MARCUS ANDRÉ ACIOLY DE SOUSA

**Critérios eletrofisiológicos de prognóstico da função facial
baseados no potencial evocado motor do nervo facial
intraoperatório durante os diversos tempos cirúrgicos da
cirurgia do schwannoma vestibular**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Doutor em Ciências

Programa de Neurologia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Pires de Aguiar

SÃO PAULO

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Acioly de Sousa, Marcus André

Crêrios eletrofisiológicos de prognóstico da função facial baseados no potencial evocado motor do nervo facial intraoperatório durante os diversos tempos cirúrgicos da cirurgia do schwannoma vestibular / Marcus André Acioly de Sousa. -- São Paulo, 2011.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Programa de Neurologia.

Orientador: Paulo Henrique Pires de Aguiar.

Descritores: 1.Estimulação elétrica transcraniana 2.Monitorização intra-operatória 3.Nervo facial 4.Potencial evocado motor 5.Neuroma acústico

USP/FM/DBD-289/11

A Patrícia, minha esposa,
pelo apoio incondicional, pela paciência e pela compreensão.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto. A eles dedico este trabalho. Aliás, e parafraseando Shakespeare, os amigos são a família que te deixam escolher.

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Pires de Aguiar, por acreditar no meu trabalho, pelas excelentes contribuições na concepção e no desenvolvimento deste projeto. Agradeço, sobretudo, pela segura e objetiva orientação.

Ao Prof. Dr. med. Marcos Tatagiba, por tão bem me receber em Tübingen. Mesmo sem bolsa de estudos, proporcionou-me todas as condições necessárias para a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Carlos Telles, pelo incondicional apoio durante o período da residência, e também pelo esforço em conseguir desenredar todos os procedimentos necessários a minha ida à Alemanha.

Ao Prof. Carlos Umberto Pereira, pela motivação e por seu furor científico.

A Marina Liebsch, grande amiga e merecedora dos mesmos créditos pelo desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. med. Alireza Gharabaghi, por proporcionar-me a bolsa de estudos durante a fase final deste projeto.

Ao Prof. Dr. med. Florian Roser e ao Dr. med. Florian Ebner, pelo apoio incondicional, pelo estímulo e pela motivação.

Aos Amigos Carlos Carvalho e Eva Rapp, pela criação do *Neuroteam*, pelo apoio, pelas viagens, pelos trabalhos, pela amizade, e pelo *Neckar Müller*.

Aos Amigos Fabian e Corinna Bamberg, Sabine, Danyang, Thornsten e Andreas – companheiros do WG: por tornarem minha estada na Alemanha muito mais prazerosa.

Ao Amigo Ronir Luiz Raggio, pela assistência prestada na análise estatística, pela disponibilidade e pela paciência.

Aos amigos Gerd Pfister, Carlsten Schäffler, Susanne Efferenn, Cornelia Daiker, Thaís Filgueiras e Reiko por todo o apoio operacional.

A Profa. Dra. Nilce Rangel, pela revisão de Português e pelos didáticos ensinamentos sobre a nova Ortografia da Língua Portuguesa.

A minha esposa, Patrícia; a meus sogros, Helena e Edmundo, e a meus Pais, exemplos, Conceição e Marcus: meu muito obrigado pelas lições dos 10%.

“Faber est suae quisque fortunae”

“Cada um é artífice de seu destino.”

Appius Claudius Caecus

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver)

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3ª ed.

São Paulo: Serviço de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas e símbolos

Lista de figuras

Lista de tabelas

Resumo

Summary

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Lesão do nervo facial em cirurgias do ângulo ponto-cerebelar	7
1.2	Impacto da paralisia facial na qualidade de vida	9
1.3	Mecanismos do déficit pós-operatório dos nervos cranianos.....	11
1.3.1	Paralisia facial pós-operatória tardia	14
1.4	Monitorização intraoperatória do nervo facial.....	16
1.4.1	Histórico.....	16
1.4.2	O impacto da monitorização intraoperatória na preservação anatômica e funcional do nervo facial.....	18
1.4.3	Objetivos da monitorização intraoperatória do nervo facial	23
1.4.4	Limitações das técnicas tradicionais de monitorização intraoperatória do nervo facial	25
2	OBJETIVOS.....	30
3	REVISÃO DA LITERATURA	32
3.1	Considerações técnicas	33
3.1.1	Tipos de estímulos	33
3.1.2	Tipos de estimuladores.....	34
3.1.3	Tipos de ponteiras de estimulação	35
3.1.4	Tipos e montagem dos eletrodos de registro.....	38
3.1.5	Anestesia.....	41
3.2	Estimulação elétrica direta	42
3.2.1	Utilização intraoperatória	44
3.2.2	Predição da função facial	47

3.3	Eletromiografia contínua	53
3.3.1	Utilização intraoperatória	61
3.3.2	Predição da função.....	62
3.4	Histórico da estimulação cerebral transcraniana e introdução do potencial evocado motor à monitorização do nervo facial.....	65
4	MÉTODOS.....	69
4.1	Critérios de seleção	70
4.2	Métodos	70
4.2.1	Desenho do estudo e criação do banco de dados.....	70
4.2.2	Avaliação clínica.....	71
4.2.3	Método cirúrgico	73
4.2.4	Monitorização intraoperatória	76
4.2.5	Análise estatística.....	83
4.2.6	Aspectos éticos	84
5	RESULTADOS	85
5.1	Resultados cirúrgicos	86
5.2	Resultados eletrofisiológicos.....	88
6	DISCUSSÃO	96
6.1	Protocolo de estimulação do potencial evocado motor facial.....	97
6.2	Potencial evocado motor facial intraoperatório e prognóstico da função facial	100
6.3	Variação intraoperatória e parâmetros quantitativos do potencial evocado motor facial na predição da função pós-operatória.....	105
7	CONCLUSÕES	118
8	ANEXOS	121
9	REFERÊNCIAS.....	157

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACP	–	músculo abdutor curto do polegar
APC	–	ângulo ponto-cerebelar
dB	–	decibéis
EED	–	estimulação elétrica direta
EEG	–	eletroencefalografia
EET	–	estimulação elétrica transcraniana
EMG	–	eletromiografia
HB	–	classificação de House e Brackmann
Hz	–	Hertz
IIE	–	intervalo interestímulo
Kohms	–	kilo-ohms
LCR	–	líquido cefalorraquidiano
mA	–	mili-ampère
MAI	–	meato acústico interno
min	–	minuto
MIONF	–	monitorização intraoperatória do nervo facial
ms	–	milissegundos
µsec	–	microssegundos
NA	–	nível de audição
NC	–	nervo craniano
NF	–	nervo facial
µV	–	microvolts
PAMC	–	potencial de ação muscular composto
PEA	–	potencial evocado auditivo
PEM	–	potencial evocado motor

PEMF	–	potencial evocado motor facial
PESS	–	potencial evocado somatossensitivo
PFT	–	paralisia facial tardia
REZ	–	zona de saída da raiz
seg	–	segundos
SV	–	schwannoma vestibular
V	–	volts

FIGURAS

Figura 1 – Visão superior das fossas cranianas demonstrando o tronco encefálico e os nervos cranianos (<i>De humanis corporis fabrica</i>)	4
Figura 2 – Ilustração da superfície inferior do encéfalo (<i>Tabula baseos encephali</i> , Soemmerring)	4
Figura 3 – Foto intraoperatória da primeira cirurgia do ângulo ponto-cerebelar	6
Figura 4 – Foto intraoperatória após a ressecção da lesão.	6
Figura 5 – Desenho esquemático mostrando a relação do tumor com as estruturas da fossa posterior.....	6
Figura 6 – Fotografia do tumor logo após a ressecção.	6
Figura 7 – Fotografia da paciente 12 anos após a cirurgia.	7
Figura 8 – A redução da distância interpalpebral (acima) e a elevação do canto da boca (abaixo) sugerem uma contratura dos músculos faciais em resposta à regeneração nervosa após paralisia de Bell.....	11
Figura 9 – Mecanismos da estimulação elétrica direta.	43
Figura 10 – Mecanismos de registro da EMG contínua em resposta às manobras cirúrgicas.....	54
Figura 11 – Esquema da monitorização acústica de EMG facial.	54
Figura 12 – Representações eletromiográficas dos potenciais em ponta (<i>spikes</i>).....	60
Figura 13 – Representações eletromiográficas das atividades repetitivas do tipo A (<i>A-trains</i>)	60
Figura 14 – Desenhos esquemáticos (A-F) e fotografias intraoperatórias (G, H) dos diversos tempos cirúrgicos da ressecção de um grande schwannoma vestibular.....	75
Figura 15 – Montagem dos eletrodos de estimulação elétrica transcraniana	80

Figura 16 – Medidas quantitativas de um potencial de unidade motora.	82
Figura 17 – Diagramas de caixa (<i>box plots</i>) da variação intraoperatória das relações de amplitude (%) durante os diversos tempos cirúrgicos da ressecção do schwannoma vestibular.	89
Figura 18 – Registros intra-operatórios dos potenciais evocados motores faciais (PEMF).....	95

TABELAS

Tabela 1 – Prognóstico da função facial no pós-operatório de ressecção de Schwannoma Vestibular	9
Tabela 2 – Classificação de House e Brackmann (HB) da função facial	72
Tabela 3 – Classificação de Hannover de extensão tumoral	73
Tabela 4 – Dados da Casuística	87
Tabela 5 – Correlação das relações de amplitude dos potenciais motores dos músculos orbiculares do olho e da boca com a função facial pós-operatória.....	90
Tabela 6 – Correlação da complexidade dos potenciais motores dos músculos orbiculares do olho e da boca com a função facial pós-operatória.....	91
Tabela 7 – Correlação das relações de amplitude dos potenciais motores dos músculos orbiculares do olho e da boca com a função facial pós-operatória imediata, estratificados pela complexidade dos potenciais durante os diversos tempos cirúrgicos da ressecção tumoral	93

RESUMO

Acioly de Sousa MA. *Crterios eletrofisiolgicos de prognstico da funo facial baseados no potencial evocado motor do nervo facial intraoperatrio durante os diversos tempos cirrgicos da cirurgia do schwannoma vestibular* [tese]. So Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de So Paulo; 2011. 192p.

O potencial evocado motor facial (PEMF) tem-se mostrado um excelente mtodo de monitorizao do nervo facial, gerando resultados bastante confiveis e reproduveis no que tange predio da funo facial ps-operatria. O critrio eletrofisiolgico mais utilizado at ento para tanto tem sido a relao de amplitude do PEMF final-valor de base. Os objetivos deste trabalho foram avaliar as alteraes intraoperatrias da amplitude e da complexidade do PEMF, correlacion-las com o prognstico facial no ps-operatrio imediato e tardio e verificar se amplitude e complexidade constituem variveis independentes de predio funcional. Os registros dos potenciais intraoperatrios dos msculos orbiculares do olho e da boca de 35 pacientes portadores de schwannoma vestibular (SV) foram coletados e analisados retrospectivamente de acordo com tempos cirrgicos preestabelecidos: inicial, abertura da dura-mter, dissecao do tumor (TuDis), resseco do tumor (TuRes) e final. No ps-operatrio imediato, a funo facial apresentou uma significativa correlao negativa com as relaes de amplitude do PEMF durante a TuDis, a TuRes e ao final do procedimento nos msculos orbiculares do olho ($p = 0,003$, $0,055$ e $0,028$, respectivamente) e da boca ($p = 0,002$, $0,104$ e $0,014$, respectivamente). No ltimo seguimento, entretanto, a correlao foi significativa apenas para o msculo orbicular da boca, durante a TuDis ($p = 0,005$) e ao final do procedimento ($p = 0,102$). As variaes da complexidade dos potenciais alcanaram resultados mais significativos tanto no ps-operatrio imediato, quanto no tardio, de forma que houve uma correlao negativa no msculo orbicular do olho apenas nas medidas finais (imediato, $p = 0,023$; seguimento, $p = 0,116$) e no msculo orbicular da boca durante a TuDis, a TuRes e a medida final (imediato, $p = 0,071$, $0,000$ e $0,001$, respectivamente; seguimento, $p = 0,015$, $0,001$ e $0,01$, respectivamente). As alteraes intraoperatrias das relaes de amplitude e de complexidade dos PEMFs parecem representar variveis independentes, podendo ser utilizadas na predio da funo facial ps-operatria durante cirurgias de resseco de SV. Baseados nos resultados deste trabalho, a monitorizao evento-valor de base bastante til, justificando mudanas imediatas da estratgia cirrgica, com o intuito de reduzir as chances de uma leso definitiva do nervo facial.

Descritores: 1.Estimulao eltrica transcraniana 2.Monitorizao intraoperatria 3.Nervo Facial 4.Potencial evocado motor 5.Schwannoma vestibular

SUMMARY

Acioly de Sousa MA. *Electrophysiological parameters of facial motor evoked potential predict postoperative facial function during vestibular schwannoma resection* [thesis]. São Paulo: "Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2011. 192p.

Facial motor evoked potential (FMEP) amplitude ratio reduction at the end of the surgery has been identified as a good predictor for postoperative facial nerve outcome. We sought to investigate variations in FMEP amplitude and waveform morphology during vestibular schwannoma (VS) resection and to correlate these measures with postoperative facial function immediately after surgery and at the last follow-up. Besides we analyzed the relationship between quantitative parameters. Intraoperative orbicularis oculi and oris muscles FMEP data from 35 patients undergoing surgery for VS resection were collected, then analyzed by surgical stage: initial, dural opening, tumor dissection (TuDis), tumor resection (TuRes) and final. Immediately after surgery, postoperative facial function correlated significantly with the FMEP amplitude ratio during TuDis, TuRes and final in both the orbicularis oculi (p 's=0.003, 0.055 and 0.028, respectively) and oris muscles (p 's=0.002, 0.104 and 0.014, respectively). At the last follow-up, however, facial function correlated significantly with the FMEP amplitude ratio only during TuDis (p =0.005) and final (p =0.102) for the orbicularis oris muscle. At both time points, postoperative facial paresis correlated significantly with FMEP waveform deterioration in orbicularis oculi during final (immediate, p =0.023; follow-up, p =0.116) and in orbicularis oris during TuDis, TuRes and final (immediate, p 's=0.071, 0.000 and 0.001, respectively; follow-up, p 's=0.015, 0.001 and 0.01, respectively). FMEP amplitude ratio and waveform morphology during VS resection seem to represent independent quantitative parameters that can be used to predict postoperative facial function. Event-to-baseline FMEP monitoring is quite useful to dictate when intraoperative changes in surgical strategy are warranted to reduce chances of facial nerve injury.

Descriptors: 1.Facial nerve 2.Intraoperative monitoring 3.Motor evoked potential 4.Transcranial electrical stimulation 5.Vestibular schwannoma

1 INTRODUÇÃO

A representação artística da paralisia facial desde os antigos egípcios, passando por gregos, romanos, incas, assim como por outras culturas nativas da América pré-colombiana indica, de certa forma, que a história da paralisia facial acompanha a própria história da raça humana ¹. Cabe ressaltar, contudo, que o reconhecimento da doença ocorreu bem antes do entendimento da anatomia e da fisiologia dos nervos cranianos. Certamente a proibição de dissecações em humanos e a falta de conhecimentos de técnicas de fixação para cadáveres contribuíram para esse atraso até pelo menos o século 18 ².

Sabe-se que a primeira enumeração dos nervos cranianos foi desenvolvida por Galeno, médico e anatomista nascido em Pérgamo, na Grécia antiga, atual Turquia, e que trabalhou em Roma durante o século segundo ². Galeno descreveu inicialmente sete pares de nervos cranianos, sendo o quinto deles composto por dois nervos diferentes: o nervo facial e o vestibulo-coclear da terminologia moderna ². A descrição de Galeno permaneceu como a fonte de autoridade no que diz respeito à anatomia humana durante toda a Idade Média ².

Não obstante, o primeiro tratado médico de paralisia facial é atribuído à Avicenna (Abu-Ali al Husayn ibn Abdalla Ibn Sina, 980-1037 D.C.), que evidenciou um conhecimento considerado bastante avançado para o seu tempo ^{1,3,4}. Tal observação deve-se ao reconhecimento das paralisias faciais

centrais e periféricas, bem como às suas conjecturas sobre as causas e a fisiopatologia da doença. Compressão após lesão nervosa ou crescimento tumoral ou ainda secção do nervo já constavam entre as causas de paralisia facial em sua obra ⁴. Avicenna contribuiu não só para o desenvolvimento de terapias clínicas e cirúrgicas, como também para o reconhecimento do prognóstico de tais lesões ⁴.

Ao final da Idade Média, os trabalhos iniciais de Galeno foram sobrepujados pelas descrições e ilustrações impressas por Andreas Vesalius entre 1537 e 1543, o qual é considerado o reformador da anatomia ². Embora Vesalius tenha mantido a descrição dos sete pares de nervos cranianos de Galeno, algumas figuras de sua obra demonstram representações fidedignas dos nervos III-VII da terminologia moderna ² (Figura 1). A descrição dos nervos cranianos em sete pares perdurou até o ano de 1779, quando então foram reclassificados em 12 pares pelo anatomista alemão Samuel Thomas Soemmerring em sua tese de Doutorado ² (Figura 2). Essa classificação já incluía o nervo intermédio junto ao sétimo par (nervo facial) e é essencialmente utilizada até os dias atuais ². Apesar da descrição de Soemmerring, o nervo facial foi reconhecido como nervo motor da face apenas em 1821 por Sir Charles Bell ³.

Figura 1 – Visão superior das fossas cranianas demonstrando o tronco encefálico e os nervos cranianos (*De humanis corporis fabrica*, Vesalius 1543, Figura 14). O nervo facial já estava representado, no entanto ainda não havia sido descrito de acordo com a terminologia moderna (seta preta). Adaptado de Shaw ²

Figura 2 – Ilustração da superfície inferior do encéfalo (*Tabula baseos encephali*, Soemmerring 1799, frontispiece). Adaptado de Shaw ²

Praticamente um século se passou entre o reconhecimento da fisiologia do nervo facial e a descrição da primeira ressecção com sucesso de um tumor do ângulo ponto-cerebelar (APC) ^{5,6}. Em 1894, o cirurgião inglês Sir Charles Ballance (1856-1936) relatou o caso de uma mulher de 49 anos de idade portadora de um tumor localizado na superfície posterior do osso petroso ^{5,6}. O quinto e o sétimo nervos cranianos não foram preservados durante a cirurgia, o que ocasionou uma úlcera do globo ocular direito, culminando em sua ressecção *a posteriori* ⁵. Em que pese a tal fato, a paciente permaneceu viva por 12 anos após a cirurgia, embora mantendo o mesmo estado clínico ⁵ (Figuras 3-7).

Oberva-se que, naquela época, a paralisia facial representava uma aceitável sequela das cirurgias do APC, conforme enfatizava Dandy, em 1925 ⁷: “Um importante sacrifício desta cirurgia [remoção completa do schwannoma vestibular (SV)] é a paralisia facial”. Dandy ⁷ descreveu modificações no acesso unilateral ao APC originalmente proposto pelo Dr. Fedor Krause em 1903 ⁸, objetivando a ressecção completa do SV e sugerindo a possibilidade, no futuro, da preservação do nervo facial (NF) ⁷. Essa afirmação soou profética de certa forma, uma vez que, 6 anos após, Cairns descreveu 3 casos de preservação anatômica do NF em cirurgias para ressecção de SV ⁹.

Além da descrição da preservação anatômica, Cairns ⁹ também estabeleceu observações interessantes sobre a recuperação espontânea da paralisia facial que se segue à remoção tumoral. Disse ele:

Essas experiências sugerem que pode ser possível remover um tumor do acústico e a sua cápsula num certo número de pacientes sem destruir o nervo facial, um procedimento que tem muitas vantagens sobre a anastomose espino-facial ou hipoglosso-facial. Parece que o nervo facial pode ser lesado consideravelmente durante a cirurgia e ainda se recuperar se o mesmo for mantido em continuidade. Em tais casos, é aconselhável aguardar algum tempo antes da realização da anastomose espino-facial ou hipoglosso-facial.

Surpreendentemente, em 1904, Cairns já reconhecia que Stewart e Holmes haviam descrito um caso de evidente preservação anatômica do NF, após cirurgia para ressecção de SV, em que a função facial recuperou-se espontaneamente após sete meses de seguimento ⁹.

Figura 3 – Foto intraoperatória da primeira cirurgia do ângulo ponto-cerebelar, em que a paciente sobreviveu. Adaptado de Ballance ⁵ (1907, *Some points in the surgery of the brain and its membranes*) com permissão de *Becker Medical Library, Washington University School of Medicine*

Figura 4 – Foto intraoperatória após a ressecção da lesão. Adaptado de Balance ⁵ (1907, *Some points in the surgery of the brain and its membranes*) com permissão de *Becker Medical Library, Washington University School of Medicine*

Figura 5 – Desenho esquemático mostrando a relação do tumor com as estruturas da fossa posterior. Adaptado de Balance ⁵ (1907, *Some points in the surgery of the brain and its membranes*) com permissão de *Becker Medical Library, Washington University School of Medicine*

Figura 6 – Fotografia do tumor logo após a ressecção. Adaptado de Ballance ⁵ (1907, *Some points in the surgery of the brain and its membranes*) com permissão de *Becker Medical Library, Washington University School of Medicine*

Figura 7 – Fotografia da paciente 12 anos após a cirurgia. Adaptado de Ballance ⁵ (1907, *Some points in the surgery of the brain and its membranes*) com permissão de *Becker Medical Library, Washington University School of Medicine*

1.1 Lesão do nervo facial em cirurgias do ângulo ponto-cerebelar

O tratamento dos tumores do APC se desenvolveu no início do século 20 ^{6,10-12}, a partir de uma sentença de morte ao conceito atual de microcirurgia funcional ¹³. Nesse ínterim, inúmeros desenvolvimentos no diagnóstico radiológico, a introdução do microscópio cirúrgico e das técnicas microcirúrgicas, os avanços da neuroanestesia, assim como a introdução da monitorização intraoperatória foram responsáveis pela significativa redução na morbimortalidade dos pacientes portadores de lesões do APC ^{6,10-12,14-39}.

Os objetivos da cirurgia do APC foram, então, modificados, ou seja: da ressecção tumoral e do prolongamento da vida, passou-se à preservação anatômica e funcional dos nervos cranianos ^{10,40}. Essa evolução no tratamento cirúrgico foi precisamente ilustrada por Moskowitz e Long, que dividiram o tratamento cirúrgico do SV em quatro fases distintas ³⁰ (Tabela 1).

Embora avanços significativos tenham sido alcançados na era recente, a preservação anatômica atual do NF durante cirurgias de SV atinge 98%, enquanto a preservação funcional alcança resultados mais modestos, na ordem de 70%. Ademais, após o advento da radiocirurgia no tratamento do SV, a expectativa dos resultados cirúrgicos foi elevada sobremaneira ⁴¹.

A lesão do NF não está relacionada exclusivamente à cirurgia para ressecção do SV, pois pode ser observada no pós-operatório de muitos outros tumores do APC. Os meningiomas do APC, por exemplo, apresentam uma localização anatômica comum e são classificados de acordo com o local de origem do tumor em relação ao meato acústico interno (MAI), a saber: anteriormente ao MAI (Grupo 1), envolvendo o MAI (Grupo 2), superiormente ao MAI (Grupo 3), inferiormente ao MAI (Grupo 4) ou posteriormente ao MAI (Grupo 5) ⁴². As estratégias cirúrgicas e o prognóstico funcional dos nervos facial e vestibulo-coclear são, portanto, diferentes entre os grupos ^{42,43}. Assim, a paresia facial pode ser observada no pós-operatório imediato, numa proporção de 13 a 23,7% dos pacientes, de acordo com a localização do tumor no APC ⁴². Os resultados cirúrgicos dos tumores epidermóides do APC têm melhorado significativamente nos últimos 30 anos, não obstante a paresia facial pós-operatória ainda ocorrer em cerca de 5 a 8,3% dos pacientes ^{44,45}. Da mesma forma, os schwannomas do nervo trigêmeo permanecem entidades de difícil tratamento, de modo que a cirurgia pode levar à paresia facial pós-operatória em até 9,7% dos casos ⁴⁶. Em suma, a paralisia facial ainda constitui uma complicação bastante frequente nos pacientes submetidos à cirurgia do APC e à da base do crânio ^{14,17,20,27,47-55}.

Tabela 1 – Prognóstico da função facial no pós-operatório de ressecção de Schwannoma Vestibular

Schwannoma Vestibular	Mortalidade	Ressecção completa	Preservação Anatômica NF	Preservação Funcional NF (graus I/II)
<i>Era Pioneira (1890-1925)</i>	33,9%	-	-	-
<i>Era Curativa (1925-1960)</i>	20%	17,9%	8,3%	-
<i>Era de Magnificação (1960-1974)</i>	9,2%	83,6%	79,3%	-
<i>Era Recente (a partir de 1975)</i>	0,75%	93%	94%	72,2%
<i>Samii e Matthies 1997</i> ^{54 *}	1,1%	97,9%	93%	64%
<i>Samii et al. 2006</i> ^{56 *}	0	98%	98,5%	59%

* com monitorização intraoperatória; NF – nervo facial.

1.2 Impacto da paralisia facial na qualidade de vida

“A paralisia facial pós-operatória é sempre uma tragédia para o paciente e um incômodo para o cirurgião.”

Tos 1992⁵⁷

Aproximadamente, 50% das fibras nervosas contidas no NF devem ser lesionadas para que a fraqueza possa ser demonstrada clinicamente⁵⁸. O NF contém de 7.000 a 11.600 fibras nervosas trabalhando em uníssono, com o intuito de promover a contração muscular necessária à expressão facial⁵⁹⁻⁶¹. Nesse contexto, a expressão facial tem um papel fundamental na comunicação interpessoal, constituindo interesse não somente do ponto de

vista evolucionar como também social ⁶². Infelizmente, porém, a paralisia facial raramente apresenta uma expressão elegante e enigmática como aquela retratada por Leonardo da Vinci, na pintura *Mona Lisa*, em que o sorriso enigmático da sua modelo incita inúmeras gerações de observadores ^{3,63} (Figura 8). Adour acredita que o sorriso da *Mona Lisa* representa um belo modelo de anatomia topográfica, aliás, muito bem ilustrada por da Vinci, um anatomista compulsivo, que pintou um exemplo clássico de contratura dos músculos faciais em resposta à regeneração nervosa após uma paralisia facial ⁶³.

Controversamente, a paralisia facial após a ressecção tumoral tem respondido pela maior parte das complicações pós-operatórias, levando a um significativo impacto negativo na capacidade de os pacientes expressarem emoções, bem como na própria qualidade de vida de cada um ^{10,31,47,62,64-67}. Além disso, há indícios de que as sequelas de longo prazo da paralisia facial têm sido subestimadas pelos profissionais da área da saúde. Assim sendo, os pacientes podem apresentar um nível de incapacidade desproporcional, apesar de manifestarem um bom resultado funcional facial ^{62,65,68}. Desse modo, o nível de incapacidade pode não corresponder adequadamente à classificação clínica da paralisia facial, gerando uma interpretação bem menos otimista do resultado funcional ^{65,68}. Os pacientes com baixa autoestima, jovens e, particularmente, mulheres, por exemplo, correm um maior risco de desenvolver elevados níveis de incapacidade devido à paralisia facial ⁶⁵.

Figura 8 – A redução da distância interpalpebral (acima) e a elevação do canto da boca (abaixo) sugerem uma contratura dos músculos faciais em resposta à regeneração nervosa após paralisia de Bell. A contratura é representada pelo aprofundamento do sulco naso-labial, que eleva e encurta o lábio superior ⁶³. Mona Lisa. Óleo sobre madeira de álamo. Leonardo da Vinci (1503-1506). Musée Du Louvre, Paris.

1.3 Mecanismos do déficit pós-operatório dos nervos cranianos

Os nervos cranianos (NC) estão particularmente expostos ao risco de lesão durante cirurgias na base do crânio ⁶⁹. Isso se deve, em parte, às diferenças na sua estrutura histológica e anatômica em comparação aos nervos periféricos, que os tornam mais suscetíveis à lesão intraoperatória ⁶⁹. Os NC não possuem epineuro, tampouco têm um perineuro firme e contêm menos tecido conjuntivo ^{24,32,69-71}. Adicionalmente, a porção intracraniana dos NC encerra a zona de transição entre a mielina central e a periférica, cuja

produção é realizada pelos oligodendrócitos e pelas células de Schwann, respectivamente, sendo considerada essa zona um ponto fraco dentro da estrutura do nervo ⁶⁹. A estrutura histológica ímpar, associada ao fato de os NC não estarem sujeitos à movimentação, acaba por deixá-los particularmente vulneráveis ao estresse cirúrgico, assim como ao trauma elétrico e ao mecânico ^{24,69,71-73}.

Mesmo que os NC não pareçam macroscopicamente lesionados ou seccionados durante o procedimento, a manipulação cirúrgica frequentemente leva ao déficit funcional transitório pós-operatório ⁶⁹. Por sua vez, a manipulação intraoperatória abrange a tração, a compressão, o contato com os instrumentos cirúrgicos, como o aspirador ou o bipolar; abrange também a exposição ao sangue, à irrigação ou até mesmo ao ressecamento, como resultado de irrigação insuficiente ^{69,71}. Cabe ressaltar, ademais, a inexistência de diferença estatística entre os diversos tipos de manipulação cirúrgica; entretanto, a aspiração parece ser um fator importante na paralisia facial pós-operatória, ao passo que a cauterização afigura-se fator menos importante em tal conjuntura ⁵⁷. Vários mecanismos fisiopatológicos podem contribuir para o déficit funcional pós-operatório, a saber: a desmielinização segmentar, o comprometimento da microcirculação, o edema pós-operatório e a retirada de sinapses pela micróglia (*synaptic stripping*) ⁶⁹.

A desmielinização segmentar pode induzir a um bloqueio de condução transitório com perda parcial ou completa da função ⁶⁹. A remielinização há de decorrer, então, nas semanas seguintes ou meses e resultará na completa recuperação da função ⁶⁹. No entanto, a desmielinização segmentar pode-se

acompanhar de alterações axonais de lesão, levando à degeneração walleriana e, conseqüentemente, ao prejuízo da recuperação funcional⁶⁹.

Considerando que os NC jazem livremente no líquido cefalorraquidiano (LCR), a sua vascularização é feita por vasos diretos e por vasos localizados na pia-máter⁶⁹. Dessa forma, o estiramento causado pelo crescimento tumoral pode comprometer a microcirculação intraneural; comprometimento esse que associado à exérese da cápsula tumoral, contribui adicionalmente para o prejuízo do suprimento sanguíneo dos nervos^{69,72,73}. O edema pós-operatório dos NC ocorre de forma gradual durante o procedimento e pode causar lesão nervosa, devido à compressão dos NC em seus respectivos trajetos intraósseos⁶⁹.

Finalmente, a retirada de sinapses ou *synaptic stripping* representa um fenômeno definido como uma proliferação microglial, em consequência do trauma nervoso. Esse processo tem início logo após a lesão nervosa e atinge o seu ápice a partir de 4 a 6 dias, através da redução das sinapses com os corpos dos neurônios, o que redundará em perda funcional transitória⁶⁹. Além disso, observam-se alterações celulares significativas, que levam, por sua vez, às alterações metabólicas necessárias ao contexto da regeneração nervosa⁶⁹.

A paralisia facial pós-operatória pode ocorrer, então, como consequência do bloqueio de condução transitório (neuropraxia) ou de algum grau de degeneração axonal^{59,74-76}. Através de estudos eletrofisiológicos após trauma mecânico ou secção nervosa, algumas alterações precoces na porção distal do nervo motor, bem como no músculo, podem ser observadas^{74,75}.

Essa porção distal do nervo motor retém sua excitabilidade elétrica por 2 a 5 dias, seguindo-se a degeneração axonal que leva ao desaparecimento da excitabilidade e da condução ^{61,74,75,77}, ao passo que a placa motora mantém sua excitabilidade plena por 5 a 10 dias ^{74,75}. Interessante faz-se registrar que a velocidade de degeneração que ocorre nas fibras nervosas motoras é proporcional à severidade da própria lesão nervosa, de modo que degenerações rápidas são observadas nos casos de neurotmeze, enquanto se percebem degenerações lentas na axonotmeze ⁷⁷.

1.3.1 Paralisia facial pós-operatória tardia

Uma distribuição bimodal da paralisia facial tardia (PFT) tem sido descrita para tumores do APC: a de início precoce (dentro de 48 horas) e a de início tardio (a partir de 72 horas) ²⁰. A incidência de PFT varia de 3,5 a 41% após ressecção de SV ^{16,17,20,27,28,49,56,57,78-90}. Essa variação deve-se, em parte, à discrepância na definição de PFT ^{20,86}, a qual é melhor definida como o início espontâneo de deterioração parcial ou completa da função facial dentro de horas a dias de pós-operatório ^{17,20,27,28,56,84,87-90}.

A PFT ocorre tipicamente em 3 a 4 dias após a cirurgia, embora também possa ser observada tão tardia quanto várias semanas de pós-operatório ^{17,20,84,86,89}. A origem da PFT ainda não está completamente elucidada; no entanto, edema neural (notadamente no final do MAI), como consequência do vasoespasma; isquemia; comprometimento da microcirculação; obstrução da drenagem venosa; manipulação cirúrgica;

lesão iatrogênica; acúmulo de líquidos; aracnoidite estéril após cirurgia no APC ou perda do tônus muscular seguindo-se a sua desnervação podem ser atribuídos como causas da PFT^{20,28,84,87-89}. A PFT de início tardio tem uma origem um pouco mais especulativa, porquanto edema e vasoespasmo seriam improváveis causadores desse fenômeno em casos documentados com 30 dias de pós-operatório²⁰. A ocorrência tardia de paralisia facial associada à falta de responsividade ao uso de corticoides^{17,28,84} ou à descompressão cirúrgica do NF no osso temporal pode indicar que outros mecanismos são passíveis de participar no desenvolvimento da PFT^{17,86,88}.

Alguns estudos têm insistido que, após o estresse cirúrgico e a manipulação operatória do NF e do seu gânglio sensitivo, haveria uma reativação de herpesvírus latentes (herpes vírus simplex e varicela-zoster vírus), num processo similar ao que ocorre na disfunção facial após a paralisia de Bell^{17,84,87}. Outros autores indicam, inclusive, o uso profilático de famciclovir no pré- e no pós-operatório de cirurgias de SV, devido à redução de 5% na ocorrência de PFT, no grupo submetido ao tratamento medicamentoso [Brackmann et al. apud Morton et al.⁸⁶]. Além da suposição de mecanismos fisiopatológicos semelhantes, PFT e paralisia de Bell podem também compartilhar alterações análogas nos estudos de imagem, em que uma captação difusa de contraste na ressonância magnética pode ser observada desde o segmento intracanalicular do NF até o segmento descendente na mastoide⁸⁷. A reativação herpética tem uma alta incidência após cirurgia para tratamento de neuralgia do trigêmeo (procedimentos percutâneos e descompressão microvascular), sendo também observada no pós-operatório de

cirurgias para ressecção de SV ⁹. Todavia, a relação de causa e efeito entre a reativação ou infecção herpética e a PFT permanece desconhecida ²⁰.

1.4 Monitorização intraoperatória do nervo facial

1.4.1 Histórico

A monitorização intraoperatória do NF não é um conceito novo *per se* ¹⁰, tendo em vista que o Dr. Fedor Krause, aos 14 dias de Julho de 1898 ⁹¹, já descrevera o uso da estimulação monopolar do NF durante cirurgias de secção do nervo coclear para tratamento de tinido intratável, ocasião em que expôs os seus achados da seguinte forma:

O nervo acústico dividido foi retraído posteriormente, sendo colocado em contato com o cerebelo. A irritação unipolar farádica do tronco nervoso remanescente com a menor corrente provida pelo aparelho resultou em contrações na região facial direita, especialmente o músculo orbicular do olho, assim como os ramos do nariz e da boca. A irritação do nervo acústico retraído (usando também a menor corrente possível) causou a elevação do ombro direito por duas vezes consecutivas. O nervo acessório situado abaixo foi certamente alcançado pela corrente, porque ele estava, assim como o coto proximal do nervo acústico, imerso em líquido que havia gotejado.

Com essa minuciosa descrição, Krause não somente relatou a utilização pela primeira vez da monitorização intraoperatória do NF, como também antecipou o problema persistente da disseminação de corrente (*current spread*)⁹². Técnicas similares foram utilizadas e desenvolvidas nos anos subsequentes, no entanto Givré e Olivecrona introduziram um avanço significativo para a monitorização intraoperatória, ao escalarem uma enfermeira com o intuito de observar a face do paciente sob os campos cirúrgicos¹⁸. Defendiam eles, inclusive, que a cirurgia deveria ser realizada sob anestesia local, para que a função facial pudesse ser analisada durante todo o procedimento. Além disso, esses estudiosos foram possivelmente os primeiros a chamar a atenção para a predição da função pós-operatória. Seguindo-se a ressecção tumoral, a função do NF era avaliada pela movimentação voluntária ou pela estimulação farádica¹⁸. Durante a década de 60, Hilger⁹³, Jako²³ e Parsons⁶¹ desenvolveram estimuladores do NF aplicáveis nas cirurgias da parótida e do ouvido. O estimulador de Jako era singular: colocava-se um detector de movimentos na boca do paciente, e esse detector alertava o cirurgião, através de um sinal sonoro que interagia em resposta aos movimentos faciais^{10,23}. Tal sistema suplantou a primeira monitorização acústica do NF realizada pelos “protetores do NF”, em que os assistentes informavam o cirurgião sobre os movimentos faciais sempre que fossem detectados [Miehlke 1964 apud Prass e Luders⁹⁴].

A técnica de observação da face para detecção de movimentos visíveis permaneceu como padrão até o final da década de 1970^{14,92,95}. Em 1979, Delgado et al.¹⁴ introduziram o uso da eletromiografia (EMG) intraoperatória, com eletrodos de superfície para a monitorização do NF

durante cirurgias do APC, com o objetivo de melhorar a identificação e facilitar sua dissecação. Em 1982, Sugita e Kobayashi ⁵⁵ modificaram essa técnica e inovaram ao utilizar um novo aparelho capaz de converter movimentos faciais em sinais sonoros, através de uma caixa de som, promovendo com isso uma resposta acústica para os cirurgiões. O aparelho era dotado de um par de acelerômetros colocados nos músculos orbiculares da boca e do olho. Por meio desse mecanismo, os cirurgiões tornaram-se aptos a reconhecer as respostas faciais, sem a necessidade de manter um membro da equipe a observar a face do paciente ⁵⁵. Sugita e Kobayashi ⁵⁵ também documentaram uma resposta falso-positiva, em que o paciente teve o NF seccionado, devido à estimulação inadvertida do nervo trigêmeo. Moller e Jannetta ^{96,97}, por sua vez, promoveram o próximo refinamento na técnica, através do desenvolvimento de um sistema que combinava a monitorização acústica da atividade espontânea de EMG com a própria atividade de EMG, em resposta à estimulação elétrica. Em seguida, Prass e Luders ⁹⁴ e Prass et al. ⁹⁸ correlacionaram e classificaram os padrões específicos da EMG e as atividades sonoras como consequência da manipulação cirúrgica.

1.4.2 O impacto da monitorização intraoperatória na preservação anatômica e funcional do nervo facial

Há muito tempo que a função do NF vem sendo avaliada através de estimulação elétrica e de monitorização da atividade visível e palpável dos músculos faciais, durante procedimentos na fossa posterior, no osso

temporal e na glândula parótida, e, também, de monitorização da atividade evocada com registros elétricos ²¹. Entretanto, a demonstração da melhor preservação anatômica e funcional do NF, com o uso da monitorização intraoperatória (MIONF), não havia sido estimada até 1987. Harner et al. ²¹ compararam, de forma retrospectiva, 48 pacientes monitorizados, equiparados por idade, tamanho do tumor e ano mais recente da operação, com pacientes não monitorizados. Grosso modo, a taxa de preservação anatômica do NF foi semelhante, alcançando 88% no grupo monitorizado e 79% no grupo não monitorizado. Todavia, quando os pacientes foram avaliados por tamanho do tumor, as diferenças se tornaram aparentes, de modo que a taxa de preservação anatômica do NF em pacientes portadores de tumores grandes aumentou de 37%, no grupo não monitorizado, para 67%, no grupo monitorizado ²¹. Em contrapartida, em tumores de tamanho pequeno e médio, nenhuma diferença foi observada no pós-operatório imediato, embora paralisia completa da função tenha sido mais documentada no grupo não monitorizado ²¹.

Vale lembrar que esse estudo foi atualizado alguns anos após, com a mesma metodologia, embora incluindo, dessa vez, 91 pacientes ⁹⁹. Novamente, porém, melhores resultados foram documentados em pacientes portadores de tumores grandes, em que a preservação anatômica do NF foi elevada de 41%, no grupo não monitorizado, para 71%, no grupo monitorizado ⁹⁹. Cabe ressaltar, ainda, a melhora significativa da função do NF obtida no grupo monitorizado, no seguimento de 3 meses e 1 ano de pós-operatório ⁹⁹. Harner et al. ⁹⁹ concluíram, assim, que a MIONF

demonstrava uma elevada capacidade de preservação do NF, associada a uma redução da deformidade pós-operatória, ocasião em Harner declarou: “Não acredito que eu consiga convencer alguém com experiência, na nossa instituição, de desistir da monitorização sob quaisquer circunstâncias”.

Oportunamente, também Niparko et al.³² realizaram um estudo retrospectivo em pacientes portadores de SV, incluindo 29 pacientes monitorizados e 75 não monitorizados. A análise dos resultados por subgrupos revelou que a monitorização esteve significativamente associada à função facial satisfatória, com 1 ano de pós-operatório em pacientes portadores de tumores grandes (> 2 cm), enquanto nos portadores de tumores menores, os resultados não atingiram significância estatística. Por outro lado, Leonetti et al.¹⁰⁰ analisaram as vantagens da MIONF durante o acesso infratemporal em 31 pacientes não monitorizados *versus* 20 pacientes monitorizados. Os monitorizados apresentaram uma função facial pós-operatória normal em 93%, ao passo que nos pacientes não monitorizados, essa função normal foi documentada em apenas 70%¹⁰⁰. Ademais, paralisia facial completa pós-operatória não foi observada em qualquer paciente do grupo monitorizado^{100,101}. Em um estudo de coorte histórico, Hammerschlag e Cohen¹⁰² observaram 111 pacientes, consecutivos, submetidos à cirurgia com monitorização intraoperatória, e comparou-os a outros 207 pacientes não monitorizados. O advento da monitorização, portanto, possibilitou que a taxa de paralisia facial completa fosse reduzida de 14,5% para 3,6%¹⁰².

A seu tempo, Dickins e Graham ¹⁵ investigaram os resultados pós-operatórios de 108 pacientes, estratificados em três grupos, a saber: grupo I, sem monitorização do NF (38 pacientes); grupo II, os pacientes foram monitorizados com um sistema de detecção de movimentos (29 pacientes); e grupo III, os pacientes foram monitorizados com um sistema de EMG (41 pacientes). Uma função facial normal ou uma disfunção leve foi verificada em 39% dos pacientes não monitorizados e em 55% dos pacientes do grupo monitorizado com detector de movimentos, enquanto 87% dos pacientes do grupo monitorizado com EMG apresentaram uma função facial pós-operatória excelente ¹⁵. Kwartler et al. ¹⁰³ revisaram, retrospectivamente, os resultados cirúrgicos de 155 pacientes não monitorizados e os de 89 pacientes submetidos à MIONF. Os pacientes monitorizados, portadores de tumores grandes, apresentaram resultados funcionais estatisticamente superiores no pós-operatório imediato e na alta hospitalar ¹⁰³. No seguimento tardio, nenhuma diferença estatística foi notada, embora existisse uma tendência para melhores resultados no grupo monitorizado ¹⁰³.

Há de se admitir que esses resultados são expressivos, embora devam ser analisados com cautela, tendo em vista a problemática de se comparar estudos não padronizados, no que tange à classificação clínica do déficit funcional do NF e à distribuição do tamanho dos tumores ¹⁵. Além disso, deve-se enfatizar que, independentemente da técnica de monitorização, a MIONF representa simplesmente um técnica adjuvante passível de auxiliar tanto cirurgiões experientes quanto inexperientes, mas que não substitui a habilidade cirúrgica, e tampouco a experiência propriamente dita ^{10,15,23,26,27,55,61,70,104-106}.

Não obstante, a monitorização pode desempenhar um papel educacional importante, sim, através do refinamento da técnica cirúrgica, com vistas a favorecer a dissecação cortante em detrimento da romba, a qual é sabidamente reconhecida na produção de maior atividade eletromiográfica ^{10,107}, como enfatizado por Kartush ²⁶:

[...] a monitorização parece ser um professor sensacional, modelando as técnicas dos cirurgiões jovens e provendo valiosas informações durante a dissecação. Portanto, a monitorização reforça a essência da técnica microcirúrgica [...]

Desde a recomendação explícita do uso rotineiro da MIONF pelo Instituto Nacional de Saúde dos Estados Unidos da América (*NIH Consensus Statement on Acoustic Neuroma*) ⁶⁴, não mais foram desenvolvidos os ensaios clínicos com o objetivo de comparar os benefícios da cirurgia com monitorização sobre a cirurgia sem monitorização ^{92,108}. Os estudos subsequentes que surgiram na literatura mantiveram o mesmo desenho de avaliação retrospectiva de dados, embora um benefício claro tenha sido observado na qualidade da função facial pós-operatória dos pacientes monitorizados, seja em portadores de SV ^{29,31,109-113}, seja em portadores de afecções do APC ou da base do crânio ^{72,114,115}.

De forma geral, os estudos apontam uma melhora nos resultados pós-operatórios da função facial com o uso da MIONF, especialmente em pacientes portadores de tumores grandes ^{10,21,24-26,29,31,32,71,73,94,96,98,101,112-123}. Assim, a monitorização intraoperatória tem-se estabelecido como um dos

métodos em que a neurocirurgia moderna pode melhorar os resultados cirúrgicos, reduzindo a morbidade ^{26,124}, apesar da inexistência, pelo menos até o momento, de estudos controlados, prospectivos e randomizados ^{10,125}. Aliás, acredita-se mesmo que esse tipo de estudo é improvável de ser desenvolvido, porque muitos cirurgiões, que já incluíram a monitorização em sua prática clínica diária, acreditam de fato na existência de um benefício com a utilização desse suporte e ficariam relutantes de privar seus pacientes da monitorização ^{10,25,26}. Além do mais, a MIONF pode até mesmo contribuir para a obtenção de melhores resultados no que tange à preservação da audição, tendo em vista a possibilidade de redução do trauma cirúrgico suscetível de comprometer ambos os nervos ^{10,21,26,99}.

1.4.3 Objetivos da monitorização intraoperatória do nervo facial

O principal objetivo da monitorização neurofisiológica intraoperatória é proporcionar à equipe cirúrgica informações sobre deterioração da função neural em tempo real, de modo a permitir, através desse procedimento, modificações na estratégia cirúrgica que possam, em última análise, evitar uma lesão nervosa ^{25,26}. Uma monitorização neurofisiológica efetiva requer o devido conhecimento da anatomia e da fisiologia pertinentes ao caso; requer a seleção apropriada das técnicas de monitorização, baseadas nas estruturas de risco em cada procedimento, bem como a interpretação

adequada das respostas evocadas, baseadas no conhecimento da atividade normal^{10,26}. Assim, os objetivos da MIONF incluem^{25,26,32,92,106,108,111,126,127}:

- A – Identificar precocemente o NF nos tecidos moles, no tumor ou no osso;
- B – Alertar a equipe cirúrgica sobre estimulação facial inesperada;
- C – Mapear o curso do NF no osso temporal ou no tumor, através do uso da estimulação elétrica;
- D – Aumentar a preservação neural, reduzindo o trauma mecânico ao NF durante o redirecionamento do nervo ou durante a dissecação tumoral;
- E – Avaliar o prognóstico da função do NF ao final da ressecção tumoral.

Para alcançar todos esses objetivos, é necessária a utilização de várias técnicas de monitorização que se encontram atualmente disponíveis. Por exemplo, durante cirurgias do APC e da base do crânio, existem duas técnicas tradicionais de MIONF: a estimulação elétrica direta e a EMG contínua¹²⁸. Sabe-se que formas alternativas de MIONF têm sido desenvolvidas, aproveitando-se principalmente das propriedades antidrômicas e ortodrômicas da excitação do nervo motor após estimulação periférica¹²⁹⁻¹³⁸. Essas técnicas têm a vantagem de poderem ser utilizadas em pacientes anestesiados com bloqueadores neuromusculares e também de monitorizar todo o nervo com um eletrodo único⁹². Embora resultados interessantes tenham sido relatados nesses estudos¹²⁹⁻¹³⁸, a falta de condução trans-sináptica, isto é, a ausência do componente do tronco cerebral, corresponde

à maior limitação dos potenciais antidrômicos e ortodrômicos, uma vez que a secção completa do NF no APC pode gerar pouca ou nenhuma alteração da amplitude de resposta ^{126,139}. Isso se deve à preservação da excitabilidade elétrica nervosa distal ao sítio de lesão que leva alguns dias para desaparecer, conforme descrito anteriormente ^{61,74,75,77}. Além disso, a sensibilidade dessas técnicas à lesão nervosa permanece desconhecida e os potenciais nervosos não podem ser convertidos em sinais sonoros, com o intuito de prover respostas imediatas aos cirurgiões ^{32,92}. Apesar de tais fatos, novas investigações devem ser encorajadas ⁹².

1.4.4 Limitações das técnicas tradicionais de monitorização intraoperatória do nervo facial

Apesar do reconhecimento das elevadas taxas de preservação do NF devido à introdução, aos avanços e ao uso rotineiro das técnicas de MIONF ^{48,54,140,141}, a paresia facial ainda constitui uma complicação bastante frequente nos pacientes submetidos à cirurgia de base de crânio e do APC ^{48,54}. Tal se deve, em parte, às limitações das técnicas tradicionais de MIONF, leiam-se: a estimulação elétrica direta (EED) e a EMG contínua ¹²⁸.

A EED não permite uma monitorização contínua, visto ser ela utilizada de forma intermitente durante o procedimento, podendo apresentar-se bastante ineficiente pelo atraso que proporciona, uma vez que para cada estimulação, faz-se necessária uma parada na dissecação ⁹². Além disso, a

EED mostra-se particularmente limitada em pacientes portadores de tumores grandes, nos quais a correta aplicação da ponteira de estimulação pode ser dificultada pela distorção anatômica do tronco cerebral e pela identificação tardia do NF proximal, inacessível durante grande parte do procedimento cirúrgico^{48,128,141,142}. Por conseguinte, a EED é altamente dependente da habilidade do cirurgião em localizar corretamente a zona de saída do NF no tronco cerebral⁴⁸. Alguns estudos têm demonstrado que a identificação do NF proximal, assim como o registro de um dos critérios de predição da função facial pós-operatória da EES, não pôde ser realizada em até 35% dos pacientes monitorizados, devido a problemas técnicos de distorção da anatomia ou do acesso cirúrgico^{48,143}.

A EMG contínua conta com o aparecimento de descargas neurotônicas em resposta às manobras cirúrgicas que podem ser indicativas de uma lesão do NF^{141,144}. Até recentemente, a maior limitação desse método era a necessidade da utilização de um programa especial de computador para a análise de dados. Em outras palavras, a atividade repetitiva (*train activity*), que é particularmente precisa na predição da função facial, era avaliada quantitativamente apenas após a cirurgia^{141,144}. Esse problema foi, de certa forma, sobrepujado com o desenvolvimento de um novo programa capaz de reconhecer e de contar a atividade repetitiva em tempo real¹⁴⁵. Permanece, porém, a limitação da baixa disponibilidade do programa, ou seja, no momento sua utilização pode ser feita somente pelos seus idealizadores. Ademais, a EMG contínua fornece apenas uma correlação aproximada entre a frequência de descargas neurotônicas e o grau de injúria nervosa, de modo

que nem a sua presença nem a sua ausência asseguram a completa integridade anatômica e funcional do NF ao término da ressecção tumoral ¹⁴⁶. É interessante notar, também, que a secção do NF pode não resultar em descargas neurotônicas, enquanto a estimulação mecânica do coto nervoso distal, que ainda se encontra em continuidade com o músculo, é passível de gerar atividades eletromiográficas ^{25,146-148}. Contudo, ambas as situações devem ser reconhecidas, por causa do impacto significativo na predição da função facial quando do emprego da EMG contínua.

Essas limitações têm estimulado a procura e o desenvolvimento de técnicas alternativas ou complementares de MIONF. Nesse contexto, o potencial evocado motor facial (PEMF), obtido por estimulação elétrica transcraniana (EET), foi introduzido recentemente para tanto, podendo ser considerado o método mais promissor de MIONF ^{48,124,142,143,149}, porque suplanta inúmeras limitações das técnicas tradicionais ¹⁴². A interpretação do PEMF é independente da capacidade do cirurgião em localizar a porção proximal do NF, podendo, inclusive, facilitar a interpretação das respostas registradas com a EMG contínua ^{48,143}.

Em assim sendo, o PEMF tem-se mostrado um excelente método de monitorização do nervo facial, gerando resultados bastante confiáveis e reprodutíveis no que tange à predição da função facial pós-operatória. Para tanto, o critério eletrofisiológico mais utilizado até então é a relação de amplitude do PEMF final-valor de base. Quando do término do procedimento, o valor absoluto da amplitude do potencial é comparado ao valor encontrado no início do procedimento, gerando, com isso, uma relação percentual de

amplitude^{48,142,143,149}. Uma proporção de 50% foi estabelecida, promovendo resultados excelentes na predição da função facial, seguindo-se as cirurgias do APC e as da base do crânio^{48,142,143,149}. Esse critério foi, de certa forma, derivado dos estudos pioneiros com potencial evocado motor dos membros¹⁴⁹. Em vista disso, Acioly et al.¹⁴⁹ promoveram uma busca ativa pelos melhores limiares eletrofisiológicos do PEMF. A análise estatística resultou no desenvolvimento de dois limiares de amplitude, ou seja: uma relação de 80% (ou 20% de redução), para o músculo orbicular do olho, e uma relação de 35% (ou 65% de redução), para o músculo orbicular da boca¹⁴⁹. Como os resultados referentes a esse músculo foram mais consistentes, originando, ademais, resultados estatísticos mais confiáveis, uma redução da relação de amplitude final-valor de base para níveis entre 80% e 35% deve ser utilizada como sinal de alerta para a promoção das alterações intraoperatórias da estratégia cirúrgica¹⁴⁹.

Embora a redução do PEMF seja uma boa preditora da função facial pós-operatória, através do cálculo das relações de amplitude final-valor de base, apenas os valores finais e iniciais são apreciados e avaliados para a predição da função. Considerando-se que inúmeras manobras cirúrgicas são necessárias para a ressecção de tumores naquelas localizações; que várias delas podem *per se* contribuir para a deterioração da função facial e para a deterioração dos critérios eletrofisiológicos dos métodos tradicionais de MIONF; e que existe uma ampla variabilidade intraoperatória da amplitude do PEMF^{48,149}, seria possível documentar pacientes afetados pela perda ou deterioração intraoperatória significativa da amplitude do PEMF, durante

algumas manobras de ressecção do tumor, alcançando o final da cirurgia com a relação de amplitude dentro dos limites da normalidade.

Supõe-se, assim, que a variação intraoperatória da amplitude do PEMF poderia correlacionar-se com a função facial pós-operatória, mesmo que a relação de amplitude final-valor de base fosse maior que o limiar de 50%. Consequentemente, uma relação de amplitude evento-valor de base do PEMF poderia alcançar resultados melhores no que tange à predição da função facial pós-operatória imediata e tardia. Além disso, há de se levar em conta que a amplitude tem sido o único parâmetro quantitativo usado para a interpretação do PEMF. Isso motivou o desenvolvimento do estudo das alterações intraoperatórias da morfologia da onda do PEMF, também conhecida como complexidade do PEMF, e da correlação dessas alterações com a função facial pós-operatória, em uma população uniforme de pacientes portadores de schwannoma vestibular com manobras cirúrgicas padronizadas e bem estabelecidas ^{43,128,150}.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- 1 Avaliar as alterações intraoperatórias da amplitude e da complexidade do PEMF em pacientes submetidos à cirurgia para ressecção de schwannoma vestibular;
- 2 Correlacionar as alterações com o prognóstico facial no pós-operatório imediato e tardio;
- 3 Verificar se amplitude e complexidade constituem variáveis independentes de predição funcional.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Considerações técnicas

3.1.1 Tipos de estímulos

A estimulação elétrica é realizada de forma convencional, através da aplicação de pulsos retangulares, por meio de dois eletrodos: o cátodo, que se torna negativo, e o ânodo, que se torna positivo ¹⁵¹. Os parâmetros básicos para um pulso retangular são a intensidade e a duração do pulso, medidas em mili-ampère (mA) e em milissegundos (ms), respectivamente ¹⁵¹. A estimulação nervosa depende da quantidade de carga (Coulomb, C) aplicada, a qual nada mais é do que o produto da quantidade de corrente (intensidade de corrente) e da quantidade de tempo (duração do pulso) ^{71,151}. Na prática, cabe ressaltar que para efeito de comparação entre os trabalhos, não somente a corrente deve ser considerada, como também a duração do pulso. Assim, a carga aplicada a um nervo, utilizando-se 0,2 mA de limiar de estimulação durante 50 µseg de duração do pulso, é equivalente a 0,1 mA, quando utilizada uma duração de pulso de 100 µseg ⁷¹.

3.1.2 Tipos de estimuladores

Dois tipos de estimuladores estão disponíveis comercialmente: o de corrente constante e o de voltagem constante ¹⁵¹. Os estimuladores de corrente constante mantêm sua intensidade de corrente no limiar desejado, ao passo que os estimuladores de voltagem constante mantêm a voltagem entre os eletrodos ¹⁵¹. A força do estímulo é então medida em mA ou em volts (V) ⁶¹. Por conseguinte, a corrente aplicada aos tecidos está diretamente relacionada à voltagem e inversamente relacionada à resistência, através dos princípios que regem a lei de Ohm ($\text{Amplitude} = \text{Voltagem} / \text{Resistência}$) ⁶¹.

Os estimuladores de corrente constante são empregados na maioria dos estudos neurofisiológicos, devido à sua resposta consistente ^{96,151}. Moller e Jannetta ⁹⁶ propuseram o uso dos estimuladores de voltagem constante, supondo que a maior parte da corrente aplicada dissipa-se nos líquidos de baixa impedância em vez de estimular o nervo. Portanto, para a utilização de aparelhos de corrente constante, a intensidade da corrente deveria ser elevada a níveis mais altos, visando à obtenção de uma resposta adequada ⁹⁶. Desse modo, caso o líquido seja subitamente removido do campo cirúrgico ou, ainda, caso o nervo seja exposto, níveis elevados de corrente entrariam em contato direto com o nervo, a motivar consequências potencialmente danosas ^{92,96,108}.

Por outro lado, Prass e Luders ¹⁵² demonstraram que na prática não existem vantagens da estimulação com voltagem constante sobre a corrente constante, quando da utilização da ponteira de estimulação com isolamento

até a extremidade (*flush tip probe*). Esses autores defenderam, pois, o uso dos estimuladores de corrente constante, tendo em vista que a quantidade de corrente aplicada não sofre interferência com o diâmetro da ponteira de estimulação¹⁵². Os resultados foram confirmados *a posteriori* por Kartush et al.²⁴, indicando que as fontes de corrente constante podem ser aproveitadas efetivamente, quando ponteiras de estimulação com isolamento são empregadas. Adicionalmente, os artefatos de estímulo – especialmente o desvio de corrente (*current shunting*) – podem ser minimizados com a utilização de eletrodos bipolares com ponteiras portadoras de isolamento^{24,152}.

Ademais, com o uso dos estimuladores de voltagem constante, a corrente aplicada muda de acordo com a resistência do tecido, podendo, portanto, tornar-se errática e inadequada para análises quantitativas¹⁵¹. Assim sendo, o seu emprego deve estar restrito à identificação do NF durante cirurgias de fossa posterior¹⁵¹. A controvérsia sobre a utilização de estimuladores de corrente constante e de voltagem constante ainda persiste, devendo ser objeto de futuros estudos, especialmente experimentais, com o intuito de dirimir definitivamente essa discussão⁹².

3.1.3 Tipos de ponteiras de estimulação

Mesmo que sempre exista a necessidade de dois eletrodos para produzir uma estimulação elétrica, a estimulação é considerada “monopolar”, quando apenas um eletrodo ativo está em contato com o tecido estimulado, enquanto o eletrodo de referência encontra-se posicionado distante do

tecido alvo^{151,153}. As ponteiros de estimulação monopolar ou bipolar têm sido utilizadas em diversos estudos⁹². Todavia, a densidade da corrente é melhor distribuída nas ponteiros monopolares, o que representa uma vantagem desse método, levando a uma correlação direta entre a força do estímulo e as respostas obtidas¹⁵¹. A disseminação de corrente constitui um problema importante em relação à estimulação monopolar, induzindo a respostas falso-positivas através da ativação de qualquer tecido, especialmente os NC adjacentes que por acaso estejam no trajeto da corrente elétrica^{14,24,25,146,151,154}. Essas respostas erráticas podem ser minimizadas através da correta instalação dos eletrodos de referência, ou seja: distantes do local da estimulação e, especialmente, fora do trajeto de outros nervos, e/ou associada ao emprego de eletrodos de referência maiores que os eletrodos ativos¹⁵¹.

A estimulação bipolar, por sua vez, é considerada quando ambos os eletrodos ativos estão em contato com o tecido estimulado^{151,153}. Os eletrodos podem estar dispostos lado a lado, como numa pinça baioneta, ou concentricamente¹⁵¹. Esse tipo de estimulação demonstra uma maior especificidade e precisão no que tange à localização dos tecidos alvo, uma vez que tende a estimular principalmente os tecidos que se encontram abaixo ou entre os dois eletrodos, reduzindo, por conseguinte, a probabilidade da disseminação de corrente a sítios distantes do eletrodo de referência^{21,24,25,92,99,146,151}. É interessante notar que a orientação das pontas dos eletrodos bipolares pode induzir alterações na amplitude de resposta^{24,151,155}, de modo que a colocação longitudinal dos eletrodos sobre o

eixo nervoso requer cerca de metade a dois terços da intensidade de corrente necessária quando os eletrodos são posicionados perpendicularmente ao eixo nervoso ^{24,151}. As limitações da estimulação bipolar consistem na complexidade da sua distribuição de corrente e do desvio de corrente para o LCR ou coleções de sangue, a gerar respostas falso-negativas ^{96,146,151}. Quando comparadas às ponteiros bipolares, os eletrodos monopolares exigem uma intensidade de corrente cerca de 2 ou 3 vezes maior para alcançar as mesmas respostas ²⁴.

O melhor protocolo de estimulação permanece uma fonte contínua de debates ^{24,71,92}. Embora Moller e Jannetta ⁹⁶ tenham demonstrado a superioridade da estimulação com voltagem constante sobre a corrente constante, a comparação foi realizada com voltagem monopolar e corrente bipolar. No entanto, a depender dos objetivos clínicos desejados, variações do protocolo podem se tornar imprescindíveis para otimizar o efeito da monitorização ³². Devido às diferenças nas características elétricas das ponteiros monopolar e bipolar, alguns autores recomendam o uso concomitante dos dois tipos de configuração, de acordo com os objetivos clínicos desejados ²⁴. Dessa forma, a estimulação monopolar pode ganhar a preferência, quando do mapeamento tumoral, em que a alta sensibilidade é indispensável, enquanto a configuração bipolar apresenta-se mais adequada para a diferenciação dos NC no APC, considerando-se sua alta especificidade e a baixa corrente requerida ^{24,25,104,111,120,126,156}.

3.1.4 Tipos e montagem dos eletrodos de registro

Vários eletrodos encontram-se disponíveis para o registro da EMG, nomeadamente: os eletrodos de superfície, as agulhas subcutâneas e os eletrodos monopolares ou bipolares do tipo gancho^{92,106,108,146}. Os eletrodos do tipo gancho têm a maior impedância e o menor campo de registro, enquanto as agulhas subcutâneas têm uma impedância intermediária e um grande campo de registro; já os eletrodos de superfície têm a menor impedância e o maior campo de registro¹⁵⁶.

Os eletrodos de superfície demandam mais tempo para montagem, são menos específicos, e estão sujeitos a artefatos, bem como ao deslocamento durante a cirurgia^{92,106,108}. Por essas razões, eles são considerados inadequados para monitorização de EMG intraoperatória^{106,146}. Por outro lado, os eletrodos do tipo gancho, mesmo tendo o seu uso defendido por alguns investigadores, devido à sua alta sensibilidade e especificidade na detecção das respostas musculares^{94,96,146,155,157}, eles não apresentam nenhuma vantagem significativa, podendo, inclusive, ser mais traumáticos à pele e aos músculos⁹². Portanto, os eletrodos-agulha de platina da eletroencefalografia são os mais comumente utilizados, tendo em vista apresentarem uma superfície maior não isolada, quando comparados aos eletrodos de EMG de fibra única, e melhor habilidade no reconhecimento de atividades musculares específicas em qualquer parte do músculo alvo⁹².

Os estudos iniciais de EMG facial utilizavam um canal único para o registro das atividades musculares das divisões superior e inferior do NF, através da colocação de um eletrodo da configuração bipolar em cada músculo orbicular (do olho e da boca) ⁹⁶. Essa montagem extensa, entretanto, manifesta-se mais vulnerável a artefatos, por causa da grande separação entre os eletrodos, o que acaba por prejudicar também o reconhecimento das respostas, em consequência da EED durante atividade sustentada de EMG ^{92,158}. O registro em vários canais suplantou ambas as limitações, devido ao aumento da probabilidade de ter pelo menos um canal livre da atividade muscular sustentada, a possibilitar uma EED eficaz, mesmo durante atividade irritativa de EMG ⁹². Além disso, a montagem com eletrodos múltiplos permite um aumento da sensibilidade dos registros de EMG ^{159,160}. Recomenda-se, então, monitorizar pelo menos duas divisões do NF através do uso de dois canais (dois eletrodos da configuração bipolar para cada divisão superior e inferior do NF) ⁹², arranjados entre si a uma distância de pelo menos 5 mm ¹⁵⁸, conforme descrito por Kartush et al. ²⁵.

Até os dias atuais, os eletrodos de EMG têm sido aplicados de forma arbitrária, não existindo uma montagem padrão para sua colocação nos músculos da face ¹⁶¹. Segundo Kartush et al. ²⁵, os eletrodos devem ser acomodados em pares no músculo orbicular do olho e no sulco naso-labial. Levando em conta que a localização dos eletrodos pode influenciar a magnitude das respostas musculares ¹⁶¹, de modo a prejudicar a qualidade da monitorização e, conseqüentemente, a detecção de atividade patológica de EMG ¹⁵⁸, Guo et al. investigaram a possibilidade de haver um melhor

posicionamento dos eletrodos em derredor do olho e da boca ¹⁶¹. Concluíram, pois, que para o registro de potenciais mais robustos e consistentes, a seguinte montagem seria a melhor preconizada: para o músculo orbicular do olho, os eletrodos devem ser posicionados a 1,5 cm de distância, de forma que um eletrodo seja colocado logo abaixo da sobrancelha, a 1,5 cm do canto lateral, e o segundo, na rima orbitária, nivelado com o canto lateral; para o músculo orbicular da boca, um eletrodo é inserido a 2 cm de distância da comissura bucal e o segundo, posicionado a 1 cm do primeiro, tanto no lábio superior, quanto no lábio inferior, porquanto não existe diferença estatística entre as montagens ¹⁶¹.

Além dos registros de EMG, existem aparelhos baseados na detecção de movimentos dos músculos faciais que podem ser de grande auxílio na monitorização facial, devido à incapacidade dos sistemas de EMG em registrar atividade durante a cauterização ^{92,106,107,146}. Essa incapacidade advém do aparecimento de artefatos concomitantes à cauterização que podem prejudicar a adequada identificação de atividade eletromiográfica indicativa de lesão térmica do NF ⁹². Como consequência, o NF conserva-se particularmente vulnerável durante essa fase do procedimento ⁹². Apesar do desenvolvimento de vários aparelhos detectores de movimento ^{23,55,66,70,107,162-165} e até de sistemas de vídeo ¹⁶⁶⁻¹⁶⁹, os registros de EMG permanecem como os mais sensíveis indicadores de atividade do NF ^{15,70,92,98,106,163,167}. Durante cirurgias na fossa posterior, esses registros de EMG requerem níveis de corrente reduzidos para serem ativados e reagem precocemente quando comparados ao alarme sonoro ^{15,70}. Ademais, as respostas evocadas de EMG, que podem

corresponder à lesão do NF, tornam-se passíveis de serem detectadas pelo sistema de EMG, sem produzirem movimentos faciais que ativem o alarme sonoro ⁷⁰. Há de se enfatizar, contudo, que nenhum equipamento permite uma monitorização adequada durante a cauterização ¹²⁶.

3.1.5 Anestesia

A monitorização do NF com EMG pode ser feita essencialmente sob qualquer regime anestésico, exceto com bloqueadores neuromusculares, que reduzem a precisão da MIONF pela interferência com a propagação de potenciais, tornando-a incompatível com uma monitorização adequada ^{32,92}. Todavia, outros estudos têm demonstrado que, mesmo sob níveis moderados e até mesmo profundos de bloqueio neuromuscular, é possível desencadear atividade de EMG facial, tanto por EED, quanto por manipulação mecânica, sem comprometer a MIONF ^{147,170-172}. Essa hipótese baseia-se na premissa de que os músculos faciais manifestam-se, de certa forma, insensíveis aos efeitos dos bloqueadores musculares ^{170,171}. Contudo, tal fenómeno não foi ainda completamente elucidado, embora um tipo diferente de inervação (maior número e tamanho das junções neuromusculares) e uma menor afinidade dos receptores de acetilcolina nos músculos faciais já tenham sido sugeridos como explicações possíveis para tanto ^{170,171}.

Entende-se que estudos adicionais com uma base populacional maior devem ser realizados, com o intuito de confirmar esses achados. Cabe

ressaltar, também, que NF lesionados cronicamente, como ocorrem nas doenças do APC, podem apresentar uma maior sensibilidade a níveis reduzidos de bloqueadores neuromusculares ¹⁷⁰. No momento, existe uma crença generalizada de que bloqueios neuromusculares, mesmo sendo parciais, comprometem as atividades espontâneas e mecanicamente evocadas e, por conseguinte, o seu uso não deve ser recomendado para MIONF ^{24,92,155}. Em contrapartida, agentes de curta duração, como a succinilcolina, podem ser administrados durante a intubação traqueal, uma vez que sua metabolização é esperada ainda durante o acesso cirúrgico, retornando ao estado normal antes que os períodos críticos do procedimento sejam alcançados ^{25,92,146}.

3.2 Estimulação elétrica direta

A estimulação elétrica constitui uma técnica rotineira, tendo em vista seu uso amplamente difundido para MIONF, durante cirurgias do APC ¹⁷³. A utilização da EED é bastante simples em seu conceito ²⁵. Com uma ponteira de estimulação, o estímulo é aplicado sobre as estruturas da fossa posterior, levando à geração dos potenciais de ação muscular composto (PAMC), os quais são registrados através de pares de eletrodos posicionados nos músculos faciais ipsilaterais ²⁵ (Figura 9). As respostas são monitoradas acusticamente, através de uma caixa de som, ao passo que a

magnitude das contrações musculares é observada no monitor do aparelho de eletrofisiologia ^{155,173}. Faz-se importante destacar que a intensidade do estímulo necessária para evocar os PAMCs encontra-se elevada em nervos e raízes nervosas lesionadas ^{147,163}. Assim, EED pode ser de grande auxílio durante a exploração cirúrgica das regiões atravessadas pelo nervo facial, promovendo informação em tempo real sobre seu *status* funcional ^{61,173,174}. A segurança da estimulação nervosa foi experimentada tanto em modelos animais ^{175,176}, como também na prática clínica ^{24,71,104}.

Figura 9 – Mecanismos da estimulação elétrica direta. As fotografias intraoperatórias demonstram a visão cirúrgica de um grande schwannoma vestibular direito operado em posição semissentada (esquerda). O nervo facial pode ser estimulado durante várias etapas do procedimento, através do uso da ponteira de estimulação no meato acústico interno (IAC) (acima) ou ao final da ressecção tumoral no tronco cerebral (abaixo). Os potenciais de ação muscular composto (PAMC) devem ser demonstrados em ambos os músculos, após a estimulação (direita). Bstem – tronco cerebral; IAC – meato acústico interno; Stim Probe – ponteira de estimulação; Tu – tumor

3.2.1 Utilização intraoperatória

Os tumores do APC e do osso temporal podem deslocar, atenuar ou até mesmo englobar o NF, de modo que a sua identificação tem a possibilidade de ser problemática ²⁴. Nos tumores pequenos, a identificação do NF é direta e bastante simples com a EED ⁹². Frequentemente, no entanto, a única maneira de localizar o NF de forma adequada dá-se através da EED, especialmente em pacientes portadores de tumores grandes ⁹². A localização precisa do NF constitui o primeiro passo na direção da preservação da função ¹⁰⁴. Assim sendo, a identificação do NF exprime a principal utilidade da EED, a qual é a técnica mais apropriada para o mapeamento ^{25,174}.

Independente do protocolo de estimulação (ponteira de estimulação bipolar *versus* monopolar ou estimuladores de corrente constante *versus* voltagem constante), a localização do NF é determinada pela utilização de cargas elevadas (frequentemente entre 0,3 a 1 V ou 0,1 a 3 mA) no APC, no osso temporal ou, ainda, na superfície tumoral ^{27,71,92,106,157,177,178}. Via de regra, a estimulação é mais facilmente obtida quando o nervo encontra-se nas proximidades do eletrodo ¹⁵¹; mas se a corrente for muito alta, as ponteiros de estimulação monopolar podem permitir a disseminação da corrente dos tecidos para o NF ^{106,179,180}. Nesse contexto, é importante reconhecer que, através da utilização de intensidades entre 0,5 e 0,6 mA, a corrente é dispersada numa distância máxima de 2 cm do eletrodo ¹⁷⁹. Além disso, cabe ressaltar a existência de uma correlação entre a corrente elétrica

aplicada e a espessura do osso sobre o NF, de forma que 1 mA de corrente corresponde a aproximadamente 1 mm de osso ^{105,106,163}.

Em cirurgias da fossa posterior, no entanto, a corrente necessária para estimular o NF exposto é usualmente menor: cerca de 0,1 a 0,2 mA são suficientes para essa finalidade ¹⁰⁶. A estimulação indevida do nervo trigêmeo pode produzir atividade de EMG nos canais utilizados para monitorização do NF, devido à considerável interação entre os canais ^{70,92}. A distinção pode ser conseguida pela diferente morfologia dos registros, em que uma menor amplitude e uma latência mais rápida são observadas nas respostas trigeminais ¹⁷⁹. A ativação das fibras motoras do trigêmeo produz tipicamente respostas de EMG em 2 a 4 ms, enquanto as respostas faciais ocorrem tardiamente entre 5 e 8 ms ^{92,179,181,182}. Após a identificação do nervo, a intensidade de estímulo é reduzida com o objetivo de minimizar a disseminação de corrente de forma a ser ajustada a intensidade mínima capaz de evocar uma resposta de EMG ^{14,177,178}. Realiza-se, então, a EED do NF durante todo o procedimento, a fim de assegurar a localização do nervo, bem como a sua integridade ^{14,181}.

Antes de proceder à ressecção tumoral, a cápsula do tumor deve ser cuidadosamente estimulada, para confirmar a existência de fibras do NF na área a ser dissecada ^{14,92,106}. Caso não se obtenham respostas, mesmo com o emprego de altas cargas de estimulação, assume-se, então, que o NF encontra-se distante da área estimulada, permitindo, por meio disso, uma dissecação mais rápida e com reduzido risco de lesão do NF ^{14,92,106}. Essa conduta é de grande valia em SV, uma vez que o NF é raramente

encontrado em localização posterior ou intratumoral situação essa que ocorreu em somente 3% dos pacientes^{50,183,184}. Desse modo, a aplicação da EED pode evitar a secção inadvertida do NF com curso aberrante ou distribuído pela superfície tumoral¹¹¹.

Aliás, além do curso aberrante, uma situação adicional de estimulação inesperada do NF despertou, recentemente, bastante interesse, após a descrição do nervo dividido (*nerve splitting*), que vem sendo particularmente reconhecido nos casos de origem medial do SV^{96,184,185}. O NF dividido pode ser encontrado em aproximadamente 36% dos SV de origem medial, o que é evidenciado através de estimulação seletiva¹⁸⁴. Nesses casos, o NF apresenta duas porções: uma divisão maior, localizada no aspecto anterior médio da cápsula tumoral, e uma divisão menor, que cursa sobre o polo cranial do tumor^{184,185}. A estimulação do ramo menor evoca respostas exclusivas no músculo orbicular do olho¹⁸⁵. A seletividade das respostas evocadas fortalece a hipótese de um arranjo topográfico das fibras do NF dentro do APC¹⁸⁵. Por outro lado, Ashram et al.¹⁸⁶ atribuíram à estimulação do nervo intermédio os mesmos achados eletrofisiológicos, quais sejam, latência tardia, baixa amplitude e registro exclusivo no canal do músculo orbicular do olho. O reconhecimento intraoperatório do NF dividido manifesta o mesmo impacto cirúrgico, independentemente de ser considerado ou não o nervo intermédio¹⁸⁵, devido à proteção do NF de uma secção inadvertida, indicando que o tronco principal do nervo pode estar localizado numa posição completamente diferente dentro do APC^{185,186}.

3.2.2 Predição da função facial

Ao final da ressecção tumoral, a função facial deve ser avaliada com o objetivo de verificar lesões ocorridas durante o procedimento e o prognóstico^{25,92,106,181,187}. Para tanto, inúmeros protocolos foram desenvolvidos, utilizando-se de uma ampla variedade de fontes de estimulação, de desenhos de eletrodos, de montagem dos eletrodos de registro, assim como de diferentes critérios preditivos^{71,82,92,187,188}. Uma descrição detalhada dos estudos até então publicados sobre a função preditiva da EED pode ser encontrada no Anexo A.

A informação intraoperatória obtida com a EED permite ao cirurgião, de forma imediata, instruir o paciente sobre a estimativa de sua provável função facial³⁶. Além disso, a predição precoce e precisa da lesão do NF ou de sua recuperação funcional permite um planejamento adequado da melhor proposta terapêutica, incluindo procedimentos precoces de reanimação facial antes do desenvolvimento de atrofia muscular significativa^{38,82,119,188,189}. Por outro lado, a correta predição da função também pode evitar procedimentos cirúrgicos desnecessários, enquanto a recuperação funcional ainda mostra-se provável⁵¹.

A. Amplitude do potencial muscular de ação composto

A utilização do valor absoluto da amplitude dos músculos faciais como parâmetro preditivo após a ressecção tumoral foi proposta inicialmente por Harner et al.⁹⁹. Em seguida, Beck et al.¹⁷³ quantificou a magnitude da contração muscular em resposta a 0,05 mA de estimulação no tronco

cerebral. A amplitude do PAMC é diretamente proporcional ao número de fibras musculares estimuladas⁷¹, refletindo, por meio disso, o número de axônios intactos^{146,174,180}. Convém enfatizar que os valores absolutos do PAMC com estimulação no MAI permanecem relativamente constantes durante todo o procedimento, enquanto os valores obtidos com a estimulação na zona de saída da raiz no tronco cerebral frequentemente sofrem uma redução durante a cirurgia^{177,179,180,190}. Essa observação demonstra, de certa forma, uma relação temporal razoável entre a lesão progressiva do nervo e a manipulação cirúrgica que, em última análise, indica a perda da condutividade dos axônios em decorrência da lesão intraoperatória^{146,180}. A maior limitação desse método corresponde à ampla variabilidade interindividual, por causa da inconsistência no posicionamento das agulhas e do tamanho dos músculos monitorizados entre os pacientes⁷¹. Isso se reflete pela grande variação de limiares nos estudos publicados. A propósito, alguns desses estudos consideram a amplitude do PAMC de 100 a 500 μV , em resposta a 0,05 a 0,6 mA de estimulação no tronco cerebral, como o valor limite para o diagnóstico de uma função facial pós-operatória comprometida^{68,140,173,178,180}. Assim, a redução da amplitude das contrações musculares mostra-se correlacionada à paresia facial pós-operatória^{99,173,191}. A estimulação máxima ou supramáxima poderia resultar em PAMCs maiores, mas o risco de lesão elétrica seria sobremaneira aumentado⁷¹.

B. Limiar de estimulação

Para a ativação do NF, o menor valor de estimulação é procurado ativamente de forma que as melhores fibras sejam responsivas ⁷¹. O limiar de estimulação é alcançado quando da descoberta do limiar elétrico capaz de produzir um registro de EMG ⁹⁹. A falta de padronização das técnicas e dos parâmetros impede uma comparação pormenorizada entre os resultados publicados ^{71,92}. Entretanto, existe uma tendência na predição de bons resultados funcionais pós-operatórios, através do uso de baixos limiares de estimulação no tronco cerebral, seguindo-se a ressecção tumoral, notadamente em se tratando de limiares menores que 0,05 a 0,1 mA ^{36,159,192} ou 0,1 V ¹⁹³, enquanto limiares elevados a 2-3 mA ^{119,163} ou a 1-3 V encontram-se comumente associados à severa disfunção facial pós-operatória ^{81,92}.

C. Relação de amplitude proximal-distal

Concomitante à introdução dos eletrodos de superfície de EMG para registro das respostas musculares evocadas, Delgado et al. ¹⁴ também sugeriram a criação de um novo critério preditivo para estimar a função facial pós-operatória ao final da ressecção tumoral, através da estimulação do MAI e da zona de saída do tronco cerebral. Como resultado, ambos os valores absolutos de amplitude puderam ser empregados para confirmar a integridade do nervo, de forma que amplitudes similares foram relacionadas

à fraqueza facial com recuperação funcional precoce, enquanto uma redução de amplitude entre o tronco cerebral e o MAI esteve associada à paresia facial sustentada ¹⁴. A extensão da lesão axonal pode ser, portanto, estimada pelo uso da relação de amplitude ²¹.

A relação de amplitude proximal-distal elimina a variabilidade interindividual de cada resposta, o que ocorre particularmente com bastante frequência em outros métodos eletrofisiológicos de predição da função ³⁸. Por conseguinte, essa técnica é considerada mais precisa do que o limiar de estimulação ³⁸. Ademais, com a estimulação da região distal do MAI e do tronco cerebral, a função da EED expande-se para a detecção e a quantificação do bloqueio de condução ³⁸. Embora tais constatações não tenham sido corroborados por Benecke et al. ¹⁰⁴, é possível perceber, em termos gerais, que tais estudos indicam que a utilização do critério de relação de amplitude para o prognóstico do NF permite de fato uma melhor predição da função, quando comparado ao valor absoluto e ao limiar de estimulação ^{21,38,48,82,174,180,191}.

Uma relação de amplitude proximal-distal superior a 30% estabelece um forte indicativo de uma função facial boa ou excelente, especialmente a longo prazo ^{32,38,82,174,180}. Outros investigadores, porém, encontraram valores relativos diferentes, quais sejam: valores superiores a 90% predizem um bom prognóstico imediato e tardio; os que ficam entre 50% e 90% indicam paresia significativa transitória, com resultado satisfatório a longo prazo; já os valores inferiores a 50% são passíveis, inclusive, de suscitar a

realização de uma tarsorrafia ainda na sala operatória ¹⁹⁴. Além dos registros de EMG, Prass et al. ⁹⁸ observaram que as respostas acústicas evocadas pela estimulação no MAI eram frequentemente mais altas do que aquelas percebidas quando o tronco cerebral era estimulado. Em todos os pacientes, nos quais esta observação foi documentada, ocorreu paralisia facial no pós-operatório imediato ⁹⁸.

D. Comparação entre os métodos eletrofisiológicos de predição da função

Estudos comparativos entre os diversos métodos eletrofisiológicos de predição da função facial são escassos na literatura. No geral, o uso das três técnicas eletrofisiológicas promove uma predição confiável do prognóstico facial, conforme se encontra abreviado no Anexo A. Através da análise individual dos diferentes métodos durante cirurgias da base do crânio ou do APC, Magliulo e Zardo ^{195,196} compararam o valor preditivo da amplitude absoluta de resposta, do limiar de estimulação e da relação proximal-distal. O método de Beck (atividade de EMG contínua com amplitude maior que 500 μ V durante 30 seg e resposta de 500 μ V ao estímulo de 0,05 mA) falhou na predição da função facial, porque pacientes com limiares superiores a 0,05 mA não foram encontrados nesses estudos ^{195,196}. O método de Silverstein (limiar de estimulação $\leq$ 0,1 mA) previu corretamente o prognóstico facial final em 84% a 86,9% dos pacientes, ao passo que o método de relação

de amplitude, representado pelo método de Berges ($R = R'/R''$, em que R' corresponde à intensidade de estimulação mínima no APC dividida pela amplitude de resposta; e R'' , à intensidade e à amplitude no MAI), atingiu de 90% a 91,3% de correta predição da função^{195,196}. A limitação do número de casos e o desenho retrospectivo dos estudos impedem uma conclusão definitiva, embora exista uma tendência de o método de relação de amplitude promover os melhores resultados quando utilizado de forma exclusiva^{195,196}. Sobottka et al.¹⁷⁸, por outro lado, demonstraram que os valores absolutos obtidos com a estimulação proximal são melhores do que a relação de amplitude para tanto.

O uso simultâneo da amplitude de resposta e do limiar de estimulação, entretanto, aumenta a capacidade de predição da função no pós-operatório imediato e tardio, devido à redução dos resultados falso-positivos, quando comparados ao uso exclusivo do limiar de estimulação independente do protocolo realizado, seja de corrente constante ou de voltagem constante^{140,193}. De forma análoga, a associação do limiar de estimulação e da relação proximal-distal também se revelou benéfica, especialmente na predição do prognóstico final dos pacientes portadores de disfunção facial pós-operatória de moderada a severa^{82,188}. Assim, a combinação de vários métodos pode promover a melhor estimativa na predição da função facial pós-operatória⁹².

3.3 Eletromiografia contínua

A EMG contínua é monitorizada através de pares de eletrodos posicionados nos músculos inervados pelos nervos ou raízes nervosas que se encontram expostos ao risco de lesão durante o procedimento cirúrgico ¹⁴⁷. Na verdade, o conceito de monitorização contínua do NF, com o intuito de proporcionar informação em tempo real ao cirurgião, foi introduzido com o advento dos equipamentos sonoros ^{23,66,94,96}. Essas técnicas foram desenvolvidas para detectar movimentos faciais, em resposta ao trauma mecânico causado ao NF durante a manipulação cirúrgica ^{23,66,94,96,98,104,147} (Figura 10). Os registros de EMG de vários músculos podem ser monitorizados concomitantemente, através do uso de caixas de som para as respostas acústicas e de um osciloscópio para as respostas visuais ^{25,111,146} (Figura 11). A atividade de EMG mais importante durante o procedimento cirúrgico é a descarga neurotônica, a qual representa a atividade dos potenciais de unidade motora em decorrência da irritação mecânica ou metabólica dos nervos que inervam os músculos monitorizados ⁹⁹. É interessante observar que, de forma similar aos PAMCs após a EED, os nervos motores lesionados exibem uma menor capacidade de evocar descargas neurotônicas, seguindo-se ao trauma mecânico ¹⁴⁷.

Figura 10 – Mecanismos de registro da EMG contínua em resposta às manobras cirúrgicas. O contato direto dos instrumentos cirúrgicos deflagra respostas imediatas logo após a estimulação (esquerda), enquanto a tração produz uma resposta tardia, também conhecida como atividade repetitiva (*train activity*) (direita). Adaptado de Kartush et al.¹²⁶

Figura 11 – Esquema da monitorização acústica de EMG facial. Adaptado de Prass e Luders⁹⁴

Embora a preservação do NF tenha sido aprimorada com o advento da monitorização acústica, o interesse na análise detalhada dos padrões de atividade de EMG em resposta à manipulação cirúrgica ganhou atenção somente com os estudos de Prass e Luders⁹⁴ e Prass et al.⁹⁸. Esses padrões foram inicialmente classificados em dois tipos, a saber: a atividade espontânea e a atividade evocada^{94,98}. As atividades evocadas correspondem à grande maioria das respostas intraoperatórias documentadas que surgem em decorrência das manobras cirúrgicas^{94,98}. A EED, o trauma mecânico, e a cauterização são exemplos de manobras intraoperatórias que estão relacionadas ao aparecimento de atividade evocada de EMG de diferentes amplitudes e morfologias de onda subdivididas em padrões de surto (*bursts*), atividade repetitiva (*trains*) e de pulso⁹⁴. Além desses parâmetros, os padrões de EMG intraoperatória também diferem em termos de grau de sincronia, de duração e/ou de relação temporal com os eventos provocadores⁹⁴.

O padrão de pulso é observado exclusivamente após a EED, sendo facilmente reconhecido pelo sinal acústico do tipo pulsado, emitido em perfeita sincronia com a estimulação elétrica⁹⁴. O padrão de surto, por outro lado, manifesta-se como a atividade de EMG mais frequentemente documentada, sendo caracterizada por curtos potenciais de unidade motora relativamente sincronizados, com duração de até algumas centenas de milissegundos⁹⁴. Existe uma relação direta de causa e efeito entre o aparecimento da atividade de surto e os eventos deflagradores, ou seja, eventos decorrentes da manipulação cirúrgica, tais como trauma mecânico direto, cauterização ou irrigação, dentre outros^{94,98,197}. É interessante observar que as descargas

neurotônicas raramente acontecem após a laceração súbita do nervo ^{126,146}. As ondas do tipo surto surgem provavelmente devido às propriedades mecano-receptoras ou à irritação metabólica das fibras nervosas, levando, em última análise, à despolarização e, por conseguinte, à deflagração dos potenciais de ação ^{94,146}. Assim, o padrão de surto corresponde, possivelmente, a uma descarga única de múltiplos axônios do NF ⁹⁴. Trauma mecânico rápido e de alta frequência pode produzir atividade de surto de grande densidade, quando comparada a menores magnitudes de compressão ⁹⁴. A obtenção da atividade de surto corresponde a um sinal indireto de um NF funcional, tendo em vista serem facilmente deflagradas em axônios saudáveis, quando comparados àqueles severamente comprometidos pela infiltração tumoral ^{94,98,146}. Portanto, o aparecimento de atividade de EMG do tipo surto está provavelmente arrolado à estimulação facial por diversos mecanismos que não correspondem necessariamente à lesão nervosa ⁹⁴. Eventualmente, a atividade de surto é seguida de atividade periódica sustentada ou repetitiva, podendo durar até 30 seg ⁹⁴.

Por fim, a atividade repetitiva é caracterizada por potenciais de unidade motora não sincronizados com duração variável de até alguns minutos ^{94,98}. Dois tipos de atividade repetitiva foram inicialmente identificados, diferindo entre si na frequência, na amplitude, na regularidade de intervalo, bem como no padrão de ascensão e de declínio dos potenciais de unidade motora ⁹⁴. As atividades de alta frequência (entre 50 e 100 Hz) originam um sinal sonoro de qualidade acústica característica que lembra o motor de um avião, daí serem também chamados de potenciais de avião bombardeiro. As atividades de

baixa frequência, por outro lado, reproduzem um sinal sonoro similar ao estourar do milho de pipoca, sendo menos frequentemente encontrada do que a anterior⁹⁴. A atividade repetitiva encontra-se relacionada, o mais das vezes, à tração do NF, especialmente quando essa manobra acontece a partir da direção lateral para medial^{94,98,197}. De forma interessante, verifica-se um intervalo de segundos a minutos entre a ocorrência do evento provocador e o início da atividade eletromiográfica⁹⁴. Assim como a atividade de surto, a cauterização, o trauma nervoso leve e a irrigação podem estar associados ao aparecimento de episódios de atividade repetitiva, especialmente as de alta frequência, enquanto a retirada dos afastadores e dos dissectores promove uma redução da atividade de EMG^{94,98,197}.

Por causa desse interregno existente entre o início, propriamente dito, da atividade e o evento provocador, o estabelecimento de uma relação de causa e efeito entre a manobra cirúrgica e as respostas de EMG nesse tipo de atividade constitui uma tarefa particularmente complicada⁹⁴. Entretanto, o intervalo de tempo, em resposta à tração de lateral para medial, pode ser explicado, de certa forma, pelo comprometimento do suprimento arterial e consequente isquemia nervosa⁹⁴. Isso resulta no disparo repetitivo de uma ou mais unidades motoras, devido à manutenção do potencial axonal de membrana acima dos níveis do limiar do potencial de ação⁹⁴. As atividades repetitivas são frequentemente documentadas no transcorrer de cirurgias com NFs severamente envolvidos por tumor, o que os torna mais suscetíveis à lesão durante as manobras de dissecação e de tração⁹⁴. A identificação desse tipo de atividade pode representar uma lesão potencial ou em

andamento do NF (som do tipo pipoca), ou mesmo uma lesão significativa (som do tipo bombardeiro) do NF ⁹⁴.

Mesmo com a descrição de inúmeros tipos de sinais sonoros e padrões de EMG, as investigações a propósito desse assunto permaneceram uma fonte interminável de controvérsias (Anexo B) até o ano 2000, ocasião em que Romstock et al. ¹⁴¹ promoveram uma análise pormenorizada dos padrões de EMG com respeito às suas implicações cirúrgicas. Definiram eles cinco tipos de atividades evocadas de EMG, em detrimento dos três padrões descritos por Prass e Luders ⁹⁴ e Prass et al. ⁹⁸. Além dos potenciais de surto e em ponta (*spikes*), a atividade repetitiva foi subdividida em atividades dos tipos A, B e C (Figura 12) ¹⁴¹.

Os potenciais em ponta correspondem a potenciais bi- ou trifásicos com um grande pico ($\leq 2.000 \mu V$ de amplitude). Os potenciais de surto, por sua vez, são definidos como um complexo isolado de potenciais em ponta superpostos, arranjados em forma de fuso, a exibir vários grandes picos de até $5.000 \mu V$, com duração estimada de até algumas centenas de milissegundos ¹⁴¹. A atividade repetitiva do tipo A (*A-trains*) compreende um padrão morfológico sinusoidal único, o qual vem acompanhado de um típico sinal sonoro de alta frequência. Essa atividade é caracterizada pelo início súbito, pela amplitude que nunca excede $500 \mu V$, pela frequência entre 60 e 200 Hz e pela duração variável de milissegundos a diversos segundos ¹⁴¹. Já a atividade repetitiva do tipo B (*B-trains*) é definida como uma sequência regular ou irregular de

componentes isolados de potenciais em ponta ou de surto (B_s – *B spikes* ou B_B – *B bursts*), com início gradual e longa duração entre 500 ms a horas ¹⁴¹. A atividade repetitiva do tipo C (*C-trains*) é distinguida pela contínua e irregular atividade de EMG (Figura 13) ¹⁴¹.

Os potenciais em ponta e de surto ocorrem imediatamente após o trauma mecânico direto nos NC causados pelos instrumentos cirúrgicos, sendo clinicamente irrelevantes, assim como as atividades dos tipos B e C ^{141,197}. Por outro lado, a ocorrência de atividades repetitivas do tipo A está associada à lesão do NF ^{141,144,145,198}. Esse padrão é altamente sugestivo de descargas repetitivas, as quais são descritas em processos crônicos de desnervação e miopatias ¹⁴¹. Tais descargas são desencadeadas pela fibrilação espontânea de uma fibra muscular, levando à ativação de várias fibras musculares adjacentes e à reativação efática das fibras musculares marcapasso ¹⁴¹. Assim sendo, seguindo-se à lesão nervosa, as fibras musculares podem se tornar instáveis e servem como marcapasso, pois elas não mais se encontram sob controle neural ¹⁴¹. A primeira ocorrência de atividades do tipo A pode sempre estar relacionada com manobras cirúrgicas específicas, mormente com a dissecação da superfície tumoral nas proximidades do tronco cerebral e com a descompressão intrameatal ¹⁴¹.

Figura 12 – Representações eletromiográficas dos potenciais em ponta (*spikes*); linha superior e de surto (*bursts*); linha inferior. Adaptado de Romstock et al.¹⁴¹

Figura 13 – Representações eletromiográficas das atividades repetitivas do tipo A (*A-trains*); esquerda, do tipo B (*B-trains*) [*Bs* – *B-spikes*, *Bb* – *B-bursts*] e do tipo C (*C-trains*); direita. Adaptado de Romstock et al.¹⁴¹ e Prell et al.¹⁴⁴

3.3.1 Utilização intraoperatória

A principal razão para o emprego da EMG contínua é prover a equipe cirúrgica de informações em tempo real sobre a localização do nervo, advertindo de forma contínua sobre quaisquer atividades em andamento que possam resultar em lesão ao NF^{54,99,146,147}. Por causa da aparente inexistência de atraso, a atividade de EMG que aparece em resposta ao trauma mecânico pode ser de grande valia para a correta localização durante a ressecção tumoral, já que alerta o cirurgião da proximidade do nervo, mesmo quando o NF ainda não está exposto no campo cirúrgico^{21,94,98,199}. Além disso, na ausência de descargas neurotônicas, a cirurgia pode proceder mais rapidamente, porque se espera que o NF esteja distante da área de trabalho^{21,141,200}. Mesmo que apenas a atividade repetitiva seja indicativa de lesão nervosa^{94,98,141,144,198}, qualquer atividade de EMG pode funcionar como sinal de alerta da manipulação facial, a permitir alterações da estratégia cirúrgica antes da ocorrência de lesão irreversível^{59,141,201,202}. Como consequência, o trauma cirúrgico e o risco de lesão facial são minimizados, quando as respostas contínuas sobre o *status* funcional do NF encontram-se disponíveis¹⁴¹.

3.3.2 Predição da função

Embora exista um consenso sobre a utilidade da monitorização de EMG contínua na detecção de um trauma mecânico imprevisto^{54,99,146,147}, o seu papel na predição da função facial ainda permanece controverso^{81,138,174,197,202-204}. Isso se deve, em parte, à falta de padronização das atividades de EMG nos estudos até então publicados e à dificuldade na análise e na quantificação dos achados de EMG intraoperatórios, tendo em vista a baixa disponibilidade do programa de computador utilizado para tal fim^{141,144,145,197,204}. Aliás, o Anexo B promove uma discussão detalhada dos estudos publicados sobre a EMG facial contínua.

Nos trabalhos prévios, a intensidade e a frequência da atividade repetitiva foram correlacionadas ao prognóstico facial pós-operatório^{21,73,146,197,204}, de forma que a presença de atividade de alta frequência e de alta amplitude¹⁹⁷ ou até mesmo a redução da intensidade da atividade durante os estágios finais da ressecção tumoral eram indicativas de piores resultados^{73,204}. Entretanto, a análise detalhada dos padrões de EMG intraoperatórios indicou que a significância dos potenciais de EMG não estava relacionada à sua amplitude, e sim, à sua morfologia^{141,144,145}. Como se descreveu anteriormente, somente as atividades repetitivas do tipo A estão correlacionadas à injúria facial^{141,144,145}. Romstock et al.¹⁴¹ foram os pioneiros na identificação desse tipo de atividade em quase todos os pacientes portadores de paresia facial pós-operatória. A alta sensibilidade e a especificidade, 86% e 89%, respectivamente, sugeriram que a ocorrência

desse tipo de padrão de EMG era um forte fator preditivo de paresia facial pós-operatória ¹⁴¹. Naquele estudo, por outro lado, a correlação entre a quantidade de atividade repetitiva do tipo A e a função facial pós-operatória não pôde ser demonstrada ¹⁴¹. A investigação foi levada adiante por Prell et al. ¹⁴⁴, que descreveram um parâmetro quantitativo, a que chamaram de tempo de atividade repetitiva, como um indicador confiável de paralisia facial pós-operatória. Faz-se interessante notar que dois limiares de tempo foram determinados: 0,5 e 10 s ¹⁴⁴. Para pacientes com uma função facial pré-operatória normal, um tempo de atividade menor ou igual a 0,5 s está intimamente relacionado a um bom prognóstico funcional, ao passo que, ao atingir o limiar de 10 s, tanto pacientes com função normal, quanto aqueles com função comprometida no pré-operatório apresentaram deterioração da função facial pós-operatória ¹⁴⁴. Ambos os estudos foram realizados com a análise *offline* dos achados intraoperatórios. Assim, investigava-se a identificação desse padrão de atividade retrospectivamente após o término da cirurgia, o que correspondia à principal limitação do método. Recentemente, esse mesmo grupo ¹⁴⁵ desenvolveu um novo programa de computador capaz de reconhecer e quantificar, em tempo real, as atividades neurotônicas repetitivas do tipo A, suplantando completamente as desvantagens descritas. Eis que o programa exibe continuamente a quantificação do tempo de atividade via monitor, correlacionando o tempo com sinais visuais coloridos como os de um semáforo verde, amarelo, vermelho e preto. Naquele trabalho, quatro limiares de tempo foram definidos, a saber: < 0,125 seg, cor verde; 0,125-2,5 seg, cor amarela; 2,5-

10 seg, cor vermelha; e > 10 seg, cor preta ¹⁴⁵. Esses limiares foram correlacionados com a análise *offline*, demonstrando uma quantidade de tempo significativamente menor na análise em tempo real com um fator de quatro vezes, em que 0,5 seg de análise *offline* corresponderam a 0,125 seg de análise em tempo real ¹⁴⁵. Para pacientes com função facial pré-operatória normal, uma correspondência de tempo e função facial foi observada, de forma que um tempo de atividade menor ou igual a 0,125 seg indicou um bom prognóstico em todos os pacientes, enquanto os limiares de 2,5 seg e 10 seg corresponderam a um bom prognóstico na maioria e a um prognóstico desfavorável, respectivamente ¹⁴⁵. No que diz respeito aos pacientes com função facial pré-operatória comprometida, um limiar único de 2,5 seg foi definido, indicando uma função favorável ou uma desfavorável. Cabe ressaltar que as estratégias cirúrgicas foram modeladas de acordo com os achados intraoperatórios, de forma que se optou pela ressecção incompleta ou quase total, quando da observação dos limiares vermelho e preto. Isso ocorreu em 4 pacientes dos 30 estudados; em outros 4 pacientes, porém, o limiar foi atingido, mas a cirurgia transcorreu normalmente com ressecção completa, tendo em vista tratar-se de pacientes jovens ¹⁴⁵. O estudo realizado por Prell et al. ¹⁴⁵ demonstra a primeira técnica de monitorização facial em tempo real, com interpretação independente do eletrofisiologista, o que pode contribuir com segurança para a estimativa da função facial durante o procedimento cirúrgico.

De forma adicional ao tempo de atividade, a paralisia facial completa também é passível de ser prevista em pacientes com silêncio de atividade

eletromiográfica, em que os potenciais de surto não mais podem ser deflagrados ao final da ressecção tumoral ^{73,197}. Isso pode representar lesão axonal, uma vez que axônios saudáveis são sabidamente responsivos à manipulação mecânica ⁹⁹. A combinação da EMG contínua com a EED poderia contribuir para uma melhora na predição da função facial ²⁰⁴, embora isso ainda não tenha sido comprovado até o momento.

3.4 Histórico da estimulação cerebral transcraniana e introdução do potencial evocado motor à monitorização do nervo facial

Simultaneamente aos avanços com a monitorização intraoperatória com EMG, Merton e Morton ^{205,206} e Merton et al. ²⁰⁷ desenvolveram um protocolo para obtenção de potenciais evocados motores (PEM) dos membros superiores e inferiores, através da estimulação elétrica de pulso único no escalpe de indivíduos saudáveis. Cabe ressaltar que uma discreta contração muscular voluntária dos músculos-alvo contralaterais (entre 10% e 25% da força muscular) concentra o estímulo de tal forma que o limiar motor é significativamente reduzido, fenômeno esse conhecido como facilitação ^{207,208}. Através do registro epidural espinal em humanos, tem sido demonstrada a condução de dois tipos de ondas, seguindo-se um pulso único de EET ^{209,210}. A despolarização direta do córtex motor resulta em uma onda grande e de curta duração, cuja latência é compatível com o tempo de

condução das fibras do trato córtico-espinhal, após a despolarização das fibras verticais sem sinapses interpostas. A esse evento dá-se o nome de onda direta ou onda D ^{209,210}. Após a onda D, várias outras ondas menores podem ser facilmente registradas, correspondendo à despolarização das fibras horizontais ou à ativação transináptica do córtex motor ^{209,210}. Tais ondas são chamadas de ondas indiretas ou ondas I ^{209,210}. Seguindo-se a sua descrição, a EET tem sido utilizada numa ampla variedade de estudos clínicos e eletrofisiológicos ²⁰⁷. Uma limitação considerável à sua utilização diz respeito à estimulação em indivíduos acordados, tendo em vista tratar-se de um processo particularmente doloroso ^{207,209,211,212}.

Além da estimulação elétrica, o cérebro humano também pode ser estimulado por campos magnéticos. Em 1985, Barker et al. ²¹³ descreveram um método inovador não invasivo de estimulação do córtex motor, através do emprego de um campo magnético pulsado, que originava menos desconforto aos pacientes quando comparado à estimulação elétrica. A diferença mais evidente entre os dois tipos de estimulação cerebral é a percepção de dor no escalpe ^{207,209,211,212}. Em caráter adicional, a EET excita os neurônios córtico-espinhais, produzindo uma estimulação direta da eferência piramidal (onda D) seguida da ativação colateral (ondas I), ao passo que a estimulação magnética ativa o trato córtico-espinhal indiretamente, gerando apenas registros de ondas I ^{209,212}. Essa diferença justifica a latência mais curta do PEM após a estimulação elétrica ^{207,209}, que é cerca de 1,8 ms mais rápida, quando considerado o PEM dos músculos da mão ²⁰⁷. A exceção ocorre, entretanto, com a inclinação das bobinas

magnéticas que pode induzir à estimulação direta do trato córtico-espinal com latências resultantes comparáveis àsquelas obtidas com a EET ²⁰⁹.

Devido às limitações do PESS e do teste de acordar (“*wake-up test*”) para a garantia da integridade das vias motoras, o PEM foi então aplicado para a monitorização intraoperatória da função motora ^{212,214,215}. Inicialmente, todavia, constatou-se uma dificuldade significativa na obtenção dos PEM musculares, porque pacientes anestesiados não são capazes de promover a facilitação das respostas do PEM com a contração voluntária dos músculos-alvo além da depressão da excitabilidade cortical, tendo em vista o emprego de vários agentes anestésicos ^{215,216}. Daí a necessidade da modificação dos protocolos de PEM para seu registro sob anestesia geral ^{215,217}. Tanigushi et al. ²¹⁷ promoveram o desenvolvimento de um novo protocolo de estimulação, capaz de registrar as respostas de PEM sem a necessidade de constituir a média dos potenciais, estabelecendo, por meio disso, a monitorização em tempo real. Em seguida, a técnica de sequências de pulsos rápidos (*short trains*) foi descrita, promovendo uma melhoria nos registros dos potenciais obtidos em pacientes anestesiados ²¹⁵. A EET tornou-se assim a técnica de monitorização intraoperatória do PEM de escolha, devido às limitações da estimulação magnética ²¹⁸⁻²²⁰. O aquecimento das bobinas durante a utilização prolongada, especialmente nos modelos pioneiros ²⁰⁹, e o deslocamento das bobinas sob os campos cirúrgicos que as leva ao posicionamento inadequado abrangem as principais limitações da estimulação magnética intraoperatória.

Pelo o que se expôs acima, a utilização do PEM tornou-se rotineira para a monitorização intraoperatória das vias motoras, no decorrer de vários procedimentos neurocirúrgicos ^{124,143,210,212,220}, especialmente durante as cirurgias da coluna vertebral ^{215,221-225}. Vale lembrar que o registro do PEM muscular indica a preservação da integridade funcional do córtex motor, do trato córtico-espinal, dos neurônios motores alfa, do nervo periférico e da junção neuromuscular ¹²⁴.

O advento do PEMF obtido por EET do córtex motor contralateral para monitorização intraoperatória da função facial pode ser considerado o método mais promissor para monitorização do NF ^{48,124,128,142,143,149,226-230}. A utilização do PEMF foi inicialmente relatada por Zhou e Kelly em 2001, durante cirurgias para ressecção de tumores cerebrais ²³⁰, em que apenas os potenciais do músculo orbicular da boca foram monitorizados. Apesar da descrição pioneira, o valor preditivo do PEMF não foi diretamente estimado naquele trabalho, uma vez que as respostas evocadas nos canais faciais foram analisadas de uma forma geral junto com os registros dos PEM dos membros, impedindo conclusões definitivas sobre a sua interpretação ²³⁰. Yingling e Gardi ⁹² atribuíram à aplicação do PEMF o avanço mais significativo no contexto da monitorização intraoperatória, desde o advento da monitorização com EMG no final de década de 1970.

4 MÉTODOS

4.1 Critérios de seleção

Este estudo baseia-se em uma série de 35 pacientes (14 homens e 21 mulheres) portadores de schwannoma vestibular (SV), submetidos à ressecção cirúrgica, no período compreendido entre agosto de 2006 a agosto de 2007, no Departamento de Neurocirurgia do Hospital Universitário Tübingen da Universidade Eberhard Karls, na cidade de Tübingen, Alemanha.

4.2 Métodos

4.2.1 Desenho do estudo e criação do banco de dados

Os pacientes foram incluídos prospectivamente e analisados retrospectivamente segundo protocolo preestabelecido (Anexo C). A coleta de dados foi realizada através da revisão de prontuários (documento impresso) do serviço de arquivo médico do Departamento de Neurocirurgia da Universidade de Tübingen, Alemanha, e da revisão dos arquivos digitais da monitorização eletrofisiológica intraoperatória, seguindo a ficha

preestabelecida. Com isso, criou-se um banco de dados em planilha de *Excel*, incluindo gênero, idade, associação com neurofibromatose tipo 2, estrutura tumoral (sólido ou cístico), lateralidade do tumor, gradação clínica da função facial pré- e pós-operatória imediata e tardia, tamanho do tumor, valores absolutos de amplitude dos potenciais evocados motores faciais (PEMFs) e complexidade dos registros durante os cinco tempos cirúrgicos predefinidos, valores de base absolutos da amplitude dos potenciais evocados motores da mão (PEMM), e relação de amplitude evento-valor de base do PEMF.

4.2.2 Avaliação clínica

Seguindo-se a avaliação de imagem com ressonância magnética de crânio e tomografia computadorizada de cortes finos (1 mm) da mastoide, os pacientes foram submetidos à radiografia dinâmica da coluna cervical, para excluir instabilidade, e à ecocardiografia transtorácica, para investigar a presença de forame oval patente ⁴³. Ambos os exames complementares são de fundamental importância para programação cirúrgica da posição semissentada ⁴³. Os pacientes portadores de Neurofibromatose do tipo 2 realizaram adicionalmente uma ressonância magnética da coluna cervical, devido à associação de tumores sincrônicos do sistema nervoso central ⁴³. A função auditiva pré-operatória foi analisada através da realização de audiometria tonal, do escore de discriminação vocal e do potencial evocado auditivo (PEA), sendo subsequentemente estratificada de acordo com a nova

classificação de Hannover para disfunção auditiva ^{13,231}. A função facial pré- e pós-operatória foi documentada por um médico do Departamento não diretamente envolvido na monitorização intraoperatória, baseada na classificação de House e Brackmann (HB) ²³² (Tabela 2). Os tumores foram estratificados de acordo com a classificação de Hannover quanto ao tamanho tumoral ^{12,13,231,233,234} (Tabela 3). Os tumores T1 e T2 foram considerados pequenos, enquanto os T3 e T4, grandes. Avaliação radiológica foi realizada de rotina no primeiro dia de pós-operatório, com tomografia computadorizada de crânio em todos os pacientes.

Tabela 2 – Classificação de House e Brackmann (HB) da função facial

Grau		Definição
1	Normal	Função normal em todas as áreas
2	Disfunção leve	Fraqueza leve notável apenas ao exame físico minucioso. No repouso: simetria normal da frente, fechamento do olho com esforço mínimo e leve assimetria; consegue mobilizar o canto da boca com esforço máximo e leve assimetria. Sem sincinesias, contraturas ou hemiespasmo facial.
3	Disfunção moderada	Diferença óbvia entre ambos os lados, sem prejuízo funcional; sincinesias, contraturas e/ou hemiespasmo facial leves. No repouso: simetria e tônus normais. No movimento: pouco ou nenhum movimento da frente, consegue fechar o olho com esforço máximo e assimetria clara, consegue mover o canto da boca com esforço máximo e assimetria clara. Pacientes portadores de sincinesias, contraturas e/ou hemiespasmo óbvios, mas não desfigurantes, são considerados grau III, independente do grau de atividade motora.
4	Disfunção grave	Fraqueza óbvia e/ou assimetria desfigurante. No repouso: simetria e tônus normais. No movimento: sem movimento na frente, incapacidade de fechar o olho completamente com esforço máximo. Pacientes com sincinesias e/ou hemiespasmo facial grave o suficiente para interferir na função são considerados grau IV, independente do grau de atividade motora.
5	Disfunção severa	Movimentos pouco perceptíveis. No repouso: assimetria com queda do canto da boca e sulco naso-labial diminuído ou ausente. No movimento: sem movimento na frente, fechamento incompleto do olho, leve movimento no canto da boca. Sincinesias, contraturas e hemiespasmo facial estão frequentemente ausentes.
6	Paralisia completa	Perda do tônus, assimetria, sem movimento; sem sincinesias, contraturas ou hemiespasmo facial.

Tabela 3 – Classificação de Hannover de extensão tumoral

Classe	Extensão
T1	Intrameatal
T2	Intra- e extrameatal
T3a	Preenche a cisterna do ângulo ponto-cerebelar
T3b	Alcança o tronco cerebral
T4a	Comprime o tronco cerebral
T4b	Desloca o tronco cerebral e Comprime o quarto ventrículo

4.2.3 Método cirúrgico

Os pacientes foram submetidos à cirurgia em posição semissentada (33 pacientes) ou em decúbito dorsal com rotação lateral da cabeça (2 pacientes). O acesso retrosigmoide foi realizado em todos os pacientes, com estratégia cirúrgica padronizada e bem estabelecida ^{43,128,150}. Apesar disso, faz-se mister uma breve descrição (Figura 14). Em suma, uma incisão ligeiramente curva é desenhada, interessando a região retroauricular ipsilateral, com início cerca de 2 cm posterior e superior ao pino que atravessa o astério e termina de 1 a 2 cm medial ao processo mastoide ⁴³. Seguindo-se a dissecação dos músculos cervicais, a trepanação é realizada logo abaixo do astério, sendo então desenvolvida uma craniectomia suboccipital de 3 a 4 cm de diâmetro ⁴³. O seio transversal, o seio sigmoide e a transição dos seios são expostos com a brocagem da mastoide e da porção inferior do osso parietal ⁴³. A durotomia é desenvolvida em forma de C, acompanhando a curvatura da transição dos seios. Com uma fina espátula de cérebro, o cerebelo é elevado e a cisterna

cerebelo-bulbar lateral pode ser aberta com uma pinça baioneta, promovendo a drenagem de LCR para facilitar a retração do cerebelo ⁴³. Deste modo, o cerebelo é afastado medialmente, trazendo ao campo de visão o tumor e a superfície posterior do osso petroso. A dura-máter dessa região é incisada em forma de “C”, interessando o tubérculo supra-meatal, como limite superior do MAI, com a base voltada para o APC. Assim, a parede posterior do MAI é brocada por cerca de 8 mm de extensão e a dura-máter do canal é aberta longitudinalmente ⁴³. O tumor é identificado e esvaziado internamente com tesoura de microcirurgia e pinça de tumor, dando origem ao plano de dissecação aracnoideo ⁴³. O NF encontra-se normalmente em situação anterior e superior no MAI, enquanto o nervo coclear adota uma posição inferior. Nesse contexto, é importante a utilização da EED para adequada localização do NF ⁴³. Em tumores pequenos, uma remoção *en bloc* pode ser possível, ao passo que para tumores grandes, a dissecação é dirigida para o APC após a ressecção do tumor no MAI. A cápsula do tumor é incisada e usada para a criação do plano aracnoideo. O tumor pode ser então progressivamente removido com o aspirador ultrassônico, as tesouras de microcirurgia ou a pinça de tumor. Com a cápsula relaxada, utiliza-se uma pinça de tumor para sustentá-la, enquanto uma outra pinça baioneta delicada cria o plano aracnoideo. A ressecção procede alternadamente, com o esvaziamento tumoral e a dissecação da cápsula. Por último, prepara-se a região de maior adesão, o MAI. O ramo de origem vestibular, seja o superior ou o inferior, pode ser seccionado para assegurar a remoção total da lesão. Ao final do procedimento, o anestesiologista realiza uma leve compressão jugular, com o intuito de verificar a hemostasia do leito cirúrgico. O MAI é selado com cola de fibrina e um pequeno pedaço de músculo. Os tempos cirúrgicos subsequentes são os de rotina ⁴³.

Figura 14 – Desenhos esquemáticos (A-F) e fotografias intraoperatórias (G, H) dos diversos tempos cirúrgicos da ressecção de um grande schwannoma vestibular. Todas as representações são do lado esquerdo. Para maiores detalhes, vide texto. Adaptado de Tatagiba e Acioly⁴³

Figura 14 cont. – Desenho esquemático (I) e fotografias intraoperatórias (J-N) dos diversos tempos cirúrgicos da ressecção de um grande schwannoma vestibular. Todas as representações são do lado esquerdo. Para maiores detalhes, vide texto. Adaptado de Tatagiba e Acioly ⁴³

4.2.4 Monitorização intraoperatória

Realizou-se a indução anestésica com tiopental, sufentanil e rocurônio, sendo mantida com uma infusão contínua de remifentanil e propofol. Em seguida, os pacientes foram submetidos à monitorização contínua (aparelho Endeavor, Viasys Healthcare, Madison, WI, USA) do potencial evocado somatossensitivo (PESS), do PEA e da EMG do NF por eletrofisiologistas experientes. Os pacientes portadores de grandes SVs com

extensão aos nervos cranianos baixos foram monitorizados adicionalmente com a EMG dos músculos inervados pelos nervos glossofaríngeo, vago, acessório e hipoglosso. Obteve-se a EED com ponteira de estimulação bipolar concêntrica, cujas respostas (PAMCs) foram registradas em eletrodos agulha intradérmicos, posicionados nos músculos orbiculares da boca e do olho ipsilaterais. Para tanto, distribuíram-se os eletrodos com montagem bipolar, sendo um na região superciliar, a 1 cm do segundo eletrodo inserido na rima orbitária para monitorização do músculo orbicular do olho; enquanto para a monitorização do músculo orbicular da boca, os eletrodos foram inseridos medialmente ao sulco naso-labial, também a 1 cm de distância entre eles. O eletrodo neutro foi colocado na fronte.

A EED e a EMG contínua foram utilizadas rotineiramente para a localização do NF, bem como para a avaliação do *status* funcional durante a ressecção tumoral. Em casos de deterioração da função facial, seja na EED ou na EMG, a estratégia cirúrgica era imediatamente alterada, promovendo, principalmente, o reposicionamento da espátula de cérebro e a modificação da área de dissecação. Para este estudo, essas informações não foram consideradas simultaneamente. Ademais, cabe ressaltar que a deterioração do PEMF não resultou em modificações da estratégia cirúrgica.

A. Potencial evocado somatossensitivo

O potencial evocado somatossensitivo (PESS) foi empregado de forma rotineira para o posicionamento dos pacientes, especialmente nos

procedimentos cirúrgicos realizados em posição semissentada e naqueles pacientes portadores de tumores grandes, tendo em vista a compressão do tronco cerebral. O PESS foi obtido através da estimulação do nervo mediano com pulsos elétricos retangulares de 200 μ seg de duração e de 16 a 25 mA de intensidade, distribuídos a uma frequência de estimulação de 5,1 Hz em eletrodos de superfície colocados no punho ipsilateral. Os eletrodos de registro foram dispostos na região parietal contralateral, nos pontos C3', C4' e FZ, de acordo com o sistema internacional 10-20 de eletroencefalografia (EEG). Os gráficos dos PESS foram obtidos com filtros de 10 a 250 Hz, com tempo de análise de 50 ms e com varredura de 300 a 500 estímulos.

B. Potencial evocado auditivo

Para todos os pacientes com audição funcional pré-operatória, a função auditiva foi monitorizada com PEA. Durante todo o procedimento, registraram-se os potenciais continuamente, através da estimulação acústica com cliques pulsados retangulares de 100 μ seg. Fones de ouvido especiais apresentaram um ritmo de estimulação de 11,7 Hz na intensidade de 95 dB do nível de audição normal (NAN) no ouvido operado. Encobriu-se o ouvido contralateral com um som contínuo de 65 dB NAN. Uma varredura de 500 a 1.000 estímulos foram somados, requerendo de 43 seg a 1:26 min para o registro de um gráfico confiável. Os filtros foram estabelecidos entre 150 e 1.500 Hz. O tempo de análise foi de 10 a 15 ms do início do estímulo e a impedância foi controlada para valores inferiores a 5 kOhms. A latência e a

amplitude das ondas de I a V, assim como a latência interpico I-III, foram mensuradas no início da cirurgia e utilizadas como controle para cada paciente^{235,236}.

C. Potencial evocado motor facial

O potencial evocado motor facial (PEMF) foi obtido através da estimulação elétrica transcraniana (EET), com eletrodos do tipo espiral posicionados no escalpe nos pontos CZ e C3 ou C4, de acordo com o sistema internacional 10-20 de EEG para estimulação do lado esquerdo ou direito, respectivamente. O músculo abdutor curto do polegar (ACP) foi utilizado como controle de resposta, para garantir que o NF não fosse estimulado por via extracraniana. Os potenciais evocados motores (PEM) registrados nesse músculo foram chamados de PEM da mão (PEMM). Aplicou-se a estimulação sempre no lado contralateral à lesão, utilizando o seguinte protocolo: 3 a 5 pulsos retangulares, com intensidade variável de 200 a 600 V (mediana 390 V), com duração de pulso de 50 µseg e um intervalo interestímulo (IIE) de 2 ms^{149,226,227} (Figura 15). Filtros de 150 a 3.000 Hz foram programados para obter os potenciais^{149,226,227}. O número de pulsos e a intensidade da estimulação foram aumentados de acordo com as respostas obtidas com os potenciais faciais e com os da mão. Uma sequência de 5 pulsos foi empregada apenas nos casos de resposta insatisfatória à estimulação com 3 pulsos¹⁴⁹. A intensidade da voltagem foi alterada eventualmente em alguns pacientes, com o intuito de alcançar

melhores respostas do PEMF, devido à supressão progressiva da atividade dos neurônios motores induzida pela anestesia, fenômeno esse também conhecido como desaparecimento gradual dos potenciais evocados^{220,237}. Os potenciais faciais foram registrados em pares de eletrodos localizados nos músculos orbiculares da boca e do olho. Obtiveram-se os PEMFs e os PAMCs nos mesmos eletrodos e também nos grupos musculares da montagem utilizada para monitorização de EMG.

Figura 15 – Montagem dos eletrodos de estimulação elétrica transcraniana, segundo o sistema internacional 10-20 de EEG (esquerda). Os eletrodos do tipo espiral são posicionados nos pontos C4 e CZ para estimulação do lado direito (esquerda), enquanto os registros são obtidos com eletrodos agulha intradérmicos nos músculos orbiculares da boca e do olho (direita)

A EET foi realizada de forma intercalada, com os registros do PEA e do PESS, utilizando-se frequentemente os intervalos de troca de instrumentos cirúrgicos ou alterações da posição do microscópio. A equipe cirúrgica era sempre advertida das estimulações vindouras, especialmente durante a microcirurgia, tendo em vista que a EET pode causar movimentos indesejáveis como consequência da estimulação. Os PEMFs foram

registrados durante cinco tempos cirúrgicos distintos: inicial, abertura da dura-máter (Duralop), dissecação do tumor (TuDis), ressecção do tumor (TuRes) e síntese da dura-máter (Final), ou de acordo com a demanda da equipe cirúrgica e após o aparecimento de descargas neurotônicas no EMG. Os tempos cirúrgicos eram identificados pelos eletrofisiologistas via uma entrada de vídeo no monitor do equipamento que provia as mesmas imagens observadas no microscópio.

A latência do PEMF foi definida como o tempo decorrido entre o início do estímulo e a primeira deflexão de onda. Com o objetivo de evitar erros de interpretação da ativação periférica do NF, apenas PEMFs com latências maiores que 10 ms foram considerados neste estudo ¹⁴³. Determinou-se a amplitude do PEMF como a voltagem entre os picos máximos, negativo e positivo, dos registros ²³⁸⁻²⁴⁰. De acordo com a EMG quantitativa, sempre que houver alterações de voltagem de negativo para positivo ou vice-versa, a passagem da linha de base haverá de indicar o fim de uma fase ou a troca de fase ²³⁸⁻²⁴⁰. O número de fases é então definido como o número de passagens através da linha de base mais um ²³⁹ (Figura 16). Neste estudo, os registros foram considerados bifásicos (uma fase) ou polifásicos (mais de duas fases).

Figura 16 – Medidas quantitativas de um potencial de unidade motora. Os mesmos parâmetros podem ser examinados em potenciais compostos de ação muscular. Amplitude – voltagem entre picos (barras vermelhas); Duração – tempo do início ao fim do potencial (barras pretas); Latência – do estímulo à primeira deflexão de onda (primeira barra preta); Complexidade – número de passagens pela linha de base (*baseline crossing*); no exemplo acima, um potencial polifásico com duas passagens de fase. Adaptado de Litchy²³⁹

O valor de base foi definido como a maior amplitude absoluta de resposta antes da abertura da dura-máter. Para pacientes com aumento significativo da amplitude no final do procedimento, o valor de base considerado foi a maior resposta durante o acesso ao tumor, ou seja, até o início da ressecção tumoral. A complexidade ou morfologia dos registros foi analisada nos mesmos gráficos utilizados para a medição da amplitude. Devido à significativa variabilidade interindividual dos valores absolutos da amplitude dos PEMFs^{48,142,143,149}, os registros das complexidades e as relações de amplitude evento-valor de base foram correlacionados à função facial pós-operatória imediata (documentada na alta hospitalar) e tardia (última avaliação do seguimento; mediana 7 meses, variação de 3 a 26 meses).

4.2.5 Análise estatística

Examinaram-se os dados com a utilização do programa SPSS 13.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL). Para analisar a variação das relações de amplitude do PEMF e da complexidade dos registros durante a cirurgia, empregou-se o teste de Friedman. Valores de $p < 0,05$ foram considerados significativos para a análise da variação. Caso o teste de Friedman demonstrasse uma diferença significativa, o teste de Wilcoxon era realizado e ajustado para múltiplas comparações com a correção de Bonferroni, em que os valores significativos ($p = 0,05$) são divididos pelo número de comparações, que são em número de três neste estudo. Assim, a correção de Bonferroni resulta, nesta situação, em um p valor igual a 0,017 para ser considerado estatisticamente significativo.

Os coeficientes não-paramétricos de Spearman foram calculados para avaliar a correlação entre a complexidade dos registros e as relações de amplitude de todos os tempos cirúrgicos com a função facial pós-operatória imediata e tardia.

Empregou-se a análise multivariada com estratificação para estudar a relação de independência entre a amplitude e a complexidade dos PEMFs nos tempos cirúrgicos relacionados à deterioração da função facial. Para tanto, a função facial pós-operatória imediata foi considerada a variável dependente. Para a análise de subgrupos, os pacientes foram classificados como portadores de potenciais polifásicos (Grupo 1) ou bifásicos (Grupo 2).

Nos pacientes 3 e 6, houve o desaparecimento dos potenciais e, por conseguinte, de sua complexidade, daí terem sido avaliados como parte do Grupo 2. Uma função facial pós-operatória HB 1 e 2 foi considerada satisfatória, enquanto uma outra, de HB 3 a HB 6, insatisfatória.

4.2.6 Aspectos éticos

Este estudo delineou-se de acordo com as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos e foi aprovado pelas comissões de ética em pesquisa em seres humanos do Hospital Universitário Tübingen (Projeto 286/2009A), Alemanha, e do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (Projeto 1950), Brasil, por se tratar de um trabalho cooperativo internacional (Anexo D).

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) não foi aplicado, tendo em vista o caráter retrospectivo observacional desta investigação, conforme regulamentação do Código de Ética Médica da Alemanha (Anexo D). Há de se registrar que o autor se compromete a preservar o anonimato dos pacientes, assim como o sigilo das informações coletadas.

5 RESULTADOS

5.1 Resultados cirúrgicos

Dos 35 pacientes incluídos neste estudo, 19 (54,2%) eram portadores de tumores grandes (T3 e T4), segundo a classificação de Hannover. Dois pacientes apresentaram tumores císticos e 5 manifestaram SVs no espectro da Neurofibromatose do tipo 2 (NF2), sendo um deles, inclusive, portador de tumores sincrônicos do APC: SV e meningioma (Paciente 29). No pré-operatório, uma paresia facial leve (HB 2) foi demonstrada em 4 pacientes (Tabela 4). Ressecção total foi conseguida em 31 pacientes (88,6%), ao passo que ressecção subtotal foi realizada em outros 4, sendo 3 deles portadores de NF2 e 1 de tumor cístico. Essa ressecção foi deliberadamente programada, visando à preservação funcional, especialmente para a proteção da audição nos pacientes com NF2.

No pós-operatório imediato, uma função facial satisfatória (HB 1 e 2) foi alcançada em 68,5% dos pacientes. Para os 30 pacientes, cuja última avaliação de seguimento estava disponível (mediana 7 meses, variação de 3 a 26 meses), uma função facial satisfatória foi documentada em quase todos (96,7%) (Tabela 4). O único indivíduo com função facial insatisfatória no longo termo (Paciente 3) padeceu de uma paralisia facial tardia completa pós-operatória (de HB 5 na alta hospitalar para HB 6 no último seguimento

com 7 meses de pós-operatório), motivo pelo qual foi submetido a anastomose hipoglosso-facial *a posteriori*.

Tabela 4 – Dados da Casuística*

Número de pacientes	35	
Masculino:Feminino	14:21	
Idade mediana em anos (<i>variação</i>)	46 (15-69)	
Lado (Direita: Esquerda)	16:19	
Tamanho		
<i>T 1</i>	5	
<i>T 2</i>	11	
<i>T 3a</i>	6	
<i>T 3b</i>	2	
<i>T 4a</i>	8	
<i>T 4b</i>	3	
Função Facial Pré-operatória		
<i>HB 1</i>	31	
<i>HB 2</i>	4	
Função Facial Pós-operatória	Imediato	Seguimento
<i>HB 1</i>	19	22
<i>HB 2</i>	5	7
<i>HB 3</i>	6	0
<i>HB 4</i>	3	0
<i>HB 5</i>	2	0
<i>HB 6</i>	0	1
Potencial Evocado Motor (mediana)		
Oculi <i>Latência (ms variação)</i>	14,6 (10,8 – 21,5)	
<i>Amplitude (µV variação)</i>	107 (3,66 – 830)	
Oris <i>Latência (ms variação)</i>	14,3 (10 – 22,4)	
<i>Amplitude (µV variação)</i>	96,6 (10,7 – 1371)	
ACP <i>Latência (ms variação)</i>	23,5 (19,4 – 33,1)	
<i>Amplitude (µV variação)</i>	1104 (9,37 – 2000)	

* ACP – músculo abdutor curto do polegar (mão); HB – classificação de House e Brackmann; ms – milissegundos; Oculi – músculo orbicular do olho; Oris – músculo orbicular da boca; µV – microvolts.

5.2 Resultados eletrofisiológicos

Os valores de base medianos de latência foram, aproximadamente, 14 ms para ambos os músculos orbiculares, enquanto a amplitude mediana absoluta dos PEMFs dos músculos orbiculares do olho e da boca foram 107 μ V e 96,6 μ V, respectivamente. O PEMM apresentou uma latência mediana de 23,5 ms e uma amplitude absoluta mediana de 1104 μ V (Tabela 4). PEMFs polifásicos corresponderam à maioria dos registros de base de complexidade, sendo registrados em 75% das observações no músculo orbicular do olho e 92,6% no músculo orbicular da boca. Em oito pacientes (22,8%), a intensidade do estímulo foi elevada durante a cirurgia (50 V – mediana; variação 30-160 V), com o intuito de suplantar a deterioração progressiva dos potenciais causada pela anestesia e, por conseguinte, alcançar melhores respostas de PEMF. Os PEMFs foram registrados em 88,6% e 85,7% dos casos, nos músculos orbiculares do olho e da boca, respectivamente. Artefatos impediram a aquisição adequada de PEMF em nove medidas de valores de base. A maioria das falhas técnicas (66,6%) correspondeu à baixa latência das respostas (< 10 ms), o que fora interpretado como estimulação periférica do NF. A EET não promoveu qualquer complicação neste estudo. Movimentos discretos da cabeça foram observados durante a estimulação em alguns pacientes, no entanto, não foram prejudiciais à microcirurgia.

A amplitude e a complexidade dos registros dos potenciais faciais tiveram uma grande variabilidade interindividual e intraindividual no decorrer

do procedimento cirúrgico. Cabe ressaltar, porém, que a variação da relação de amplitude dos PEMFs não atingiu significância estatística para nenhum dos músculos (orbicular do olho, $p = 0,793$; orbicular da boca, $p = 0,656$; de acordo com o teste de Friedman) (Figura 17). Quanto à complexidade dos registros, a análise de Friedman apresentou uma variação significativa do músculo orbicular do olho durante a ressecção tumoral ($p = 0.045$). Entretanto, após a aplicação da correção de Bonferroni para múltiplas comparações, o que parecia significativo, mostrou-se não significativo entre os diversos tempos cirúrgicos (TuDis e Valor de Base, $p = 0,370$; TuRes e TuDis, $p = 0,046$; Final e TuRes, $p = 1,000$; de acordo com o teste de Wilcoxon). Por fim, a complexidade do PEMF do músculo orbicular da boca não demonstrou variação estatística durante a cirurgia ($p = 0,261$, de acordo com o teste de Friedman).

Figura 17 – Diagramas de caixa (*box plots*) da variação intraoperatória das relações de amplitude (%) durante os diversos tempos cirúrgicos da ressecção do schwannoma vestibular. Em A, pode-se observar a variação dos registros do músculo orbicular do olho (Oc), enquanto em B, a dos registros do músculo orbicular da boca (Or). Embora uma variação seja claramente demonstrada, uma significância estatística não foi alcançada para o músculo orbicular do olho ($p = 0,793$) e tampouco para o músculo orbicular da boca ($p = 0,656$). Baseline – valor de base; TuDis – dissecação do tumor; TuRes – ressecção do tumor

As relações de amplitude do PEMF se correlacionaram significativamente com a função facial pós-operatória imediata (na alta hospitalar) e no último seguimento somente durante os tempos cirúrgicos incluídos na manipulação propriamente dita do tumor, a saber: TuDis, TuRes e final. As relações de amplitude do PEMF do músculo orbicular do olho previram adequadamente a função facial pós-operatória imediata (TuDis, $p = 0,003$; TuRes, $p = 0,055$; final, $p = 0,028$), no entanto os resultados não foram satisfatórios na predição da função a longo termo (Tabela 5). No que tange aos registros dos potenciais do músculo orbicular da boca, uma correlação negativa, de moderada a forte, foi encontrada entre a relação de amplitude e a função pós-operatória imediata (TuDis, $p = 0,002$; TuRes, $p = 0,104$; final, $p = 0,014$), assim como entre a função tardia, especialmente durante a TuDis ($p = 0,005$), e a medição final ($p = 0,102$) (Tabela 5).

Tabela 5 – Correlação das relações de amplitude dos potenciais motores dos músculos orbiculares do olho e da boca com a função facial pós-operatória*

Tempo Cirúrgico	Pós-op Imediato		Pós-op Tardio	
	rho	P valor	rho	P valor
Or oculi				
Inicial	0,012	0,951	0,043	0,834
Duralop	0,058	0,765	0,438	0,032
TuDis	- 0,621	0,003	- 0,286	0,249
TuRes	- 0,366	0,055	- 0,045	0,838
Final	- 0,396	0,028	- 0,268	0,186
Or oris				
Inicial	0,183	0,333	0,134	0,523
Duralop	- 0,046	0,811	0,222	0,297
TuDis	- 0,645	0,002	- 0,629	0,005
TuRes	- 0,332	0,104	- 0,199	0,401
Final	- 0,444	0,014	- 0,335	0,102

* Duralop – abertura da dura-máter; Or Oculi – músculo orbicular do olho; Or Oris – músculo orbicular da boca; Pós-op – pós-operatório; TuDis – dissecação do tumor; TuRes – ressecção do tumor.

Além da amplitude, a complexidade dos potenciais também apresentou uma correlação significativa com o prognóstico da função facial. Uma correlação negativa moderada foi demonstrada entre a complexidade do PEMF do músculo orbicular do olho na medição final do procedimento e o pós-operatório imediato ($p = 0,023$) e tardio ($p = 0,116$), de forma que potenciais com maior complexidade previram melhores funções faciais (Tabela 6). A complexidade dos registros do músculo orbicular da boca originou resultados ainda melhores, dado a correta predição funcional durante todos os tempos cirúrgicos relacionados à manipulação tumoral, tanto no pós-operatório imediato (TuDis, $p = 0,071$; TuRes, $p = 0,000$; final, $p = 0,001$), quanto no tardio (TuDis, $p = 0,015$; TuRes, $p = 0,001$; final, $p = 0,01$) (Tabela 6).

Tabela 6 – Correlação da complexidade dos potenciais motores dos músculos orbiculares do olho e da boca com a função facial pós-operatória*

Tempo Cirúrgico	Pós-op Imediato		Pós-op Tardio	
	rho	P valor	rho	P valor
Or oculi				
Inicial	- 0,101	0,610	0,171	0,435
Duralop	- 0,071	0,726	0,111	0,622
TuDis	0,205	0,399	0,277	0,298
TuRes	- 0,256	0,217	- 0,102	0,669
Final	- 0,427	0,023	- 0,337	0,116
Or oris				
Inicial	- 0,044	0,828	- 0,090	0,691
Duralop	- 0,044	0,828	- 0,090	0,691
TuDis	- 0,413	0,071	- 0,577	0,015
TuRes	- 0,693	0,000	- 0,688	0,001
Final	- 0,610	0,001	- 0,539	0,01

* Duralop – abertura da dura-máter; Or Oculi – músculo orbicular do olho; Or Oris – músculo orbicular da boca; Pós-op – pós-operatório; TuDis – dissecação do tumor; TuRes – ressecção do tumor.

A ampla variabilidade dos resultados eletrofisiológicos e cirúrgicos sugeriu que as alterações documentadas nas relações de amplitude e de complexidade dos potenciais, em decorrência das manobras cirúrgicas, podem ter ocorrido de forma independente. Através da análise multivariada com estratificação dos dois parâmetros quantitativos, estabeleceu-se uma tendência de representarem variáveis independentes para monitorização dos músculos orbiculares do olho e da boca, especialmente nos potenciais polifásicos do músculo orbicular do olho (Grupo 1) (Tabela 7). Entretanto, devido à pequena amostra do Grupo 2, a análise da correlação foi enfraquecida, limitando a retirada de conclusões definitivas sobre a independência dos resultados. Com os resultados apresentados, pode-se concluir, por enquanto, que a predição da função pela relação de amplitude é modulada pela complexidade dos potenciais, devendo ser analisada em separado, notadamente nos registros polifásicos (Tabela 7).

As deteriorações agudas das relações de amplitude ($> 50\%$) dos potenciais dos músculos orbiculares do olho e da boca corresponderam à paresia facial pós-operatória em 85,7% e 60%, respectivamente. Uma variação significativa da relação de amplitude dos potenciais do músculo orbicular do olho foi observada em 8 pacientes durante a TuRes (27,6% das medidas válidas neste tempo cirúrgico) (Anexo E). Destes, três retornaram ao limiar de 80% ao final do procedimento e quatro sofreram paresia facial pós-operatória, sendo que dois deles pertenciam ao grupo de pacientes que recuperaram os potenciais em valores considerados normais (Anexo E). No que tange aos potenciais registrados no músculo orbicular da boca,

variações semelhantes ocorreram em 6 pacientes durante a TuRes (23,1% das medidas válidas), em que dois pacientes retornaram ao limiar de 35% ao final da cirurgia e cinco outros sofreram paresia facial pós-operatória. O desaparecimento dos potenciais foi documentado em dois pacientes apenas, levando-os a paresia facial severa pós-operatória (Anexo E).

Tabela 7 – Correlação das relações de amplitude dos potenciais motores dos músculos orbiculares do olho e da boca com a função facial pós-operatória imediata, estratificados pela complexidade dos potenciais durante os diversos tempos cirúrgicos da ressecção tumoral*

		Tempo Cirúrgico	Pós-op Imediato	
			rho	P valor
Grupo 1	Or oculi	TuDis	- 0,704	0,001
		TuRes	- 0,456	0,05
		Final	- 0,449	0,041
	Or oris	TuDis	- 0,582	0,009
		TuRes	0,131	0,570
		Final	- 0,221	0,267
	Or oculi	TuDis	0,866	0,333
		TuRes	- 0,045	0,909
		Final	- 0,229	0,525
Grupo 2	Or oris	TuDis	1,000	-
		TuRes	- 0.500	0.50
		Final	0.500	0.667

* Grupo 1 (pacientes com registros polifásicos); Grupo 2 (pacientes com registros bifásicos ou desaparecimento); Or Oculi – músculo orbicular do olho; Or Oris – músculo orbicular da boca; Pós-op – pós-operatório; TuDis – dissecação do tumor; TuRes – ressecção do tumor.

A deterioração da complexidade dos potenciais faciais (seja de bifásico para perda) ou de polifásico para bifásico ou perda foi observada no músculo orbicular do olho em sete pacientes, e no músculo orbicular da boca em cinco pacientes. É interessante notar que todos os pacientes com deterioração da complexidade dos potenciais no músculo orbicular da boca sofreram paresia facial pós-operatória (Anexo E). Um caso ilustrativo das variações intraoperatórias dos parâmetros quantitativos pode ser comprovado na Figura 18.

A complexidade dos potenciais não esteve disponível para avaliação em ambos os músculos nos pacientes 1 e 2; no músculo orbicular do olho, no paciente 17; ou no músculo orbicular da boca, no paciente 28 (Anexo E). Grosso modo, os resultados obtidos neste trabalho indicam que a monitorização facial, através do registro dos PEMFs de ambos os músculos, promove melhor predição funcional no pós-operatório imediato, em detrimento do pós-operatório tardio. Isso se deve, em parte, à melhora funcional evolutiva do NF no decorrer do tempo, em resposta ao tratamento adequado de reabilitação.

Figura 18 – Registros intra-operatórios dos potenciais evocados motores faciais (PEMF) obtidos no paciente 13 (Anexo D), o qual é portador de um grande schwannoma vestibular (T3b). Os PEMFs foram registrados antes da abertura dural (valor de base), durante a dissecação do tumor (TuDis), durante a ressecção do tumor (TuRes) e ao final do procedimento (Final). Uma deterioração do PEMF do músculo orbicular do olho (Or Oculi) foi observado durante a TuDis (49%) e ao final da cirurgia (41%), enquanto o PEMF do músculo orbicular da boca (Or Oris) apresentou uma redução significativa da amplitude durante a TuDis (38%) e a TuRes (14%). Adicionalmente, uma deterioração da complexidade dos potenciais (de polifásico para bifásico) ocorreu em associação às menores relações de amplitude. É interessante notar que o PEMF da boca recobrou o limiar considerado normal ao final da cirurgia. Este paciente evoluiu com uma paresia facial pós-operatória imediata (HB 4), apresentando uma melhora importante para HB 2 na última consulta do seguimento aos 16 meses de pós-operatório. Os valores absolutos de amplitude (μV) são representados entre parênteses

6.1 Protocolo de estimulação do potencial evocado motor facial

O PEMF surgiu como uma ferramenta adicional aos métodos neurofisiológicos intraoperatórios tradicionais, na predição da função facial pós-operatória de pacientes submetidos à cirurgia da base do crânio^{48,142,143}. Contudo, o seu advento tem sido prejudicado pelas reduzidas taxas de monitorização do músculo orbicular do olho e pela falta de padronização de protocolos e de parâmetros de estimulação (Anexo F).

A resposta periférica do NF, isto é, a estimulação extracraniana do nervo é de grande interesse, correspondendo à maioria das falhas técnicas observadas neste trabalho. Consequentemente, os estudos aplicam limiares de latência mais longos (> 10 ms)^{142,143}, haja vista a descrição prévia de uma latência de aproximadamente 4 a 7 ms para as respostas periféricas do NF, após estimulação magnética transcraniana²⁴¹⁻²⁴⁸, enquanto após a EET, a latência varia de 3 a 7 ms^{143,244,249}. Além da estimulação periférica do NF, falhas técnicas também podem ser demonstradas em pacientes portadores de disfunção motora pré-operatória^{215,216,222,224,225,230}. Isso foi comprovado neste estudo, em que três das falhas técnicas (33,3%) ocorreram em pacientes portadores de paresia facial pré-operatória leve (HB 2); no entanto, há de se destacar que pelo menos um músculo pôde ser monitorizado em todos os pacientes.

Os artefatos constituem um problema à parte na monitorização do PEMF, por causa da grande proximidade dos locais de estimulação e de registro dos potenciais. Assim sendo, os artefatos podem ser frequentemente grandes o suficiente para sobrescrever os próprios registros de PEMF ¹⁴². Entretanto, com a utilização de um protocolo progressivo de aumento da intensidade da estimulação, os parâmetros desenvolvidos renderam altas taxas de monitorização de ambos os músculos faciais, com resultados superiores a 85%, o que é similar aos resultados obtidos com a monitorização dos músculos nos membros ^{215,224,225}. De forma interessante, o músculo orbicular do olho pode ser mais propenso aos artefatos, sendo esse fato atribuído à grande representação cortical do andar inferior da face em comparação ao andar superior, o que poderia promover melhores resultados de monitorização com o músculo orbicular da boca ^{142,149,226}. Essa suposição, no entanto, não foi comprovada nos resultados deste estudo, uma vez que aquele músculo obteve melhores taxas de monitorização (88,6% vs. 85,7%).

Numa investigação prévia, o protocolo utilizado neste estudo foi validado ^{149,226}. De forma similar, a intensidade da estimulação e a quantidade de pulsos foram adaptadas individualmente com caráter progressivo crescente, começando com a estimulação de pulso único até a sequência de 5 pulsos ^{149,226}. Com a estimulação de pulso único, registros de PEMF contralateral não foram obtidos, o que, associado à longa latência dos potenciais, assegurou que as respostas musculares não fossem geradas periféricamente ^{48,149,226}. A EET com montagem hemisférica dos eletrodos no

escalpe (C3/C4 e CZ) contribui para tanto, a permitir o registro das melhores respostas faciais por causa da redução da probabilidade de estimulação periférica dos músculos-alvo contralaterais ¹⁴³. Por outro lado, com a montagem hemisférica, existe a possibilidade de a EET ativar o trato córtico-espinal profundamente no encéfalo, ou até mesmo ao nível do forame magno ¹²⁴. Portanto, seria factível haver uma lesão do trato córtico-espinal acima do nível da estimulação, com uma preservação enganosa do PEM ¹²⁴. Porém, com o intuito de suplantar essa possibilidade, a estimulação deve ser minimizada ao menor valor capaz de originar os registros dos potenciais ¹²⁴. Através do aumento gradual da intensidade da estimulação, o protocolo apresentado objetiva a ativação superficial do trato córtico-espinal, estimulando próximo ao limiar motor (*near motor threshold*) ²⁵⁰.

Os parâmetros de estimulação para os músculos ACP e tibial anterior, que estabelecem os menores limiares motores, constituem uma sequência de 5 pulsos, uma duração de pulso individual de 0,5 ms e um IIE de 4 ms ²⁵⁰. Esse IIE permite a recuperação completa de cada onda D consecutiva, independentemente da intensidade da EET ^{210,250,251}. Ainda que os menores limiares motores do músculo ACP sejam obtidos com um IIE de 4 ms, os resultados não apresentam diferença estatística quando comparados a um IIE de 2 ms ²⁵⁰. Sendo assim, pode-se assumir que um IIE de 2 a 4 ms origina resultados similares na obtenção da completa recuperação durante a monitorização dos PEMFs.

Visto que a resposta da EET de pulso único é suprimida sob anestesia geral ^{124,216}, uma sequência de pulsos é requerida para sobrepujar a

supressão causada pela anestesia ^{215,252}. Sugere-se que esse efeito seja entendido como resultado da somação temporal dos estímulos no córtex cerebral ²⁵². Nesse momento, o número de pulsos para a monitorização do PEMF ainda não foi estabelecido, sendo relatado desde pulso único ²²⁹ a uma sequência de 5 pulsos ^{48,142,143,149,226-228,230} (Anexo F). Entretanto, a utilização de 3 a 5 pulsos fornece os melhores resultados, como demonstrado neste estudo e em estudos anteriores ^{48,142,143,149,226-228,230}. Acreditamos que o número de pulsos deve ser ajustado em caráter individual, como foi apresentado, em detrimento da necessidade do operador ou de acordo com a preferência institucional ²²⁰. Ademais, e estimulação elétrica excessiva aumenta sobremaneira o risco de lesão térmica ao escalpe e ao encéfalo ^{212,220}, sendo recomendado, portanto, um menor número de repetições e de frequência de estimulação, que deve ser mantido no mínimo requerido ^{151,209}.

6.2 Potencial evocado motor facial intraoperatório e prognóstico da função facial

A deterioração patológica da amplitude do PEMF pode ser derivada de lesão do trato córtico-espinal, de trauma à raiz nervosa ou ao nervo periférico, de estiramento, de isquemia ou de pressão sobre as vias motoras ²²⁰. É interessante notar que vários fatores confundidores potenciais se apresentam durante as cirurgias do APC, tais como: anestesia, falha técnica

do estímulo, edema do escalpe, bloqueio neuromuscular e coleção de ar subdural, especialmente nos pacientes submetidos à cirurgia em posição semissentada^{48,212,220,230,253}.

Nesse contexto, cabe ressaltar que os procedimentos cirúrgicos realizados nessa posição estão suscetíveis à ocorrência de alarmes falso-positivos da monitorização intraoperatória que não se encontra relacionada à lesão neurológica, isto é, à deterioração não patológica do PESS e do PEM^{212,220,253-260}. Essas alterações foram atribuídas ao efeito isolante da coleção de ar subdural^{212,220,253-260}. Tal conceito surgiu com os estudos pioneiros de McPherson et al.²⁵⁵ e Schubert et al.²⁵⁷, ao observarem a atenuação do PESS em pacientes operados em posição semissentada que se recuperaram da anestesia sem déficit neurológico. O maior estudo sobre esse assunto, porém, foi promovido por Wiedemayer et al.²⁵³ em 2002, em que eles confirmaram as observações prévias da ocorrência desse fenômeno; entretanto, o estudo radiológico pós-operatório não foi empregado para comparação. Isso motivou nosso grupo a desenvolver um estudo de correlação entre a volumetria da coleção de ar subdural pós-operatória, obtida pela tomografia computadorizada de crânio, e as relações de amplitude final-valor de base do PEM e do PESS em pacientes neurologicamente intactos no pós-operatório²⁶¹. Os resultados demonstraram que não existe correlação entre as relações de amplitude do PEM e do PESS e a volumetria pós-operatória, sugerindo outros mecanismos fisiopatológicos para a atenuação intraoperatória dos potenciais, como, por exemplo, o deslocamento encefálico (*brain shift*)^{261,262}.

Mas, excluindo-se os fatores confundidores, questiona-se qual a redução do PEMF deve ser considerada como um sinal de aviso para lesão motora definitiva. O desaparecimento ou a perda do PEM constitui o único sinal de aviso amplamente aceito^{220,224,225} que mais se correlaciona ao déficit motor pós-operatório^{48,124,224,225}, podendo ou não ser precedido de alterações óbvias na amplitude²²⁰. Dado que muitos – mas não todos os mecanismos de lesão – são irreversíveis, através da utilização do critério de desaparecimento do PEM como sinal de aviso, a monitorização intraoperatória identificaria mais frequentemente uma lesão neurológica do que propriamente a evitaria²²⁰. Além disso, a recuperação do PEM seguindo-se a sua deterioração ou a sua perda, sem prejuízo da função motora, que pode ser usualmente observada em cirurgias aórticas, ortopédicas ou até mesmo em cirurgias de tumores intramedulares^{220-222,263}, é raramente relatada no que diz respeito ao PEMF^{48,142,143,149}. Eis porque existe uma preocupação geral de que a perda do PEM seja muito sensível e insuficientemente específica²²⁰.

Considerando a ampla variabilidade da amplitude dos PEMFs entre os pacientes⁴⁸, devido, parcialmente, às flutuações da excitabilidade dos neurônios motores alfa²²⁰, uma relação de amplitude final-valor de base do PEMF de 50% foi calculada, promovendo resultados excelentes na predição da função facial pós-operatória^{48,142,143}. Resultados semelhantes foram definidos para o PEM dos membros, em que uma redução da amplitude de mais de 50% deve ser reportada à equipe cirúrgica, induzindo, por meio disso, a alterações nas próprias manobras cirúrgicas^{221,222,224,225,230,263}.

Através do cálculo das curvas ROC (*receiver operating characteristic*), descobrimos, em uma investigação prévia ¹⁴⁹, uma correlação estatística para diferentes limiares em ambos os músculos monitorizados. Para o músculo orbicular do olho, uma relação de amplitude de 80% (redução absoluta de amplitude de 20%) foi identificada, enquanto para o músculo orbicular da boca, calculou-se uma relação de amplitude de 35% (redução absoluta de 65%) para correlação com a função motora do NF ¹⁴⁹. Contudo, a monitorização do músculo orbicular da boca proporcionou resultados mais consistentes, o que promoveu resultados estatísticos mais significativos.

Um questionamento razoável seria a impressão de que o critério de amplitude de 80% parece apresentar-se bastante elevado. No entanto, deteriorações discretas do PEM, em torno de 30%, foram utilizadas como referência durante cirurgias para ressecção de tumores intramedulares, levando à interrupção da cirurgia, à irrigação com solução salina morna e à espera pela recuperação dos potenciais ^{221,263}. A irrigação com solução salina morna parece ter um efeito de “lavagem” do potássio, que é basicamente um agente bloqueador liberado em decorrência da manipulação cirúrgica ²²¹. Caso não haja recuperação dos potenciais nos minutos seguintes, o cirurgião pode decidir pela ressecção conservadora, subtotal, ou apenas por uma biópsia ²²¹. Com essa abordagem preventiva, Morota et al. ²⁶³ detectaram atenuações da amplitude de cerca de 50% em apenas 15,8% dos pacientes, embora todos tivessem evoluído com paraplegia pós-operatória.

Importante evidenciar que a sensibilidade aumenta com limiares de relação final-valor de base mais altos, enquanto a especificidade aumenta

com limiares mais baixos ^{143,149}. Ademais, o critério de amplitude de 35% promove sensibilidade e especificidade suficientes para a predição da deterioração da função facial ^{143,149}. Baseados nesses resultados, é recomendado que reduções mantidas de amplitude para valores entre 80% e 35% durante a remoção tumoral deve ser utilizada como sinal de alerta para a mudança da estratégia cirúrgica, a evitar, por meio disso, uma lesão motora permanente.

Mesmo que a lesão do NF seja possível após uma redução de mais de 50% e, bastante provável, após uma redução de 65% da amplitude ^{124,143}, resultados falso-positivos e falso-negativos ainda são observados ^{48,142,143,149}. Dado que o PEMF é originado numa subpopulação de axônios do NF ¹⁴³, supõe-se que os resultados falso-negativos são causados por lesões discretas em axônios não diretamente envolvidos na construção do PEMF, podendo, assim, originar paresia facial leve sem alterações consideráveis nos potenciais motores ¹⁴².

Por outro lado, o desaparecimento gradual da amplitude do PEM poderia ser um fator potencial para justificar os resultados falso-positivos durante anestesia geral sem edema de escalpe ^{220,237}. Para o PEM dos membros inferiores, uma elevação da voltagem de cerca de 11 V/h torna-se imprescindível para manutenção da amplitude dos potenciais maior que 50 μ V em pacientes neurologicamente intactos ²³⁷. Isso indica de certa forma que cirurgias prolongadas são mais propensas à ocorrência de resultados falso-positivos devido à necessidade crescente de aumento da intensidade de estimulação, com o objetivo de manter os mesmos níveis de amplitude.

Já que a elevação da intensidade dos estímulos não recupera reduções patológicas do PEM ²⁶⁴, é pouco provável que isso tenha interferido nos resultados observados neste estudo ¹⁴⁹. Uma evolução gradual da redução da amplitude corresponde a uma diferenciação importante desse fenômeno da redução patológica do PEM, que se apresenta mais abrupta ^{237,263,264}.

6.3 Variação intraoperatória e parâmetros quantitativos do potencial evocado motor facial na predição da função pós-operatória

De acordo com o glossário de definições da Associação Americana de Medicina Eletrodiagnóstica (*American Association of Electrodiagnostic Medicine – AAEM*), o PEM é definido como “um potencial de ação muscular composto, produzido por estimulação magnética transcraniana ou por estimulação elétrica transcraniana” ²⁶⁵. Os PEMFs representam, em última análise, registros tradicionais de PAMCs e devem ser avaliados de acordo ^{209,266}.

O conceito de EMG quantitativa foi inicialmente explorado na década de 50 ^{238,240,267-269}, sendo atualmente aplicado às técnicas que envolvem uma análise detalhada dos PAMCs ²⁷⁰, em detrimento da aplicação original do termo para análise dos padrões de interferência (atividade elétrica registrada de um músculo durante esforço voluntário máximo) ^{265,270}. A AAEM inclui ambos os conceitos, definindo EMG quantitativa, como “um

método sistemático de medição dos registros obtidos por eletrodos-agulhas intramusculares. As medidas incluem características dos potenciais de ação da unidade motora como a amplitude, a duração e as fases ou características dos padrões de interferência”²⁶⁵.

Assim, a análise dos parâmetros quantitativos estabelece interpretações objetivas dos registros de EMG pela medição da amplitude, da latência, da complexidade, da duração e da área sob a onda, dentre outras^{239,270}. Na prática, a amplitude é o parâmetro quantitativo mais utilizado para monitorização intraoperatória do PEM^{48,142,143,149,228,230,263,271,272}, refletindo o tamanho e o número das fibras musculares dentro de 0,5 mm do eletrodo de registro^{240,263,273}.

Conforme foi discutido anteriormente, para a monitorização dos membros durante cirurgias intramedulares, a presença ou a ausência do PEM é considerada como sinal de alerta para a equipe cirúrgica^{124,272,274}. Se o potencial desaparece, a cirurgia é imediatamente descontinuada, sendo instituído o protocolo TIP (T = tempo; I = irrigação com solução salina morna; P = papaverina e elevação da pressão arterial)²⁷⁴. Os potenciais são recuperados de forma consistente com essa abordagem e a cirurgia pode prosseguir²⁷⁴.

Ao contrário do PEM, a recuperação dos PEMFs após o desaparecimento raramente é observada, como ficou demonstrado por este estudo e por estudos anteriores^{48,142,143,149}. Por isso, critérios eletrofisiológicos mais rigorosos são requeridos para a monitorização dos potenciais faciais.

Embora a redução da amplitude dos PEMFs seja apreciada como uma boa preditora da função facial pós-operatória ^{48,143}, os parâmetros até então utilizados nos estudos sobre o tema abordam somente os valores finais e os iniciais da amplitude ¹⁴⁹. Assim sendo, partimos da premissa de que seria possível documentar a perda ou a deterioração significativa dos potenciais durante as manobras cirúrgicas e que esses potenciais poderiam se recuperar, alcançando o final do procedimento em níveis normais. E mais: essas alterações intraoperatórias poderiam ser correlacionadas com o pós-operatório imediato e tardio, originando relações evento-valor de base com resultados aprimorados, quando comparados àqueles da relação final-valor de base para a predição funcional. Em outras palavras, além da predição funcional, as relações evento-valor de base podem contribuir para mudanças na estratégia cirúrgica ainda em tempo hábil, evitando, por meio disso, uma lesão neurológica definitiva, ao passo que as relações final-valor de base contribuem apenas para a correspondência com o prognóstico da função pós-operatória.

Essa hipótese foi confirmada através dos resultados deste trabalho, de forma que cerca de 25% dos pacientes apresentaram deterioração das relações de amplitude durante tempos-chave do procedimento cirúrgico, atingindo o final da cirurgia com valores normais em 37,5% dos potenciais do olho e em 33,3% dos potenciais da boca.

É interessante observar que os pacientes que apresentaram deterioração aguda de mais de 50% da amplitude dos potenciais dos músculos orbiculares do olho e da boca, durante qualquer tempo cirúrgico

relacionado à manipulação do tumor, evoluíram com paresia facial pós-operatória em 85,7% e 60% dos casos, respectivamente, mesmo que as relações final-valor de base permanecessem em níveis normais. Não obstante, a variação dos potenciais do grupo como um todo não teve significância estatística; ao contrário da variação individual, essa observação é expressiva, pois demonstra a estabilidade e a confiabilidade do protocolo de estimulação próximo ao limiar motor. Isso indica que as alterações intraoperatórias podem ser realmente decorrentes das manobras cirúrgicas e não de artefatos de estimulação.

Ademais, os resultados deste estudo demonstraram uma correlação negativa de moderada a forte entre as relações de amplitude durante a TuDis, a TuRes e ao final do procedimento e a função facial pós-operatória imediata, de forma que maiores amplitudes corresponderam a menores graus na classificação de HB, isto é, aos melhores resultados funcionais. Essa correlação permaneceu significativa para os resultados do músculo orbicular da boca no longo termo. Por conseguinte, alterações da estratégia cirúrgica intraoperatória encontram-se justificadas quando da deterioração do PEMF durante a TuDis ou TuRes, devido à elevação do risco de lesão do NF. Baseados nesses resultados, recomendamos a monitorização eventual de base do PEMF, pois tais resultados confirmam achados antecedentes de que a mudança das manobras cirúrgicas para áreas diferentes permite, supostamente, a recuperação das fibras do NF ⁴⁸, como foi descrito para o nervo coclear ¹⁵⁰ e para a medula espinal ²⁷⁴.

Em contrapartida, a latência não apresenta uma correlação prognóstica da função motora nem na medula espinal^{212,224}, e tampouco nos estudos de EMG facial¹⁷⁴. Isso pode ser atribuído, em parte, à grande variabilidade observada inclusive em indivíduos neurologicamente intactos²⁷⁴. Por conseguinte, a latência do PEM não é analisada rotineiramente para estimativa do prognóstico motor²²⁴. Ademais, tornou-se bastante difundido o conhecimento de que a latência representa uma função da amplitude em estudos de condução motora nervosa²⁷⁵.

A complexidade dos potenciais traduz um parâmetro quantitativo subestimado no que tange à monitorização intraoperatória do PEM. O número de fases ou turnos (mudanças na polaridade da morfologia dos registros) representa uma dispersão temporal ou uma perda da sincronização dos potenciais de ação das fibras musculares localizadas num raio de 1 mm dos eletrodos de registro^{239,240,270}. Os PAMCs são normalmente bifásicos ou trifásicos, dependendo *se iniciam* na área do eletrodo ativo ou se em outra parte do músculo, respectivamente²³⁹. PAMCs patologicamente complexos são observados em desordens miopáticas e neuropáticas, embora também possam ocorrer em menor proporção em músculos normais, particularmente nos proximais^{238,270}.

Os potenciais polifásicos são documentados na maioria dos registros dos valores de base nos estudos de PEM faciais¹⁴³ e dos membros²⁷⁶. Tendo em vista a escassez de informações normativas, não se pode concluir de forma confiável se os potenciais polifásicos representam a dispersão temporal dos neurônios motores faciais ou se significam lesão ao NF¹⁴³.

Por outro lado, PAMCs complexos são comumente identificados em enfermidades neuropáticas como resultado da progressão da doença, afetando a desenvoltura da reinervação^{239,268}.

Sob esse aspecto, o SV, como um tumor de crescimento lento, pode fornecer um modelo clínico ímpar de neuropatia compressiva, devido à correlação das alterações eletrofisiológicas com o tamanho do tumor, correlação essa que pode ser atribuída como uma medida indireta, porém confiável, da quantidade e da duração da compressão sobre o NF⁵⁸. Dado que a reinervação colateral dos axônios sobreviventes às fibras musculares desnervadas origina novos componentes tardiamente no PAMC original^{240,273}, os registros polifásicos poderiam representar o processo dinâmico da lesão neural e da reinervação, em detrimento da dispersão temporal normal.

As alterações intraoperatórias da complexidade de PEM foram recentemente demonstradas como um parâmetro quantitativo útil para a estimativa do prognóstico motor funcional em tumores intramedulares²⁷⁶. Esses achados foram corroborados pelos nossos resultados, indicando que a complexidade dos potenciais apresenta uma correlação estatisticamente significativa entre a sua deterioração intraoperatória e a função facial pós-operatória imediata e tardia, especialmente as respostas finais do PEMF do músculo orbicular do olho e durante todos os tempos cirúrgicos relacionados à manipulação tumoral do PEMF do músculo orbicular da boca. A exemplo das relações de amplitude, a deterioração da complexidade ocorreu em algum momento da manipulação tumoral em cerca de 25% dos pacientes, sendo importante a observação de que todos os que apresentaram

deterioração nos potenciais do músculo orbicular da boca evoluíram com paresia facial pós-operatória.

A análise dos coeficientes de correlação revelou que amplitude e complexidade parecem representar variáveis quantitativas independentes, servindo como indicadores eletrofisiológicos da integridade do NF. No entanto, é possível afirmar com segurança que a independência ocorreu apenas nos registros polifásicos dos músculos orbiculares do olho. Baseados nos resultados apresentados, pode-se concluir por enquanto que a predição da função pela relação de amplitude é modulada pela complexidade dos potenciais. Recomendamos, entretanto, a avaliação separada de ambos os critérios durante a MIONF com potenciais evocados faciais. Por motivos óbvios, estudos adicionais com maior casuística devem ser estimulados, com o intuito de dirimir a necessidade da documentação de ambos os parâmetros.

Como os potenciais polifásicos podem representar em última análise uma neuropatia compressiva, uma questão remanescente adviria, ou seja: como deteriorações da complexidade para registros bifásicos, “considerados normais” durante a cirurgia, poderiam indicar uma lesão facial pós-operatória? Sugerimos para tanto que, no decorrer da cirurgia, a lesão sobre o NF ocorra progressivamente, tanto nos axônios previamente saudáveis, quanto nos axônios regenerados, os quais são responsáveis pelo aparecimento dos novos componentes com latência tardia nos PAMCs^{240,273}. Consequentemente, a complexidade dos registros, de polifásico para bifásico ou até mesmo de polifásico para perda, modifica-se, a depender da

severidade da lesão sobre os axônios saudáveis ou patológicos do NF. Por conseguinte, a lesão dos axônios regenerados poderia induzir ao desaparecimento dos componentes tardios, dando origem aos potenciais bifásicos, enquanto uma lesão severa sobre ambos os tipos de axônios poderia levar à perda dos potenciais musculares.

Considerando-se as taxas ínfimas de resultados falso-positivos e falso-negativos com a monitorização do PEM dos membros ^{272,274}, alguns autores acreditam que critérios mais sensíveis nesse tipo de monitorização somente protegeriam os pacientes contra um déficit motor pós-operatório leve ou transitório, que pode ser bem tolerado e considerado como “um preço aceitável a pagar” se o tumor for extirpado completamente ²⁷⁴. Além disso, a aplicação de critérios mais rigorosos poderia impedir a ressecção completa do tumor intramedular, devido à interrupção precoce do procedimento ²⁷⁴. No que tange à monitorização facial, índices elevados de resultados falso-positivos e falso-negativos sustentam a utilização de critérios mais rigorosos. Ademais, as sequelas de longo prazo da paralisia facial têm sido subestimadas pelos profissionais de saúde, de forma que os pacientes experimentam níveis elevados de incapacidade, apesar dos bons resultados técnicos, a originar uma interpretação menos otimista do prognóstico ^{62,65}.

Os nossos resultados justificam modificações intraoperatórias da estratégia cirúrgica com base na deterioração do PEMF durante a dissecação e a ressecção tumorais devido ao risco aumentado de lesão do NF. Nós recomendamos, portanto, a monitorização evento-valor de base do PEMF, confirmando observações prévias em que a modificação das

manobras cirúrgicas para áreas diferentes permitem a recuperação das fibras do NF ⁴⁸, como tem sido observado para o nervo coclear ¹⁵⁰ e para a medula espinal ²⁷⁴.

De uma forma geral, a análise de ambos os parâmetros quantitativos do PEMF apresenta melhores resultados na predição funcional no pós-operatório imediato que no último seguimento, especialmente no músculo orbicular do olho. Tal discrepância na relação de amplitude e na complexidade dos músculos orbiculares do olho e da boca foi realçada por quatro exclusões devido a artefato nos traçados associadas aos cinco pacientes em que o seguimento não estava disponível, o que certamente subestimou a função preditiva do PEMF do músculo orbicular do olho na última avaliação. Isto poderia contribuir para uma interpretação equivocada dos nossos resultados, uma vez que a recuperação funcional tardia após uma piora transitória no pós-operatório imediato não justificaria modificações intraoperatórias na estratégia cirúrgica ou até a interrupção precoce da ressecção tumoral baseadas nos registros do PEMF.

Considerando-se que a observação de recuperação do PEMF após desaparecimento ainda não foi documentada, o que conduz invariavelmente à paresia facial severa, a função facial encontra-se particularmente em perigo caso a cirurgia continue após a deterioração do PEMF. Além disso, a linha sutil entre a deterioração e a perda do PEMF não pode ser antecipada. Nós acreditamos que a monitorização evento-valor de base é bastante útil para ditar quando as alterações da estratégia cirúrgica devem ser asseguradas, podendo contribuir para uma melhor preservação funcional

facial, assim como para a remoção total do tumor em estudos prospectivos com maior base populacional. A interrupção precoce do procedimento cirúrgico levando a ressecção incompleta do SV pode ser uma opção terapêutica em casos de deterioração mantida do PEMF, entretanto deve ser baseada na avaliação intraoperatória do cirurgião, na idade e na intenção do paciente, bem como na aceitação de um déficit funcional.

Ademais, cabe enfatizar o papel da monitorização do PEMF do músculo orbicular do olho, a qual desempenha uma função importante, no mínimo complementar, quando os registros do músculo orbicular da boca não estão disponíveis. Esta situação ocorreu em cinco pacientes do presente estudo, como demonstrado no Anexo E, dos quais a função facial foi corretamente prevista em ambos os períodos pós-operatórios em quatro, indicando uma melhor correlação funcional quando avaliada separadamente.

A duração é o quarto parâmetro quantitativo mais empregado nas avaliações dos registros de PAMCs. É definida como o intervalo de tempo desde o início dos registros eletromiográficos até o seu retorno à linha de base, representando o tamanho e o número de fibras musculares localizadas num raio de 2,5 mm dos eletrodos de registro^{238,240,270}. Uma duração aumentada torna-se passível de ser registrada em doenças neuropáticas como resultado da dispersão temporal^{240,268,270}. Oportunamente, Quinones-Hinojosa et al.²⁷⁶ relataram que um decréscimo na duração do PEM durante cirurgias de tumores intramedulares estava associado à paresia pós-operatória no segmento. Outros autores, entretanto, descreveram que uma redução expressiva da duração dos potenciais faciais durante cirurgias para

descompressão microvascular do NF correspondeu à resolução do hemiespasma facial no pós-operatório ²²⁸. Embora a duração dos potenciais possa representar uma variável quantitativa adicional, tendo em vista o aumento em doenças neuropáticas, a sua interpretação deve ser cuidadosa e limitada, porque ela compreende uma variável dependente da complexidade e da amplitude dos potenciais ^{266,268,276}. Finalmente, a área sob a onda há de ser endereçada em estudos futuros, por corresponder à estimativa mais direta dos tecidos funcionais capazes de gerar os potenciais evocados motores ²³⁹.

De uma forma ideal, os parâmetros quantitativos dos potenciais deveriam representar variáveis independentes entre si ²⁴⁰. Infelizmente, porém, isso não corresponde à realidade, tendo em vista a correlação óbvia da amplitude com a área sob a onda, assim como com a duração e a latência dos potenciais, ao passo que o número de fases apresenta-se moderadamente correlacionado com a amplitude ^{240,275}. Tais correlações acontecem devido ao fato de que os diferentes parâmetros refletem, de certo modo, geradores fisiológicos e estruturais semelhantes ²⁴⁰. Portanto, neste trabalho, a relação de modulação determinada entre a amplitude e a complexidade encontra-se de acordo com as informações da literatura. Por outro lado, dado que as informações sobre a correlação dos parâmetros quantitativos de EMG em processos patológicos dos músculos são escassas na literatura ²⁴⁰, somente com o desenvolvimento de novos estudos abrangendo um maior número de pacientes, essa questão poderia ser resolvida definitivamente.

Diferentemente dos potenciais dos membros, em que um tratamento tópico pode ser instituído nos casos de perda dos mesmos, em vigência de deterioração dos potenciais faciais com MIONF, pode-se estabelecer um tratamento medicamentoso, conhecido como vasoativo ^{277,278}. Esse tratamento foi inicialmente proposto para pacientes que apresentavam risco aumentado de perda auditiva tardia, após cirurgia para ressecção de SV, baseados na instabilidade intraoperatória dos PEAs. A aplicação de tal regime foi bastante eficaz, elevando significativamente a preservação da audição ²⁷⁸.

Esses resultados motivaram a análise retrospectiva da função facial nos pacientes inscritos no estudo. A terapêutica consistia na utilização intraoperatória de um fragmento de gelfoam^R embebido em nimodipina, seguido da infusão de nimodipina (15-30 µg/kg/h), com início no pós-operatório imediato; e também da infusão de hidroxietilamido a 6% (500 ml, duas vezes ao dia, dose máxima [Voluven^R]), com início no primeiro dia de pós-operatório durante 10 dias ²⁷⁸. Com esse protocolo, os pacientes portadores de paralisia facial desfigurante (HB 6) apresentaram resultados superiores aos não tratados na avaliação funcional de um ano de pós-operatório, de forma que, dos 15 pacientes tratados, apenas 1 (6,7%) permaneceu com paralisia facial, enquanto dos 8 não tratados, 5 deles (62,5%) mantiveram a paralisia no longo termo ²⁷⁸.

A hipótese foi investigada *a posteriori* ²⁷⁷, dessa vez, no entanto, com desenho prospectivo e randomizado. O estudo estratificou os pacientes em dois grupos, a saber: uso profilático e uso terapêutico, quando da

deterioração da MIONF intraoperatória ²⁷⁷. Como conclusão, os resultados da função facial e da auditiva foram bastante superiores nos pacientes submetidos ao tratamento vasoativo profilático ²⁷⁷. Entretanto, estudos numa base populacional maior são indispensáveis à confirmação dessa observação, embora seja possível que, no futuro, o tratamento vasoativo venha a ser recomendado rotineiramente nas cirurgias do SV ²⁷⁷.

O porvir é, pois, promissor, e os futuros estudos hão de ser dedicados à descoberta de sinais de alerta mais relevantes, como ponto sem retorno no que tange à função motora facial, de modo a permitir, por meio disso e em tempo hábil, mudanças na técnica cirúrgica, visando a prevenir um déficit motor definitivo. Além disso, o número crescente de métodos de monitorização e de critérios eletrofisiológicos dificulta sobremaneira a interpretação dos resultados por parte da equipe cirúrgica e dos eletrofisiologistas. Em assim sendo, o desenvolvimento de programas de computador capazes de reconhecer, analisar e quantificar cada um dos critérios em tempo real seria um grande avanço para a prevenção de défices neurológicos permanentes.

7 CONCLUSÕES

A análise detalhada dos registros eletrofisiológicos intraoperatórios de 35 pacientes portadores de schwannoma vestibular levou às seguintes conclusões:

- 1 As variações de amplitude e complexidade não apresentam significância estatística quando computado o grupo por inteiro. Isso, por certo, pode representar a confiabilidade do protocolo empregado, por trabalhar próximo do limiar motor;
- 2 As variações individuais, em decorrência das manobras cirúrgicas, geraram correlações com o prognóstico da função facial imediata e tardia, de forma que a deterioração intraoperatória dos potenciais – seja a da amplitude ou a da complexidade – justifica mudanças imediatas da estratégia cirúrgica. Assim sendo, a monitorização evento-valor de base promove melhores resultados na predição funcional, em detrimento das medidas isoladas final-valor de base. Ademais, há de se destacar que a monitorização evento-valor de base encontra-se em uníssono com um dos principais objetivos da monitorização intraoperatória, qual seja, melhorar a preservação neural pela redução do trauma cirúrgico;

- 3 A complexidade dos potenciais apresenta uma variação distinta que parece representar um parâmetro quantitativo adicional, independente, ou, pelo menos, capaz de modular as respostas de amplitude, podendo ser empregado para a monitorização facial, devido à promoção de bons resultados na predição da função facial pós-operatória.

Anexo A – Resumo dos estudos publicados sobre o valor preditivo da estimulação elétrica direta (EED)*

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (μseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Delgado et al. 1979 ¹⁴	Retro	14	SV	50	VC	Mono	1, frontal	MAI, REZ	Amplitude absoluta dos PAMCs em ambas as localizações (0 a 30 V)	Amplitude semelhante indica integridade grosseira do NF; Redução da amplitude entre MAI e REZ em dois casos de paresia facial leve e severa
Harner et al. 1987 ²¹	Retro	48	SV	50	VC	Bipo	1, dois dos quatro (oculi, oris, ment., masséter, ou temporal); 1, superfície	MAI, REZ	Amplitude relativa entre as localizações (10 a 50 V)	Redução leve (< 50%), moderada (≥ 50%) ou ausência de respostas proximais – forte correlação com disfunção facial pós-op
Harner et al. 1988 ⁹⁹	Retro	91	SV	50	VC	Bipo	1, oculi ou oris, ment., masséter, temporal; 1, superfície	MAI, REZ	Qualquer resposta a estimulação (a partir de 10 V); caso a resposta proximal seja reduzida, a estimulação distal (MAI) define a extensão da lesão	Caso a resposta seja documentada, isso indica um NF intacto; Resposta PAMC reduzida – elevação definitiva do risco de paresia facial

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Silverstein et al. 1988 ¹⁶³	Retro	301	Ot, SV	200	CC	Mono	NA, oris (detector de movimento)	REZ	Estimulação > 0.3 mA ao final da ressecção	Paresia facial é provável se estimular com > 3 mA
Niparko et al. 1989 ³²	Retro	29	SV	100	CC	Bipo	NA	MAI, REZ	Resposta igual – proximal e distal ao final do procedimento	67% - HB 1 em 1 semana; 88% - HB 1 em 1 ano
Beck et al. 1991 ¹⁷³	Retro	56	SV	100	CC	Mono	1, Oris	REZ	1. Descarga neurotônica repetitiva de 500 µV por ≥ 30 seg; 2. Resposta de 500 µV de amplitude do O. oris, usando 0,05 mA de estimulação ao final da ressecção tumoral.	4 grupos de pacientes: A. < 500 µV EMG e > 500 µV à estimulação; B. > 500 µV EMG e à estimulação; C. < 500 µV EMG e à estimulação; D. > 500 µV EMG e < 500 µV à estimulação. Grupo A – em 1 semana, 97% tiveram HB 1
Kirkpatrick et al. 1991 ⁸³	Retro	18	APC	1.000	CC	Bipo	1, Oris	NA	Qualquer resposta à 0,5-1 mA de estimulação (até 5 mA)	tumor pequeno – 73% tiveram HB 1/2 de 3 a 43 meses; tumor grande – 43% tiveram HB 3/5 de 3 a 43 meses

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	CrITÉRIOS MIONF	Resultados
Berges et al. 1993 ¹⁹¹	Retro	43	SV	NA	CC	Mono	2, Oris, Oculi	MAI, REZ	Uma relação foi calculada através do limiar mínimo de estimulação (I) e a resposta de amplitude induzida no EMG (A), tanto no APC ($R' = I/A$), quanto no MAI($R'' = I/A$); $R = R' / R''$	$R < 2 - 90\%$ HB 1/2 em 10 dias; $R > 2 - 10\%$ HB 1/2 em 10 dias;
Kirkpatrick et al. 1993 ¹¹⁹	Retro	26	SV	1.000	CC	Ambas	2, Oculi, Oris	REZ	Estimulação ≤ 2 mA após a ressecção tumoral	67% - HB 1/2 de 6 a 43 meses;
Prasad et al. 1993 ⁹⁵	Retro	34	APC	100 a 200	VC	NA	2, Oculi, Oris	REZ	Variação de Estimulação proximal ≤ 0.2 V antes e após a ressecção do tumor;	90% - HB 1/2 em 2 dias; 83% - HB 1/2 de 1 a 44 meses;
Wolf et al. 1993 ¹⁹⁰	Pros	25	SV	100	CC	Mono	3, lado do tumor; 1, contralateral	REZ	1. Descargas neurotônicas repetitivas de 500 µV de amplitude por ≥ 30 seg; 2. Resposta de 500 µV de amplitude, usando 0,1 a 0,4 mA de estimulação ao final da ressecção tumoral;	Resposta de EMG < 500 µV e > 500 µV à estimulação – função facial normal em 90% dos pacientes no 1º dia de pós-op;

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Lacombe et al. 1994 ¹⁰⁹	Retro	62	SV	100	CC	Mono	2, oculi, oris	REZ	Limiar de estimulação	≤ 0.1 mA – Todos com HB 1/2 no 1º mês de pós-op; Entre 0,1 e 0,3 mA – 71.4% HB I/II no 1º mês; > 0.3 mA – 20% HB 1/2 no 1 mês
Lalwani et al. 1994 ²⁷	Retro	129	SV	200	VC	Mono	2, Oculi, Oris	REZ	Estimulação ≤ 0.2 V após a ressecção tumoral;	Limiar de estimulação não foi correlacionado ao pós-op imediato; 98% - HB 1/2 em 1 ano; caso > 0.2 V – 50% HB 1/2
Lenarz e Ernst 1994 ⁷³	Retro	30	APC	100	CC	Ambas	2, Oculi, Oris	NA	Limiar de estimulação	significativamente elevado em pacientes com paresia facial pós-op (0,73 mA), indicando prognóstico reservado com lesão nervosa duradoura;
Maurer et al. 1994 ¹⁷⁷	Retro	35	SV	100	CC	Ambas	2, Oculi, Oris	REZ	Redução relativa da amplitude de mais de 50% após a ressecção tumoral;	Prognóstico reservado mais frequente em pacientes com redução da amplitude

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Silverstein et al. 1994 ³⁶	Retro	44	SV	200	CC	Mono	NA (EMG); Oris (detector de movimento)	REZ	Estimulação ≤ 0.1 mA após a ressecção tumoral (no EMG ou no detector de movimento)	95% - HB 1/2 em ≥ 1 ano; Se 0,1 a 0,2 mA – 82% HB 1/2
Yokoyama et al. 1994 ¹⁸⁰	Retro	52	SV	100	CC	Mono	NA	MAI, REZ	Amplitude mediana sobre a REZ (> 100 µV) ou relativa entre a REZ e a MAI (> 30%) com 0,5-0,6 mA de estimulação	Prognóstico bom ou excelente em 6 a 24 meses
Maurer et al. 1995 ¹⁵⁷	Retro	102	APC, base de crânio	100	CC	Ambas	2, Oculi, Oris	REZ	Redução relativa da amplitude de mais de 50% após a ressecção tumoral	Prognóstico reservado mais frequente em pacientes com redução da amplitude
Taha et al. 1995 ³⁸	Retro	20	SV	100	CC	Mono	2, Oculi, Oris	MAI distal, REZ	Relação de amplitude Proximal-Distal com a menor intensidade de estimulação (0,05-0,1 mA)	Relação > 2/3 – todos os pacientes com função maior ou igual à HB 3 no pós-op imediato e HB 1 em 14-28 meses; Relação > 1:3 / < 2:3 – 90% com função HB 3 ou pior no pós-op imediato e 100% HB 3, ou melhor, no último seguimento; Relação < 1/3 – todos os pacientes com função HB 4 ou pior no pós-op imediato e tardio

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Selesnick et al. 1996 ⁷¹	Retro	49	APC	50	CC	Mono	NA, Multich	REZ	Estimulação ≤ 0.1 mA após a ressecção tumoral	90% - HB 1/2 em 1 ano; Se ≤ 0.2 mA – 78% HB 1/2
Hone et al. 1997 ⁸¹	Pros	27	SV	100	CC	Bipo	2, Frontal, Oris	REZ	Menor corrente capaz de elicitar uma amplitude > 250 µV	Limiar de estimulação > 0.1 mA – HB > 2 no pós-op imediato e com 6 meses de pós-op
Magliulo e Zardo 1997 ¹⁹⁵	Retro	23	base de crânio	NA	CC	Mono	2, Oculi, Oris	MAI, REZ	1. Atividade repetitiva e contração muscular à estimulação (método de Beck – 1991); 2. Relação entre MAI e REZ (método de Berges – 1993); Limiar de estimulação (método de Silverstein -1994).	Os métodos de Berges e Silverstein mostraram melhor sensibilidade; Relação das respostas previu a função facial em 91,3% dos pacientes em 1 ano; Limiar de estimulação previu corretamente a função facial em 86,9% dos pacientes; O método de Beck falhou na predição funcional pós-op
Nissen et al. 1997 ¹²¹	Retro	81	SV	NA	VC	Mono	NA	MAI, REZ	Mínima voltagem capaz de originar uma resposta de EMG (limiar de estimulação)	Limiar mediano de 0,1 V – HB 1/2 em 6 meses; Limiar mediano de 0,725 V – HB 3/4 em 6 meses

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Zeitouni et al. 1997 ¹²³	Pros	109	SV	NA	CC	Mono	2, Oculi, Oris	REZ	1. Limiar de estimulação; 2. Amplitude PAMC	Limiar de estimulação associado significativa-mente com o pós-op imediato e tardio - 87% dos pacientes com limiares entre 0,05 – 0,1 mA (HB1/2 83% no pós-op imediato e 91,6% em 1 ano); PAMC falhou na predição da função facial pós-op
Mandpe et al. 1998 ¹⁹³	Pros	44	SV	NA	VC	Mono	2, Oculi, Oris	MAI, REZ	1. Limiar de estimulação ($\leq 0.1V$); 2. Amplitude PAMC (0.2 V acima do limiar); 3. Limiar + amplitude PAMC	$\leq 0.1 V$ – 74% HB 1/2 na alta hospitalar; Amplitude PAMC $\geq 200 \mu V$ – 89% HB 1/2 na alta; Baixo limiar + amplitude alta – 88% HB 1/2 na alta; O uso dos critérios associados promoveu melhores resultados que o limiar isolado;
Magliulo and Zardo 1998 ¹⁹⁶	Retro	34	SV	NA	CC	Mono	2, Oculi, Oris	MAI, REZ	1. Atividade repetitiva e contração muscular à estimulação (método de Beck – 1991); 2. Relação entre MAI e REZ (método de Berges – 1993); 3. Limiar de estimulação (método de Silverstein -1994).	Atividade continuada $< 500 \mu V$ e contração muscular $> 500 \mu V$ – confirmaram um prognóstico favorável em 10 dias de pós-op; Relação < 2 – 90% HB 1/2 e $R > 2$ – 87.5% HB 5/6; $\leq 0.1 mA$ – 84% HB 1/2 em 10 dias; O método de Berges é mais preciso, enquanto o método de Beck é mais limitado;

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Sobottka et al. 1998 ¹⁷⁸	Retro/ Pros	60	SV	100	CC	Mono	2, Oculi, Oris	REZ	1. Amplitude absoluta proximal e distal (0,05-0,1 mA); 2. Limiar de estimulação; 3. Relação de amplitude Proximal-distal	Amplitude > 800 µV – 94% resultados bons ou excelentes no pós-op imediato e 100% no tardio (6 a 18 meses); Amplitude < 300 µV – todos os pacientes com paralisia facial severa no pós-op imediato e tardio; < 0.3 mA – 86,4% resultados excelentes ou bons no pós-op imediato e 100% no tardio; > 0.3 mA – todos os pacientes com paresia facial de moderada a severa; A relação de amplitude não foi mais preditiva (baixa especificidade)
Axon e Ramsden 1999 ¹⁸⁹	Pros	184	SV	200	CC	Bipo	2, Oculi, Oris	Proximal ao tumor	Limiar mínimo de estimulação (0,05 mA)	94% de sensibilidade na predição de uma boa função facial no longo termo e 91% de VPP
Fenton et al. 1999 ¹¹⁶	Pros	35	SV	100	CC	NA	NA	Medial e lateral ao tumor	Intensidade mínima de estimulação medial e lateral ao tumor após a ressecção	Estimulação medial ≤ 0,1 mA – 96% HB 1/2 no pós-op imediato; ≥ 0,15 mA – 30% HB 1/2, altamente sugestivo de uma função facial anormal

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Goldbrunner et al. 2000 ¹⁷⁴	Pros	137	SV	100	CC	Bipo	2, Oculi, Oris	MAI distal, REZ	Relação de amplitude Proximal-Distal com a menor intensidade de estimulação (0,5 mA)	Relação > 0,8 – 1,6% de risco de paresia facial severa em 6 meses; Relação < 0,1 – 75% de risco de paresia facial severa em 6 meses; Valores absolutos de amplitude alcançaram significância estatística apenas para subgrupos (HB 4/5).
Fenton et al. 2002 ⁵¹	Pros	67	SV	100	CC	NA	2, Oculi, Oris	Medial ao tumor	Intensidade mínima de estimulação medial ao tumor após a ressecção;	0,1 mA – 88% dos pacientes foram corretamente estratificados para um prognóstico inicial favorável, baseados no tamanho do tumor e no limiar de estimulação
Isaacson et al. 2003 ⁸²	Retro	229	SV	100	CC	Mono	2, Oculi, Oris	MAI, REZ	1. Limiar de estimulação 2. Relação de amplitude Proximal-Distal dos PAMCs	≤ 0,5 mA – 93,6% HB 1/2 em 6 meses; Relação > 0,33 – 97% HB 1/2 em 6 meses
Fenton et al. 2004 ⁵²	Pros	16	APC não-SV	100	CC	NA	NA	REZ	Limiar de estimulação < 0,1 mA	Boa função facial no longo termo
Akagami et al. 2005 ⁴⁸	Pros	71	APC	NA	NA	NA	2, Oculi, Oris	NA	Relação de amplitude Proximal-Distal dos PAMCs	Variável independente na predição de função facial satisfatória

Continua...

Continuação Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	Critérios MIONF	Resultados
Anderson et al. 2005 ⁶⁸	Retro	67	SV (> 3cm)	NA	CC	Mono	NA	REZ	Amplitude absoluta dos PAMCs > 100 µV em resposta à estimulação de no máximo 0,4 mA	93% - HB 1/2 no último seguimento (6 meses a 1 ano)
Bozorg-Grayeli et al. 2005 ¹⁵⁹	Pros (multi)	111	SV	NA	CC	Mono	4, Oculi, Oris, Frontal, Platisma	Fundo, MAI, REZ	Menor intensidade capaz de desencadear uma resposta > 100 µV em pelo menos um canal	< 0,05 mA – limiar que parece melhorar o valor prognóstico para a predição da função facial pós-op imediata; 0,01-0,04 mA – 93% HB 1/2 no 8º dia pós-op; 0,05-0,3 mA – 85% HB 1/2 no 8º dia de pós-op; > 0,3 mA – 79% HB 1/2 no 8º dia de pós-op
Grayeli et al. 2005 ¹⁶⁰	Pros	89	SV	NA	CC	Mono	4, Oculi, Oris, Frontal, Platisma	Fundo, MAI, REZ	1. Menor intensidade capaz de desencadear uma resposta > 100 µV em pelo menos um canal 2. Limiar de estimulação	0,01-0,04 mA – 90% HB 1/2 nos dias 1º e 8º de pós-op; 0,05-0,2 mA – 75% HB 1/2 nos dias 1º e 8º de pós-op; > 0,2 mA – 20% HB 1/2.
Neff et al. 2005 ¹⁴⁰	Pros	74	SV	NA	CC	NA	2, Oculi, Oris	REZ	1. Amplitude de resposta 240 µV ou maior e; 2. Limiar de estimulação de 0,05 mA ou menor	Um critério – 85% HB 1/2 em 1 ano; Ambos – 98% de probabilidade de HB 1/2 em 1 ano;

Continua...

Conclusão Anexo A

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (CC/VC)	Pont.	Canais, Músculo	Estimulação	CrITÉRIOS MIONF	Resultados
Isaacson et al. 2005 ¹⁸⁸	Retro	60	SV	100	CC	Mono	2, Oculi, Oris	MAI, REZ	1. Limiar de estimulação; 2. Relação de amplitude Proximal-Distal dos PAMCs	Preciso na predição de risco aumentado de disfunção do NF com um modelo de regressão logística; Escore ≥ 0,8 – todos os pacientes com HB final grau 3 ou melhor; Escore < 0,8 – 67% não recuperam o fechamento do olho
Lin et al. 2006 ²⁷⁹	Pros	38	SV	200	CC	Bipo	3, Oculi, Oris, Frontal	REZ	Relação de amplitude foi calculada, dividindo a resposta do PAMC na estimulação da REZ (0,05-0,3 mA) pela resposta máxima da estimulação transcutânea ipsilateral distal no forame estilomastoideo	PAMC > 50% do máximo – 93% VPP de HB 1/2 no pós-op imediato; PAMC > 20% do máximo – 81% VPP.
Shamji et al. 2007 ²⁸⁰	Retro	127	SV	NA	NA	NA	NA	NA	Limiar de estimulação	< 0,1 mA – preditivo de preservação funcional do NF
Bernat et al. 2010 ²⁸¹	Pros	120	SV	100 ms	CC	Mono	4, Oculi, Oris, Frontal, queixo	MAI, REZ	1. Limiar de estimulação; 2. Amplitude da resposta após estimulação supra-máxima (2 mA); e 3. Relação de amplitude Proximal-Distal dos PAMCs	< 0,04 mA – Sens 89% e Espec 43%; PAMC > 800 µV – Sens 38% e Espec 87%; Relação < 0,6 – Sens 78% e Espec 40%; Todos os critérios – Sens 90% e Espec 78% na predição de HB 1 ou 2 no 8º dia de pós-op

* APC – ângulo ponto-cerebelar; Bipo – ponteira bipolar; CC – corrente constante; EMG – eletromiografia; Espec – especificidade; Frontal – músculo occípito-frontal; HB – classificação de House e Brackmann; mA – mili-ampère; MAI – meato acústico interno; ment. – músculo mentoniano; MIONF – monitorização intraoperatória do nervo facial; Mono – ponteira monopolar; ms – milissegundos; multi – estudo multicêntrico; Multich – multicanais; µsec – microssegundos; µV – microvolts; NA – não atribuído; NF – nervo facial; No. – número de pacientes; Oculi – músculo orbicular do olho; Oris – músculo orbicular da boca; Ot – procedimentos otológicos; PAMC – potencial de ação muscular composto; Pont. – ponteira; Pós-op – pós-operatório; Pros – prospectivo; Retro – retrospectivo; REZ – zona de saída da raiz; seg – segundos; Sens – sensibilidade; SV – schwannoma vestibular; V – volts; VC – voltagem constante; VPP – valor preditivo positivo.

Anexo B – Resumo dos estudos publicados sobre o valor preditivo da eletromiografia continua.*

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Canais, músculos	Crítérios MIONF	Resultados
Harner et al. 1987 ²¹	Retro	48	SV	1, dois dos quatro (oculi, oris, ment., masséter, ou temporal)	Intensidade das descargas neurotônicas	Descargas neurotônicas severas foram fortemente associadas à disfunção facial pós-op
Harner et al. 1988 ⁹⁹	Retro	91	SV	1, oculi ou oris, ment., masséter, temporal	Intensidade das descargas neurotônicas	Correlação com o grau de paresia pós-op
Lenarz e Ernst 1994 ⁷³	Retro	30	APC	2, oculi, oris	Número de eventos de atividades repetitivas; Relação (atividades/Hora)	Correlação com a função facial pós-op (> 26 atividades – HB 3 ou maior); > 5.4 atividades/hora – preditivo de disfunção facial de moderada a severa no pós-op imediato (HB 3 ou maior)
Eisner et al. 1995 ²⁰¹	Retro	16	Tronco cerebral	1, para ambos os oculi; 1, para ambos os oris	Duração de AEP AEP leve – atividade de EMG por alguns segundos; AEP intensa – atividade de EMG por horas, similar à atividade repetitiva (trains)	AEP intensa – déficit pós-op permanente; Qualquer atividade de EMG – função normal; Atividade constante de EMG /AEP leve – paresia transitória ou incompleta
Grabb et al., 1997 ²⁰²	Retro	17	Quarto ventrículo	1, para ambos os oculi; 1, para ambos os oris	Atividade de EMG facial	A presença de atividade de irritação foi associada à paresia facial pós-op
Hone et al. 1997 ⁸¹	Pros	27	SV	2, frontal, oris	Número de contrações espontâneas ou induzidas mecanicamente (> 20); Número e duração das atividades repetitivas (> 199 seg)	74% tiveram mais de 20 contrações e 59% apresentaram mais de 200 seg de atividades repetitivas de EMG; Nenhum preditivo da função facial pós-op
Kombos et al. 2000 ²⁰³	Pros	60	APC	2, oculi, oris	Duração da atividade de EMG Descargas esporádicas ou < 2 min; Atividade de EMG de 2-5 min; Atividade de EMG > 5 min; Perda da atividade de EMG	< 2 min de atividade – boa função imediata e tardia; 2-5 min de atividade – 60% de bons resultados imediatos (93,3% de sensibilidade e VPP); > 5 min de atividade (73,3% de sensibilidade e VPP) – 67% de resultados regulares e 33% de resultados imediatos ruins; Perda das atividades – todos os pacientes com função ruim no pós-op imediato e tardio; A duração da atividade de surto não se correlaciona necessariamente com a função pós-op

Continua...

Continuação Anexo B

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Canais, músculos	Critérios MIONF	Resultados
Romstock et al. 2000 ¹⁴¹	Pros	30	APC	3, oculi, oris, nasal	Análise das características das ondas de EMG (pontas, surto e atividade repetitiva)	A ocorrência de atividade repetitiva do tipo A (A-trains) é um fator preditivo confiável da paresia facial pós-op; Potenciais em ponta, de surto, atividades repetitivas do tipo B e C são clinicamente irrelevantes
Nakao et al. 2001 ¹⁹⁷	Pros	51	SV	2, oculi, oris; oris (detector de movimento)	Número, duração, frequência e amplitude das atividades repetitivas de EMG	A duração (30 seg a 20 min) e o número (1 a 14) não são preditores da função facial; Amplitude elevada ($\geq 250 \mu V$) – 85,7% HB 5 ou 6 na alta hospitalar; Sem atividade repetitiva – 77,8% paralisia facial (HB 6) na alta; Frequência elevada (tipo bombardeiro) – 60% HB 5 ou 6 na alta
Wedekind and Klug 2001 ¹³⁷	Pros	33	APC	2, oculi, oris	Análise das características das ondas de EMG Atividade transitória que cessa à interrupção da manipulação; Atividade duradoura que continua sem a manipulação, amplitude $< 200 \mu V$; Atividade duradoura com amplitude $> 200 \mu V$	A frequência da primeira categoria foi significativamente mais alta em pacientes com bons resultados imediatos e no 3º mês de pós-op (Sens 69%, Espec 94%); A frequência da terceira categoria foi mais alta, mas não significativa, nos pacientes com resultados ruins no pós –op imediato e tardio (Sens 45%, Espec 89%); A monitorização da EMG contínua não promove uma predição confiável da função facial
Nakao et al. 2002 ²⁰⁴	Pros	49	SV	2, oculi, oris; oris (detector de movimento)	Análise dos potenciais de surto e atividade repetitiva 1. Padrão irritativo; 2. Padrão silencioso; 3. Padrão esporádico (atividade persistente de até 20 min); 4. Padrão comum	Padrão irritativo – 91% HB 3 ou melhor na alta e 100% em 1 ano; Padrão silencioso – 82% HB 5 ou 6 na alta e HB 3 ou melhor em 1 ano; Padrão esporádico – todos os pacientes com HB 5 ou 6 na alta e HB 3 ou melhor em 1 ano; Padrão comum – 77% HB 1/2 na alta e 92,3% HB 3 ou melhor em 1 ano

Continua...

Conclusão Anexo B

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Canais, músculos	Critérios MIONF	Resultados
Prell et al. 2007 ¹⁴⁴	Retro	40	SV	3, oculi, oris, nasal	Parâmetro quantitativo da atividade do tipo A (tempo de atividade)	Predição confiável da função do FN no pós-op imediato e tardio; Dois limiares – 0,5 seg e 10 seg; Limiar de 0,5 seg – tempo de atividade menor que o limiar está associado a uma boa função facial pós-op; Limiar de 10 seg – menos de 10 seg foi correlacionado com uma deterioração leve (1 grau HB) e mais de 10 seg (2 ou mais graus de HB)
Prell et al. 2010 ¹⁴⁵	Pros	30	SV	3, oculi, oris, nasal	Tempo real de atividades do tipo A	Predição confiável dos resultados imediatos e tardios; Quatro limiares – 0,125, 0,125 – 2,5, 2,5 – 10, e >10 seg; Alta correlação entre o tempo de atividade e os resultados funcionais, de forma que tempos elevados indicam piora funcional e resultados pobres; 2,5 seg – limiar que separa resultados favoráveis dos desfavoráveis (risco ocular)

* AEP – atividade espontânea patológica; APC – ângulo ponto-cerebelar; EMG – eletromiografia; Espec – especificidade; HB – classificação de House e Brackmann; min – minutos; MIONF – monitorização intraoperatória do nervo facial; μ V – microvolts; NA – não atribuído; Nasal – músculo da asa do nariz; NF – nervo facial; No. – número de pacientes; Oculi – músculo orbicular do olho; Oris – músculo orbicular da boca; Ot – procedimentos otológicos; PAMC – potencial de ação muscular composto; Pont. – ponteira; Pós-op – pós-operatório; Pros – prospectivo; Retro – retrospectivo; seg – segundos; Sens – sensibilidade; SV – schwannoma vestibular; V – volts; VPP – valor preditivo positivo.

Anexo C – Protocolo de Pesquisa

Nome:

Idade:

Sexo:

Registro:

Lado do Tumor:

Tamanho do Tumor:

Função Facial Pré-op:

MEP Mm. Abdutor curto
do polegar:

FMEP (Amplitude)	Inicial	Abertura da Dura-Máter	Início da ressecção do Tumor	Fim da ressecção do Tumor	Final
Mm. Orbicular do olho:					

Absoluta (μV)

Relativa (%)

FMEP (Complexidade)	Inicial	Abertura da Dura-Máter	Início da ressecção do Tumor	Fim da ressecção do Tumor	Final
Mm. Orbicular do olho:					

FMEP (Amplitude)	Inicial	Abertura da Dura-Máter	Início da ressecção do Tumor	Fim da ressecção do Tumor	Final
Mm. Orbicular da boca:					

Absoluta (μV)

Relativa (%)

FMEP (Complexidade)	Inicial	Abertura da Dura-Máter	Início da ressecção do Tumor	Fim da ressecção do Tumor	Final
Mm. Orbicular da boca:					

Função Facial Pós-op
imediatos:

Função Facial Pós-op
Final (meses):

Anexo D – Declarações das Comissões de Ética em Pesquisa

MEDICINA
USP
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 19.05.10, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº 089/10 intitulado: "**Critérios Eletrofisiológicos de Prognóstico da Função Facial baseados no Potencial Evocado Motor do Nervo Facial Intra-operatório durante os diversos Tempos Cirúrgicos da Cirurgia do Schwannoma Vestibular**" apresentado pelo Departamento de Neurologia.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar ao CEP-FMUSP, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa .

O pesquisador deverá aguardar a aprovação da CONEP para iniciar a pesquisa.

Pesquisador (a) Responsável: Prof. Dr. Paulo Henrique Pires Aguiar
Pesquisador (a) Executante: Marcus André Acioly

CEP-FMUSP, 19 de maio de 2010.

Prof. Dr. Ricardo Nitrini
Professor Associado
CRM: 17 011 - Matr. FMUSP 554.359

Prof. Dr. Eduardo Massad
Coordenador
Comitê de Ética em Pesquisa

Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo Rua Ovídio Pires de Campos, 225, 5º andar - CEP 05403 010 - São Paulo - SP Fone: 011 3069 6442 Fax: 011 3069 6492 e-mail: cep_fmusp@hcnet.usp.br

FMUSP - POS-GERMUNAC-SE -26-Nov-2010-15:11-006283-1/1

FACULDADE DE
MEDICINA

Comitê de Ética em Pesquisa

CEP-048/10

São Paulo, 15 de outubro de 2010

Ilmo. Sr.

Prof. Dr. Paulo Henrique Pires de Aguiar
Departamento de Neurologia

Por determinação do Senhor Coordenador Prof. Dr. Eduardo Massad, encaminhamos para conhecimento cópia do Ofício 3069/10/CONEP/CNS/MS, da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP/MS referente a **APROVAÇÃO** com recomendação do Protocolo de Pesquisa– intitulado **“Critérios Eletrofisiológicos de Prognóstico da Função Facial baseados no Potencial Evocado Motor do Nervo Facial Intra-operatório durante os diversos Tempos Cirúrgicos da Cirurgia do Schwannoma Vestibular.”** Nº CEP 089/10 , Registro CONEP 16085.

Solicitamos atender as considerações, e enviar a este CEP antes do início do estudo.

Atenciosamente

Tânia Maria da Silva
Secretária
Comitê de Ética em Pesquisa

Comitê de Ética em Pesquisa Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
Av. Dr. Arnaldo, 455 - Instituto Oscar Freire - 1º andar - Cerqueira Cesar - São Paulo - SP CEP 01246903 Fone (11) 3061-8004
e-mail cep@fmed.usp.br

Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität
und am Universitätsklinikum Tübingen, Gartenstraße 47, D-72074 Tübingen

Herrn
Marcus André Acioly de Sousa
Gastarzt
Universitätsklinik für Neurochirurgie
Hoppe-Seyler-Str. 3
72076 Tübingen

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN

Ethik-Kommission

Vorsitzender: Prof. Dr. med. D. Luft

☎ 07071-29 77661
Fax: 07071-29 5965
ethik.kommission@med.uni-tuebingen.de

nachrichtlich:
Herrn Prof. Dr. med. Marcos Tatagiba

286/2009A
unsere Projekt Nummer

10.7.2009
eingegangen am

13. Juli 2009
Datum

Intraoperative motorisch evozierten Potenziale des Nervus facialis zum Erhalt der postoperativen Nervus facialis-Funktion. Schreiben vom 6. Juli 2009 – retrospektive Untersuchung von Patientendaten

Sehr geehrter Herr Kollege,

Ihre Anfrage bezüglich der retrospektiven Datenauswertung hinsichtlich des Monitorings der Nervus facialis-Funktion bei Operationen an der Schädelbasis hat der Ethik-Kommission zur Beratung vorgelegen.

Die retrospektive, anonymisierte Auswertung individueller, in der Diagnostik und Therapie entstandener Daten eigener Patienten bedarf keiner Beratung durch die Ethik-Kommission gemäß der Berufsordnung für Ärzte und keiner informierten Einverständniserklärung der früher untersuchten Patienten.

Gegen eine anonymisierte Zusammenstellung, Auswertung und Publikation der Daten bestehen seitens der Ethik-Kommission keine Bedenken.

Für den Fall, dass eine prospektive Untersuchung zum Vergleich verschiedener Ableitungsmethoden geplant ist, muss diese Untersuchung vor Studienbeginn der Ethik-Kommission zur Beratung vorgelegt werden.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. Dieter Luft
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Anlage: Allgemeine Hinweise zum Votum der Ethik-Kommission

Universitätsklinikum Tübingen
Anstalt des öffentlichen Rechts
Gaisbergweg 3 - 72076 Tübingen
Telefon (07071) 29-0
www.medizin.uni-tuebingen.de
Stadtbus - Linie 5

Medizinische Fakultät Tübingen
Gaisbergweg 5, 72076 Tübingen
Telefon (07071) 29 - 7 79 73

Aufsichtsrat:
Klaus Tappeser
(Vorsitzender)

Vorstand:
Prof. Dr. Michael Bamberg (Vorsitzender)
Gabriele Sonntag (Stellv. Vorsitzende)
Prof. Dr. Karl Ulrich Bartz-Schmidt
Prof. Dr. Ingo B. Autenrieth
Günther Brenzel

Fakultätsvorstand:
Prof. Dr. Ingo B. Autenrieth (Dekan) - Vorsitzender
Prof. Dr. Klaus Unerl (Prodekan) - Stellv. Vorsitzender
Prof. Dr. Stephan Zipfel (Prodekan Lehre)
Prof. Dr. Olaf Rieth (Prodekan Forschung)
Prof. Dr. H. Peter Rodemann (Prodekan Biomedizin)
Prof. Dr. Michael Bamberg (Lfd. Ärtztl. Direktor)
Dipl.-Volksw. Gabriele Sonntag (Kaufm. Direktorin)

Banken:
Baden-Württembergische Bank Stuttgart
(BLZ 600 501 01) Konto-Nr. 7477 5037 93
IBAN: DE41 6005 0101 7477 5037 93
SWIFT-Nr.: SOLADEST

Kreissparkasse Tübingen
(BLZ 641 500 20) Konto-Nr. 14 144
IBAN: DE79 6415 0020 0000 0141 44
SWIFT-Nr.: SOLADES1TUB

Universidade Eberhard-Karls

Hospital Universitário Tübingen (UKT)

Comissão de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Eberhard-Karls e do Hospital Universitário Tübingen

Coordenador: Prof. Dr. med. D. Luft

Endereço: Gartenstraße 47, D-72074

Tübingen, Alemanha

Tel – 07071 2977661

Fax – 07071 295965

ethik.kommission@med.uni-tuebingen.de

Sr. Marcus André Acioly de Sousa

c/c Prof. Dr. med. Marcos Tatagiba

Médico Visitante

Departamento de Neurocirurgia

Endereço: Hoppe-Seyler Str. 3, 72076

Tübingen, Alemanha

Número do Projeto: 286/2009A

Data de entrada: 10/07/2009

Projeto: Potencial Evocado Motor Intra-operatório do Nervo Facial para Preservação da Função Pós-operatória do Nervo Facial. Escrito em 06/07/2009 – Estudo Retrospectivo

13 de Julho de 2009

Prezado Colega,

Foi apresentado na Comissão de Ética o seu pedido para realização de um estudo retrospectivo de análise de dados sobre a monitorização intraoperatória do nervo facial durante as cirurgias da base do crânio.

A avaliação retrospectiva das informações originadas do diagnóstico e tratamento dos pacientes não necessita aprovação da Comissão de Ética de acordo com o Código de Ética Médica Alemão, nem tampouco consentimento informado dos pacientes previamente examinados, desde que se mantenha a confidencialidade das informações.

Por parte da Comissão de Ética não existe nenhum impedimento, no que tange a avaliação e publicação de informações confidenciais.

Caso se planeje um estudo prospectivo para comparação de diferentes métodos de monitorização, este deve ser apresentado antes do início do estudo para avaliação da Comissão de Ética.

Cordialmente,

Prof. Dr. med. D. Luft

Coordenador da Comissão de Ética

Anexo E – Dados da Casuística.*

No.	Sex	Id	Tam	Relação Evento-valor de base de PEMF [Oculi (%)]				Relação Evento-valor de base de PEMF [Oris (%)]				Complexidade PEMF Oculi				Complexidade PEMF Oris				HB Pré-op	HB Pós-op (im)	HB Pós-op (seg)
				VB	Tu Dis	Tu Res	Final	VB	Tu Dis	Tu Res	Final	VB	Tu Dis	Tu Res	Final	VB	Tu Dis	Tu Res	Final			
1	M	61	Pq	100	100	21	43	100	100	193	179	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	2
2	M	15	Pq	100	391	364	182	100	127	145	64	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2
3	F	56	Gr	-	-	-	-	100	67	0	0	-	-	-	-	Bi	Bi	0	0	1	5	6
4	F	36	Gr	100	100	139	139	100	100	24	24	Bi	Bi	Bi	Bi	P	P	P	P	1	3	2
5	M	63	Gr	100	100	100	100	100	100	100	136	P	Bi	Bi	Bi	P	P	P	P	1	1	1
6	F	29	Gr	100	46	30	101	100	70	0	0	Bi	P	Bi	Bi	P	P	0	0	1	4	-
7	F	49	Gr	100	44	37	22	100	37	5	34	P	P	P	P	P	Bi	Bi	P	1	3	2
8	M	42	Pq	100	100	230	91	100	100	110	80	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
9	M	25	Pq	100	100	352	151	100	100	102	58	Bi	Bi	P	P	P	P	P	P	1	1	-
10	F	47	Gr	100	100	100	252	100	100	100	283	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
11	F	50	Gr	100	77	-	60	100	213	-	155	Bi	Bi	-	Bi	P	P	-	P	1	1	1
12	M	52	Pq	100	182	100	100	100	456	152	152	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
13	F	45	Gr	100	49	73	41	100	38	14	445	P	P	P	Bi	P	P	Bi	P	1	4	2
14	F	43	Gr	100	44	122	77	100	92	137	89	P	P	Bi	Bi	P	P	P	P	1	4	2
15	F	35	Pq	100	100	65	291	100	100	179	970	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
16	F	49	Pq	100	100	75	224	100	105	95	86	P	P	P	Bi	Bi	P	P	P	1	1	1
17	M	43	Pq	100	85	85	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
18	F	47	Gr	-	-	-	-	100	36	-	16	-	-	-	-	P	P	-	Bi	1	5	2
19	M	35	Pq	100	78	200	133	100	42	100	183	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	-
20	F	29	Gr	100	42	32	32	-	-	-	-	P	P	P	P	-	-	-	-	2	3	1
21	F	58	Pq	100	100	183	114	-	-	-	-	P	P	P	P	-	-	-	-	1	1	1

Continua...

Conclusão AnexoE

No.	Sex	Id	Tam	Relação Evento-valor de base de PEMF [Oculi (%)]				Relação Evento-valor de base de PEMF [Oris (%)]				Complexidade PEMF Oculi				Complexidade PEMF Oris				HB Pré-op	HB Pós-op (im)	HB Pós-op (seg)
				VB	Tu Dis	Tu Res	Final	VB	Tu Dis	Tu Res	Final	VB	Tu Dis	Tu Res	Final	VB	Tu Dis	Tu Res	Final			
22	M	47	Pq	100	100	86	142	100	101	155	184	P	P	Bi	P	P	P	P	P	1	1	1
23	F	62	Gr	100	100	128	283	100	100	92	117	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
24	M	51	Pq	100	125	-	152	100	68	-	72	P	P	-	P	P	P	-	P	1	1	1
25	M	43	Pq	100	112	116	109	100	101	16	46	Bi	Bi	Bi	Bi	P	P	P	P	1	1	1
26	F	31	Gr	100	50	22	13	100	135	111	99	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
27	M	42	Gr	-	-	-	-	100	82	114	120	-	-	-	-	P	P	P	P	2	2	2
28	M	53	Pq	-	-	-	-	100	87	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	1
29	F	40	Gr	100	73	82	79	100	100	100	100	P	P	P	P	P	P	P	P	1	3	-
30	F	69	Pq	100	100	130	206	100	155	94	116	P	P	Bi	P	P	P	P	P	1	1	1
31	F	39	Gr	100	61	100	134	-	-	-	-	Bi	Bi	Bi	Bi	-	-	-	-	1	3	1
32	F	49	Pq	100	100	208	69	100	100	63	131	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	1
33	F	55	Gr	100	100	105	105	100	100	65	65	P	P	P	P	P	P	P	P	1	1	-
34	M	38	Gr	100	100	100	117	-	-	-	-	P	P	P	P	-	-	-	-	1	2	1
35	F	46	Gr	100	117	100	75	100	100	35	42	Bi	Bi	Bi	Bi	P	P	P	P	2	2	1

* Bi – potenciais bifásicos; F – feminino; Gr – grande; HB – classificação de House e Brackmann; Id – idade em anos; im - imediato; M – masculino; Oculi – músculo orbicular do olho; Oris – músculo orbicular da boca; P – potenciais polifásicos; PEMF – potencial evocado motor facial; Pós-op – pós-operatório; Pré-op – pré-operatório; Pq – pequeno; seg – seguimento; Sex – sexo; Tam – tamanho do tumor; TuDis – dissecação do tumor; TuRes – ressecção do tumor; VB – valor de base; - não disponível.

Anexo F – Resumo dos estudos publicados sobre o valor preditivo do potencial evocado motor facial (PEMF)*

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (µseg)	Protocolo (Seq/ IIE)	Intens idade	Montagem	Canais, Músculos	Crítérios MIONF	Resultados
Zhou e Kelly 2001 ²³⁰	Pros	50	Tumor cerebral	500	5, Freq 0,5 a 2 Hz	40-160 mA	1-2 cm anterior a C3 e C4	1, oris	Redução persistente da amplitude do PEM > 50%	As reduções de amplitude foram associadas a déficit motor pós-op; O grau de redução de amplitude se correlacionou com a severidade da paresia facial pós-op; Nenhuma menção à função facial
Dong et al. 2005 ¹⁴³	Pros	76	Base de crânio	50/500	3 a 4, IIE 1 ou 2 ms	100 - 400 V	1 cm anterior a C3/C4 e CZ (M3/M4-MZ)	1, oris	Relação de amplitude final-valor de base do PEMF	O limiar de 50% previu significativamente o déficit facial pós-op imediato Sens 100%, Espec 88%; Relação de 35% - Sens 91%, Espec 97%; Relação de 0%(perda) - Sens 64%, Espec 100%; O desaparecimento dos PEMF indicou paralisia facial completa em todos os pacientes
Akagami et al. 2005 ⁴⁸	Pros	71	Base de crânio	50	3 a 5, IIE de 1 - 3 ms	200 - 400 V	C3/C4 e CZ	1, oris	Relação de amplitude final-valor de base do PEMF	Valores maiores que 50% previram uma função facial HB 1/2 no pós-op imediato

Continua...

Conclusão Anexo F

Estudo	Desenho	No.	Histologia	Pulso (μseg)	Protocolo (Seq/ IIE)	Intensidade	Montagem	Canais, Músculos	Crítérios MIONF	Resultados
Fukuda et al. 2008 ¹⁴²	Retro	26	Base de crânio	NA	5, IIE 1 ms	180 - 550 V	C3/C4 e CZ	2, oculi, oris	Relação de amplitude final-valor de base do PEMF	Valores acima do limiar de 50% previram, de forma consistente, uma função facial satisfatória (HB ½) no pós-op imediato, assim como valores menores, a paresia pós-op
Acioly et al. 2010 ¹⁴⁹	Retro	60	APC	50	3 ou 5, IIE 2 ms	200 - 600 V	C3/C4 e CZ	2, oculi, oris	Relação de amplitude final-valor de base do PEMF	Correlação significativa entre a relação de amplitude e a função facial pós-op nos músculos orbiculares do olho (80%) e da boca (35%); A perda dos potenciais esteve sempre relacionada à paresia facial pós-op
Presente Estudo	Retro	35	SV	50	3 ou 5, IIE 2 ms	200 - 600 V	C3/C4 e CZ	2, oculi, oris	Relação de amplitude e complexidade evento-valor de base	Deterioração intraoperatória dos potenciais foi correlacionada com a piora da função facial pós-op imediata e tardia; Complexidade e amplitude apresentam resultados diferentes e significativos na predição da função

* APC – ângulo ponto-cerebelar; cm – centímetro; Espec – especificidade; HB – classificação de House e Brackmann; Hz – hertz; IIE – intervalo inter-estímulo; mA – mili-ampère; MIONF – monitorização intraoperatória do nervo facial; ms – milissegundos; μseg – microssegundos; NA – não atribuído; NF – nervo facial; Oculi – músculo orbicular do olho; Oris – músculo orbicular da boca; PEM – potencial evocado motor; PEMF – potencial evocado motor facial; Pós-op – pós-operatório; Pros – prospectivo; Retro – retrospectivo; seg – segundos; Sens – sensibilidade; SV – schwannoma vestibular; V – volts.

Anexo G – Cópia do manuscrito publicado no periódico *Acta Neurochirurgica (Wien)*

Acta Neurochir
DOI 10.1007/s00701-011-0995-4

CLINICAL ARTICLE

Quantitative parameters of facial motor evoked potential during vestibular schwannoma surgery predict postoperative facial nerve function

Marcus André Acioly · Alireza Gharabaghi ·
Marina Liebsch · Carlos Henrique Carvalho ·
Paulo Henrique Aguiar · Marcos Tatagiba

Received: 17 October 2010 / Accepted: 9 March 2011
© Springer-Verlag 2011

Abstract

Background Facial motor evoked potential (FMEP) amplitude ratio reduction at the end of the surgery has been identified as a good predictor for postoperative facial nerve outcome. We sought to investigate variations in FMEP amplitude and waveform morphology during vestibular schwannoma (VS) resection and to correlate these measures

with postoperative facial function immediately after surgery and at the last follow-up.

Methods Intraoperative orbicularis oculi and oris muscles FMEP data from 35 patients undergoing surgery for VS resection were collected, then analysed by surgical stage: initial, dural opening, tumour dissection (TuDis), tumour resection (TuRes) and final.

Findings Immediately after surgery, postoperative facial function correlated significantly with the FMEP amplitude ratio during TuDis, TuRes and final stages in both the orbicularis oculi ($p=0.003$, 0.055 and 0.028 , respectively) and oris muscles ($p=0.002$, 0.104 and 0.014 , respectively). At the last follow-up, however, facial function correlated significantly with the FMEP amplitude ratio only during the TuDis ($p=0.005$) and final ($p=0.102$) stages for the orbicularis oris muscle. At both time points, postoperative facial paresis correlated significantly with FMEP waveform deterioration in orbicularis oculi during the final stage (immediate, $p=0.023$; follow-up, $p=0.116$) and in orbicularis oris during the TuDis, TuRes and final stages (immediate, $p=0.071$, 0.000 and 0.001 , respectively; follow-up, $p=0.015$, 0.001 and 0.01 , respectively).

Conclusions FMEP amplitude ratio and waveform morphology during VS resection seem to represent independent quantitative parameters that can be used to predict postoperative facial function. Event-to-baseline FMEP monitoring is quite useful to dictate when intraoperative changes in surgical strategy are warranted to reduce the chances of facial nerve injury.

Keywords Facial nerve · Intraoperative monitoring · Motor evoked potential · Transcranial electrical stimulation · Vestibular schwannoma

M. A. Acioly · A. Gharabaghi · M. Liebsch · C. H. Carvalho ·
M. Tatagiba
Department of Neurosurgery, University of Tübingen,
Tübingen, Germany

M. A. Acioly
e-mail: marcusacioly@yahoo.com.br

A. Gharabaghi
e-mail: alireza.gharabaghi@med.uni-tuebingen.de

M. Liebsch
e-mail: marina.liebsch@med.uni-tuebingen.de

C. H. Carvalho
e-mail: ch_neurochirurgie@yahoo.com.br

M. A. Acioly · P. H. Aguiar
Department of Neurology, University of São Paulo,
São Paulo, Brazil

P. H. Aguiar
e-mail: phpaneurocir@gmail.com

M. Tatagiba (✉)
Department of Neurosurgery, University Hospital,
Hoppe-Seyler-Strasse 3,
72076 Tübingen, Germany
e-mail: marcusacioly@yahoo.com.br

M. Tatagiba
e-mail: marcos.tatagiba@med.uni-tuebingen.de

Published online: 01 April 2011

Springer

Introduction

The evolution of neurosurgery as a specialty has paralleled the history of treatment for vestibular schwannoma (VS) [37]. Dealing with VS has developed from almost a death sentence at the beginning of the twentieth century [14, 15, 27, 34] to the current concept of functional microsurgery [35]. In the interim, several developments have caused significant reductions in the morbidity and mortality of patients suffering from cerebellopontine angle (CPA) tumours, including radiological diagnosis, introduction of the operative microscope and microsurgical techniques, advances in the fields of neuroanaesthesia, and intraoperative neuromonitoring [14, 15, 24, 35, 37].

Although a controlled, prospective and randomized study is lacking to date, several studies have demonstrated that intraoperative facial nerve monitoring (IOFNM) during CPA surgeries improves facial nerve (FN) functional outcome [2, 10, 11, 14, 25, 31, 36]. Unfortunately, despite routine use of IOFNM in several centres, facial palsy remains a common complication after VS resection, leading to a significant negative impact on the ability of patients to express emotions and their quality of life [4, 5, 14].

Standard FN monitoring techniques include direct electrical stimulation and free running electromyography (EMG) [39]. Both methods have drawbacks so that direct electrical stimulation does not allow continuous monitoring, may only identify proximal FN late in the surgery and electrode placement accuracy may be impaired with large tumours due to anatomical distortion of the brainstem [2, 31, 39]. Free-running EMG allows for continuous monitoring, but requires recognition of specific waveform recordings of neurotonic discharges (e.g. train activity) that can only be measured offline using special software for quantitative analysis [29, 31]. Moreover, sharp FN transection may not evoke neurotonic discharges, whereas mechanical stimulation of the distal nerve stump that is still in continuity with the muscle may provoke EMG activities [11].

Such limitations have stimulated the development of alternative techniques for FN monitoring. Facial motor evoked potential (FMEP), obtained by transcranial electrical stimulation (TES), has recently been introduced and may be considered the most promising method for FN monitoring [1, 2, 7, 8, 32] because it surpasses most of the disadvantages of standard techniques [8]. FMEP interpretation is independent from the surgeon's ability to locate the proximal FN at the brainstem and can facilitate recognition of waveform recordings obtained by free-running EMG [1, 7].

FMEP amplitude ratio reduction at the end of the surgery has been identified as a good predictor for postoperative FN outcome following CPA and skull-base surgeries [1, 2, 7,

8]. However, by calculating final-to-baseline amplitude ratios, only initial and final FMEP amplitude values are considered for function prediction. We hypothesized that intraoperative variation of FMEP amplitude could correlate with postoperative facial function, even if final-to-baseline amplitude ratios remain above the 50% cut-off level. Accordingly, an event-to-baseline FMEP amplitude ratio might better predict postoperative facial function immediately after surgery and at the last follow-up. In addition, amplitude has been the only quantitative criterion used to date for interpretation of FMEP. Thus, we also sought to evaluate intraoperative changes of the FMEP waveform morphology and their correlation to postoperative facial function in a uniform population with routine, well-established surgical manoeuvres [9, 39].

Materials and methods

Patient characteristics

The records of all patients undergoing surgery for VS resection between August 2006 and August 2007 at the Department of Neurosurgery, Eberhard Karls University Hospital, Tübingen, Germany were retrospectively evaluated and included in the study. Thirty-eight patients underwent surgery in the review period. Three patients were excluded because intraoperative monitoring recordings were unavailable during all surgical steps. Thus, this study enrolled 35 patients (14 men and 21 women) affected of VSs and grouped according to the Hannover classification, as follows: Class T1, purely intrameatal; T2, intra- and extrameatal; T3a, filling the cerebellopontine cistern; T3b, reaching the brainstem; T4a, compressing the brainstem; T4b, dislocating the brainstem and compressing the fourth ventricle [21–23, 34, 35]. T1 and T2 tumours were classified as small, while T3 and T4 tumours were classified as large. Some of these data were partially reported in a previous publication, in which we investigated exclusively the success rates of orbicularis oculi and orbicularis oris FMEP for FN monitoring and their usefulness in predicting the immediate postoperative facial function using only final-to-baseline FMEP ratios during CPA surgeries [1].

Patients provided informed consent for intraoperative monitoring. This study was approved by the local Ethics Committee.

Intraoperative monitoring

Anaesthesia was induced with thiopental and subsequent infusion of sufentanil and rocuronium and was maintained with continuous infusion of remifentanil and propofol.

Somatosensory evoked potential (SEP), brainstem auditory evoked potential (BAEP) and electromyography (EMG) of the FN were monitored continuously (Endeavor, Viasys Healthcare, Madison, WI, USA) by an experienced electrophysiological team. SEPs were always used for patient positioning, especially for operations performed in semi-sitting position and/or for large tumours causing brainstem compression. BAEPs were used to assess auditory function in all patients with preoperative functional hearing. For large VSs that extended to the lower cranial nerves, EMGs of the glossopharyngeal, vagus, accessory and hypoglossal nerves were also monitored. Continuous EMG and direct electrical stimulation (concentric bipolar hand-held stimulation probe) were routinely used for FN identification and functional status assessment during tumour removal by recording the compound muscle action potential (CMAP) in subdermal needle electrodes in the ipsilateral orbicularis oculi and orbicularis oris muscles. However, these data were not considered concurrently for this study.

Facial motor evoked potential (FMEP)

TES was performed using corkscrew-like electrodes, which were inserted into the scalp and positioned at CZ and C3 or C4, according to the International 10–20 EEG system for left or right side stimulation, respectively. The contralateral abductor pollicis brevis (APB) muscle was used as a control to ensure that the FN was not stimulated extracranially. Stimulation was always applied contralaterally to the affected side using one, three or five rectangular pulses, ranging from 200 to 600 V (mean 390 V) with a 50- μ s pulse duration and an interstimulus interval (ISI) of 2 ms (Endeavor, Viasys Healthcare, Madison, WI, USA). Band-pass filters (150–3,000 Hz) were used to attain waveforms. Mild changes in voltage intensity were used in some patients to achieve better FMEP responses due to progressive anaesthesia-induced suppression of motor neuronal activity (evoked potential fading) [19, 20].

TES was performed intermittently with BAEP and SEP recordings, usually during short intervals when the surgeon changed surgical instruments or altered the microscope position. The surgical team was always informed prior to TES, especially during microsurgical stages, as stimulation may cause undesirable movement. FMEPs were recorded over five surgical stages, namely initial, dural opening, tumour dissection (TuDis), tumour resection (TuRes), and dural closure (final), and at other times as indicated (e.g. demand of the surgical team and following neurotonic discharges at EMG). Surgical stages were determined by the electrophysiological team via video inlet displayed at the monitor screen.

FMEP latency was defined as the time from stimulus onset to the first wave deflection. To avoid misinterpreta-

tion of peripheral FN activation, only FMEP latencies longer than 10 ms following a train of stimuli were considered [7]. FMEP amplitude was defined as the voltage between the maximum positive peak and the maximum negative peak of the waveforms. According to quantitative EMG, whenever the voltage changes from positive to negative or from negative to positive, baseline crossing indicates the end of the phase or a phase shift [18, 30]. The number of phases is then defined as one more than the number of baseline crossings [18]. For this study, waveform recordings were considered biphasic or polyphasic (more than two phases).

The baseline value was defined as the highest absolute amplitude response prior to dural opening. For patients with significant increases in the amplitude value at the end of the surgery, baseline was defined as the highest amplitude response during tumour approach. Complexity or morphology of the waveforms was evaluated in the same recordings used for amplitude measurements. Facial potentials were recorded from paired needles placed in the orbicularis oculi and oris muscles for assessment of FN function. FMEP and CMAP recordings were obtained from the same electrodes and muscle groups used for EMG monitoring.

Due to significant inter-individual variability in absolute amplitude FMEP values, waveform recordings and FMEP ratios for each patient were correlated to the immediate postoperative FN function (at discharge) and at the last follow-up (mean 7 months, range 3–26 months) using the House-Brackmann (HB) classification (Table 1) [12].

Data collected included patient gender, age, tumour size, FMEP amplitude values and waveform complexity during the five defined surgical stages, hand MEP baseline amplitude values, event-to-baseline FMEP ratios, and preoperative and postoperative facial motor function.

Statistical analysis

The statistical analysis was performed with SPSS 13.0 (SPSS, Chicago, IL). Friedman test was used to analyse variation in FMEP amplitude ratio and waveform complexity among different surgical stages. The level of confidence was set at $p=0.05$. If Friedman's analysis demonstrated a significant difference, Wilcoxon's signed-rank test was performed and adjusted for multiple comparisons with a Bonferroni correction, which is the level of confidence ($p=0.05$) divided by the number of comparisons, in this study three. This correction results in a level of confidence of $p=0.017$.

Non-parametric Spearman correlation coefficients were calculated to evaluate the correlation between waveform recordings and FMEP ratios of all surgical stages with postoperative FN function immediately after surgery and at the last follow-up. Multivariate analysis with stratification

Table 1 Patient characteristics

No. of patients	35	
Male:female	14:21	
Median age in years (range)	46 (15–69)	
Side (right:left)	16:19	
Size		
T 1	5	
T 2	11	
T 3a	6	
T 3b	2	
T 4a	8	
T 4b	3	
Preoperative facial function		
HB 1	31	
HB 2	4	
Postoperative facial function	Immediate	Last F-up
HB 1	19	22
HB 2	5	7
HB 3	6	0
HB 4	3	0
HB 5	2	0
HB 6	0	1
Motor evoked potential (median)		
Oculi latency (ms) range	14.6 (10.8–21.5)	
Amplitude (μ V) range	107 (3.66–830)	
Oris latency (ms) range	14.3 (10–22.4)	
Amplitude (μ V) range	96.6 (10.7–1,371)	
APB latency (ms) range	23.5 (19.4–33.1)	
Amplitude (μ V) range	1,104 (9.37–2000)	

APD abductor pollicis brevis, HB House-Brackmann classification, ms milliseconds, μ V microvolt

was used to study the relationship between FMEP amplitude ratios and waveform complexity in the surgical stages related to facial function impairment with immediate postoperative FN function as the dependent variable. For subgroup analysis, patients were classified as having either polyphasic (group 1) or biphasic recordings (group 2). Loss of waveform morphologies, which were observed in patients 3 and 6, were analysed together with group 2. Postoperative HB 1 and 2 were considered satisfactory, and HB 3–6 were considered unsatisfactory.

Results

Surgical results

Patients were mostly affected by large tumours (54.2%). Two patients had cystic tumours, and five suffered from neurofibromatosis type 2. Preoperatively, only four of 35

patients had a slight facial paresis (HB 2) (Table 1). Immediately after surgery, FN function was satisfactory (HB 1 and 2) in 68.5% of the patients. For the 30 patients for whom the last follow-up was available (mean 7 months, range 3–26 months), FN function was satisfactory in all but one patient (96.7%) (Table 1). The single individual with unsatisfactory facial function at follow-up (patient 3) experienced a complete delayed postoperative facial palsy (from HB 5 at discharge to HB 6 at 7 months follow-up) and recently underwent a hypoglossofacial anastomosis.

Electrophysiological results

The median baseline FMEP latency was approximately 14 ms for both orbicularis muscles, while the median absolute FMEP amplitude was 107 μ V for orbicularis oculi and 96.6 μ V for orbicularis oris. Hand MEP had a median baseline latency of 23.5 ms and a median absolute amplitude of 1,104 μ V (Table 1). Polyphasic FMEP waveforms accounted for most of the baseline recordings in the orbicularis oculi (75%) and oris (92.6%) muscles. In eight patients (22.8%), stimuli intensity was increased (mean of 50 V, range 30–160 V) to offset progressive anaesthesia-induced potential fading and achieve better FMEP responses. Artefacts prevented accurate FMEP acquisition in nine baseline measures. Six from these nine technical failures corresponded to short-latency multi-pulse response (<10 ms) and were regarded as peripheral FN stimulation. No complications related to TES were documented. Slight head movements were observed following stimulation in some patients, but these did not interfere with microsurgery.

FMEP amplitude and waveform complexity had a wide inter-individual and intra-individual variability across surgical stages. FMEP amplitude ratio variation during surgery was not significant for either muscle (orbicularis oculi, $p=0.793$; orbicularis oris, $p=0.656$; according to Friedman's test) (Fig. 1). Friedman's analysis demonstrated a significant variation of orbicularis oculi FMEP waveform morphology during VS resection ($p=0.045$). However, after Bonferroni correction, this finding showed no statistical difference between the surgical steps (TuDis and baseline, $p=0.370$; TuRes and TuDis, $p=0.046$; final and TuRes, $p=1.000$; according to Wilcoxon's test). Orbicularis oris FMEP waveform morphology had no variability across surgery for VS resection ($p=0.261$, according to Friedman's test).

FMEP amplitude ratio correlated significantly with the postoperative facial function at discharge and at the last follow-up only during the surgical stages related to tumour manipulation itself, namely TuDis, TuRes and final. FMEP amplitude ratio of orbicularis oculi adequately predicted postoperative facial function immediately after surgery

Fig. 1 Box plots demonstrating intraoperative variation of the FMEP amplitude ratio (%) during different VS resection surgical stages in the orbicularis oculi muscle (a) and orbicularis oris muscle (b). Although

variation is clearly observed, it did not reach statistical significance for orbicularis oculi ($p=0.793$) nor orbicularis oris muscle ($p=0.656$). *TuDis* tumour dissection, *TuRes* tumour resection

(*TuDis*, $p=0.003$; *TuRes*, $p=0.055$; final, $p=0.028$), but not at the last follow-up (Table 2). For orbicularis oris FMEP monitoring, there was a moderate to strong correlation between FMEP amplitude ratio and immediate postoperative facial function (*TuDis*, $p=0.002$; *TuRes*, $p=0.104$; final, $p=0.014$), as well as at the last follow-up, especially during *TuDis* ($p=0.005$) and final ($p=0.102$) (Table 2). Taken individually, facial function prediction of orbicularis oris FMEP amplitude ratio, during *TuRes* and discharge ($p=0.104$), as well as final recording and the last follow-up ($p=0.102$), demonstrated at least a trend towards statistical significance. However, taken together with correlation coefficients, rho values showed a moderate correlation during

both surgical stages ($\rho = -0.332$ and -0.335 , respectively) and therefore were deemed significant (Table 2).

Waveform morphology also correlated significantly with facial motor outcome. FMEP complexity of the orbicularis oculi muscle at the end of the surgery demonstrated a moderate negative correlation with postoperative function immediately after surgery ($p=0.023$) and at the last follow-up ($p=0.116$), such that greater complexity predicted better FN function (Table 3). Similar to a few orbicularis oris amplitude ratio recordings, the waveform morphology herein showed a moderate correlation ($\rho = -0.337$) with the last follow-up facial function. So, the combination of the correlation coefficient with the p value was used to

Table 2 Correlation of the orbicularis oculi and oris FMEP amplitude ratio with postoperative facial nerve function

Surgical stage	Immediate postop		Last follow-up	
	rho	p value ^a	rho	p value ^a
Or oculi				
Initial	0.012	0.951	0.043	0.834
Duralop	0.058	0.765	0.438	0.032
TuDis	-0.621	0.003	-0.286	0.249
TuRes	-0.366	0.055	-0.045	0.838
Final	-0.396	0.028	-0.268	0.186
Or oris				
Initial	0.183	0.333	0.134	0.523
Duralop	-0.046	0.811	0.222	0.297
TuDis	-0.645	0.002	-0.629	0.005
TuRes	-0.332	0.104	-0.199	0.401
Final	-0.444	0.014	-0.335	0.102

Duralop dural opening, *Immediate postop* immediate postoperative, *Or oculi* orbicularis oculi muscle, *Or oris* orbicularis oris muscle, *TuDis* tumour dissection, *TuRes* tumour resection

^a Two-tailed

Table 3 Correlation of the orbicularis oculi and oris FMEP waveform complexity with postoperative facial nerve function

Surgical stage	Immediate postop		Last follow-up	
	rho	p value ^a	rho	p value ^a
Or oculi				
Initial	-0.101	0.610	0.171	0.435
Duralop	-0.071	0.726	0.111	0.622
TuDis	0.205	0.399	0.277	0.298
TuRes	-0.256	0.217	-0.102	0.669
Final	-0.427	0.023	-0.337	0.116
Or oris				
Initial	-0.044	0.828	-0.090	0.691
Duralop	-0.044	0.828	-0.090	0.691
TuDis	-0.413	0.071	-0.577	0.015
TuRes	-0.693	0.000	-0.688	0.001
Final	-0.610	0.001	-0.539	0.01

Duralop dural opening, *Immediate Postop* immediate postoperative, *Or oculi* orbicularis oculi muscle, *Or oris* orbicularis oris muscle, *TuDis* tumour dissection, *TuRes* tumour resection

^a Two-tailed

consider it significant (Table 3). FMEP waveform complexity of the orbicularis oris muscle was an even better predictor, as it correctly predicted postoperative facial function during all surgical stages directly related to tumour manipulation, both immediately after surgery (TuDis, $p=0.071$; TuRes, $p=0.000$; final, $p=0.001$) and at the last follow-up (TuDis, $p=0.015$; TuRes, $p=0.001$; final, $p=0.01$) (Table 3).

Wide variability of the electrophysiological and surgical results suggest that changes in the FMEP amplitude ratio and waveform morphology in response to surgical manoeuvres occurred independently. By using multivariate analysis with stratification for both quantitative parameters, FMEP amplitude ratio and complexity seem to represent independent variables for monitoring of orbicularis oculi and orbicularis oris muscles, especially for orbicularis oculi muscle with polyphasic recordings (group 1) (Table 4). However due to small number of patients in group 2, correlation analyses were underpowered and no firm conclusions could be drawn from the present results regarding the independent relationship between amplitude and waveform complexity.

Table 4 Correlation of the orbicularis oculi and oris FMEP amplitude ratio with the immediate postoperative facial nerve function stratified by FMEP waveform complexity during surgical stages related to tumour resection

	Surgical stage	Immediate postop	
		rho	p value ^a
Group 1	Or oculi		
	TuDis	-0.704	0.001
	TuRes	-0.456	0.05
	Final	-0.449	0.041
	Or oris		
	TuDis	-0.582	0.009
Group 2	TuRes	0.131	0.570
	Final	-0.221	0.267
	Or oculi		
	TuDis	0.866	0.333
	TuRes	-0.045	0.909
	Final	-0.229	0.525
	Or oris		
	TuDis	1.000	-
	TuRes	-0.500	0.50
	Final	0.500	0.667

Immediate Postop immediate postoperative, *Group 1* patients with polyphasic recordings, *Group 2* patients with biphasic recordings or loss, *Or oculi* orbicularis oculi muscle, *Or oris* orbicularis oris muscle, *TuDis* tumour dissection, *TuRes* tumour resection

^a Two-tailed

Acute FMEP amplitude ratio deteriorations of greater than 50% in orbicularis oculi and oris corresponded to postoperative facial palsy in 85.7% and 60% of patients, respectively. Eight patients had large variations of the orbicularis oculi FMEP amplitude ratio during TuRes (Table 5). Three of these patients remained above the 80% cut-off level at the end of the surgery, and four were affected by postoperative facial paresis (Table 5). Regarding orbicularis oris FMEP, similar variations occurred in six patients, and five of these patients had postoperative facial palsy (Table 5). An example of significant variations of the FMEP amplitude and waveform complexity of both facial muscles is shown in Fig. 2. Two patients experienced FMEP loss during TuRes and no recovery was observed, leading to severe postoperative facial paresis in both of these patients (Table 5).

Deterioration of the FMEP waveform complexity (either from biphasic to loss or from polyphasic to biphasic or loss) was observed in the orbicularis oculi in seven patients and in the orbicularis oris in five patients. Facial paresis occurred in all patients in whom waveform deterioration was documented on orbicularis oris FMEP (Table 5). Waveform tracings were not available in either muscle in patients 1 and 2, for orbicularis oculi muscle in patient 17, or for orbicularis oris muscle in patient 28 (Table 5). Overall, these results indicate that FN monitoring by using FMEP of both muscles allows for better prediction of the immediate postoperative facial function than at the last follow-up. This could be due to improvements of FN function over time in response to successful rehabilitation.

Discussion

In 2001, Zhou and Kelly [41] reported the first successful use of facial MEP (FMEP) during brain tumour resection. However, FMEP predictive value was not directly assessed because facial evoked responses were analysed together with limb MEP recordings, precluding definitive conclusions about their interpretation [41]. Thereafter, Dong et al. [7] specially addressed the usefulness of orbicularis oris FMEP for prediction of postoperative facial function. Subsequent studies have confirmed the value of adding FMEP monitoring to standard methods of IOFNM during skull-base [2, 8] and CPA surgeries [1].

Technical refinements have improved the success of orbicularis oculi FMEP monitoring, which might allow better outcome prediction because both superior and inferior branches of the FN are monitored [1, 8]. Although published FMEP protocols are very similar, rendering high rates of successful monitoring [1, 2, 7, 8], optimal stimulation parameters have not yet been defined, which prevents widespread use of the technique. A detailed

Table 5 Summary of patient data

No.	Sex	Age (years)	Size	Oculi event-to-baseline FMEP ratio (%)			Oris event-to-baseline FMEP ratio (%)			Oculi FMEP complexity			Oris FMEP complexity			Preop HB grade	Postop HB grade (m)	Postop HB grade (cup)
				BL	TuDis	Final	BL	TuDis	Final	BL	TuDis	Final	BL	TuDis	Final			
1	M	61	Small	100	100	21	43	100	100	193	179	-	-	-	-	1	3	2
2	M	15	Small	100	391	364	182	100	127	145	64	-	-	-	-	1	2	2
3	F	56	Large	-	-	-	-	100	67	0	0	-	-	-	Bi	0	1	5
4	F	36	Large	100	100	139	139	100	100	24	24	Bi	Bi	Bi	Bi	P	1	3
5	M	63	Large	100	100	100	100	100	100	100	136	P	Bi	Bi	P	P	1	1
6	F	29	Large	100	46	30	101	100	70	0	0	Bi	P	Bi	P	0	1	4
7	F	49	Large	100	44	37	22	100	37	5	34	P	P	P	Bi	P	1	3
8	M	42	Small	100	100	230	91	100	100	110	80	P	P	P	P	P	1	1
9	M	25	Small	100	100	352	151	100	100	102	58	Bi	Bi	P	P	P	1	1
10	F	47	Large	100	100	100	252	100	100	100	283	P	P	P	P	P	1	1
11	F	50	Large	100	77	-	60	100	213	-	155	Bi	Bi	-	Bi	P	1	1
12	M	52	Small	100	182	100	100	100	456	152	152	P	P	P	P	P	1	1
13	F	45	Large	100	49	73	41	100	38	14	445	P	P	P	Bi	P	1	2
14	F	43	Large	100	44	122	77	100	92	137	89	P	P	Bi	Bi	P	1	4
15	F	35	Small	100	100	65	291	100	100	179	970	P	P	P	P	P	1	1
16	F	49	Small	100	100	75	224	100	105	95	86	P	P	P	Bi	P	1	1
17	M	43	Small	100	85	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
18	F	47	Large	-	-	-	-	100	36	-	16	-	-	-	P	P	1	2
19	M	35	Small	100	78	200	133	100	42	100	183	P	P	P	P	P	1	1
20	F	29	Large	100	42	32	32	-	-	-	-	P	P	P	-	2	3	1
21	F	58	Small	100	100	183	114	-	-	-	-	P	P	P	-	1	1	1
22	M	47	Small	100	100	86	142	100	101	155	184	P	P	Bi	P	P	1	1
23	F	62	Large	100	100	128	283	100	100	92	117	P	P	P	P	P	1	1
24	M	51	Small	100	125	-	152	100	68	-	72	P	P	-	P	P	1	1
25	M	43	Small	100	112	116	109	100	101	16	46	Bi	Bi	Bi	Bi	P	1	1
26	F	31	Large	100	50	22	13	100	135	111	99	P	P	P	P	P	1	1
27	M	42	Large	-	-	-	-	100	82	114	120	-	-	-	P	P	2	2
28	M	53	Small	-	-	-	-	100	87	-	59	-	-	-	-	-	2	1
29	F	40	Large	100	73	82	79	100	100	100	100	P	P	P	P	P	1	3
30	F	69	Small	100	100	130	206	100	155	94	116	P	P	Bi	P	P	1	1
31	F	39	Large	100	61	100	134	-	-	-	Bi	Bi	Bi	Bi	-	-	1	3
32	F	49	Small	100	100	208	69	100	100	63	131	P	P	P	P	P	1	1
33	F	55	Large	100	100	105	105	100	100	65	65	P	P	P	P	P	1	1
34	M	38	Large	100	100	100	117	-	-	-	-	P	P	P	-	-	1	2
35	F	46	Large	100	117	100	75	100	100	35	42	Bi	Bi	Bi	P	P	2	1

Bi biphasic waveform, BL baseline, F female, FMEP facial motor evoked potential, t_{cup} last follow-up, HB House-Brackmann classification, *im* immediate, *M* male, *P* polyphasic waveform, *Preop* preoperative, *Postop* postoperative, *TuDis* tumour dissection, *TuRes* tumour resection, - not available

Fig. 2 Intraoperative MEP recordings in patient 13 (Table 5) with a large vestibular schwannoma (Hannover Classification T3b) obtained before dural opening (baseline), during tumour dissection (*TuDis*), tumour resection (*TuRes*) and at the end of the surgery (*final*). Orbicularis oculi FMEP ratio deterioration was observed during *TuDis* (49%) and at the end of the surgery (41%), whereas oris FMEP showed significant amplitude decrease during *TuDis* (38%) and *TuRes*

(14%). Waveform deterioration (from polyphasic to biphasic recordings) was also documented in association with the lowest FMEP ratios. Note that orbicularis oris FMEP recovered to normal levels by the end of the procedure. This patient suffered facial paresis (HB grade 4) at discharge and improved to HB grade 2 after 16 months of follow-up. Absolute amplitude values (μV) are represented in parentheses

discussion on FMEP protocols and parameters is provided elsewhere [1, 2, 7, 8].

As traditional muscle evoked potentials, FMEPs also represent CMAP recordings and should be evaluated accordingly [3]. Quantitative EMG was initially explored for clinical use during the 1950s and is currently applied for techniques involving a detailed CMAP analysis [28]. Quantitative parameters provide objective interpretation of EMG recordings by measuring CMAP patterns such as amplitude, latency, complexity, duration and area under the curve, among others [18, 28].

In practice, amplitude is the most commonly used CMAP characteristic for intraoperative MEP monitoring [1, 2, 7, 8, 13, 16, 24, 41]. Amplitude reflects both the size

and number of muscle fibres within 0.5 mm of the recording electrode [28, 38]. For limb monitoring during spinal cord surgeries, MEP presence or absence is considered to be a warning sign [16, 32, 33]. If MEP disappears, surgery is immediately halted and the TIP protocol (*T* time, *I* irrigation with warm saline, *P* papaverine and blood pressure elevation) is applied [33]. Potentials are consistently recovered with this approach and surgery may then continue [33].

Unlike MEP, FMEP recovery following disappearance is rarely observed, as demonstrated by our results and previous studies [1, 2, 7, 8]. Thus, stricter electrophysiological criteria are necessary for FMEP monitoring. Due to wide variability of absolute amplitude, a final-to-baseline

FMEP amplitude ratio of 50% has been demonstrated as a satisfactory cut-off level for postoperative facial function prediction [1, 2, 7, 8].

This criterion was derived from the initial limb MEP studies which used a 50% cut-off ratio based on clinical experience with intraoperative SEP monitoring [40]. Given that limbs and face (or even superior and inferior levels of the face) have unique cortical representations that might lead to different MEP responses and interpretation [8], we previously investigated the best threshold levels [1]. Interestingly, by analysing receiver operating characteristic (ROC) curves, we have found two different cut-off final-to-baseline FMEP ratios for orbicularis oculi and oris muscles: 80% and 35%, respectively [1]. In light of the best results obtained in the orbicularis oris muscle, we proposed that deterioration of FMEP ratios to between 80 and 35% should dictate changes in surgical manoeuvres to avoid definitive motor injury [1].

In the current study, we observed that acute amplitude ratio deteriorations of greater than 50% during all surgical stages related to tumour manipulation were associated with postoperative facial injury in both muscles monitored, even if final-to-baseline ratios remained under normal levels. In addition, our results demonstrated a strong correlation between FMEP amplitude ratios during tumour dissection, tumour resection and at the end of the surgery with the immediate postoperative FN outcome. This correlation remained significant for orbicularis oris muscle at the last follow-up.

Latency, on the other hand, does not correlate with postoperative motor outcome in spinal cord [17, 40] or facial EMG studies [10] because of high variability, which is observed even in neurologically-intact patients [33]. Therefore, MEP latency is not routinely evaluated for postoperative motor assessment [40]. Furthermore it is well-known that latency is a function of amplitude in standard motor nerve conduction studies [6].

Waveform complexity is an underestimated CMAP parameter for intraoperative MEP monitoring. The number of phases or turns (changes in the polarity of a waveform) represents temporal dispersion or loss of synchronization of the action potentials of muscle fibres located within 1 mm of the recording electrode [18, 28]. Normal CMAPs are either biphasic or triphasic, depending on whether they are initiated in the area of the active electrode or elsewhere, respectively [18]. Pathologic complex CMAPs are observed in myopathic and neuropathic disorders, but can also occur in normal proximal muscles [28].

Polyphasic potentials are mostly encountered as baseline recordings in facial [7, present study] and limb MEP studies [30]. Due to a paucity of normative data, it is not possible to conclude reliably whether these polyphasic recordings represent normal temporal dispersion of the facial motor

neurons or FN damage [7]. On the other hand, complex CMAP findings are commonly identified in clinical neuropathic conditions as a result of progressive disease affecting the ability of reinnervation [18].

In this regard, VS, as a slow growing tumour, may provide a unique clinical model of compression neuropathy because of the correlation of electrophysiological changes with tumour size, which is attributed as a reliable measure of the amount and duration of FN compression [26]. Since collateral reinnervation of surviving axons to denervated muscle fibres gives rise to new components later within the original CMAP [38], polyphasic FMEP recordings might represent the dynamic process of neural damage and reinnervation rather than normal temporal dispersion.

Intraoperative changes in MEP waveform complexity were recently demonstrated as a useful quantitative parameter for assessment of postoperative motor function in spinal cord tumours [30]. These findings were corroborated by our results, which show that waveform complexity seems to be an independent quantitative variable that can serve as an electrophysiological indicator of FN integrity, particularly in the polyphasic recordings of the orbicularis oculi muscle. Analysis of correlation coefficients revealed a significant statistical correlation between deterioration of the waveform morphology with the immediate and late FN outcome, especially the final measure in the orbicularis oculi FMEP and during all surgical stages of tumour manipulation in the orbicularis oris FMEP.

As polyphasic waveforms might represent compression neuropathy, one remaining question is how deteriorations of the waveform morphology to "traces that appear normal" (biphasic) during surgery could correlate to postoperative FN injury. We suggest that perhaps, as surgery proceeds, FN injury occurs progressively over previously healthy and also over regenerated axons, which are responsible for the appearance of new components later within CMAPs. Consequently, waveform morphology changes from polyphasic to biphasic recordings or even from polyphasic to loss, depending on the severity of FN injury over healthy or pathologic axons. Thus, FN injury over regenerated axons may lead to disappearance of the late components, giving rise to biphasic recordings, while severe injury to both healthy and regenerated axons may induce loss of muscle potentials.

Duration is defined as the time interval from the beginning of the waveform to its return to baseline, which represents the size and number of muscle fibres within 2.5 mm from the recording electrodes [28]. Increased duration is observed in neuropathic disorders as a result of temporal dispersion [28]. Quinones-Hinojosa et al. [30] reported that a decrease in the duration of MEP recordings during spinal cord tumour surgeries was associated with postoperative impairment in motor function. Although

duration could be an additional quantitative parameter, its use should be limited because it comprises a dependent variable of waveform morphology [30]. Finally, the area under the curve may merit further research because it corresponds to the most direct estimate of functioning tissue for which waveform recordings are generated [18].

Considering the low rates of false-positive and false-negative results for limb MEP monitoring [16, 33], some authors believe that the more sensitive MEP criteria only protect the patient against mild, transient postoperative impairment of motor function, which is well-tolerated and regarded as “an acceptable price to pay” if the tumour is completely removed [33]. In addition, the application of sensitive MEP criteria could prevent complete spinal cord tumour removal due to early surgery termination [33]. Regarding FN monitoring, higher rates of false-positive and false-negative FMEP results support the use of more sensitive criteria. Moreover, long-term sequelae of facial palsy have been underestimated by physicians, as patients may experience high levels of distress despite a good technical FN result, giving a less optimistic interpretation of the outcome [4, 5].

Our findings justify intraoperative changes in surgical strategy based on FMEP deterioration during tumour dissection and resection due to increased risk of FN injury. We therefore support event-to-baseline FMEP monitoring based on our results, which confirm previous findings showing that moving surgical manoeuvres to different areas permits FN fibres to recover [2], as has been observed for the cochlear nerve [9] and spinal cord [33].

Overall, analysis of both FMEP quantitative parameters rendered better function prediction immediately after surgery than at the last follow-up, especially for the orbicularis oculi muscle. Such discrepancy in orbicularis oculi and oris FMEP amplitude ratio and waveform morphology was highlighted by four exclusions due to artefacts, together with five losses from the follow-up which certainly underpowered orbicularis oculi FMEP function prediction at the long term. This could raise a misleading interpretation of our results in a way that late function recovery from an initial transient postsurgical worsening would not justify intraoperative changes in surgical strategy or even premature stoppage of tumour resection based on FMEP recordings.

Given that there is no observation of FMEP recovery after disappearance, which invariably leads to severe facial paresis, facial function may be especially at risk if surgery proceeds when FMEP deteriorates. Furthermore, the subtle line between FMEP deterioration and loss cannot be predicted. We believe that event-to-baseline monitoring is quite useful to dictate when intraoperative changes in surgical strategy are warranted which may improve facial function preservation and completeness of tumour resection

in larger prospective studies. Early surgery stoppage leading to incomplete VS resection can be a management option in cases of maintained FMEP deterioration; however, this should be based on the surgeon's intraoperative evaluation, patient's age, intention, as well as acceptance of a functional deficit.

In addition, it is worth emphasizing the role of orbicularis oculi FMEP monitoring. It performs a special, at least complementary function when orbicularis oris recordings are not available. This situation occurred in five patients of the current study, as demonstrated in Table 5. From these patients, facial function was correctly predicted at both immediate and late postoperative periods in four cases, indicating a better functional correlation when evaluated separately.

Conclusions

FMEP is an evolving method for FN monitoring during skull-base and CPA surgeries, especially during VS resection. FMEP has been demonstrated as a useful adjunct to the standard techniques for FN monitoring, surpassing most of the disadvantages of the former methods. The demonstrated correlation of intraoperative FMEP deterioration with immediate and late postoperative outcome justifies changes in surgical strategy in order to avoid definitive FN injury. Therefore, event-to-baseline FMEP monitoring is a better predictor of facial function than final-to-baseline isolated measurements. Waveform complexity seems to represent an additional, independent quantitative parameter that can be used for FMEP monitoring, providing excellent results for prediction of postoperative facial function. Future studies in a larger population are warranted to establish the impact of monitoring FMEP and its parameters on FN outcome. In addition, the development of software capable of recognizing on-line changes in quantitative parameters could be useful to prevent permanent neurological deficits.

Acknowledgements We gratefully acknowledge Ronir Raggio Luiz, M.D. for his assistance with statistical analysis.

Conflicts of interest None.

References

1. Acioly MA, Liebsch M, Carvalho CH, Gharabaghi A, Tatagiba M (2010) Transcranial electrocortical stimulation to monitor the facial nerve motor function during cerebellopontine angle surgery. *Neurosurgery* 66(6 Suppl Operative):354–362
2. Akagami R, Dong CC, Westerberg BD (2005) Localized transcranial electrical motor evoked potentials for monitoring cranial nerves in cranial base surgery. *Neurosurgery* 57(1 Suppl):78–85

3. Beric A (1993) Transcranial electrical and magnetic stimulation. *Adv Neurol* 63:29–42
4. Coulson SE, O'dwyer NJ, Adams RD, Croxson GR (2004) Expression of emotion and quality of life after facial nerve paralysis. *Otol Neurotol* 25:1014–1019
5. Cross T, Sheard CE, Garrud P, Nikolopoulos TP, O'Donoghue GM (2000) Impact of facial paralysis on patients with acoustic neuroma. *Laryngoscope* 110:1539–1542
6. Daube JR (2000) Quantitative parameters of intraoperative electromyography predict facial nerve outcomes for vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery* 46:1147
7. Dong CC, Macdonald DB, Akagami R, Westerberg B, AlKhani A, Kanaan A, Hassounah M (2005) Intraoperative facial motor evoked potential monitoring with transcranial electrical stimulation during skull base surgery. *Clin Neurophysiol* 116:588–596
8. Fukuda M, Oishi M, Takao T, Saito A, Fujii Y (2008) Facial nerve motor evoked potential monitoring during skull base surgery predicts facial nerve outcome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 79:1066–1070
9. Gharabaghi A, Samii A, Koerbel A, Rosahl SK, Tatagiba M, Samii M (2007) Preservation of function in vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery* 60(2 Suppl 1):124–128
10. Goldbrunner RH, Schlake HP, Milewski C, Tonn JC, Helms J, Roosen K (2000) Quantitative parameters of intraoperative electromyography predict facial nerve outcomes for vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery* 46:1140–1148
11. Harper CM, Daube JR (1998) Facial nerve electromyography and other cranial nerve monitoring. *J Clin Neurophysiol* 15:206–216
12. House JW, Brackmann DE (1985) Facial nerve grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg* 93:146–147
13. Jones SJ, Harrison R, Koh KF, Mendoza N, Crookard HA (1996) Motor evoked potential monitoring during spinal surgery: responses of distal limb muscles to transcranial cortical stimulation with pulse trains. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 100:375–383
14. Kartush JM, Lundy LB (1992) Facial nerve outcome in acoustic neuroma surgery. *Otolaryngol Clin North Am* 25:623–647
15. Koerbel A, Gharabaghi A, Safavi-Abbasi S, Tatagiba M, Samii M (2005) Evolution of vestibular schwannoma surgery: the long journey to current success. *Neurosurg Focus* 18:e10
16. Kothbauer K, Deletis V, Epstein FJ (1998) Motor evoked potential monitoring for intramedullary spinal cord tumor surgery: correlation of clinical and electrophysiological data in a series of 100 consecutive procedures. *Neurosurg Focus* 4:e1
17. Levy WJ Jr (1987) Clinical experience with motor and cerebellar evoked potential monitoring. *Neurosurgery* 20:169–182
18. Litchy WJ (1996) Quantitative electromyography and single fiber electromyography. In: Daube J (ed) *Clinical neurophysiology*. F. A. Davis Co, Philadelphia, pp 282–300
19. Lyon R, Feiner J, Lieberman JA (2005) Progressive suppression of motor evoked potentials during general anesthesia: the phenomenon of “anesthetic fade”. *J Neurosurg Anesthesiol* 17:13–19
20. MacDonald DB (2006) Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J Clin Monit Comput* 20:347–377
21. Matthies C, Samii M (1997) Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): clinical presentation. *Neurosurgery* 40:1–10
22. Matthies C, Samii M (1997) Management of vestibular schwannomas (acoustic neuromas): the value of neurophysiology for evaluation and prediction of auditory function in 420 cases. *Neurosurgery* 40:919–930
23. Matthies C, Samii M, Krebs S (1997) Management of vestibular schwannomas (acoustic neuromas): radiological features in 202 cases—their value for diagnosis and their predictive importance. *Neurosurgery* 40:469–482
24. Morota N, Deletis V, Constantini S, Kofler M, Cohen H, Epstein FJ (1997) The role of motor evoked potentials during surgery for intramedullary spinal cord tumours. *Neurosurgery* 41:1327–1336
25. Neff BA, Ting J, Dickinson SL, Welling B (2005) Facial nerve monitoring parameters as a predictor of postoperative facial nerve outcomes after vestibular schwannoma resection. *Otol Neurotol* 26:728–732
26. Normand MM, Daube JR (1994) Cranial nerve conduction and needle electromyography in patients with acoustic neuromas: a model of compression neuropathy. *Muscle Nerve* 17:1401–1406
27. Penzholz H (1984) Development and present state of cerebello-pontine angle surgery from the neuro- and otosurgical point of view. *Arch Otorhinolaryngol* 240:167–174
28. Phongsamart G, Wertsch JJ (2003) Quantitative electromyography. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 14:231–241
29. Prell J, Rampf S, Romstock J, Fahlbusch R, Strauss C (2007) Train time as a quantitative electromyographic parameter for facial nerve function in patients undergoing surgery for vestibular schwannoma. *J Neurosurg* 106:826–832
30. Quinones-Hinojosa A, Lyon R, Zada G, Lamborn KR, Gupta N, Parsa AT, McDermott MW, Weinstein PR (2005) Changes in transcranial motor evoked potentials during intramedullary spinal cord tumor resection correlate with postoperative motor function. *Neurosurgery* 56:982–993
31. Römstock J, Strauss C, Fahlbusch R (2000) Continuous electromyography monitoring of motor cranial nerves during cerebello-pontine angle surgery. *J Neurosurg* 93:586–593
32. Sala F, Manganotti P, Tramontano V, Bricolo A, Gerosa M (2007) Monitoring of motor pathways during brain stem surgery: what we have achieved and what we still miss? *Neurophysiol Clin* 37:399–406
33. Sala F, Bricolo A, Faccioli F, Lanteri P, Gerosa M (2007) Surgery for intramedullary spinal cord tumors: the role of intraoperative (neurophysiological) monitoring. *Eur Spine J* 16:S130–S139
34. Samii M, Matthies C (1997) Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): surgical management and results with an emphasis on complications and how to avoid them. *Neurosurgery* 40:11–23
35. Samii M, Matthies C (1997) Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): hearing function in 1000 tumour resections. *Neurosurgery* 40:248–262
36. Samii M, Matthies C (1997) Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): the facial nerve-preservation and restitution of function. *Neurosurgery* 40:684–695
37. Sampath P, Long DM (2004) Acoustic neuroma. In: Winn HR (ed) *Youmans Neurological surgery*. Saunders, Philadelphia, pp 1147–1168
38. Stalberg E, Falck B (1997) The role of electromyography in neurology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 103:579–598
39. Tatagiba M, Acioly MA (2008) Vestibular Schwannoma: current state of the art. In: Ramina R, Pires Aguiar PH, Tatagiba M (eds) *Samii's Essentials in neurosurgery*. Springer, Stuttgart, pp 175–188
40. Zentner J (1989) Noninvasive motor evoked potential monitoring during neurosurgical operations on the spinal cord. *Neurosurgery* 24:709–712
41. Zhou HH, Kelly PJ (2001) Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumour resection. *Neurosurgery* 48:1075–1081

9 REFERÊNCIAS

- 1 Resende LA, Weber S. Peripheral facial palsy in the past: contributions from Avicenna, Nicolaus Friedreich and Charles Bell. *Arq Neuropsiquiatr.* 2008;66:765-9.
- 2 Shaw JP. A history of the enumeration of the cranial nerves by European and British anatomists from the time of Galen to 1895, with comments on nomenclature. *Clin Anat.* 1992;5:466-84.
- 3 Jongkees LB. Notes on the history of facial nerve surgery. *HNO.* 1979;27:325-33.
- 4 Kataye S. Facial paralysis as described by Avicenna. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.* 1975;92:79-82.
- 5 Ballance C. *Some points in the surgery of the brain and its membranes.* London:Macmillan; 1907.
- 6 Koerbel A, Gharabaghi A, Safavi-Abbasi S, Tatagiba M, Samii M. Evolution of vestibular schwannoma surgery: the long journey to current success. *Neurosurg Focus.* 2005;18(4):e10.
- 7 Dandy W. An operation for the total removal of cerebellopontine (Acoustic) tumors. *Surg Gynecol Obstet.* 1925;41:129-48.
- 8 Krause F. Zur Freilegung der hinteren Felsenbeinfläche und des Kleinhirns. *Beitr Klein Chir.* 1903;37:728-64.

- 9 Cairns H. Acoustic neuroma of right cerebellopontine angle. Complete removal. Spontaneous recovery from post-operative palsy. *Proc R Soc Med.* 1931;25:7-12.
- 10 Kartush JM, Lundy LB. Facial nerve outcome in acoustic neuroma surgery. *Otolaryngol Clin North Am.* 1992;25:623-47.
- 11 Penzholz H. Development and present state of cerebellopontine angle surgery from the neuro- and otosurgical point of view. *Arch Otorhinolaryngol.* 1984;240:167-74.
- 12 Samii M, Matthies C. Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): surgical management and results with an emphasis on complications and how to avoid them. *Neurosurgery.* 1997;40:11-21.
- 13 Samii M, Matthies C. Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): hearing function in 1000 tumor resections. *Neurosurgery.* 1997;40:248-60.
- 14 Delgado TE, Bucheit WA, Rosenholtz HR, Chrissian S. Intraoperative monitoring of facila muscle evoked responses obtained by intracranial stimulation of the facila nerve: a more accurate technique for facila nerve dissection. *Neurosurgery.* 1979;4:418-21.
- 15 Dickins JR, Graham SS. A comparison of facial nerve monitoring systems in cerebellopontine angle surgery. *Am J Otol.* 1991;12:1-6.
- 16 Esses BA, LaRouere MJ, Graham MD. Facial nerve outcome in acoustic tumor surgery. *Am J Otol.* 1994;15:810-2.
- 17 Gianoli GJ, Kartush JM. Delayed facial palsy after acoustic neuroma resection: the role of viral reactivation. *Am J Otol.* 1996;17:625-9.

- 18 Givré A, Olivecrona H. Surgical experiences with acoustic tumors. *J Neurosurg.* 1949;6:396-407.
- 19 Gormley WB, Sekhar LN, Wright DC, Kamerer D, Schessel D. Acoustic neuromas: results of current surgical management. *Neurosurgery.* 1997;41:50-8.
- 20 Grant GA, Rostomily RR, Kim DK, Mayberg MR, Farrell D, Avellino A, Duckert LG, Gates GA, Winn HR. Delayed facial palsy after resection of vestibular schwannoma. *J Neurosurg.* 2002;97:93-6.
- 21 Harner SG, Daube JR, Ebersold MJ, Beatty CW. Improved preservation of facial nerve function with use of electrical monitoring during removal of acoustic neuromas. *Mayo Clin Proc.* 1987;62:92-102.
- 22 Jacob A, Robinson LL, Jr., Bortman JS, Yu L, Dodson EE, Welling DB. Nerve of origin, tumor size, hearing preservation, and facial nerve outcomes in 359 vestibular schwannoma resections at a tertiary care academic center. *Laryngoscope.* 2007;117:2087-92.
- 23 Jako GJ. Facial Nerve Monitor. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol.* 1965;69:340-2.
- 24 Kartush JM, Niparko JK, Bledsoe SC, Graham MD, Kemink JL. Intraoperative facial nerve monitoring: a comparison of stimulating electrodes. *Laryngoscope.* 1985;95:1536-40.
- 25 Kartush JM, LaRouere MJ, Graham MD, Bouchard KR, Audet BV. Intraoperative cranial nerve monitoring during posterior skull base surgery. *Skull Base Surg.* 1991;1:85-92.
- 26 Kartush JM. Intra-operative monitoring in acoustic neuroma surgery. *Neurol Res.* 1998;20:593-6.

- 27 Lalwani AK, Butt FY, Jackler RK, Pitts LH, Yingling CD. Facial nerve outcome after acoustic neuroma surgery: a study from the era of cranial nerve monitoring. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1994;111:561-70.
- 28 Megerian CA, McKenna MJ, Ojemann RG. Delayed facial paralysis after acoustic neuroma surgery: factors influencing recovery. *Am J Otol.* 1996;17:630-3.
- 29 Morikawa M, Tamaki N, Nagashima T, Motooka Y. Long-term results of facial nerve function after acoustic neuroma surgery--clinical benefit of intraoperative facial nerve monitoring. *Kobe J Med Sci.* 2000;46:113-24.
- 30 Moskowitz N, Long DM. Acoustic Neuromas. Historical review of a century of operative series. *Neurosurgery Quarterly.* 1991;1:2-18.
- 31 Nabhan A, Ahlhelm F, Reith W, Steudel WI, Schwerdtfeger K. Function of the facial nerve after operative treatment of acoustic neurinomas. Influence of intraoperative monitoring. *Nervenarzt.* 2005;76:170-4.
- 32 Niparko JK, Kileny PR, Kemink JL, Lee HM, Graham MD. Neurophysiologic intraoperative monitoring: II. Facial nerve function. *Am J Otol.* 1989;10:55-61.
- 33 Noudel R, Gomis P, Duntze J, Marnet D, Bazin A, Roche PH. Hearing preservation and facial nerve function after microsurgery for intracanalicular vestibular schwannomas: comparison of middle fossa and retrosigmoid approaches. *Acta Neurochir (Wien).* 2009;151:935-44.
- 34 Roser F, Tatagiba MS. The first 50s: can we achieve acceptable results in vestibular schwannoma surgery from the beginning? *Acta Neurochir (Wien).* 2010;152:1359-65.

- 35 Sampath P, Long DM. Acoustic Neuroma. In: Winn HR. *Youmans neurological surgery*. 5a. ed. Philadelphia: Saunders; 2004. p.1147-68.
- 36 Silverstein H, Willcox TO Jr, Rosenberg SI, Seidman MD. Prediction of facial nerve function following acoustic neuroma resection using intraoperative facial nerve stimulation. *Laryngoscope*. 1994;104(5 Pt) 1:539-44.
- 37 Sterkers O, Rey A, Kalamarides M, Matheron R, Bouccara D. Transpetrous surgery in acoustic neuroma. Value of preoperative audiovestibular and facial investigation in the risk evaluation of facial nerve function. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*. 1997;114:176-83.
- 38 Taha JM, Tew JM, Jr., Keith RW. Proximal-to-distal facial amplitude ratios as predictors of facial nerve function after acoustic neuroma excision. *J Neurosurg*. 1995;83:994-8.
- 39 Zhao X, Wang Z, Ji Y, Wang C, Yu R, Ding X, Wei S. Long-term facial nerve function evaluation following surgery for large acoustic neuromas via retrosigmoid transmeatal approach. *Acta Neurochir (Wien)*. 2010;152:1647-52.
- 40 Sampath P, Holliday MJ, Brem H, Niparko JK, Long DM. Facial nerve injury in acoustic neuroma (vestibular schwannoma) surgery: etiology and prevention. *J Neurosurg*. 1997;87:60-6.
- 41 Ciric I, Zhao JC, Rosenblatt S, Wiet R, O'Shaughnessy B. Suboccipital retrosigmoid approach for removal of vestibular schwannomas: facial nerve function and hearing preservation. *Neurosurgery*. 2005;56:560-70.
- 42 Nakamura M, Roser F, Dormiani M, Matthies C, Vorkapic P, Samii M. Facial and cochlear nerve function after surgery of cerebellopontine angle meningiomas. *Neurosurgery*. 2005;57:77-90.

- 43 Tatagiba M, Acioly MA. Retrosigmoid approach to the posterior and middle fossa. In: Ramina R, Pires Aguiar PH, Tatagiba M. *Samii's essentials in neurosurgery*. Heidelberg: Springer; 2008. p.137-54.
- 44 Safavi-Abbasi S, Di RF, Bambakidis N, Talley MC, Gharabaghi A, Luedemann W, Samii M, Samii A. Has management of epidermoid tumors of the cerebellopontine angle improved? A surgical synopsis of the past and present. *Skull Base*. 2008;18:85-98.
- 45 Samii M, Tatagiba M, Piquer J, Carvalho GA. Surgical treatment of epidermoid cysts of the cerebellopontine angle. *J Neurosurg*. 1996;84:14-9.
- 46 Samii M, Migliori MM, Tatagiba M, Babu R. Surgical treatment of trigeminal schwannomas. *J Neurosurg*. 1995;82:711-8.
- 47 Acioly MA, Santana P, Telles C, Aguiar PHP. Reanimação da face paralisada: o ponto de vista neurocirúrgico. *Arq Bras Neurocir*. 2009;28:109-13.
- 48 Akagami R, Dong CC, Westerberg BD. Localized transcranial electrical motor evoked potentials for monitoring cranial nerves in cranial base surgery. *Neurosurgery*. 2005;57(1 Suppl):78-85.
- 49 Arriaga MA, Luxford WM, Berliner KI. Facial nerve function following middle fossa and translabyrinthine acoustic tumor surgery: a comparison. *Am J Otol*. 1994;15:620-4.
- 50 Chen L, Chen L, Liu L, Ling F, Yuan X, Fang J, Liu Y. Vestibular schwannoma microsurgery with special reference to facial nerve preservation. *Clin Neurol Neurosurg*. 2009;111:47-53.

- 51 Fenton JE, Chin RY, Fagan PA, Sterkers O, Sterkers JM. Predictive factors of long-term facial nerve function after vestibular schwannoma surgery. *Otol Neurotol*. 2002;23:388-92.
- 52 Fenton JE, Chin RY, Fagan PA, Sterkers O, Sterkers JM. Facial nerve outcome in non-vestibular schwannoma tumour surgery. *Acta Otorhinolaryngol Belg*. 2004;58:103-7.
- 53 Roland PS, Meyerhoff WL. Intraoperative electrophysiological monitoring of the facial nerve: is it standard of practice? *Am J Otolaryngol*. 1994;15:267-70.
- 54 Samii M, Matthies C. Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): the facial nerve--preservation and restitution of function. *Neurosurgery*. 1997;40:684-94.
- 55 Sugita K, Kobayashi S. Technical and instrumental improvements in the surgical treatment of acoustic neurinomas. *J Neurosurg*. 1982;57:747-52.
- 56 Samii M, Gerganov V, Samii A. Improved preservation of hearing and facial nerve function in vestibular schwannoma surgery via the retrosigmoid approach in a series of 200 patients. *J Neurosurg*. 2006;105:527-35.
- 57 Tos M, Youssef M, Thomsen J, Turgut S. Causes of facial nerve paresis after translabyrinthine surgery for acoustic neuroma. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1992;101:821-6.
- 58 Normand MM, Daube JR. Cranial nerve conduction and needle electromyography in patients with acoustic neuromas: a model of compression neuropathy. *Muscle Nerve*. 1994;17:1401-6.

- 59 Cramer HB, Kartush JM. Testing facial nerve function. *Otolaryngol Clin North Am.* 1991;24:555-70.
- 60 Lang J. Anatomy of the brainstem and the lower cranial nerves, vessels, and surrounding structures. *Am J Otol.* 1985;Suppl:1-19.
- 61 Parsons RC. Electrical stimulation of the facial nerve. *Laryngoscope.* 1966;76:391-406.
- 62 Coulson SE, O'dwyer NJ, Adams RD, Croxson GR. Expression of emotion and quality of life after facial nerve paralysis. *Otol Neurotol.* 2004;25:1014-9.
- 63 Adour KK. Mona Lisa syndrome: solving the enigma of the Gioconda smile. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1989;98:196-9.
- 64 Acoustic neuroma. Consens Statement 1991 Dec 11;9:1-24.
- 65 Cross T, Sheard CE, Garrud P, Nikolopoulos TP, O'Donoghue GM. Impact of facial paralysis on patients with acoustic neuroma. *Laryngoscope.* 2000;110:1539-42.
- 66 Silverstein H. Microsurgical instruments and nerve stimulator--monitor for retrolabyrinthine vestibular neurectomy. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1986;94:409-11.
- 67 Thomsen J, Zander OP, Tos M. Pre- and postoperative facial nerve testing in patients with acoustic neuromas. *Acta Otolaryngol.* 1985;99:239-44.
- 68 Anderson DE, Leonetti J, Wind JJ, Cribari D, Fahey K. Resection of large vestibular schwannomas: facial nerve preservation in the context of

- surgical approach and patient-assessed outcome. *J Neurosurg.* 2005;102:643-9.
- 69 Menovsky T, van Overbeeke JJ. On the mechanism of transient postoperative deficit of cranial nerves. *Surg Neurol.* 1999;51:223-6.
- 70 Bendet E, Rosenberg SI, Willcox TO, Gordon M, Silverstein H. Intraoperative facial nerve monitoring: a comparison between electromyography and mechanical-pressure monitoring techniques. *Am J Otol.* 1999;20:793-9.
- 71 Selesnick SH, Carew JF, Victor JD, Heise CW, Levine J. Predictive value of facial nerve electrophysiologic stimulation thresholds in cerebellopontine-angle surgery. *Laryngoscope.* 1996;106(5 Pt 1):633-8.
- 72 Lenarz T, Sachsenheimer W. Prognostic factors for postsurgical hearing and facial nerve function in cases of cerebellopontine angle-tumours. The meaning of brain stem evoked response audiometry (BERA). *Acta Neurochir (Wien).* 1985;78:21-7.
- 73 Lenarz T, Ernst A. Intraoperative facial nerve monitoring in the surgery of cerebellopontine angle tumors: improved preservation of nerve function. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 1994;56:31-5.
- 74 Campbell ED, Hickey RP, Nixon KH, Richardson AT. Value of nerve-excitability measurements in prognosis of facial palsy. *Br Med J.* 1962;2:7-10.
- 75 Campbell ED. A simple prognostic test in facial palsy. *J Laryngol.* 1963;77:462-6.
- 76 Rosler KM, Jenni WK, Schmid UD, Hess CW. Electrophysiological characterization of pre- and postoperative facial nerve function in patients

- with acoustic neuroma using electrical and magnetic stimulation techniques. *Muscle Nerve*. 1994;17:183-91.
- 77 Fisch U. Prognostic value of electrical tests in acute facial paralysis. *Am J Otol*. 1984;5:494-8.
- 78 Arriaga MA, Luxford WM, Atkins JS, Jr., Kwartler JA. Predicting long-term facial nerve outcome after acoustic neuroma surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1993;108:220-4.
- 79 Briggs RJ, Luxford WM, Atkins JS, Jr., Hitselberger WE. Translabyrinthine removal of large acoustic neuromas. *Neurosurgery*. 1994;34:785-90.
- 80 Gardner G, Robertson JH. Facial nerve function in cerebellopontine angle tumor surgery. *Am J Otol*. 1985;Suppl:74-9.
- 81 Hone SW, Commins DJ, Rames P, Chen JM, Rowed D, McLean A, Nedzelski JN. Prognostic factors in intraoperative facial nerve monitoring for acoustic neuroma. *J Otolaryngol*. 1997;26:374-8.
- 82 Isaacson B, Kileny PR, El-Kashlan H, Gadre AK. Intraoperative monitoring and facial nerve outcomes after vestibular schwannoma resection. *Otol Neurotol*. 2003;24:812-7.
- 83 Kirkpatrick PJ, Watters G, Strong AJ, Walliker JR, Gleeson MJ. Prediction of facial nerve function after surgery for cerebellopontine angle tumors: use of a facial nerve stimulator and monitor. *Skull Base Surg*. 1991;1:171-6.
- 84 Lalwani AK, Butt FY, Jackler RK, Pitts LH, Yingling CD. Delayed onset facial nerve dysfunction following acoustic neuroma surgery. *Am J Otol*. 1995;16:758-64.

- 85 Lanman TH, Brackmann DE, Hitselberger WE, Subin B. Report of 190 consecutive cases of large acoustic tumors (vestibular schwannoma) removed via the translabyrinthine approach. *J Neurosurg.* 1999;90:617-23.
- 86 Morton RP, Ackerman PD, Pisansky MT, Krezalek M, Leonetti JP, Raffin MJ, Anderson DE. Prognostic factors for the incidence and recovery of delayed facial nerve palsy after vestibular schwannoma resection. *J Neurosurg.* 2011;114:375-380.
- 87 Ohata K, Nunta-aree S, Morino M, Tsuyuguchi N, Haque M, Inoue Y, Ogura H, Hakuba A. Aetiology of delayed facial palsy after vestibular schwannoma surgery: clinical data and hypothesis. *Acta Neurochir (Wien).* 1998;140:913-7.
- 88 Sargent EW, Kartush JM, Graham MD. Meatal facial nerve decompression in acoustic neuroma resection. *Am J Otol.* 1995;16:457-64.
- 89 Scheller C, Strauss C, Fahlbusch R, Romstock J. Delayed facial nerve paresis following acoustic neuroma resection and postoperative vasoactive treatment. *Zentralbl Neurochir.* 2004;65:103-7.
- 90 Wedekind C, Hildebrandt G, Klug N. A case of delayed loss of facial nerve function after acoustic neuroma surgery. *Zentralbl Neurochir.* 1996;57:163-6.
- 91 Krause F. *Surgery of the brain and spinal cord.* New York: Rebman Co.; 1912. p.737-43.
- 92 Yingling D, Gardi JN. Intraoperative monitoring of facial and cochlear nerves during acoustic neuroma surgery. 1992. *Neurosurg Clin N Am.* 2008;19:289-315.

- 93 Hilger JA. Facial nerve stimulator. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*. 1964;68:74-6.
- 94 Prass RL, Luders H. Acoustic (loudspeaker) facial electromyographic monitoring: Part 1. Evoked electromyographic activity during acoustic neuroma resection. *Neurosurgery*. 1986;19:392-400.
- 95 Prasad S, Hirsch BE, Kameron DB, Durrant J, Sekhar LN. Facial nerve function following cerebellopontine angle surgery: prognostic value of intraoperative thresholds. *Am J Otol*. 1993;14:330-3.
- 96 Moller AR, Jannetta PJ. Preservation of facial function during removal of acoustic neuromas. Use of monopolar constant-voltage stimulation and EMG. *J Neurosurg*. 1984;61:757-60.
- 97 Moller AR, Jannetta PJ. Monitoring of facial nerve function during removal of acoustic tumor. *Am J Otol*. 1985;Suppl:27-9.
- 98 Prass RL, Kinney SE, Hardy RW Jr, Hahn JF, Luders H. Acoustic (loudspeaker) facial EMG monitoring: II. Use of evoked EMG activity during acoustic neuroma resection. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1987;97:541-51.
- 99 Harner SG, Daube JR, Beatty CW, Ebersold MJ. Intraoperative monitoring of the facial nerve. *Laryngoscope*. 1988;98:209-12.
- 100 Leonetti JP, Brackmann DE, Prass RL. Improved preservation of facial nerve function in the infratemporal approach to the skull base. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1989;101:74-8.
- 101 Leonetti JP, Matz GJ, Smith PG, Beck DL. Facial nerve monitoring in otologic surgery: clinical indications and intraoperative technique. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1990;99:911-8.

- 102 Hammerschlag PE, Cohen NL. Intraoperative monitoring of facial nerve function in cerebellopontine angle surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1990;103(5 (Pt 1):681-4.
- 103 Kwartler JA, Luxford WM, Atkins J, Shelton C. Facial nerve monitoring in acoustic tumor surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1991;104:814-7.
- 104 Benecke JE Jr, Calder HB, Chadwick G. Facial nerve monitoring during acoustic neuroma removal. *Laryngoscope.* 1987;97:697-700.
- 105 Silverstein H, Smouha E, Jones R. Routine identification of the facial nerve using electrical stimulation during otological and neurotological surgery. *Laryngoscope* 1988;98:726-30.
- 106 Silverstein H, Rosenberg S. Intraoperative facial nerve monitoring. *Otolaryngol Clin North Am.* 1991;24:709-25.
- 107 Uziel A, Benezech J, Frerebeau P. Intraoperative facial nerve monitoring in posterior fossa acoustic neuroma surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1993;108:126-34.
- 108 Yingling CD, Gardi JN. Intraoperative monitoring of facial and cochlear nerves during acoustic neuroma surgery. *Otolaryngol Clin North Am.* 1992;25:413-48.
- 109 Lacombe H, Keravel Y, Peynegre R, Eshraghi A. [Value of the monitoring of the facial nerve in the evaluation of facial function in translabyrinthine surgery for acoustic neuroma]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.* 1994;111:89-93.

- 110 Nissen AJ, Sikand A, Welsh JE, Curto FS, Gardi J. A multifactorial analysis of facial nerve results in surgery for cerebellopontine angle tumors. *Ear Nose Throat J.* 1997;76:37-40.
- 111 Silverstein H, Rosenberg SI, Flanzer J, Seidman MD. Intraoperative facial nerve monitoring in acoustic neuroma surgery. *Am J Otol.* 1993;14:524-32.
- 112 Sterkers JM, Morrison GA, Sterkers O, El-Dine MM. Preservation of facial, cochlear, and other nerve functions in acoustic neuroma treatment. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1994;110:146-55.
- 113 Wiet RJ, Bauer GP, Stewart D, Zappia JJ. Intraoperative facial nerve monitoring: a description of a unique system. *J Laryngol Otol.* 1994;108:551-6.
- 114 Magliulo G, Petti R, Vingolo GM, Ronzoni R, Cristofari P. Facial nerve monitoring of skull base and cerebellopontine angle lesions. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1994;S314-S315.
- 115 Magliulo G, Petti R, Vingolo GM, Cristofari P, Ronzoni R. Facial nerve monitoring in skull base surgery. *J Laryngol Otol.* 1994;108:557-9.
- 116 Fenton JE, Chin RY, Shirazi A, Fagan PA. Prediction of postoperative facial nerve function in acoustic neuroma surgery. *Clin Otolaryngol Allied Sci.* 1999;24:483-6.
- 117 Jellinek DA, Tan LC, Symon L. The impact of continuous electrophysiological monitoring on preservation of the facial nerve during acoustic tumour surgery. *Br J Neurosurg.* 1991;5:19-24.
- 118 Kaylie DM, Gilbert E, Horgan MA, Delashaw JB, McMenomey SO. Acoustic neuroma surgery outcomes. *Otol Neurotol.* 2001;22:686-9.

- 119 Kirkpatrick PJ, Tierney P, Gleeson MJ, Strong AJ. Acoustic tumour volume and the prediction of facial nerve functional outcome from intraoperative monitoring. *Br J Neurosurg.* 1993;7:657-64.
- 120 Metson R, Thornton A, Nadol JB Jr, Fee WE Jr. A new design for intraoperative facial nerve monitoring. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1988;98:258-61.
- 121 Nissen AJ, Sikand A, Curto FS, Welsh JE, Gardi J. Value of intraoperative threshold stimulus in predicting postoperative facial nerve function after acoustic tumor resection. *Am J Otol.* 1997;18:249-51.
- 122 Sluyter S, Graamans K, Tulleken CA, Van Veelen CW. Analysis of the results obtained in 120 patients with large acoustic neuromas surgically treated via the translabyrinthine-transtentorial approach. *J Neurosurg.* 2001;94:61-6.
- 123 Zeitouni AG, Hammerschlag PE, Cohen NL. Prognostic significance of intraoperative facial nerve stimulus thresholds. *Am J Otol.* 1997;18:494-7.
- 124 Sala F, Manganotti P, Tramontano V, Bricolo A, Gerosa M. Monitoring of motor pathways during brain stem surgery: what we have achieved and what we still miss? *Neurophysiol Clin.* 2007;37:399-406.
- 125 Sargent EW, Beck DL. Facial nerve monitoring. *Laryngoscope.* 1995;105(9 Pt 1):1017-8.
- 126 Kartush JM. Electroneurography and intraoperative facial monitoring in contemporary neurotology. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1989;101:496-503.

- 127 Noss RS, Lalwani AK, Yingling CD. Facial nerve monitoring in middle ear and mastoid surgery. *Laryngoscope*. 2001;111:831-6.
- 128 Tatagiba M, Acioly MA. Vestibular Schwannoma: current state of the art. In: Ramina R, Pires Aguiar PH, Tatagiba M. *Samii's essentials in neurosurgery*. Stuttgart: Springer; 2008. p.175-88
- 129 Colletti V, Fiorino FG, Policante Z, Bruni L. New perspectives in intraoperative facial nerve monitoring with antidromic potentials. *Am J Otol*. 1996;17:755-62.
- 130 Colletti V, Fiorino F, Policante Z, Bruni L. Intraoperative monitoring of facial nerve antidromic potentials during acoustic neuroma surgery. *Acta Otolaryngol*. 1997;117:663-9.
- 131 Colletti V, Fiorino FG. Advances in monitoring of seventh and eighth cranial nerve function during posterior fossa surgery. *Am J Otol*. 1998;19:503-12.
- 132 Richmond IL, Mahla M. Use of antidromic recording to monitor facial nerve function intraoperatively. *Neurosurgery*. 1985;16:458-62.
- 133 Schmid UD, Sturzenegger M, Ludin HP, Seiler RW, Reulen HJ. Orthodromic (intra/extracranial) neurography to monitor facial nerve function intraoperatively. *Neurosurgery*. 1988;22:945-50.
- 134 Wedekind C, Klug N. F-wave recordings from nasal muscle for intraoperative monitoring of facial nerve function. *Zentralbl Neurochir*. 1996;57:184-9.
- 135 Wedekind C, Klug N. Nasal muscle F-wave for peri- and intraoperative diagnosis of facial nerve function. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 1998;38:481-90.

- 136 Wedekind C, Klug N. Assessment of facial nerve function in acoustic tumor disease by nasal muscle F waves and transcranial magnetic stimulation. *Muscle Nerve*. 2000;23:58-62.
- 137 Wedekind C, Klug N. Recording nasal muscle F waves and electromyographic activity of the facial muscles: a comparison of two methods used for intraoperative monitoring of facial nerve function. *J Neurosurg*. 2001;95:974-8.
- 138 Wedekind C, Klug N. Facial F wave recording: a novel and effective technique for extra- and intraoperative diagnosis of facial nerve function in acoustic tumor disease. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2003;129:114-20.
- 139 Prasad S, Hirsch BE, Kamerer DB, Durrant J, Sekhar LN. Facial nerve function following cerebellopontine angle surgery: prognostic value of electroneurography. *Am J Otol*. 1993;14:326-9.
- 140 Neff BA, Ting J, Dickinson SL, Welling DB. Facial nerve monitoring parameters as a predictor of postoperative facial nerve outcomes after vestibular schwannoma resection. *Otol Neurotol*. 2005;26:728-32.
- 141 Romstock J, Strauss C, Fahlbusch R. Continuous electromyography monitoring of motor cranial nerves during cerebellopontine angle surgery. *J Neurosurg*. 2000;93:586-93.
- 142 Fukuda M, Oishi M, Takao T, Saito A, Fujii Y. Facial nerve motor-evoked potential monitoring during skull base surgery predicts facial nerve outcome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008;79:1066-70.
- 143 Dong CC, MacDonald DB, Akagami R, Westerberg B, Alkhani A, Kanaan I, Hassounah M. Intraoperative facial motor evoked potential

- monitoring with transcranial electrical stimulation during skull base surgery. *Clin Neurophysiol.* 2005;116:588-96.
- 144 Prell J, Rampp S, Romstock J, Fahlbusch R, Strauss C. Train time as a quantitative electromyographic parameter for facial nerve function in patients undergoing surgery for vestibular schwannoma. *J Neurosurg.* 2007;106:826-32.
- 145 Prell J, Rachinger J, Scheller C, Alfieri A, Strauss C, Rampp S. A real-time monitoring system for the facial nerve. *Neurosurgery.* 2010;66:1064-73.
- 146 Harper CM, Daube JR. Facial nerve electromyography and other cranial nerve monitoring. *J Clin Neurophysiol.* 1998;15:206-16.
- 147 Holland NR. Intraoperative electromyography. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19:444-53.
- 148 Kartush JM, Bouchard KL. Intraoperative facial nerve monitoring. In: Kartush JM, Bouchard KL. *Neuromonitoring in otology and head and neck surgery.* New York: Raven Press; 1992. p.99-100.
- 149 Acioly MA, Liebsch M, Carvalho CH, Gharabaghi A, Tatagiba M. Transcranial electrocortical stimulation to monitor the facial nerve motor function during cerebellopontine angle surgery. *Neurosurgery.* 2010;66(6 Suppl Operative):354-62.
- 150 Gharabaghi A, Samii A, Koerbel A, Rosahl SK, Tatagiba M, Samii M. Preservation of function in vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery.* 2007;60(2 Suppl 1):ONS124-8.
- 151 Jayakar P. Physiological principles of electrical stimulation. *Adv Neurol.* 1993;63:17-27.

- 152 Prass R, Luders H. Constant-current versus constant-voltage stimulation. *J Neurosurg.* 1985;62:622-3.
- 153 Nelson KR, Phillips LH. Neurophysiologic monitoring during surgery of peripheral and cranial nerves, and in selective dorsal rhizotomy. *Semin Neurol.* 1990;10:141-9.
- 154 Gantz BJ. Intraoperative facial nerve monitoring. *Am J Otol.* 1985;Suppl:58-61.
- 155 Beck DL, Benecke JE Jr. Intraoperative facial nerve monitoring. Technical aspects. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1990;102:270-2.
- 156 Sclabassi RJ, Kalia KK, Sekhar L, Jannetta PJ. Assessing brain stem function. *Neurosurg Clin N Am.* 1993;4:415-31.
- 157 Maurer J, Pelster H, Amedee RG, Mann WJ. Intraoperative monitoring of motor cranial nerves in skull base surgery. *Skull Base Surg.* 1995;5:169-75.
- 158 Rampp S, Prell J, Rachinger JC, Scheller C, Strauss C. Does electrode placement influence quality of intraoperative monitoring in vestibular schwannoma surgery? *Cen Eur Neurosurg.* 2011;72:22-7.
- 159 Bozorg GA, Kalamarides M, Fraysse B, Deguine O, Favre G, Martin C, Mom T, Sterkers O. Comparison between intraoperative observations and electromyographic monitoring data for facial nerve outcome after vestibular schwannoma surgery. *Acta Otolaryngol.* 2005;125:1069-74.
- 160 Grayeli AB, Guindi S, Kalamarides M, El GH, Smail M, Rey A, Sterkers O. Four-channel electromyography of the facial nerve in vestibular schwannoma surgery: sensitivity and prognostic value for short-term facial function outcome. *Otol Neurotol.* 2005;26:114-20.

-
- 161 Guo L, Jasiukaitis P, Pitts LH, Cheung SW. Optimal placement of recording electrodes for quantifying facial nerve compound muscle action potential. *Otol Neurotol*. 2008;29:710-3.
- 162 Mourier KL, Raggueneau JL, George B, Boissonnet H, Hodes JE, Cophignon J. Intra-operative monitoring of the facial nerve with an air inflated balloon. Technical note. *Acta Neurochir Wien*. 1992;117:63-5.
- 163 Silverstein H, Smouha EE, Jones R. Routine intraoperative facial nerve monitoring during otologic surgery. *Am J Otol*. 1988;9:269-75.
- 164 Uziel A, Benezech J, Frerebeau P, Irolla E, Vidal D. Peroperative monitoring of the facial nerve in surgery for acoustic neuroma. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*. 1991;108:438-45.
- 165 Zini C, Gandolfi A. Facial-nerve and vocal-cord monitoring during otoneurosurgical operations. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1987;113:1291-3.
- 166 Filipo R, De SE, Bertoli GA. Intraoperative videomonitoring of the facial nerve. *Am J Otol*. 2000;21:119-22.
- 167 Filipo R, Pichi B, Bertoli GA, De SE. Video-based system for intraoperative facial nerve monitoring: comparison with electromyography. *Otol Neurotol*. 2002;23:594-7.
- 168 Murphy EK. Use of an infrared camera to improve the outcome of facial nerve monitoring. *Am J Electroneurodiagnostic Technol*. 2008;48:38-47.
- 169 Murphy EK. Modifications in infrared intraoperative neuromonitoring camera and supports. *Am J Electroneurodiagnostic Technol*. 2008;48:209-11.

- 170 Blair EA, Teeple E Jr, Sutherland RM, Shih T, Chen D. Effect of neuromuscular blockade on facial nerve monitoring. *Am J Otol.* 1994;15:161-7.
- 171 Brauer M, Knuettgen D, Quester R, Doehn M. Electromyographic facial nerve monitoring during resection for acoustic neurinoma under moderate to profound levels of peripheral neuromuscular blockade. *Eur J Anaesthesiol.* 1996;13:612-5.
- 172 Lennon RL, Hosking MP, Daube JR, Welna JO. Effect of partial neuromuscular blockade on intraoperative electromyography in patients undergoing resection of acoustic neuromas. *Anesth Analg.* 1992;75:729-33.
- 173 Beck DL, Atkins JS Jr, Benecke JE Jr, Brackmann DE. Intraoperative facial nerve monitoring: prognostic aspects during acoustic tumor removal. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1991;104:780-2.
- 174 Goldbrunner RH, Schlake HP, Milewski C, Tonn JC, Helms J, Roosen K. Quantitative parameters of intraoperative electromyography predict facial nerve outcomes for vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery.* 2000;46:1140-6.
- 175 Hughes GB, Bottomy MB, Dickins JR, Jackson CG, Sismanis A, Glasscock ME, III. A comparative study of neuropathologic changes following pulsed and direct current stimulation of the mouse sciatic nerve. *Am J Otolaryngol.* 1980;1:378-84.
- 176 Hughes GB, Bottomy MB, Jackson CG, Glasscock ME, III, Sismanis A. Myelin and axon degeneration following direct current peripheral nerve stimulation: a prospective controlled experimental study. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1981;89:767-75.

- 177 Maurer J, Pelster H, Mann W. Intraoperative monitoring of motor cranial nerves in operations of the neck and cranial base. *Laryngorhinootologie*. 1994;73:561-7.
- 178 Sobottka SB, Schackert G, May SA, Wiegler M, Reiss G. Intraoperative facial nerve monitoring (IFNM) predicts facial nerve outcome after resection of vestibular schwannoma. *Acta Neurochir Wien*. 1998;140:235-42.
- 179 Yokoyama T, Uemura K, Ryu H. Facial nerve monitoring by monopolar low constant current stimulation during acoustic neurinoma surgery. *Surg Neurol*. 1991;36:12-8.
- 180 Yokoyama T, Uemura K, Ryu H, Sugiyama K, Nishizawa S, Shimoyama I, Nozue M. Intraoperative facial nerve monitoring by monopolar low constant current stimulation and postoperative facial function in acoustic tumor surgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1994;S316-S318.
- 181 Lefaucheur JP, Neves DO, Vial C. Electrophysiological monitoring of cranial motor nerves (V, VII, IX, X, XI, XII). *Neurochirurgie*. 2009;55:136-41.
- 182 Torrens M, Maw R, Coakham H, Butler S, Morgan H. Facial and acoustic nerve preservation during excision of extracanalicular acoustic neuromas using the suboccipital approach. *Br J Neurosurg*. 1994;8:655-65.
- 183 Sampath P, Rini D, Long DM. Microanatomical variations in the cerebellopontine angle associated with vestibular schwannomas acoustic neuromas: a retrospective study of 1006 consecutive cases. *J Neurosurg*. 2000;92:70-8.

- 184 Strauss C. The facial nerve in medial acoustic neuromas. *J Neurosurg.* 2002;97:1083-90.
- 185 Strauss C, Prell J, Rampp S, Romstock J. Split facial nerve course in vestibular schwannomas. *J Neurosurg.* 2006;105:698-705.
- 186 Ashram YA, Jackler RK, Pitts LH, Yingling CD. Intraoperative electrophysiologic identification of the nervus intermedius. *Otol Neurotol.* 2005;26:274-9.
- 187 Youssef AS, Downes AE. Intraoperative neurophysiological monitoring in vestibular schwannoma surgery: advances and clinical implications. *Neurosurg Focus.* 2009;27:e9.
- 188 Isaacson B, Kileny PR, El-Kashlan HK. Prediction of long-term facial nerve outcomes with intraoperative nerve monitoring. *Otol Neurotol.* 2005;26:270-3.
- 189 Axon PR, Ramsden RT. Intraoperative electromyography for predicting facial function in vestibular schwannoma surgery. *Laryngoscope.* 1999;109:922-6.
- 190 Wolf SR, Schneider W, Hofmann M, Haid CT, Wigand ME. Intraoperative monitoring of the facial nerve in transtemporal surgery of acoustic neurinoma. *HNO.* 1993;41:179-84.
- 191 Berges C, Frayssé B, Yardeni E, Rugiu G. Intraoperative facial nerve monitoring in posterior fossa surgery: prognostic value. *Skull Base Surg.* 1993;3:214-6.
- 192 Kawaguchi M, Ohnishi H, Sakamoto T, Shimizu K, Touho H, Monobe T, Karasawa J. Intraoperative electrophysiologic monitoring of cranial motor nerves in skull base surgery. *Surg Neurol.* 1995;43:177-81.

- 193 Mandpe AH, Mikulec A, Jackler RK, Pitts LH, Yingling CD. Comparison of response amplitude versus stimulation threshold in predicting early postoperative facial nerve function after acoustic neuroma resection. *Am J Otol*. 1998;19:112-7.
- 194 Ebersold MJ, Harner SG, Beatty CW, Harper CM Jr, Quast LM. Current results of the retrosigmoid approach to acoustic neurinoma. *J Neurosurg*. 1992;76:901-9.
- 195 Magliulo G, Zardo F. Intra-operative facial nerve monitoring. Its predictive value after skull base surgery. *J Laryngol Otol*. 1997;111:715-8.
- 196 Magliulo G, Zardo F. Facial nerve function after cerebellopontine angle surgery and prognostic value of intraoperative facial nerve monitoring: a critical evaluation. *Am J Otolaryngol*. 1998;19:102-6.
- 197 Nakao Y, Piccirillo E, Falcioni M, Taibah A, Kobayashi T, Sanna M. Electromyographic evaluation of facial nerve damage in acoustic neuroma surgery. *Otol Neurotol*. 2001;22:554-7.
- 198 Prell J, Rampp S, Rachinger J, Scheller C, Naraghi R, Strauss C. Spontaneous electromyographic activity during microvascular decompression in trigeminal neuralgia. *J Clin Neurophysiol*. 2008;25:225-32.
- 199 Kombos T, Suess O, Ciklatekerlio O, Brock M. Monitoring of intraoperative motor evoked potentials to increase the safety of surgery in and around the motor cortex. *J Neurosurg*. 2001;95:608-14.
- 200 Kinney SE, Prass R. Facial nerve dissection by use of acoustic loudspeaker facial EMG monitoring. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1986;95:458-63.

- 201 Eisner W, Schmid UD, Reulen HJ, Oeckler R, Olteanu-Nerbe V, Gall C, Kothbauer K. The mapping and continuous monitoring of the intrinsic motor nuclei during brain stem surgery. *Neurosurgery*. 1995;37:255-65.
- 202 Grabb PA, Albright AL, Sclabassi RJ, Pollack IF. Continuous intraoperative electromyographic monitoring of cranial nerves during resection of fourth ventricular tumors in children. *J Neurosurg*. 1997;86:1-4.
- 203 Kombos T, Suess O, Kern BC, Funk T, Pietila T, Brock M. Can continuous intraoperative facial electromyography predict facial nerve function following cerebellopontine angle surgery? *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2000;40:501-5.
- 204 Nakao Y, Piccirillo E, Falcioni M, Taibah A, Russo A, Kobayashi T, Sanna M. Prediction of facial nerve outcome using electromyographic responses in acoustic neuroma surgery. *Otol Neurotol*. 2002;23:93-5.
- 205 Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature*. 1980;285:227.
- 206 Merton PA, Morton HB. Electrical stimulation of human motor and visual cortex through the scalp. *J Physiol*. 1980;305:9-10.
- 207 Merton PA, Hill DK, Morton HB, Marsden CD. Scope of a technique for electrical stimulation of human brain, spinal cord, and muscle. *Lancet*. 1982;2:597-600.
- 208 Mills KR, Murray NM, Hess CW. Magnetic and electrical transcranial brain stimulation: physiological mechanisms and clinical applications. *Neurosurgery*. 1987;20:164-8.

- 209 Beric A. Transcranial electrical and magnetic stimulation. *Adv Neurol.* 1993;63:29-42.
- 210 Deletis V. Intraoperative neurophysiology and methodologies used to monitor the functional integrity of the motor system. In: Deletis V, Shils JL. *Neurophysiology in neurosurgery: A modern intraoperative approach.* San Diego: Academic Press; 2002. p.25-54.
- 211 Devinsky O. Electrical and magnetic stimulation of the central nervous system. Historical overview. *Adv Neurol.* 1993;63:1-16.
- 212 Levy WJ Jr. Clinical experience with motor and cerebellar evoked potential monitoring. *Neurosurgery.* 1987;20:169-82.
- 213 Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet.* 1985;1:1106-7.
- 214 Deletis V. What does intraoperative monitoring of motor evoked potentials bring to the neurosurgeon? *Acta Neurochir (Wien).* 2005;147:1015-7.
- 215 Jones SJ, Harrison R, Koh KF, Mendoza N, Crockard HA. Motor evoked potential monitoring during spinal surgery: responses of distal limb muscles to transcranial cortical stimulation with pulse trains. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1996;100:375-83.
- 216 Chen X, Sterio D, Ming X, Para DD, Butusova M, Tong T, Beric A. Success rate of motor evoked potentials for intraoperative neurophysiologic monitoring: effects of age, lesion location, and preoperative neurologic deficits. *J Clin Neurophysiol.* 2007;24:281-5.

- 217 Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. *Neurosurgery*. 1993;32:219-26.
- 218 MacDonald DB. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *J Clin Neurophysiol*. 2002;19:416-29.
- 219 MacDonald DB, Janusz M. An approach to intraoperative neurophysiologic monitoring of thoracoabdominal aneurysm surgery. *J Clin Neurophysiol*. 2002;19:43-54.
- 220 MacDonald DB. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J Clin Monit Comput*. 2006;20:347-77.
- 221 Kothbauer K, Deletis V, Epstein FJ. Intraoperative spinal cord monitoring for intramedullary surgery: an essential adjunct. *Pediatr Neurosurg*. 1997;26:247-54.
- 222 Kothbauer KF, Deletis V, Epstein FJ. Intraoperative monitoring. *Pediatr Neurosurg*. 1998;29:54-5.
- 223 Lang EW, Chesnut RM, Beutler AS, Kennelly NA, Renaudin JW. The utility of motor-evoked potential monitoring during intramedullary surgery. *Anesth Analg*. 1996;83:1337-41.
- 224 Zentner J. Noninvasive motor evoked potential monitoring during neurosurgical operations on the spinal cord. *Neurosurgery*. 1989;24:709-12.
- 225 Zentner J. Motor evoked potential monitoring during neurosurgical operations on the spinal cord. *Neurosurg Rev*. 1991;14:29-36.

- 226 Acioly MA, Carvalho CH, Liebsch M, Gharabaghi A, Tatagiba M. Potencial evocado motor do nervo facial durante cirurgias do ângulo ponto-cerebelar. *J Bras Neurocir.* 2009;20:256. Presented at XIII Congress of the Brazilian Academy of Neurosurgery; 2009 June 8-13; Curitiba/PR, Brazil: Abstracts.
- 227 Acioly MA, Liebsch M, Carvalho CH, Gharabaghi A, Aguiar PHP, Tatagiba M. Critérios eletrofisiológicos de prognóstico da função facial baseados no potencial evocado motor do nervo facial intra-operatório durante a cirurgia do schwannoma vestibular. *J Bras Neurocir.* 2009;20:262. Presented at XIII Congress of the Brazilian Academy of Neurosurgery; 2009 June 8-13; Curitiba/PR, Brazil: Abstracts.
- 228 Fukuda M, Oishi M, Hiraishi T, Fujii Y. Facial nerve motor-evoked potential monitoring during microvascular decompression for hemifacial spasm. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2010;81:519-23.
- 229 Wilkinson MF, Kaufmann AM. Monitoring of facial muscle motor evoked potentials during microvascular decompression for hemifacial spasm: evidence of changes in motor neuron excitability. *J Neurosurg.* 2005;103:64-9.
- 230 Zhou HH, Kelly PJ. Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumor resection. *Neurosurgery.* 2001;48:1075-80.
- 231 Matthies C, Samii M. Management of vestibular schwannomas acoustic neuromas: the value of neurophysiology for evaluation and prediction of auditory function in 420 cases. *Neurosurgery.* 1997;40:919-29.
- 232 House JW, Brackmann DE. Facial nerve grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1985;93:146-7.

- 233 Matthies C, Samii M. Management of 1000 vestibular schwannomas acoustic neuromas: clinical presentation. *Neurosurgery*. 1997;40:1-9.
- 234 Matthies C, Samii M, Krebs S. Management of vestibular schwannomas acoustic neuromas: radiological features in 202 cases--their value for diagnosis and their predictive importance. *Neurosurgery*. 1997;40:469-81.
- 235 Acioly MA, Carvalho CH, Koerbel A, Lowenheim H, Tatagiba M, Gharabaghi A. Intraoperative brainstem auditory evoked potential observations after trigeminocardiac reflex during cerebellopontine angle surgery. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2010;22:347-53.
- 236 Acioly MA, Carvalho CH, Koerbel A, Heckl S, Tatagiba M, Gharabaghi A. The role of the trigeminocardiac reflex in postoperative hearing function in non-vestibular schwannoma cerebellopontine angle tumors. *J Clin Neurosci*. 2011;18:237-40.
- 237 Lyon R, Feiner J, Lieberman JA. Progressive suppression of motor evoked potentials during general anesthesia: the phenomenon of "anesthetic fade". *J Neurosurg Anesthesiol*. 2005;17:13-9.
- 238 Buchthal F, Guld C, Rosenfalck P. Action potential parameters in normal human muscle and their dependence on physical variables. *Acta Physiol Scand*. 1954;32:200-18.
- 239 Litchy W. Quantitative electromyography and single fiber electromyography. In: Daube JR. *Clinical neurophysiology*. Philadelphia: F.A. Davis Co.; 1996. p.282-300.
- 240 Stalberg E, Nandedkar SD, Sanders DB, Falck B. Quantitative motor unit potential analysis. *J Clin Neurophysiol*. 1996;13:401-22.

- 241 Duckert LG, Hohmann D, DeMeester C. Electrical evaluation of the facial nerve in acoustic neuroma patients: preliminary comparison between transcranial magnetic coil stimulation and electroneurography. *Am J Otol*. 1992;13:113-6.
- 242 Kotterba S, Tegenthoff M, Malin JP. Perioperative lesions of the facial nerve: follow-up investigations using transcranial magnetic stimulation. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1997;254:140-4.
- 243 Maccabee PJ, Amassian VE, Cracco RQ, Cracco JB, Anziska BJ. Intracranial stimulation of facial nerve in humans with the magnetic coil. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1988;70:350-4.
- 244 Ohira T, Shiobara R, Kanzaki J, Toya S. Identification of the exact stimulated site in transcranial magnetic stimulation of the facial nerve. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1994;S243-S246.
- 245 Tokimura H, Yamagami M, Tokimura Y, Asakura T, Atsuchi M. Transcranial magnetic stimulation excites the root exit zone of the facial nerve. *Neurosurgery*. 1993;32:414-6.
- 246 Triggs WJ, Ghacibeh G, Springer U, Bowers D. Lateralized asymmetry of facial motor evoked potentials. *Neurology*. 2005;65:541-4.
- 247 Wolf SR, Goertzen W, Schneider W. Transcranial magnetic stimulation of the facial nerve in patients with acoustic neuroma. *HNO*. 1991;39:482-5.
- 248 Wolf SR, Strauss C, Schneider W. On the site of transcranial magnetic stimulation of the facial nerve: electrophysiological observations in two patients after transection of the facial nerve during neuroma removal. *Neurosurgery*. 1995;36:346-9.

- 249 Begum T, Ikeda A, Matsushashi M, Mikuni N, Miyamoto S, Hashimoto N, Nagamine T, Fukuyama H, Shibasaki H. Ipsilateral facial sensory and motor responses to basal fronto-temporal cortical stimulation: evidence suggesting direct activation of cranial nerves. *Epilepsy Res.* 2006;71:216-22.
- 250 Szelenyi A, Kothbauer KF, Deletis V. Transcranial electric stimulation for intraoperative motor evoked potential monitoring: Stimulation parameters and electrode montages. *Clin Neurophysiol.* 2007;118:1586-95.
- 251 Deletis V, Isgum V, Amassian VE. Neurophysiological mechanisms underlying motor evoked potentials in anesthetized humans. Part 1. Recovery time of corticospinal tract direct waves elicited by pairs of transcranial electrical stimuli. *Clin Neurophysiol.* 2001;112:438-44.
- 252 Haghighi SS. Monitoring of motor evoked potentials with high intensity repetitive transcranial electrical stimulation during spinal surgery. *J Clin Monit Comput.* 2002;17:301-8.
- 253 Wiedemayer H, Schaefer H, Armbruster W, Miller M, Stolke D. Observations on intraoperative somatosensory evoked potential (SEP) monitoring in the semi-sitting position. *Clin Neurophysiol.* 2002;113:1993-7.
- 254 Kombos T, Suess O, Pietila T, Brock M. Subdural air limits the elicitation of compound muscle action potentials by high-frequency transcranial electrical stimulation. *Br J Neurosurg.* 2000;14:240-3.
- 255 McPherson RW, Toung TJ, Johnson RM, Rosenbaum AE, Wang H. Intracranial subdural gas: a cause of false-positive change of intraoperative somatosensory evoked potential. *Anesthesiology.* 1985;62:816-9.

- 256 Paisansathan C, Koenig HM, Wheeler PJ, Baughman VL, Hoffman WE. Loss of SSEP during sitting craniotomy. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2003;15:327-9.
- 257 Schubert A, Zornow MH, Drummond JC, Luerssen TG. Loss of cortical evoked responses due to intracranial gas during posterior fossa craniectomy in the seated position. *Anesth Analg.* 1986;65:203-6.
- 258 Sloan T. The incidence, volume, absorption, and timing of supratentorial pneumocephalus during posterior fossa neurosurgery conducted in the sitting position. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2010;22:59-66.
- 259 Watanabe E, Schramm J, Schneider W. Effect of a subdural air collection on the sensory evoked potential during surgery in the sitting position. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1989;74:194-201.
- 260 Wiedemayer H, Sandalcioglu IE, Regel J, Armbruster W, Schaefer H, Stolke D. Enhanced stability of somatosensory evoked potentials attained in the median nerve by using temporal electrodes for intraoperative recording in patients in the semisitting position. *J Neurosurg.* 2003;99:986-90.
- 261 Acioly M, Ebner F, Hauser T, Liebsch M, Carvalho CH, Gharabaghi A, Tatagiba M. The impact of subdural air collection on intraoperative motor and somatosensory evoked potentials: fact or myth? In: 61^o Congresso Alemão de Neurocirurgia (61). Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC) im Rahmen der Neurowoche; 2010 September 21-25; Mannheim, Germany. *Abstracts*, NR1742.
- 262 Acioly M, Ebner F, Hauser T, Liebsch M, Carvalho CH, Gharabaghi A, Tatagiba M. The impact of subdural air collection on intraoperative motor and somatosensory evoked potentials: fact or myth? *Acta Neurochir Wien.* 2011;153:1077-85.

- 263 Morota N, Deletis V, Constantini S, Kofler M, Cohen H, Epstein FJ. The role of motor evoked potentials during surgery for intramedullary spinal cord tumors. *Neurosurgery*. 1997;41:1327-36.
- 264 MacDonald DB. Intraoperative facial motor evoked potentials? [letter] *J Neurosurg*. 2007;106:517-8.
- 265 American Academy of Electrodiagnostic Medicine (AAEM). AAEM glossary of terms in electrodiagnostic medicine. Section I: Alphabetic list of terms with definitions. *Muscle Nerve*. 2001;24(S10):S5-S28.
- 266 Acioly MA, Roser F, Aguiar PHP, Tatagiba M. Is there a role for facial motor evoked potentials in the microsurgical treatment of hemifacial spasm? [letter] *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2010:e16701.
- 267 Buchthal F, Pinelli P. Muscle action potentials in polymyositis. *Neurology*. 1953;3:424-36.
- 268 Buchthal F, Pinelli P. Action potentials in muscular atrophy of neurogenic origin. *Neurology*. 1953;3:591-603.
- 269 Buchthal F, Pinelli P, Rosenfalck P. Action potential parameters in normal human muscle and their physiological determinants. *Acta Physiol Scand*. 1954;32:219-29.
- 270 Phongsamart G, Wertsch JJ. Quantitative electromyography. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2003;14:231-41.
- 271 Jones RO, Mellert TK. Use of dilute epinephrine as an aid in facial nerve monitoring. *Am J Otol*. 1991;12:446-9.
- 272 Kothbauer KF, Deletis V, Epstein FJ. Motor-evoked potential monitoring for intramedullary spinal cord tumor surgery: correlation of clinical and

- neurophysiological data in a series of 100 consecutive procedures. *Neurosurg Focus*. 1998;4:e1.
- 273 Stalberg E, Falck B. The role of electromyography in neurology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1997;103:579-98.
- 274 Sala F, Bricolo A, Faccioli F, Lanteri P, Gerosa M. Surgery for intramedullary spinal cord tumors: the role of intraoperative neurophysiological monitoring. *Eur Spine J*. 2007;16(Suppl 2):S130-S139.
- 275 Daube JR. Quantitative parameters of intraoperative electromyography predict facial nerve outcomes for vestibular schwannoma surgery. [comment] *Neurosurgery*. 2000;46:1147.
- 276 Quinones-Hinojosa A, Lyon R, Zada G, Lamborn KR, Gupta N, Parsa AT, McDermott MW, Weinstein PR. Changes in transcranial motor evoked potentials during intramedullary spinal cord tumor resection correlate with postoperative motor function. *Neurosurgery*. 2005;56:982-93.
- 277 Scheller C, Richter HP, Engelhardt M, Koenig R, Antoniadis G. The influence of prophylactic vasoactive treatment on cochlear and facial nerve functions after vestibular schwannoma surgery: a prospective and open-label randomized pilot study. *Neurosurgery*. 2007;61:92-7.
- 278 Strauss C, Romstock J, Fahlbusch R, Rampp S, Scheller C. Preservation of facial nerve function after postoperative vasoactive treatment in vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery*. 2006;59:577-84.
- 279 Lin VY, Houlden D, Bethune A, Nolan M, Pirouzmand F, Rowed D, Nedzelski JM, Chen JM. A novel method in predicting immediate

- postoperative facial nerve function post acoustic neuroma excision. *Otol Neurotol*. 2006;27:1017-22.
- 280 Shamji MF, Schramm DR, Benoit BG. Clinical predictors of facial nerve outcome after translabyrinthine resection of acoustic neuromas. *Clin Invest Med*. 2007;30:E233-E239.
- 281 Bernat I, Grayeli AB, Esquia G, Zhang Z, Kalamarides M, Sterkers O. Intraoperative electromyography and surgical observations as predictive factors of facial nerve outcome in vestibular schwannoma surgery. *Otol Neurotol*. 2010;31:306-12.