures account for roughly 70% to 90% of temporal bone fractures produced by a blow to the temporal or parietal bones, thus resulting in a fracture line along the long axis of the petrous pyramid.

Corresponding author: O. Neto, Unit of Neurosurgery University of Brasilia and Hospital de Base do Distrito Federal, SÔAN Quadra 605, Asa Norte, 70846-901, Brasilia, Brasil.
E-mail: oswaldo.marquez@gmail.com

¹Unit of Neurosurgery Hospital de Base do Distrito Federal Brasilia, Brazil

²Unity of Ear Nose and Throat Hospital de Base do Distrito Federal Brasilia, Brazil

³Grupo VORTEX, ENM, University of Brasilia Brasilia, Brazil

⁴Laboratório de Engenharia e Biomaterial - BioEngLab Engineering Electronic FGA - University of Brasilia Brasilia, Brazil

⁵Unit of Neurosurgery, University of Brasilia Brasilia, Brazil

The fracture crosses the floor of the middle cranial fossa near the foramen spinosum and courses anteriorly to the cerebellopontine angle, consequently injuring the facial nerve at or near its labyrinthine segment in 10% to 20% of cases.³

When it experiences an injury, trauma, or infection, the facial nerve's reaction is to swell. However, because the nerve is inside a bony canal, it is unable to do so and instead goes into distress. In order to avoid this suffering and permanent loss of function, a mastoidectomy can be performed to ease the compression of the bony canal on the facial nerve. In this surgery, the bone behind the ear is removed to improve the visualization of the facial nerve that lies within the temporal bone. The identification of the fallopian canal and exposure of the facial nerve are made through the use of a small burr and a delicate curette. The lack of possible variations in the nerve's anatomical distribution and the key elements of the surgical technique influence the risk of postoperative sequelae.⁴

The motor division of the facial nerve consists of approximately 7,000 motor axons with cell bodies located in the medullary brainstem.⁵ The facial nucleus gives off the fibers to originate the facial nerve, which then courses medially around the abducens nucleus in the pons and exits the brain stem at the cerebellopontine angle. The anatomic segments of the facial nerve can be identified on dissection of the temporal bone:⁶⁻⁸ the pontine segment, between the brain stem and porus (23 to 24 mm long); the meatal segment, within the internal auditory canal (7 to 8 mm long); the labyrinthine segment, between the meatal segment and

geniculate ganglion (4 mm long); the tympanic or horizontal segment, between the geniculate ganglion and second genu (12 to 13 mm long); and the mastoid or vertical segment, between the second genu and stylomastoid foramen (15 to 20 mm long). The facial nerve passes superior to the falciform crest in the lateral aspect of the canal and is separated from the superior vestibular nerve by a vertical crest of bone (Bill's bar).

Attributable to a complex facial nerve anatomy and meticulous surgical process, complications may result from accidental use of a curette, thermal injuries, or penetration trauma caused by the skipping motion of the drill. The most common surgical lesion is thermal trauma caused by the burr heating during otologic surgery for facial nerve decompression.^{9,10} Some studies¹¹⁻¹³ have correlated the rate of rotation of drilling instruments to temperature increase and tissue damage. The amount of heat generated by the cutting burr depends on the frictional and shearing forces at the cutting edges. Therefore, the amount of heat generated is related to the number of revolutions in cutting the material and the number of cutting edges on the burr.^{13,14} As a result of these studies, low drilling speeds have been recommended.¹³⁻¹⁴ However, other studies have demonstrated that higher rates of rotation of the cutting tool have no link to increased tissue damage.¹⁷⁻¹⁹ The nerve's function can be permanently impaired by temperatures of 41 °C to 45 °C,^{20,21} and many authors^{14,22-24} have identified 50°C as the point at which bone necrosis occurs. Thus, the goal of this study is to evaluate the thermal variation that the facial nerve is subjected to during a mastoidectomy by considering the approach and technical details and to determine if the procedure is a sufficient cause of thermal injury to the nerve.

Materials and methods

Temporal bone flaps

Cranial bone flaps were obtained from four male cadavers, aging 20 to 40 years old, who had died from intracerebral hemorrhage at our hospital. After removal, the flaps were preserved in 10% formaldehyde solution at room temperature (20 °C). The structure and anatomy of the bone flaps appeared to be normal.

Temperature measurement and acquisition

The designed signal acquisition system was divided into four blocks: 1) sensor/thermocouple; 2) signal conditioning; 3) analog signal conversion; and 4) signal acquisition and visualization by software.

The first block involves the sensors. These are devices that react and respond to environment perturbation due to the variation of some physical property - which is temperature in this case. These responses to environmental perturbations were measured by the transformation of this energy into an electrical analog signal: the voltage. Quite often the voltage measured is too small to be analyzed; therefore, the signal was conditioned through an amplifier. The second block was built using operational amplifiers in a non-inverting configuration. The third block of the signs acquisition

system used an analog-to-digital converter. These signals were converted into bits, transmitted through the parallel port, and then reached the microcomputer for processing and storage. After the simulation software captured data, statistical analysis was performed based on the calibration algorithm and later displayed in a graph. As a result, it was possible to draw some conclusions.

Thermocouple

Knowing the characteristics of the environment to be applied and the range of temperature values to be read, we chose one suitable, general-purpose Type K (Chromel/Alumel) thermocouple. This type of thermocouple is low cost, widely available in the market, and has a sweep range of -200°C to 1200°C and a sensitivity of approximately 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Signal conditioning

For a better use of the signals obtained in millivolts, we used a signal amplifier to fit the operating range of the converter. Because the converter operates between 0 V and 5 V and the analog value received is in millivolts, we used signal amplification with a gain equal to 2. The operational amplifier used was the LM324N in a non-inverting configuration. Given the desired gain and using 100 k Ω and 200 k Ω resistors, we reached a gain of 2.

These two blocks were then mounted on a breadboard, and the values obtained were analyzed by comparing them with those measured with a thermometer. It was observed that, like any electronic device, the amplification does not occur optimally. A subtle noise signal was detected but could be treated by the software. A digital filtering stage was developed by using the software for cutting signals above 10 Hz to avoid interference in reading the temperature of the nerve.

Analog signal conversion

Signals generated by analog circuits are often processed by digital circuits such as microcontrollers and microcomputers. For this processing to be performed, it was necessary to convert the analog representation to a digital language. This conversion was performed by using the 8-bit digital-to-analog converter ADC0804. Light Emitting Diodes (LEDs) were used to indicate the occurrence of conversion, and the errors found in the conversion were insignificant. The conversion time was about 34,100 μs and occurred continuously by connecting the pin RD to the pin WD of the ADC0804. The information obtained and duly converted to digital form was then transmitted, bit by bit, through a parallel port.

Signal acquisition and visualization by software

The information obtained by the thermocouple was properly amplified, converted to digital form, and then transmitted to a processor. The control of the transmission can be done by means of a microcontroller and also by a computer using various media, including the parallel port. In this study, data was transmitted to a Personal Computer

using the parallel port because the transmission is faster than the serial, and the communication cable necessary for this application is short.

On the computer, the parallel port uses a 25-pin connector (called DB-25). In addition to the eight bi-directional data bits, there are four control lines (bi-directional) and five status lines (receptive) when the Line Print Terminal (LPT) port is activated in a bi-directional mode. Using the output pins, it is possible to control processes defined by the software. In this project, these pins were used to select the channel to be read through the use of analog multiplexers.

Software in C language was developed to provide the communication between the computer and data acquisition circuit through the parallel port. In the developed software, a system that uses the channels controls of the parallel port to select the sensor to be read was created, and then it read its entries resulting from the conversion. The processes of signals acquisition, filtering, and system calibration were performed by using the software. Hence, it was possible to display the desired signals.

After testing the system in the breadboard, a schematic was generated by using the opensource software KiCad and the manufactured printed circuit board. The circuit was assembled and tested, and the system and thermocouple was calibrated.

Drilling procedure and irrigation system

The same surgeon (ORMN) performed the drilling procedure under microscope (Zeiss® model OMNI) with eight temporal human bones preserved in 10% formaldehyde solution. Four of them were drilled with a high-power drill system at its highest speed (100,000 rpm, high-speed Drill-Codman®), and the others were drilled with a low-power drill system at its highest speed (30,000 rpm, LB 100 Beltec®).

The physiological serum 0.9% maintained at room temperature (20°C) was used as cooling fluid. Upon the continuous irrigation procedures for both techniques (high and low speed drill) the drills were equipped with a coupled drill nosepiece channel, an irrigation module (Malis, CMC-II; Johnson & Johnson, Chicago, IL, USA) that stabilized the irrigation at a constant flow rate of 0.2 ml/s. Meanwhile, the irrigation on demand procedures for both techniques (high and low speed drill) were not controlled intentionally and were performed like a real surgery.

The surgical technique chosen was wall-down mastoidectomy in which a radical mastoidectomy was performed. The operative fields included the entire mastoid, middle ear, and epitympanum - with removal of the posterior canal wall. In order to access the facial recess area, a mastoidectomy exposed the capsule of the posterior and lateral canals and the tympanic and mastoid facial segments. After the mastoidectomy, the bones were maintained at controlled room temperature (20 °C) until thermal equilibrium before temperature recording, drilling pressure and times were established by the surgeon in order to simulate a real surgery. These variables were not controlled intentionally, for the surgeon had no access to the temperature measurements.

All the dissections were performed by using a new fluted ball tip cutter of 2.4 mm diameter and diamond ball burr of

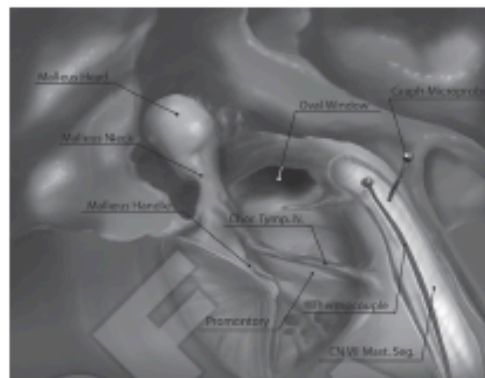


Figure 1.—Picture depicts the final aspect of the surgery performed. Chor. = chorda; CN = cranial nerve; Mast. = mastoid; N. = nerve; Seg. = segment; Tym. = tympanic.

2.1 mm diameter. In order to compare the different drilling procedures, the temperatures measured at 10 mm, 5 mm, and 2 mm from the nerve canal were stored as guided by the graph metal microprobe. The dissection procedures were performed with physiological serum 0.9% irrigation as cooling fluid - controlled by the irrigation module (Malis, CMC-II) at an irrigation rate of 0.2 ml/s when the surgeon required continuous irrigation, and not controlled when the irrigation required was on demand. All the procedures were performed using new diamond burrs at 2 mm and new cutting burrs at 10 mm and 5 mm. Constant suction was performed in all groups. During all the procedures, the drill positions were registered and the temperature was monitored and recorded at each position (10 mm, 5 mm, and 2 mm) for all four groups: high-speed (HS) drill with continuous irrigation (CI), low-speed (LS) drill with continuous irrigation (CI), high-speed drill (HS) with irrigation on demand (DI), and low-speed (LS) drill with irrigation on demand (DI). The drilling time at each position and the temperature values were recorded until the surgeon fully reached the next point guided by the graph metal microprobe (Figure 1).

Statistical analysis

In this experiment, the differences in the temperature values on the drilled prescribed points with each combination of variables (drilling with continuous irrigation versus drilling with irrigation on demand) were statistically compared by analysis of variance (ANOVA). In all analysis, $P < 0.05$ was considered statistically significant.

Results

The experimental tests were conducted in a laboratory of human anatomy at the Hospital de Base, Brasília, Brazil. One thermocouple was positioned in contact and along the facial nerve of a cadaver specimen, and real mastoidectomy surgery was simulated. It was possible to capture

TABLE I.—Stages of the surgery performed as illustrated in Figure 2.

Stage	Time ^a
Beginning	00:00:00
Arrival in the location	00:08:03
Incus visualization	00:15:32
Canal wall down	00:22:08
10 mm of the nerve	00:25:03
5 mm of the nerve	00:26:19
Opening the canal	00:40:13
1 to 2 mm of the nerve	00:42:14
End	00:51:00

^a Time in minutes.

and store the temperature data on the computer in a .txt file using the data acquisition system. The data from the two measuring channels were stored as a sequence of data for each channel, and the average values of the sequences were calculated, resulting in a temperature curve as a function of elapsed time.

Table I presents the stages of the surgery (Figure 2). Tables II-IV show the average temperatures measured during the drilling procedure at 10 mm, 5 mm, and 2 mm from the facial nerve for groups with a high-speed and high-power (HS) drill and a low-speed and low-power (LS) drill. As expected, by observing tables 2 to 4, the procedure performed with the high-speed drill with irrigation on demand to 2 mm distance from the canal had the highest temperature mean (32.20 °C) in the facial nerve in relation to other queries, while the low-speed drill with continuous irrigation to 10 mm distance from the canal provided the smallest temperature mean in the facial nerve (22.17 °C, [T = 20.1 ± 0.2 °C]), statistically significant by ANOVA (P < 0.05).

Discussion

Although it has not been shown, an important fact was observed during the irrigation phase of the drilling: a sud-

TABLE II.—Average temperature (°C) of the facial nerve during drilling procedure to 10 mm distance from facial nerve using cutting bars of 2.4 mm diameter.

GROUP ^a	N	MEANS ^b
HS-DI	155	25.08 ^b
HS-CI	187	24.36 ^b
LS-DI	605	23.67 ^c
LS-CI	176	22.17 ^d

^aHS-DI, High-speed with irrigation on demand; HS-CI, High-speed with continuous irrigation; LS-DI, Low-speed with irrigation on demand; LS-CI, Low-speed with continuous irrigation.^bMeans with the same letter do not differ between themselves by ANOVA (P<0.05).

TABLE III.—Average temperature (°C) of the facial nerve during drilling procedure to 5 mm distance from facial nerve using cutting bars of 2.4 mm diameter.

Group ^a	N	Mean ^b
HS-DI	111	26.94 ^b
HS-CI	119	25.46 ^b
LS-DI	145	25.32 ^b
LS-CI	834	25.10 ^c

^aHS-DI, High-speed with irrigation on demand; HS-CI, High-speed with continuous irrigation; LS-DI, Low-speed with irrigation on demand; LS-CI, Low-speed with continuous irrigation.^bMeans with the same letter do not differ between themselves by ANOVA (P<0.05).

den increase in temperature occurred after removal of the drill. This mainly occurred when using the cutting barr drill and was caused by the transfer of friction energy (constantly produced by the drill) along the cut material during cutting, through the bone tissue, and to the facial nerve. After the drill was removed, the sensor perceived the energy transferred as a temperature increase. At the distance of 10 mm from the facial nerve, the procedure performed with the HS drill with irrigation on demand had a higher temperature rise in the facial nerve in relation to other queries.

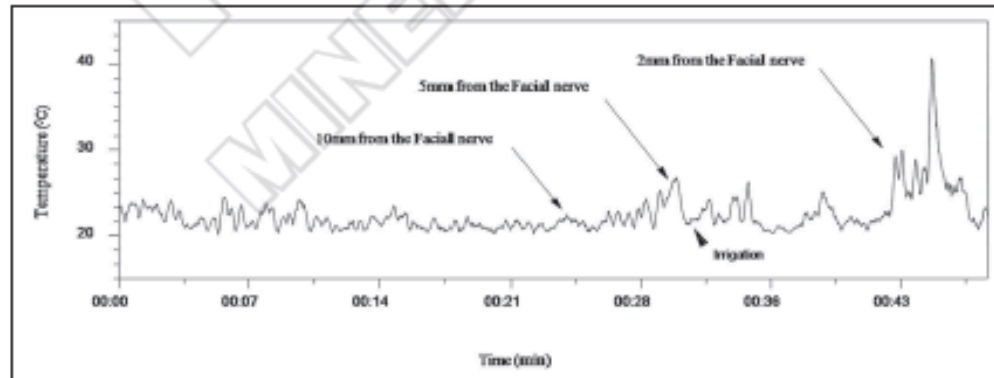


Figure 2.—Typical temperature behavior during mastoidectomy using a high-speed drill with serum irrigation on demand. The solid arrow shows the abrupt decrease of the temperature after the irrigation. The line graph depicts a typical temperature behavior during the mastoidectomy using high speed drill with serum irrigation on demand, the solid arrow show the abrupt decrease of the temperature after the irrigation.

TABLE IV.—Average temperature ($^{\circ}\text{C}$) of the facial nerve during drilling procedure to 2 mm distance from facial nerve using diamond ball burs of 2.1 mm diameter.

Group ¹	N.	Mean ²
HS-DI	616	32.20 ^a
LS-DI	190	28.60 ^b
HS-CI	332	28.45 ^b
LS-CI	360	27.05 ^c

¹HS-DI: high-speed with irrigation on demand; HS-CI: high-speed with continuous irrigation; LS-DI: low-speed with irrigation on demand; LS-CI: low-speed continuous irrigation. Mean² with the same letter do not differ between themselves by ANOVA ($P < 0.05$).

TABLE V.—Comparison between the temperature means ($^{\circ}\text{C}$) of the facial nerve during drilling procedure to 10 mm, 5 mm distance from facial nerve using cutting burs of 2.4 mm diameter and to 2 mm distance from facial nerve using diamond burs of 2.1 mm.

Group ¹	N.	Mean ²
HS-DI	155	25.08 ^b
HS-CI	187	24.36 ^b
LS-DI	605	23.67 ^c
LS-CI	176	22.17 ^c

¹HS-DI: high-speed with irrigation on demand; HS-CI: high-speed with continuous irrigation; LS-DI: low-speed with irrigation on demand; LS-CI: low-speed with continuous irrigation.

²Means with the same letter do not differ between themselves by ANOVA ($P < 0.05$).

There were no statistically significant differences between the procedures performed with a high-speed drill with continuous irrigation and on demand ($P > 0.05$), although there were differences between these procedures and those performed with the LS drills. Continuous irrigation with the low-speed drill provided the smallest temperature increase in the facial nerve ($T = 20.1 \pm 0.2$ $^{\circ}\text{C}$). At the distances of 5 mm and 2 mm from the facial nerve, the procedure performed with the high-speed drill with DI had a higher temperature rise in the facial nerve in relation to other queries. No difference was found between LS with DI and HS with CI ($P > 0.05$), although these procedures differed from those performed with the low-speed drill with continuous irrigation. Continuous irrigation with the low-speed drill provided the smallest temperature increase in the facial nerve ($T = 20.1 \pm 0.2$ $^{\circ}\text{C}$), a similar finding compared to the distance of 10 mm.

Another important observation concerns the influence of the type of drill and its diameter. Cutting drills cut more material and therefore generate more heat during the drilling procedure, whereas fine-trimming drills (diamond) generate less heat. Regarding the diameter, for a given speed, smaller bits tend to focus the drilling energy in smaller areas, thus causing greater increases in local temperature. Still, smaller drills remove less material per rotation and generate less energy resulting from friction. Accordingly, with continuous 0.9% serum irrigation, the temperature increase in the nerve was significantly lower than the temperature increase measured during the irrigation on demand. There were also statistical differences ($P < 0.05$) between results for procedures performed with the different-power drills.

In the procedures performed with irrigation on demand, the observed temperature increase caused by the drilling was sufficiently high enough to inflict potential thermal injury to the nerve. The use of the low-power drill generated lower temperatures and provided longer procedures than the use of the high-power drill. For the cases tested, the diamond burs drill generated lower temperatures. In conclusion, these results can be explained by the inherent physical phenomenon of the drilling process transferring energy from the drill to bone. If the drill does not have a sharp cutting edge, it transfers more energy to the bone because of increased friction, which explains the lower temperatures generated by diamond burs drill. The power of the drill is important as well, since it limits the total energy that could be transferred to the bone through friction. Although the procedure takes longer with a low-power drill, the lower power and longer duration allow a cooling phenomenon to take place and generate a lower temperature in the nerve channel. The temperature plot obtained shows the typical ascending and descending behaviors of the temperature in the nerve channel during the mastoid surgery steps, which were performed as in a real surgery procedure.

Conclusions

Higher temperatures were observed in higher drilling speeds both in continuous irrigation or irrigation on demand. It is also important to observe that in the series with low and high-speed drilling with irrigation on demand the temperature increase caused by the drilling was sufficiently high enough to inflict potential thermal injury to the nerve.

Riassunto

Analisi della variazione termica nel nervo facciale indotta dalla dissezione del processo mastoideo con l'utilizzo di trapani a bassa e alta potenza

Obiettivo. A causa del grande numero di incidenti automobilistici che si verificano al giorno d'oggi e della loro stretta associazione con il trauma cranico, considerato una causa frequente di infortunio del nervo facciale, e a causa della via anatomica trasversata, in alcuni casi selezionati può essere possibile eseguire una decompressione chirurgica. Le lesioni termiche dovute alla procedura di decompressione del nervo facciale sono comuni. Tali fenomeni e il loro impatto sull'esito del recupero funzionale del nervo facciale non sono ancora stati valutati. Obiettivo del presente studio è stato quello di valutare la variazione termica (in $^{\circ}\text{C}$) del nervo facciale durante una mastoidectomia radicale standard effettuata con un trapano ad alta o bassa velocità, utilizzando la trapanazione con irrigazione continua versus la trapanazione con irrigazione su richiesta.

Metodi. Il gruppo campione era costituito da otto campioni di ossa temporali conservate in una soluzione di formaldeide al 10%, operati con irrigazione continua o irrigazione su richiesta. Quattro campioni sono stati trapanati con un trapano ad alta velocità e i rimanenti con un dispositivo a bassa velocità. L'analisi della varianza (ANOVA) è stata utilizzata per l'analisi dei dati derivanti dallo studio.

Risultati. La procedura effettuata con il trapano ad alta velocità con irrigazione su richiesta ha avuto un maggiore aumento termico nel nervo facciale rispetto alle altre serie. Il trapano a bassa velocità con irrigazione continua ha causato il minore aumento termico nel nervo facciale ($T = 20,1 \pm 0,2$ $^{\circ}\text{C}$).

Conclusioni. Nelle serie con trapanazione a bassa e ad alta ve-

locità con irrigazione su richiesta l'aumento di temperatura causato dalla trapanazione era sufficientemente elevato da causare una potenziale lesione termica al nervo.

PAROLE CHIAVE: Nervo facciale - Incidenti - Flap chirurgici.

References

1. Turner JWA. Facial palsy in closed head injuries. *Lancet* 1944;246:756-7.
2. Adour KK, Wingard J. Nonepidemic incidence of idiopathic facial paralysis. Seasonal distribution of 419 cases in three years. *JAMA* 1974;227:853-4.
3. Fisch U. Facial paralysis in fractures of the petrous bone. *Laryngoscope* 1974;84:2141-54.
4. Crignaniello C, Kamel M, Al-Mefty O. Utilization of fluorescein for identification and preservation of the facial nerve and semicircular canals for safe mastoidectomy: a proof of concept laboratory cadaveric study. *Neurosurgery* 2010;66:204-7.
5. Cumley RL. Mechanisms of synkinesis. *Laryngoscope* 1979;89:1847-54.
6. Hadlock TA, Cheney ML, McKenna MJ. Facial reanimation surgery. In: Nadol JB Jr, McKenna MJ, eds. *Surgery of the ear and temporal bone*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 123-33.
7. Nager GT, Proctor B. Anatomical variations and anomalies involving the facial canal. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1982;91:45-61.
8. Schuknecht HF, Gulya AJ. Anatomy of the temporal bone with surgical implications. Philadelphia, PA: Lea & Febiger; 1986.
9. Castañares S. Facial nerve paralyses coincident with, or subsequent to, cholesteatoma. *Plast Reconstr Surg* 1974;54:637-43.
10. Keim RJ, Erdreich J, Love TJ. Thermal hazards in mastoid surgery: an evaluation of instruments and irrigation techniques. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1979;87:472-8.
11. Anderson R, Finlayson BL. Sequelae of transection of bone. *Surgery* 1943;13:46-54.
12. Peterson LT. Principles of internal fixation with plates and screws. *AMA Arch Surg* 1952;64:345-54.
13. Thompson HC. Effect of drilling into bone. *J Oral Surg (Chic)* 1958;16:22-30.
14. Abbas CM, Jones RO. Measurements of drill-induced temperature change in the facial nerve during mastoid surgery: a cadaveric model using diamond burs. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2001;110:867-70.
15. Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent* 1983;50:101-7.
16. Honer DB. A self-powered, low-speed surgical drill: prevention of thermal necrosis. *Am J Orthop* 1961;3:278-83.
17. Boyne PJ. Histologic response of bone to sectioning by high speed rotary instruments. *J Dent Res* 1966;45:270-6.
18. Hall RM. The effect of high speed bone cutting without the use of water coolant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;20:150-3.
19. Moss RW. Histopathologic reaction of bone to surgical cutting. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1964;17:405-14.
20. Aslan A, Vitansverer HS, Aslan GC, Eskizmir G, Giny G. Effect of thermal energy produced by drilling on the facial nerve: histopathologic evaluation in guinea pigs. *J Laryngol Otol* 2005;119:600-5.
21. Kondo S, Okada Y, Iseki H et al. Thermological study of drilling bone tissue with a high-speed drill. *Neurosurgery* 2000;46:1162-8.
22. Bachus KN, Rondina MT, Hutchinson DT. The effects of drilling force on cortical temperatures and their duration. An in vitro study. *Med Eng Phys* 2000;22:685-91.
23. Kruse WR, Bradbury DW, Kelly JE, Lancelord EM. Temperature elevations in orthopaedic cutting operations. *J Biomech* 1982;15:267-75.
24. Lundskog J. Heat and bone tissue. An experimental investigation of the thermal properties of bone and threshold levels for thermal injury. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1972;9:1-80.

Received on February 28, 2013.

Accepted for publication on September 30, 2013.