



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB
FACULDADE DE CEILÂNDIA-FCE
CURSO DE FONOAUDIOLOGIA

THIAGO GLORIA DE ALMEIDA

NEUROFISIOLOGIA MUSCULAR: uma perspectiva
fonoaudiológica

BRASÍLIA
2023

THIAGO GLORIA DE ALMEIDA

NEUROFISIOLOGIA MUSCULAR: uma perspectiva
fonoaudiológica

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Brasília –
UnB – Faculdade de Ceilândia, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Fonoaudiologia.

Orientador (a): Dra. Laura Davison Mangilli
Toni

Coorientador (a): Ma. Camila de Alencar
Frois

BRASÍLIA

2023

THIAGO GLORIA DE ALMEIDA

NEUROFISIOLOGIA MUSCULAR: uma perspectiva
fonoaudiológica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Brasília – UnB –
Faculdade de Ceilândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em
Fonoaudiologia.

Brasília, ___/___/_____

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a. Laura Davison Mangilli
Faculdade de Ceilândia - Universidade de Brasília-UnB
Orientadora

Prof.^a Dr.^a. Cristina Lemos Barbosa Furia
Faculdade de Ceilândia - Universidade de Brasília-UnB

Dedico este trabalho a Deus; que me proporcionou todo o discernimento e habilidade para concluir mais uma etapa com êxito. À minha família, amigos e professores pelo apoio e incentivo durante todo o processo que antecedeu e sucedeu a escrita deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me proporcionar discernimento, habilidade e paciência para dar prosseguimento aos meus sonhos e superar obstáculos cotidianamente para conquistar meus objetivos.

Agradeço também aos meus pais, Carlos Alberto de Almeida e Deusilene da Silva Gloria Almeida que sempre estiveram juntos em todas as etapas da minha vida acadêmica e jamais me deixaram cair. Nunca esquecerei do professor Carlos Alberto de Almeida, meu pai, que se prontificou, mesmo que trabalhando e estudando, a passar noites montando aulas e provas para que seus filhos recebessem a melhor educação possível. Com certeza, uma grande inspiração como pai, profissional e professor. Quanto a minha mãe Deusilene, sem palavras para descrever o quão incrível ela foi para a minha formação como homem, profissional e ser humano. Esteve sempre presente para me auxiliar, mesmo que em detalhes mínimos. Jamais poupou tempo e energia para acompanhar minha vida acadêmica, mesmo em momentos em que deveria estar descansando e cuidando da própria saúde. Enfim, um agradecimento especial para os meus pais!

Gostaria também de agradecer aos meus amigos mais próximos Karen de Souza David, Luisa Beatriz Ferreira Bueno, Mateus Gomes Barros, Conceição, Juliana, Antônio. Vocês foram essenciais na minha acadêmica, sempre estiveram disponíveis para me erguer nesta jornada cansativa e extenuante que é a graduação.

Meu agradecimento à professora Dr^a Laura Davison Mangilli por ter proposto esta temática e ter me apoiado constantemente na escrita deste trabalho. Agradeço pela confiança, e parceria em aceitar o convite para ser minha orientadora.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que estiveram presentes durante a minha jornada acadêmica, pelas conversas avulsas, mas que me fizeram ter ideias fenomenais para terminar a escrita deste trabalho. Sócrates uma vez disse que para conseguir a amizade de uma pessoa digna é preciso desenvolvermos em nós mesmos as qualidades que naquela admiramos. E graças a Deus, estive cercado por amizades, professores e familiares que me proporcionaram grandes conhecimentos e qualidades excepcionais.

“Não importa o que você seja, quem você seja, ou que deseja na vida, a ousadia em ser diferente reflete na sua personalidade, no seu caráter, naquilo que você é. E é assim que as pessoas lembrarão de você um dia.” (Ayrton Senna)

SOBRE OS AUTORES



Thiago Gloria de Almeida

Graduando em Fonoaudiologia pela Universidade de Brasília (UnB)



Camila de Alencar Frois

Fonoaudióloga pela Universidade Ceuma (UNICEUMA)

Fonoaudióloga do Instituto de Gestão Estratégica em Saúde do Distrito Federal (IGESDF)

Atua na área de Disfagia, Disfagia Infantil, Motricidade Orofacial, Alimentação Infantil e Gestão de Equipe.

Especialização em Disfagia pela A.C.Camargo Cancer Center (HACC)

Especialização em Gestão em Saúde e Administração Hospitalar pelo Instituto Facuminas (FACUMINAS)

Especialização em Saúde Coletiva pelo Instituto Facuminas (FACUMINAS)

Mestre em Ciências da Reabilitação pela Universidade de Brasília (UnB)

Doutoranda em Distúrbios da Comunicação Humana pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)



Laura Davison Mangilli Toni

Fonoaudióloga pela Universidade de São Paulo (USP)

Atua na área de Motricidade Orofacial, Disfagia e Processamento Motor da Fala

Professora Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade de Brasília (UnB)

Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Faculdade de Ceilândia (FCE/UnB)

Especialização em Motricidade Orofacial em Oncologia pelo Centro de Tratamento e Pesquisa do Câncer A.C.Camargo

Mestre em Ciências da Reabilitação pela Universidade de São Paulo (USP)

Doutora em Ciências da Reabilitação pela Universidade de São Paulo (USP)

PREFÁCIO

APRESENTAÇÃO

O Conselho Federal de Fonoaudiologia (CFFa) prevê em suas resoluções que o fonoaudiólogo deve ser um profissional habilitado e apto a atuar com as mais diversas tecnologias complementares que podem auxiliar as intervenções terapêuticas. Nesse sentido, entende-se que durante a graduação em Fonoaudiologia, os graduandos devem possuir em suas matrizes curriculares conteúdos teórico-práticos que os proporcionem experienciar a utilização dos diferentes recursos terapêuticos adjuvantes à terapia convencional. Assim sendo, este livro traz consigo a relevância dos conteúdos das ciências biológicas para o entendimento dos efeitos de um destes recursos terapêuticos complementares à terapêutica fonoaudiológica - a eletroterapia. Nessa perspectiva, os autores tentaram reunir neste estudo conceitos basilares e essenciais para o entendimento da estimulação elétrica neuromuscular, com intuito de fomentar a base científica fonoaudiológica no que concerne a utilização da eletroterapia como tecnologia complementar, visando expandir e aprimorar o conhecimento dos fonoaudiólogos e graduandos em Fonoaudiologia acerca da técnica.

À vista disso foi realizado um estudo bibliográfico, de caráter exploratório-descritivo, que visará o desenvolvimento de um material capaz de fomentar a base científica fonoaudiológica no que tange o uso da eletroterapia como recurso terapêutico adjuvante à terapia convencional. Ademais, é esperado que estudantes de graduação e fonoaudiólogos possam se embasar teoricamente em relação ao uso da eletroterapia como recurso terapêutico adjuvante à terapia convencional. Em tempo, é esperado que este trabalho possa dar início a uma cadeia de estudos acerca da estimulação elétrica neuromuscular. Consequentemente, visa-se ampliar e implantar a ideia de que o estudo de tecnologias complementares deve ser iniciado ainda durante a graduação em Fonoaudiologia, tendo em vista a importância deste conhecimento para o desenvolvimento da profissão e do profissional.

A obra é composta por seis capítulos que foram desenvolvidos como avaliação final de trabalho de conclusão de curso. Os capítulos foram pensados a partir de uma problemática que é apresentada no Capítulo 1. Os capítulos subsequentes foram realizados imaginando os principais conceitos que abrangem o uso da eletroterapia

como recurso terapêutico, dessa forma, o Capítulo 2 retoma definições acerca da atuação fonoaudiológica, seguidos do capítulo 3 e 4 que resgatam noções sobre a anátomo-fisiologia do tecido muscular esquelético. Por fim, os capítulos 5 e 6 incluem ideias e estudos que embasam a utilização da eletroterapia como recurso adjuvante a terapia tradicional fonoaudiológica. Os seis capítulos desta obra foram elaborados em contribuição com docentes, profissionais e um graduando em Fonoaudiologia cujas formações expressam representatividade nacional e internacional que qualificam a elaboração deste trabalho.

Destaca-se também o processo cuidadoso na seleção dos artigos e livros para a composição desta obra, na qual houve o empenho dos autores em escolher literaturas mais atuais, para que o leitor possa ter a percepção da anátomo-fisiologia e aplicação deste recurso terapêutico e sua relação com as terapias já aplicadas na prática clínica. Diante disso, convidamos o leitor a aproveitar o conteúdo elaborado e utilizá-lo como meio de estudo e aprimoramento no tocante a utilização da estimulação elétrica como tecnologia adicional ao processo de tratamento e reabilitação fonoaudiológicos.

Thiago Gloria de Almeida
Camila de Alencar Frois
Laura Davison Mangilli Toni
Organizadores

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 – PROBLEMÁTICA	12
CAPÍTULO 02 – DEFINIÇÃO	15
CAPÍTULO 03 – MÚSCULO	19
CAPÍTULO 04 – CONTRAÇÃO E RELAXAMENTO MUSCULAR	27
CAPÍTULO 05 – ELETROTERAPIA.....	44
CAPÍTULO 06 – APLICAÇÃO DA ELETROTERAPIA NA PRÁTICA FONOAUDIOLÓGICA - ACHADOS DA LITERATURA	57

CAPÍTULO 01 – PROBLEMÁTICA

*Thiago Gloria de Almeida
Camila de Alencar Frois
Laura Davison Mangilli Toni*

Segundo a Resolução nº 610, de 13 de dezembro de 2018, que dispõe sobre as recomendações de proposta do Conselho Nacional de Saúde (CNS) para as diretrizes do curso de graduação em Fonoaudiologia, o estudante egresso deve ser um profissional habilitado a avaliar, diagnosticar e tratar os distúrbios pertinentes ao campo fonoaudiológico em toda extensão e complexidade. Ademais, necessitam estar aptos a obter informações, indicar exames, interpretá-los, fazer avaliações, formular diagnósticos diferenciais e manejar terapêuticas fonoaudiológicas, junto à equipe, de maneira a promover o cuidado centrado nas necessidades do usuário, em todos os ciclos da vida.

Dessarte, as diretrizes curriculares do curso de graduação em Fonoaudiologia visam a formação de um profissional generalista, humanista, crítico e reflexivo. Posto isso, a Resolução CNE/CES 5, de 19 de fevereiro de 2002, delibera que as grades curriculares da graduação devem contemplar todo o processo de saúde-doença do cidadão, da família e da comunidade, integrado à realidade epidemiológica e profissional, proporcionando a integralidade das ações do cuidar em Fonoaudiologia. Em razão disso, a matriz curricular abrange conteúdo das ciências biológicas e da saúde, incluindo a teoria e a prática relacionada às bases moleculares e celulares dos processos típicos e alterados quanto à estrutura e a função dos tecidos, órgãos, sistemas e aparelhos (CNE/CES, 2002).

O currículo base exige ainda o estudo das disciplinas das ciências fonoaudiológicas, bem como das ciências sociais. Assim sendo, é previsto que o estudante egresso do curso de graduação em Fonoaudiologia tenha o conhecimento dos determinantes sociais, culturais, econômicos, comportamentais, psicológicos, ecológicos, éticos e legais, linguísticos e educacionais (CNE/CES, 2002). Finalmente, no tocante às ciências fonoaudiológicas, estão os conteúdos concernentes às

especificidades da Fonoaudiologia relativas à audição, linguagem oral e escrita, voz, fala, fluência e sistema miofuncional orofacial e cervical (CNE/CES, 2002).

Não obstante a formação do fonoaudiólogo seja considerada generalista, é válido salientar que algumas temáticas são lecionadas parcialmente, isto é, as disciplinas dão enfoque nos conceitos centrais de cada conteúdo, não abrangendo detalhes necessários à formação do graduando. Nesse sentido, em conformidade com Silva, Sampaio e Bianchini (2010), faz-se necessário o estabelecimento de análises reflexivas acerca das estruturas curriculares do curso de Fonoaudiologia, a fim de se privilegiar uma identificação entre o conhecimento científico e a atividade que o profissional desenvolverá em sua atuação. À vista disso,

a formação do fonoaudiólogo tem requerido um arsenal de competências cada vez mais complexo, que, por um lado deve contemplar as adversidades típicas de uma população carente ainda de atendimento apropriado para suas demandas e, por outro lado, a sua crescente atualização frente aos avanços tecnológicos no cuidado com a saúde. O papel dos cursos de graduação deve ser cada vez mais estratégico. Contudo, a concepção e o desenvolvimento de tais cursos podem não estar privilegiando, em sua totalidade, os aspectos relevantes para um bom desempenho profissional (SILVA; SAMPAIO; BIANCHINI, 2010).

Nessa perspectiva, é imprescindível destacar a relevância e a distribuição de algumas temáticas no currículo de formação do curso de graduação em Fonoaudiologia. Em vista disso, este trabalho tem por objetivo delinear as bases teóricas que fundamentam um dos recursos terapêuticos utilizado recentemente nas ações fonoaudiológicas - a eletroterapia.

Santos *et al.* (2015) destaca que a estimulação elétrica como recurso terapêutico pode beneficiar as atuações fonoaudiológicas, ou seja, é possível alcançar resultados satisfatórios com esta técnica aliada à terapia convencional. Desse modo, estudos demonstram resultados favoráveis do uso da eletroestimulação na melhora da qualidade vocal e da deglutição de pacientes na clínica fonoaudiológica (SANTOS *et al.*, 2015).

No entanto, observa-se uma escassez de estudos que apontem por quais motivos esta técnica terapêutica apresenta resultados tão satisfatórios. Isto é, observa-se que a literatura científica possui uma breve fundamentação em relação aos resultados obtidos por meio da eletroterapia, ou seja, a base teórica aponta repercussões favoráveis quando o recurso é utilizado em pacientes com alterações

da deglutição (disfagia orofaríngea), indivíduos com tensão e/ou dores musculares, dentre outros benefícios. Contudo, a literatura não embasa a neurofisiologia por trás da aplicação da eletroterapia, isto significa que se necessita de estudos que justifique e determine os acontecimentos a nível celular. À vista disso, é essencial ao profissional o entendimento de alguns parâmetros, como: o tipo de músculo na qual está sendo aplicado a corrente elétrica; as repercussões fisiológicas desta aplicação nas diversas fibras musculares; o impacto na fisiologia que envolve a contração e o relaxamento muscular, bem como, a fundamentação no que diz respeito a eletrofisiologia e os tipos de corrente de aplicação.

Em razão disso, é indispensável ao profissional que se utiliza da eletroterapia como recurso terapêutico, o conhecimento neurofisiológico da técnica, discernindo em quais situações a aplicação se faz necessária e o quão benéfico será sua utilização em determinado paciente. Em virtude disso, este trabalho contempla conceitos essenciais para o entendimento da técnica entre os graduandos em Fonoaudiologia, assim como aos profissionais que empregam este recurso terapêutico em sua prática clínica.

Portanto, o objetivo deste livro é fomentar a base científica fonoaudiológica no que concerne a utilização da eletroterapia como tecnologia complementar, visando expandir e aprimorar o conhecimento dos fonoaudiólogos e graduandos em Fonoaudiologia acerca da técnica, dando enfoque às utilizações nas áreas de Motricidade Orofacial e Disfagia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CNE. Resolução CNE/CES 5/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 4 de março de 2002.
2. CNS. Resolução nº 610, de 13 de dezembro de 2018. Brasília, DF, Disponível em: https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2018/Reso610_Publicada.pdfhttps://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2018/Reso610_Publicada.pdf. Acesso em: 14 ago. 2022.
3. SANTOS, J.K. O. et al. Uso da eletroestimulação na clínica fonoaudiológica: uma revisão integrativa da literatura. **Revista Cefac**, [S.l.], v. 17, n. 5, p. 1620-1632, out. 2015.
4. SILVA, D. G. M. ; SAMPAIO, T .M.; BIANCHINI, E. M. G.. Percepções do fonoaudiólogo recém-formado quanto a sua formação, intenção profissional e atualização de conhecimentos. **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 47-53, 2010.

CAPÍTULO 02 – DEFINIÇÃO

*Thiago Gloria de Almeida
Camila de Alencar Frois
Laura Davison Mangilli Toni*

Antes de nos aprofundarmos nas relações anatomofisiológicas da eletroterapia e o sistema muscular, é importante estabelecer e fixar alguns conceitos elementares para o entendimento da aplicação desta tecnologia como recurso terapêutico. Dessa forma, a estimulação elétrica terapêutica, ou eletroterapia, é a utilização de corrente elétrica, modificada por um equipamento, com objetivo terapêutico (VERA, 2021). Segundo Vera (2021), os principais usos da estimulação elétrica terapêutica são: analgesia, estimulação muscular tanto de músculos com sistema neuromuscular íntegro quanto músculos desnervados, órteses funcionais e reparação tecidual, especialmente, cicatrização de feridas. Na Fonoaudiologia, este recurso terapêutico tem sido utilizado em pacientes encaminhados à intervenção em Motricidade Orofacial e/ou Disfagia, que são indivíduos predispostos a apresentarem alterações na musculatura orofacial e cervical.

A American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) define disfagia como uma desordem na deglutição que envolve a cavidade oral, a faringe, o esôfago ou a junção gastroesofágica. Destarte, as consequências clínicas da disfagia incluem desnutrição e desidratação, pneumonia aspirativa, comprometimento geral da saúde, doença pulmonar crônica, sufocamento/asfixia, bem como complicações clínicas que podem resultar em óbito (ASHA, 2022). Quanto às causas da disfagia, Padovani *et al.* (2007) salienta que pode ocorrer decorrente de causas neurológicas e/ou estruturais, como: traumas de cabeça e pescoço, acidente vascular encefálico (AVE), doenças neuromusculares degenerativas, câncer de cabeça e pescoço, demências e encefalopatias.

Diante do exposto, é válido salientar brevemente sobre a atuação destes campos da Fonoaudiologia. A área da Motricidade Orofacial (MO), conforme a resolução do Conselho Federal de Fonoaudiologia - CFFa nº 320, de 17 de fevereiro

de 2006 é o campo voltado para o estudo, pesquisa, prevenção, avaliação, diagnóstico, desenvolvimento, habilitação, aperfeiçoamento e reabilitação dos aspectos estruturais e funcionais das regiões orofacial e cervical. Por este motivo, o domínio do especialista em MO inclui aprofundamento em conhecimentos específicos e atuação em situações que envolvam:

modificações estruturais e/ou miofuncionais, associados aos problemas de fala, sucção, respiração, mastigação e deglutição, bem como, alterações musculares decorrentes de alterações neurológicas - congênitas, de desenvolvimento e/ou adquiridas - ósseas, musculares, articulares, posturais, que comprometam e/ou que se associem às funções orofaciais, temporomandibulares e cervicais. Além disso, atua com problemas relacionados às disfunções mecânicas e neurológicas da deglutição e suas consequências (CFFa, 2006).

Outro campo da Fonoaudiologia que possui conduta vinculada às modificações estruturais e/ou miofuncionais é a atuação em Disfagia. Em conformidade com a Resolução CFFa nº 492, de 7 de abril de 2016, é competência do fonoaudiólogo em disfagia: avaliar a biomecânica da deglutição; realizar habilitação da deglutição e reabilitação da disfagia orofaríngea, determinar o volume da dieta por via oral para treino da deglutição, dentre outras competências. A partir das atribuições citadas anteriormente, observa-se que a prática clínica do profissional especializado em Motricidade e Disfagia é determinada pela compreensão das estruturas musculares que compõem o sistema estomatognático.

Além disso, os fonoaudiólogos atuantes nestes campos devem estar inteirados acerca das tecnologias adjuvantes à terapia convencional, a fim de estabelecer uma terapêutica diferenciada e direcionada às necessidades de cada paciente. Nesse sentido, o Conselho Federal de Fonoaudiologia por meio da Resolução CFFa nº 492 dispõe como competência do seu profissional,

a utilização de tecnologias e recursos terapêuticos no tratamento das desordens da deglutição/disfagia orofaríngea, tais como: indicação e adaptação de válvulas unidirecionais da deglutição e fala com e sem ventilação mecânica, realização e interpretação de eletromiografia de superfície, realização de estimulação elétrica transcutânea, aplicação de bandagem elástica, entre outros recursos coadjuvantes (CFFa, 2016).

Nessa perspectiva da utilização de recursos coadjuvantes à terapia convencional, destaca-se a Resolução CFFa nº 543. Em 15 de março de 2019, o Conselho Federal de Fonoaudiologia aprovou a Resolução nº 543 que dispõe sobre o uso da eletroterapia para fins fonoaudiológicos. Dessa forma, conforme o art. 2º, o

fonoaudiólogo no exercício de suas atividades profissionais poderá aplicar a eletroterapia por correntes contínuas ou pulsadas e micro correntes, como recurso terapêutico associado aos procedimentos fonoaudiológicos convencionais. Além disso,

o recurso terapêutico da eletroterapia, só poderá ser utilizado para fins fonoaudiológicos, sendo o profissional responsável por selecionar o tipo e a programação da corrente ou micro corrente para cada cliente, assim como a intensidade mais adequada ao tratamento (CFFa, 2019).

Ante o exposto, este estudo reunirá os conceitos fisiológicos e as principais utilizações da eletroterapia, uma das tecnologias complementares e adjuvantes à terapia convencional. Nessa perspectiva, Santos et al. (2015) salienta duas modalidades de estimulação elétrica: a estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS), empregue como recurso não invasivo no combate a dor, na promoção do relaxamento muscular, na melhora da vascularização do local de aplicação e nos efeitos significantes sobre o quadro de fadiga, por fim, na redução da hiperatividade muscular. Contudo, Santos et al. (2015) evidencia outra modalidade aplicada no processo de reabilitação: a eletroestimulação neuromuscular (EENM), que pode ser utilizada com intuito de aumentar efetivamente a força muscular, reduzir a debilidade no desempenho neuromuscular minimizando a incapacidade associada à espasticidade, nos casos de paralisias musculares, como na paralisia facial, entre outros.

Dessa forma, constata-se que a literatura científica define a aplicação clínica da eletroestimulação, no entanto, pouco se aborda a fisiologia que ampara a utilização desta tecnologia. Nesse sentido, é imprescindível ao profissional correlacionar a sua prática com a teoria, a fim de se precaver de possíveis complicações e visando responder às dúvidas dos pacientes acerca do que está sendo aplicado em sua terapia. Assim sendo, a primeira coisa a se definir é em qual tipo de músculo esta tecnologia é aplicada quando enfatiza-se a atuação fonoaudiológica. Em geral, a atuação dos profissionais da fonoaudiologia focaliza na habilitação e reabilitação do músculo estriado esquelético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASHA - American Speech-Language-Hearing Association. Adult Dysphagia. Disponível em: <https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/adult-dysphagia/>. Acesso em: 31 dez. 2022.

2. CFFa. Conselho Federal de Fonoaudiologia. Dispõe sobre a regulamentação da atuação do profissional fonoaudiólogo em disfagia e dá outras providências. Resolução Nº 492. Brasília, 07 abr. 2016.
3. CFFa. Conselho Federal de Fonoaudiologia. Dispõe sobre as especialidades reconhecidas pelo Conselho Federal de Fonoaudiologia, e dá outras providências. Resolução Nº 320. Brasília, 17 fev. 2006.
4. CFFa. Conselho Federal de Fonoaudiologia. Dispões sobre o uso da eletroterapia para fins fonoaudiológicos. Resolução Nº 543. Brasília, 15 mar. 2019.
5. PADOVANI, A. R. et al. Protocolo fonoaudiológico de avaliação do risco para disfagia (PARD). **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 199-205, set. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-80342007000300007>.
6. SANTOS, J. K. O. et al. Uso da eletroestimulação na clínica fonoaudiológica: uma revisão integrativa da literatura. **Revista Cefac**, [S.l.], v. 17, n. 5, p. 1620-1632, out. 2015.
7. VERA, M. A. A. Princípios elétricos básicos para a prática de eletroterapia. In: LIEBANO, R. E. **Eletroterapia aplicada à reabilitação: dos fundamentos às evidências**. Rio de Janeiro: Thieme Revinter Publicações, 2021. p. 07-18.

CAPÍTULO 03 – MÚSCULO

*Thiago Gloria de Almeida
Camila de Alencar Frois
Laura Davison Mangilli Toni*

A atuação do fonoaudiólogo, em especial aqueles que atuam nas especialidades de motricidade orofacial, disfagia e voz, está condicionada a manipulação do tecido muscular, mormente o músculo estriado esquelético. Assente disso, é imperativo ao profissional da Fonoaudiologia deter o conhecimento anatômico-fisiológico das estruturas musculares as quais competem a avaliação e a reabilitação. Em conformidade com Fuller, Pimentel e Peregoy (2014), o músculo esquelético é o tipo predominante de músculo envolvido na produção da fala, estando ligado ao osso ou à cartilagem e, ocasionalmente, se insere dentro de outro músculo (os músculos da língua) ou na epiderme (pálpebras e lábios).

Além do mais, Torres e César (2019) destacam que as intervenções em Motricidade Orofacial, com finalidade de restabelecer as funções orais, apropria-se de duas linhas de raciocínio que visa as modificações musculares (a mioterapia e a terapia miofuncional). Conforme as autoras, a efetividade dessas terapias está correlacionada com as características do tecido muscular esquelético, uma vez que possui contração voluntária e fixa-se no sistema esquelético (TORRES; CÉSAR, 2019). Dessarte, espera-se que neste capítulo sejam abordadas algumas concepções acerca do tecido muscular, em especial o tecido muscular esquelético, esmiuçando suas funções, suas propriedades, bem como as suas características anátomo-fisiológicas.

Michael e Sircar (2012) definem os músculos como tecidos contráteis cujas células são tradicionalmente denominadas fibras. Além disso, Ward e Linden (2017) ressaltam que os músculos se dividem em 3 principais tipos: esquelético (músculo ligado ao esqueleto); cardíaco (músculo do coração que forma a maior parte da parede cardíaca) e liso (músculos envolvidos em diversos processos involuntários dos vasos

sanguíneos, vias respiratórias e a maiorias dos órgãos localizados na cavidade abdominopélvica).

Os músculos esqueléticos, foco deste capítulo, possuem funções e propriedades fundamentais para a homeostasia do organismo humano. De acordo com Tortora e Derrickson (2019), o tecido muscular apresenta quatro funções-chave: efetuação de movimentos corporais, estabilização das posições do corpo, armazenamento e movimentação de substâncias dentro do organismo e geração de calor. Segundo os autores supracitados, movimentos cotidianos e genéricos como andar, correr, movimentos localizados como segurar objetos ou acenar com a cabeça são resultantes de contrações musculares e dependem do funcionamento integrado entre os músculos esqueléticos, ossos e articulações.

A estabilização das posições do corpo, segundo Tortora e Derrickson (2019) também estão diretamente relacionadas com a atividade de contração do tecido muscular esquelético, a partir das contrações dos músculos esqueléticos há a estabilização das articulações que permite ao ser humano manter-se de pé ou sentado. Os músculos posturais se contraem de maneira contínua quando estamos acordados, por exemplo, as contrações do músculo do pescoço permitem a manutenção da cabeça ereta (TORTORA; DERRICKSON, 2019).

Outra particularidade deste tipo de tecido muscular é sua contribuição na geração de calor, Peate e Nair (2016) elucidam que a geração de calor é indispensável para manter a temperatura corporal normal, e os músculos esqueléticos que representam cerca de 40% da massa do corpo, são o tipo de músculo responsável pela geração de calor do corpo. Durante a contração muscular, as moléculas de adenosina trifosfato (ATP) são usadas para liberar a energia necessária, sendo utilizado quase três quartos da energia da ATP para geração de calor.

Paralelamente às funções do tecido muscular, é substancial o entendimento de quatro propriedades do tecido muscular que conforme Tortora e Derrickson (2019) o permitem manter seu funcionamento e contribuir para a homeostasia, sendo elas: a excitabilidade elétrica (capacidade de responder a estímulos por meio da produção de sinais elétricos chamados potenciais de ação); a contratilidade (capacidade que o tecido muscular possui de se contrair vigorosamente quando estimulado por um

potencial de ação); a extensibilidade (capacidade que permite ao músculo se estender sem sofrer lesão) e a elasticidade (capacidade do músculo de retornar ao comprimento e forma originais depois de uma contração ou alongamento).

Como referido previamente, cerca de 40% da massa corporal total são compostos por músculo esquelético e, talvez, outros 10% por músculo liso e cardíaco (HALL; HALL, 2021). A musculatura esquelética, conforme Fox (2007), é constituída de fibras musculares individuais que realizam contração quando excitadas por um neurônio motor. Cada neurônio motor se ramifica para inervar um número de fibras musculares, e todas essas fibras se contraem quando o seu neurônio motor é ativado (FOX, 2007). Entretanto, para a compreensão da funcionalidade do tecido muscular esquelético é essencial abordar a fixação desta musculatura aos ossos e a outros tecidos do organismo, pois o equilíbrio e a organização destas estruturas permitem a concretização dos movimentos corporais.

Isto posto, Smith e Plowman (2000) realça em seu estudo que os músculos esqueléticos são organizados de maneira sistemática, parte dessa conformação é possível ser vista a olho nu, porém outras formas organizacionais só podem ser visualizadas através de um microscópio simples ou eletrônico. Os ossos, por exemplo, estão ligados ao tecido muscular esquelético por meio dos tendões, arranjos de tecido conjuntivo que permitem a contração de um músculo mover um osso (SMITH; PLOWMAN, 2000). Outrossim, cada músculo é unido por uma camada espessa (bainha) de tecido conjuntivo, denominado de fáscia. E logo abaixo da fáscia é possível observar uma camada mais delicada de tecido conjuntivo conhecida como epimísio, uma camada mais externa que envolve todo o músculo (SMITH; PLOWMAN, 2000).

Além do epimísio, Smith e Plowman (2000) e Tortora e Derrickson (2019) ressaltam que o músculo possui em seu interior feixes de fibras musculares (os fascículos), que também estão envoltos por tecido conjuntivo. A camada de tecido conjuntivo que separa os fascículos é chamada de perimísio. Mais internamente, os fascículos são compostos de inúmeras fibras musculares individuais, sendo cada um deles recoberta por sua própria camada de tecido conjuntivo chamado de endomísio, isto é, o endomísio penetra o interior de cada fascículo e separa as fibras musculares individualmente. O endomísio consiste principalmente de fibras reticulares

(TORTORA; DERRICKSON, 2019). Dessa forma, a união dessas três camadas de tecido conjuntivo (epimísio, perimísio e endomísio) formam a estrutura que mantém o músculo unido. Elas se unem em cada extremidade do músculo para formar os tendões que sustentam o músculo ao perióstio de um osso. Quando um tecido muscular esquelético se contrai, ele puxa o tecido conjuntivo no qual está envolvido, fazendo com que o tendão movimente o osso ao qual está preso (SMITH; PLOWMAN, 2000).

Outra característica notável observada quando se examina o músculo esquelético ao microscópio consiste em uma série distinta de bandas claras e escuras alternadas e perpendiculares ao eixo longitudinal (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2015). Em sua estrutura celular é possível observar uma forma alongada e a presença de múltiplos núcleos, sendo que cada fibra muscular é formada durante o desenvolvimento pela fusão de várias células mononucleadas indiferenciadas, conhecidas como mioblastos, em uma única célula mononucleada cilíndrica (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2015). Como destacado anteriormente, a fibra muscular esquelética possui múltiplos núcleos, que estão localizados abaixo da membrana celular. Smith e Plowman (2000) apontam que a membrana plasmática polarizada de uma célula muscular é conhecida como sarcolema. O sarcolema é uma membrana fina que envolve uma fibra muscular esquelética (HALL; HALL, 2021).

Além das estruturas supramencionadas, a fibra muscular contém organelas similares às encontradas em outras células do organismo (incluindo um grande número de mitocôndrias) juntamente com algumas organelas especializadas (SMITH; PLOWMAN, 2000). Contudo, para compreensão de funções específicas do tecido muscular esquelético (mecanismo de contração e relaxamento que serão debatidos no próximo capítulo) é medular entender o papel de três organelas em específico: o retículo sarcoplasmático, os túbulos transversos e as miofibrilas.

O retículo sarcoplasmático (RS) é uma organela especializada que armazena e libera cálcio, é uma rede interconectada de túbulos paralelos e enrolados em torno das miofibrilas (SMITH; PLOWMAN, 2000). Hall e Hall (2021) e Smith e Plowman (2000) indicam em suas respectivas literaturas que o RS possui destaque na conformação e funcionalidade do músculo esquelético em consequência da sua capacidade de armazenar, liberar e absorver cálcio e, assim, controlar a contração

muscular. Cabe ressaltar que o cálcio é armazenado em uma porção do RS denominada cisternas terminais (SMITH; PLOWMAN, 2000). Os túbulos transversos são organelas responsáveis pela condução dos potenciais de ação do sarcolema para o interior da célula, ou seja, os túbulos T que são contínuos ao sarcolema projetam-se até o interior do sarcoplasma (consiste no citoplasma da fibra muscular) (SMITH; PLOWMAN, 2000; TORTORA; DERRICKSON, 2019).

É importante frisar, segundo Smith e Plowman (2000), que apesar dos túbulos T estarem muito próximos ao RS e possuírem uma interação fundamental em eventos fisiológicos, elas são organelas independentes e separadas anatomicamente. Por exemplo, a propagação de um potencial de ação através de um túbulo T gera a liberação de cálcio das cisternas terminais do retículo sarcoplasmático (SMITH; PLOWMAN, 2000). Existe ainda uma terceira estrutura que em conjunto com as organelas suprarreferidas complementam a formação e, desempenham função essencial no processo de contração da fibra muscular esquelética, esta estrutura é conhecida como miofibrilas.

As miofibrilas, de acordo com Tortora e Derrickson (2019), são organelas contráteis do músculo esquelético. Smith e Plowman (2000) apontam que existem centenas a milhares de unidades de miofibrilas em uma fibra muscular, sendo elas as responsáveis por quase 80% do volume da fibra muscular. Além disso, são compostas por dois tipos de miofilamentos (miofilamentos grossos e finos). Cada unidade repetida ao longo da miofibrila é chamada de sarcômero (SMITH; PLOWMAN, 2000).

A literatura de Silverthorn (2017) salienta que esta estrutura anatômica do músculo esquelético é diferenciada devido ao padrão regular dos sarcômeros que são compostos pelo posicionamento ordenado das proteínas actina e miosina. Os sarcômeros, em conformidade com Silverthorn (2017), podem ser compostos por alinhamentos paralelos de filamentos grossos (miosina) e filamentos finos (actina, tropomiosina e troponina). A miosina forma a banda A. A actina, junto com outras duas proteínas, tropomiosina e troponina, forma a banda I (porção do sarcômero onde a actina não se sobrepõe à miosina).

Dessa forma, ampliando a visão em relação aos sarcômeros, é substancial ressaltar que se trata de uma unidade funcional (unidade contrátil) de uma fibra

muscular (SMITH; PLOWMAN, 2000). Anteriormente, foi debatido que cada sarcômero possui dois tipos de miofilamentos: os filamentos grossos (composto pela proteína contrátil miosina) e filamentos finos (constituído principalmente pela proteína contrátil actina, uma vez que possuem em sua composição proteínas reguladoras: troponina e tropomiosina). Mukund e Subramaniam (2020), em sua revisão atribuem ao sarcômero a função de gerar força e movimento aos músculos estriados. Os sarcômeros, segundo os autores, representam uma elegante peça de maquinaria molecular em virtude de sua complexa estrutura de filamentos proteicos: filamentos grossos (miosina e proteínas associadas) e filamentos finos (actina e proteínas associadas) que correm paralelamente ao eixo das fibras musculares.

Contudo, quando analisado microscopicamente, é possível verificar que os sarcômeros possuem uma linha estreita escura que os limita em cada extremidade, chamado disco Z (MUKUND; SUBRAMANIAN, 2020). Além disso, Mukund e Subramaniam (2020) destacam que cada disco Z é responsável pela divisão de uma banda I que é compartilhada entre os sarcômeros adjacentes. No centro do sarcômero é encontrada a banda A, visualmente mais densa composta por filamentos grossos, com uma zona H mais clara. A linha M corta a zona H. Os filamentos finos são mantidos juntos, em uma matriz lateral, no disco Z, enquanto a banda M é responsável por interconectar os filamentos grossos (MUKUND; SUBRAMANIAN, 2020).

Ainda sobre os filamentos grossos e finos, Smith e Plowman (2000) e Mukund e Subramaniam (2020) esmiúçam as suas composições e propriedades na estruturação do tecido muscular esquelético. Os filamentos grossos, compostos principalmente por moléculas de miosina, estão diretamente ligados à contração do músculo. Cada molécula de miosina possui uma cauda em forma de bastonete e duas cabeças globulares (um filamento grosso possui em média 200 moléculas de miosina), sendo estas moléculas orientadas de modo que as caudas formem a estrutura central em forma de bastonete do filamento (SMITH; PLOWMAN, 2000). É preciso citar a participação da miosina como enzima já que hidrolisa ATP (cabeça), também a sua contribuição como proteína estrutural (cauda), estando também associada a outras proteínas especializadas (MUKUND; SUBRAMANIAN, 2020).

As cabeças globulares da miosina, para Smith e Plowman (2000), são as responsáveis por criarem uma série de pontes cruzadas que interagem com os

filamentos finos. As cabeças de miosina, conforme a literatura supramencionada, possui dois sítios reativos: um que permite que ela se ligue ao filamento de actina e outro que se liga à ATP. O entendimento destas ligações é basilar para a compreensão da contração muscular, visto que ela só ocorre quando as cabeças de miosina se ligam aos sítios ativos da actina (SMITH; PLOWMAN, 2000). Os filamentos finos, representados principalmente pelas moléculas de actina, além de possuírem os sítios ativos aos quais as cabeças de miosina irão se ligar durante a contração, dispõem de proteínas reguladoras: tropomiosina e troponina.

A tropomiosina e a troponina regulam a interação entre as moléculas de actina e miosina, sendo a tropomiosina responsável por bloquear os sítios ativos de actina, inibindo assim a ligação entre as duas proteínas em condições de repouso (SMITH; PLOWMAN, 2000). Já a troponina, consoante Smith e Plowman (2000) é encarregada de controlar a posição da tropomiosina. Mukund e Subramanian (2020) enfatizam a participação de três subunidades da troponina que facilitam a contração, sendo as mais importantes: a troponina I (TNN-I, subunidade inibitória que se liga à actina), a troponina C (TNN-C, subunidade de ligação do cálcio) e a troponina T (TNN-T, componente onde a tropomiosina irá se ligar). Estas subunidades recebem o devido enfoque, pois estão diretamente ligadas ao mecanismo de contração e relaxamento muscular, especialmente a TNN-C que possui os complexos de ligação do cálcio que é chave para controlar a interação dos filamentos e, portanto, a contração muscular (SMITH; PLOWMAN, 2000; MUKUND; SUBRAMANIAN, 2020).

Apesar de descritas individualmente e estarem encarregadas de uma função específica dentro da estrutura molecular do tecido muscular esquelético, é a cooperação destas organelas que permitem o entendimento do mecanismo de contração muscular. Afinal, a contração muscular baseia-se na atuação mútua de todas as organelas citadas e, ainda, na teoria dos filamentos deslizantes da contração muscular, que explica como os músculos se contraem. Em vista disso, atentar-se à estrutura molecular dos miofilamentos é essencial para a compreensão da funcionalidade do tecido muscular esquelético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FOX, S. I. **Fisiologia Humana**. [S.L]: Editora Manole, 2007. E-book. ISBN 9788520449905. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520449905/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

2. FULLER, D. R.; PIMENTEL, J. T.; PEREGOY, B. M.. **Anatomia e Fisiologia Aplicadas à Fonoaudiologia**. Barueri, SP: Manole, 2014.
3. HALL, J. E.; HALL, M. E.. **Guyton & Hall: tratado de fisiologia médica**. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.
4. MICHAEL, J.; SIRCAR, S.I. **Fisiología Humana**. México: Editorial El Manual Moderno, 2012..
5. MUKUND, K.; SUBRAMANIAM, S. Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. **Wiley interdisciplinary reviews. Systems biology and medicine**, v. 12, n. 1, p. e1462, 2020.
6. PEATE, I.; NAIR, M. **Fundamentals of Anatomy and Physiology: for nursing and healthcare students**. 2. ed. [S.L.]: John Wiley & Sons, Incorporated, 2016. Disponível em: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/univbrasilia-ebooks/reader.action?docID=7104398>. Acesso em: 10 abr. 2023.
7. SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana: Uma Abordagem Integrada**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.
8. SMITH, D.L; PLOWMAN, S.A. Understanding Muscle Contraction. In: **Sports-Specific Rehabilitation**. [s.l.]: Elsevier, 2000, p. 15–38.
9. TORRES, G. M. X; CÉSAR, C. P. H. A. R. Physiology of exercise in orofacial motricity: knowledge about the issue. **Revista Cefac**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 1-11, 2019
10. TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.
11. WARD, J. P. T.; LINDEN, R. W. A.. **Physiology at a Glance**. 4. ed. [S.L.]: John Wiley & Sons, Incorporated, 2017. 157 p.
12. WIDMAIER, E.; RAFF, H.; STRANG, K.. **Vander's Human Physiology: the mechanisms of body function**. 14. ed. [S.L.]: McGraw Hill, 2015.

CAPÍTULO 04 – CONTRAÇÃO E RELAXAMENTO MUSCULAR

*Thiago Gloria de Almeida
Camila de Alencar Frois
Laura Davison Mangilli Toni*

A contração muscular é um evento fisiológico desencadeado por um neurônio motor que inerva as fibras musculares que irão se contrair. Além do potencial de ação gerado pelo neurônio, Smith e Plowman (2000), inferem que o mecanismo de contração está ligado a outros fatores como: o posicionamento dos miofilamentos, a localização dos íons de cálcio e o papel da ATP. Neste capítulo, serão detalhados os processos fisiológicos que envolvem o processo de contração e relaxamento do músculo esquelético. Portanto, será necessário retomar alguns conceitos da estrutura anatômica molecular deste tecido, bem como adicionar novas concepções no que diz respeito à participação do sistema nervoso na contração dos músculos.

Como já abordado, a contração muscular é suscitada mediante um potencial de ação gerado pelos neurônios motores. Sabe-se também que todos os músculos esqueléticos requerem de uma estimulação nervosa para produzir uma excitação elétrica que irá levar as células musculares à contração (SMITH; PLOWMAN, 2000). Os neurônios responsáveis por conduzir essas informações do sistema nervoso central (SNC) até os músculos são chamados de neurônios eferentes ou neurônios motores. Os neurônios motores (NMs), segundo Nishimaru et al. (2005), são os neurônios de saída do SNC, responsáveis diretos pela contração dos músculos. Esta participação dos NMs é possível visto que à medida que um nervo entra em contato com o tecido conjuntivo do músculo, ele se ramifica, com cada ramo terminando próximo à superfície de uma fibra muscular (SMITH; PLOWMAN, 2000).

Mediante a isso, Heckman e Enoka (2012) afirmam que uma unidade motora (um transdutor neuromecânico) é formado por dois componentes principais: o neurônio motor e as fibras musculares as quais ele inerva. A unidade motora é a unidade básica de contração (SMITH; PLOWMAN, 2000). Dessa forma, é vital mencionar que até aqui está se abordando a comunicação dos neurônios motores

com os músculos, e quando se refere a ligação de um neurônio a outro neurônio ou a órgãos deve-se apontar um conceito básico no sistema nervoso, a sinapse. As sinapses são unidades fundamentais de circuitos neurais no sistema nervoso que permitem a comunicação entre neurônios e entre um neurônio e sua célula-alvo (LI; XIONG; MEI, 2018).

Na contração dos músculos esqueléticos essas sinapses são derivadas das junções neuromusculares (JNMs). As JNMs são sinapses químicas excitatórias, recobertas por células de Schwann, formadas entre terminais nervosos da medula espinhal, neurônios motores e fibras musculares esqueléticas que usam acetilcolina como neurotransmissor (NISHIMUNE; SHIGEMOTO, 2018; LI; XIONG; MEI, 2018). E são elas as responsáveis por suscitar os eventos do processo de contração muscular. De acordo com Li, Xiong e Mei (2018), a mobilidade física e vida diária é possível devido à participação da JNM nos eventos fisiológicos de movimentação da musculatura esquelética. Com a chegada dos potenciais de ação, os terminais dos NMs liberam acetilcolina (ACh), que ativa os receptores de ACh das fibras musculares para despolarizar a célula muscular e desencadear a liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático para iniciar a contração muscular.

A junção neuromuscular possui três regiões principais e especializadas que permitem a integridade de sua atuação no mecanismo fisiológico da contração muscular. Em consonância com Mukund e Subramaniam (2020) estas regiões são definidas como: (a) região pré-sináptica, compreendendo a célula de Schwann que envolve o terminal nervoso contendo o neurotransmissor; (b) o espaço sináptico revestido pela membrana basal; e (c) a região pós-sináptica contendo o sarcoplasma juncional e a membrana pós-sináptica que contém receptores para o neurotransmissor.

Como suprarreferido, a região pré-sináptica é a área revestida pelas células de Schwann, Mukund e Subramaniam (2020) destacam que elas recobrem grande parte do terminal nervoso na JNM, com exceção da parte voltada para a membrana pós-sináptica. O terminal nervoso contém em sua conformação diversas vesículas sinápticas, que em conformidade com as literaturas de Rizzoli e Betz (2005) e Denker e Rizzoli (2010), são encarregadas de armazenar, liberar e captar os neurotransmissores de acetilcolina. As literaturas ainda destacam que a atividade

sináptica está correlacionada com especializações estruturais da junção neuromuscular, principalmente, pelas funções de três vesículas sinápticas (“*vesicule pools*”), sendo elas conhecidas como: *the readily releasable pool* (vesículas ancoradas a zona ativa e prontas para serem estimuladas), *the recycling pool* (vesículas espalhadas pelos terminais nervosos e recicladas após estimulação moderada) e *the reserve pool* (definido como um depósito de vesículas sinápticas das quais a liberação só é desencadeada durante estimulação intensa) (RIZZOLI; BETZ, 2005; DENKER; RIZZOLI, 2010).

A compreensão dessa especificidade da JNM é importante, uma vez que são as vesículas sinápticas que irão se ligar à membrana pré-sináptica em “zonas ativas”, iniciando a transmissão neuromuscular (MUKUND; SUBRAMANIAM, 2020). O espaço sináptico é a zona entre as membranas pré e pós-sináptica através das quais os neurotransmissores de acetilcolina se difundem, e se dividem em fenda primária (limitada pela membrana pré-sináptica e pela lâmina basal) e fenda secundária (espaço entre as dobras juncionais da membrana pós-sináptica) (MUKUND; SUBRAMANIAM, 2020). Por fim, Mukund e Subramaniam (2020) afirmam que região pós-sináptica é àquela que consiste em dobras juncionais, que amplificam a área da membrana pós-sináptica e, conseqüentemente, aumentam o volume do espaço sináptico e do sarcoplasma juncional. Vale ressaltar que o sarcoplasma juncional contém diversas organelas especializadas como mitocôndrias e complexo de golgi, assim como filamentos intermediários que atendem às demandas metabólicas e estruturais da região pós-sináptica (MUKUND; SUBRAMANIAM, 2020).

A partir do que foi discutido, já é praticável destrinchar os sucessivos eventos que permitem ao músculo esquelético contrair. Mukund e Subramaniam (2020) denotam em sua literatura que a contração muscular se inicia com a ativação dos canais rápidos de sódio (canais de voltagem pós-sináptica), gerando um potencial de ação que é transmitido à fibra muscular, iniciando a contração. Lembrando que o potencial de ação (PA) é determinado mediante uma perturbação do estado de repouso da membrana celular, com conseqüente fluxo de íons de Na^+ e K^+ , por meio da membrana e alteração da concentração iônica nos meios intra e extracelular (KRUEGER-BECK et al., 2011).

Hall e Hall (2020) resumem o PA em três estágios sucessivos que ocorrem em milissegundos, sendo elas: 1. Fase de repouso, momento em que o potencial de membrana encontra-se em repouso, antes mesmo da ocorrência do potencial de ação; 2. Fase de despolarização, momento em que a membrana celular torna-se permeável aos íons de sódio (Na^+), permitindo que uma grande concentração de carga positiva adentre ao meio intracelular do axônio (este movimento de íons faz com que o potencial da membrana aumente na direção positiva); 3. Por fim, a fase de repolarização, momento de décimos de segundo em que ocorre uma difusão rápida de íons, a membrana que na fase anterior era altamente permeável aos íons de Na^+ começa a fechar os canais de sódio, ao passo que começam a abrir os canais de potássio (K^+). A partir dessa troca rápida entre íons de Na^+ e K^+ , com K^+ migrando para o meio extracelular, o potencial da membrana é restabelecido para a fase de repouso (negativo) normal.

A literatura de Raghavan, Fee e Barkhaus (2019) discorre ainda sobre a necessidade de energia para que este processo de transporte de íons ocorra. Dessa forma, o transporte ativo é realizado por meio de transportadores de íons ou bombas de íons que obtêm a sua energia através da hidrólise de ATP. A energia derivada da ATP causa uma mudança conformacional na proteína de transporte que empurra os íons de um lado da membrana para outro (RAGHAVAN; FEE; BARKHAUS, 2019). Nessa perspectiva do transporte de íons, destaca-se o papel da bomba de Na^+/K^+ (bomba de sódio e potássio). Neste mecanismo, para cada ATP hidrolisada, esse transportador move três íons de Na^+ para fora e dois íons de K^+ para dentro da célula. A ação dessa bomba de íons é essencial para manter os gradientes iônicos através das membranas celulares e é a base da excitabilidade elétrica dos nervos e músculos (RAGHAVAN; FEE; BARKHAUS, 2019).

Posto isto, é notória a complexidade e a sucessão de eventos que ocorrem antes do músculo se contrair. Acima, foram descritos os acontecimentos para se gerar um impulso nervoso. Contudo, é significativo interligar os conhecimentos abordados para compreender todo o processo que leva um músculo a se contrair. Nessa linha de raciocínio, Raghavan, Fee e Barkhaus (2019) comparam que assim como os neurônios, a membrana da célula muscular (sarcolema) também é eletricamente excitável. Ademais, o sarcolema também possui canais iônicos e bombas necessárias para manter um potencial de membrana em repouso negativo, assim como canais

iônicos controlados por voltagem necessários para gerar potenciais de ação (RAGHAVAN; FEE; BARKHAUS, 2019). De acordo com os autores, os mecanismos que mantêm o potencial de membrana em repouso nos músculos são semelhantes aos dos neurônios, exceto que nos músculos há um maior grau de permeabilidade de Cloro (Cl⁻).

Sendo assim, Frontera e Ochala (2015) esquematizam a contração muscular baseadas em uma tríade que envolve a transmissão do estímulo nervoso, seguida da liberação de cálcio das cisternas do retículo sarcoplasmático e a interação entre actina e miosina que formam as pontes cruzadas. A ligação entre a excitação dos músculos pelo sistema nervoso à sua contração mecânica dá-se o nome de acoplamento excitação-contração (SHISHMAREV, 2020). Shishmarev (2020) aponta que o acoplamento excitação-contração é um processo essencial na fisiologia muscular, responsável por ligar sinais elétricos do sistema nervoso somático (potenciais de ação) às contrações musculares mecânicas. No músculo esquelético, este mecanismo é iniciado na junção neuromuscular, onde um neurônio motor se conecta a uma fibra muscular (uma célula multinucleada), pela liberação do neurotransmissor de acetilcolina do axônio terminal (SHISHMAREV, 2020).

Ao difundir-se para o sarcolema por meio da fenda sináptica, Shishmarev (2020) destaca que a ACh se liga a seus receptores na placa motora que iniciam um potencial de ação na fibra muscular. Tortora e Derrickson (2019) adicionam que a enzima acetilcolinesterase age na fenda sináptica destruindo novas moléculas de ACh de forma que outro potencial de ação muscular não surja, a menos que seja liberado mais neurotransmissores de ACh ao neurônio motor. Por conseguinte, o potencial de ação percorre as invaginações especializadas do sarcolema, conhecidas como túbulos transversos (os Túbulos T), causando a despolarização da membrana tubular; isto é, o PA que percorre os túbulos T abrem os canais de liberação de cálcio (Ca²⁺) na membrana do retículo sarcoplasmático, possibilitando o fluxo de íons de cálcio para o sarcoplasma (SHISHMAREV, 2020; TORTORA; DERRICKSON, 2019). Por fim, os íons de Ca²⁺ liberados ligam-se à troponina C (subunidade de ligação do cálcio), que altera a conformação do complexo troponina. Isso, por sua vez, inicia a formação de pontes cruzadas entre as proteínas contráteis de actina e miosina, fazendo com que elas deslizem uma ao lado da outra, levando a contração muscular.

Verifica-se que as literaturas apresentam uma gama de informações detalhadas em relação a contração da musculatura esquelética, no entanto, pouco se relata sobre os acontecimentos fisiológicos que marcam o relaxamento muscular e o retorno da fibra muscular ao seu estado de repouso. E em algumas bibliografias este mecanismo de relaxamento chega a ser referido apenas como a reversão do estado de contração. Contudo, Tortora e Derrickson (2019) destacam que quando os canais de liberação de Ca^{2+} no retículo sarcoplasmático se fecham, as bombas de transporte ativo de Ca^{2+} usam ATP para restaurar o baixo nível de Ca^{2+} no sarcoplasma. A partir disso, o complexo troponina-tropomiosina desliza de volta para a posição onde bloqueia os locais de ligação com a miosina na actina, ocorrendo, assim, o relaxamento do músculo (TORTORA; DERRICKSON, 2019).

Poggesi, Tesi e Stehle (2005) em sua documentação revelam que o relaxamento das fibras musculares esqueléticas é coordenado pela interação entre dois sistemas macromoleculares: as proteínas transportadoras de Ca^{2+} ligadas a membrana e as proteínas sarcoméricas. Os primeiros são encarregados de reduzir e manter a concentração de $[\text{Ca}^{2+}]$ citosólica abaixo do limiar de ativação contracional após o aumento transitório de $[\text{Ca}^{2+}]$ induzido pelo potencial de ação (POGGESI; TESI; STEHLE, 2005). Enquanto isso, as proteínas sarcoméricas, que incluem as proteínas reguladoras e as responsáveis pela geração de força ativa e passiva, estão diretamente relacionadas aos eventos mecânicos do relaxamento (POGGESI; TESI; STEHLE, 2005).

Com a queda da concentração de $[\text{Ca}^{2+}]$ no sarcoplasma, o Ca^{2+} dissocia-se da troponina C (o receptor de Ca^{2+} das proteínas reguladoras dos filamentos finos). Isso determina o “desligamento” do sistema regulatório, impedindo a formação de novas interações actomiosina geradoras de força, enquanto as pontes cruzadas anexadas se dissociam, levando ao decaimento da força (POGGESI; TESI; STEHLE, 2005). Posto isso, Poggesi, Tesi e Stehle (2005) alertam que, em princípio, pode-se identificar três grupos de mecanismos determinantes no curso temporal do relaxamento muscular: 1. A queda da taxa de concentração de $[\text{Ca}^{2+}]$ no sarcoplasma; 2. A cinética de inativação do filamento fino após a dissociação do Ca^{2+} e 3. Cinética das pontes cruzadas.

Compreendendo as propriedades do tecido muscular e a neurofisiologia que envolve os mecanismos de contração e o relaxamento dos músculos, vale enfatizar que cada músculo do organismo humano possui uma composição. Qaisar, Bhaskaran e Van Remmen (2016) salientam que o músculo esquelético é composto por diversos tipos de fibras que são a base da plasticidade muscular em resposta a várias demandas funcionais. As fibras musculares individuais variam em suas propriedades mecânicas, bioquímicas e metabólicas, dependendo do tipo de fibra que a constitui (QAISAR; BHASKARAN; VAN REMMEN, 2016). Assim sendo, Talbot e Maves (2016) destacam que estas fibras podem receber diferentes classificações de identidade (“tipos”), sendo as fibras musculares esqueléticas amplamente classificadas como “contração lenta” (tipo I) e “contração rápida” (tipo II).

Além disso, com base na expressão do gene da cadeia pesada diferencial de miosina, há uma classificação adicional das fibras de contração rápida em três subtipos: IIa, IIx e IIb (TALBOT; MAVES, 2016). A miosina é uma proteína miofibrilar encontrada no tecido muscular esquelético e representa juntamente com a actina, 50 a 60% das proteínas musculares (SAWANO; MIZUNOYA, 2022). Para entendimento da expressão gênica da cadeia pesada, Madeira et al. (2011) descreve a miosina como uma molécula composta por cadeias pesada de miosina (MyHC - *Myosin Heavy Chain*) e cadeias leves de miosina (MyLC - *Myosin Light Chain*) e identificadas na musculatura esquelética em distintas isoformas. Saliencia-se que as propriedades contráteis e a intensidade de tensão, dependem das cadeias pesadas de miosina das fibras (MADEIRA et al., 2011). Em conformidade com Korfage et al. (2005) a miosina é uma proteína hexamérica complexa que é composta por quatro moléculas de cadeia leve, denominadas MyLC essencial e MyLC reguladora, e duas moléculas de cadeia pesada (MyHC). De modo que as moléculas MyLC exercem função de conversão de energia química em movimento, ao ponto que as moléculas de MyHC contém a atividade da ATPase que fornece energia para gerar força para contração muscular (KORFAGE et al. (2005).

Hau et al. (2023) enfatiza que a miosina pode expressar 35 classes, cada uma constituindo de uma cadeia pesada de miosina (MyHC) e um número de proteínas menores, com cada classe definida por sua estrutura e função distintas. As fibras musculares esqueléticas, como já mencionado, podem ser diferenciadas em fibras de contração rápida e de contração lenta. As fibras de contração lenta do tipo I contém

MyHC lento (codificado pelo gene MYH7) que confere às fibras lentas uma baixa velocidade máxima de encurtamento (HAU et al., 2023). As fibras de contração rápida tipo II, de acordo com Hau et al. (2023), geralmente contém MyHCs com uma das três velocidades máximas de encurtamento progressivamente mais rápidas (IIa, IIx e IIb codificadas pelos genes MYH2, MYH1 e MYH4, respectivamente). Logo, denota-se a importância das diferentes isoformas de cadeia pesada da miosina, que presentes em suas respectivas fibras musculares, propiciam diferentes propriedades aos músculos esqueléticos.

Sawano e Mizunoya (2022) definem em seu estudo as fibras tipo I como lento-oxidativo (músculo vermelho) e tipo rápido-glicolítico (músculo branco). Segundo os autores, as fibras do tipo I são ricas em mitocôndrias, possuem alta capacidade oxidativa e são resistentes à fadiga. Em contrapartida, as fibras musculares do tipo II (IIa, IIx e IIb) exibem altas taxas de metabolismo glicolítico e fadiga. Conseqüentemente, os músculos enriquecidos por fibras do tipo I, normalmente realizam atividades contráteis sustentadas e tônicas, como tensão postural, enquanto os músculos compostos por fibras do tipo II, estão comumente envolvidos em atividades intensas e rápidas - curta duração (SAWANO; MIZUNOYA, 2022). É de referir que a velocidade contrátil é menor nas fibras do tipo I do que nas do tipo II, de tal modo que nas do tipo II a velocidade aumenta na seguinte ordem IIa<IIx<IIb (SAWANO; MIZUNOYA, 2022). Em relação às propriedades metabólicas oxidativas e a resistência à fadiga, Sawano e Mizunoya (2022) realçam que são maiores nas fibras tipo I do que nas fibras tipo II, ocorrendo nas tipos II uma diminuição na ordem de IIa>IIx>IIb.

O entendimento da composição das fibras musculares, assim como a compreensão das suas características mecânicas, bioquímicas e metabólicas permitem aos profissionais que atuam com a musculatura esquelética, como é o caso do fonoaudiólogo, maior objetividade na proposição de terapêuticas que visem a modificação do comportamento e da estrutura muscular de um indivíduo. É sabido que a Fonoaudiologia é uma ciência que atua com a reabilitação da musculatura, especialmente àquelas relacionadas às alterações miofuncionais orofaciais. Ferreira et al. (2011) cita que este profissional se utiliza de exercícios que envolvem grupos musculares presentes na região de lábios, bochechas, língua, palato mole, laringe e faringe. E que ao se utilizar um exercício motor, a depender do objetivo desejado, o

músculo pode sofrer com melhora tanto no que tange a sua mobilidade quanto em seu tônus muscular (força).

No entanto, para que este músculo esquelético sofra alterações em sua unidade conformacional é necessário que ele seja submetido a treinamentos. Widmann, Niess e Munz (2019) alertam que através do exercício físico a musculatura esquelética pode alcançar adaptações em vários níveis, como regulação metabólica, ou alterações na expressão de genes que codificam proteínas contráteis com propriedades funcionais específicas, como isoformas de cadeia pesada de miosina “rápida” e “lenta”. Em relação às terapias fonoaudiológicas, pode-se inferir que o objetivo é basicamente realizar as mesmas adaptações, contudo, em unidades musculares menores, mas com as mesmas propriedades bioquímicas das fibras musculares de outras áreas do organismo. A exemplo disso, Ferreira et al. (2011) em sua revisão sistemática de literatura alerta que na fisiologia muscular aplicados aos exercícios fonoaudiológicos, parâmetros como força/intensidade, velocidade, duração, dinâmica, frequência e progressão são determinantes na reabilitação muscular.

Coutrin, Guedes e Motta (2008) argumentam que o músculo esquelético sofre modificações em sua forma e função após a prática de exercícios em consequência de sua plasticidade muscular, contudo, para que estas remodelações ocorram é necessário compreender e respeitar os princípios do treinamento muscular. A prática de exercícios é desenvolvida por meio de contrações de diversos grupos musculares, assim sendo, os músculos esqueléticos apresentam dois tipos básicos de contração: a isotônica e a isométrica, conforme a mobilidade dos pontos de fixação deste músculo (COUTRIN; GUEDES; MOTTA, 2008). Torres e César (2019) discorrem que a contração isotônica ocorre quando uma extremidade do músculo é fixa e a outra é móvel, resistindo a uma força constante, causando uma redução no tamanho do músculo e consequente movimento do segmento a que está fixado. Já a isométrica ocorre quando as duas extremidades estão fixas, determinando o aumento da tensão ou força, sem haver encurtamento do músculo ou movimento perceptível (TORRES; CÉSAR, 2019).

Haja vista a capacidade do músculo de se remodelar quando submetido a um treinamento muscular, Hawley (2002) realça a necessidade de se ter em mente todos

os componentes basilares para a construção de um programa de treinamento, que engloba: a duração (volume), a intensidade e a frequência de sessões de exercícios. A soma destes fatores resulta na mudança de conformação do músculo esquelético. A exemplo disso, Kraemer, Fleck e Deschenes (2016), citam em sua literatura que durante uma atividade de *endurance* (resistência), as fibras recrutam maior número de capilares para que haja o aumento do fluxo de oxigênio para os músculos. Mediante a isso, ocorre um aumento no aporte de oxigênio para o músculo exercitado, e ainda um aumento na densidade capilar induzido por exercício. Ressalta-se que este mecanismo parece ser específico para cada tipo de fibra muscular, visto que as fibras do tipo I desfrutam aumentos mais pronunciados do que as fibras tipo II (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Além das mudanças na capilaridade dos músculos, Kraemer, Fleck e Deschenes (2016) mencionam que o treinamento de resistência aumenta o tamanho e o número de mitocôndrias nas fibras musculares. Vale lembrar que as mitocôndrias são organelas responsáveis pela produção de ATP (via aeróbica), e o aumento do conteúdo mitocondrial de uma fibra é acompanhado por capacidade aumentada para o metabolismo aeróbico (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016). Hargreaves e Spriet (2020) assomam que a ATP é necessária para a atividade de enzimas-chave envolvidas na excitabilidade da membrana, manipulação das concentrações de cálcio presentes no retículo sarcoplasmático e ciclagem de pontes cruzadas de miofilamentos. Entretanto, as reservas intramusculares de ATP são relativamente pequenas, não sendo capazes de sustentar a atividade contrátil por longos períodos (HARGREAVES; SPRIET, 2020).

Tendo em vista a falta de reservas energéticas e a necessidade de o músculo esquelético realizar atividade contrátil por longos períodos, Hargreaves e Spriet (2020) sinalizam que o organismo é capaz de acionar outras vias metabólicas, incluindo a fosforilação em nível de substrato (ou anaeróbica) e fosforilação oxidativa (ou aeróbica). A fosforilação oxidativa é criticamente dependente dos sistemas respiratório e cardiovascular, que garantem o fornecimento adequado de oxigênio para o músculo esquelético, e na redução de equivalentes do metabolismo principalmente de carboidratos e gorduras (HARGREAVES; SPRIET, 2020). É indispensável mencionar a contribuição destas vias geradoras de ATP para suprimento de energia durante a realização dos programas de treinamento, haja vista

a necessidade do indivíduo em cumprir os componentes de intensidade e duração do exercício (HARGREAVES; SPRIET, 2020). À vista disso, Kraemer, Fleck e Deschenes (2016) resumem que com maior número de capilares circundando cada fibra muscular e mais mioglobinas e mitocôndrias em cada fibra muscular, a distância para a difusão da mitocôndria a partir da membrana celular e vice-versa é reduzida, o que torna o tempo de troca de substâncias mais rápido, ou seja, aumenta a facilidade de troca de oxigênio, CO₂, nutrientes, produtos residuais do metabolismo e calor entre sangue e músculo.

No que tange ao desenvolvimento de estudos na observação destas alterações musculares quando submetidos a exercícios utilizados por fonoaudiólogos, Cullins, Krekeler e Connor (2018) realizaram em seu estudo uma análise direcionada às mudanças nas fibras musculares da língua. Neste estudo realizado com ratos, selecionou-se 8 ratos idosos como grupo exercício (entende-se que o envelhecimento está associado à hipertrofia das fibras musculares e à diminuição das porcentagens de fibras musculares da cadeia pesada de miosina [MyHC] tipo IIb de contração rápida) que foram submetidos a 8 semanas de treinamento com a língua e outros 8 animais que serviram de grupo controle. Os ratos do grupo exercício foram treinados a pressionar um disco instrumentado com a língua para obter uma recompensa em água (movimentos de protrusão da língua), enquanto os ratos do grupo controle também aprenderam a tarefa de exercício, mas não realizaram exercícios de língua.

Após a aplicação do treinamento, Cullins e colaboradores observaram aumento significativo na força máxima voluntária de língua do grupo exercício, sendo que no início do estudo não foi encontrada esta discrepância entre as forças de língua dos dois grupos. Quanto às modificações de tipo de fibra MyHC, Cullins, Krekeler e Connor (2018) indicam que ocorreu mudanças nas porcentagens destes tipos de fibra, contudo em músculos e regiões específicas. Os efeitos simples multivariados do exercício indicaram mudanças significativas na composição do tipo de fibras da MyHC nos músculos transverso anterior e longitudinal médio-superior, que aumentaram os percentuais de contração mais rápida dos tipos de fibras da MyHC com o exercício (CULLINS; KREKELER; CONNOR, 2018). Os autores também identificaram uma mudança significativa na composição do tipo de fibra MyHC nos músculos transversos

médio e longitudinal pósterio-inferior, que apresentaram percentuais aumentados de tipos de fibras de contração mais lenta.

Quando divididas por tipo de fibra MyHC, notou-se que a porcentagem de fibras musculares do tipo IIX diminuiu significativamente em todos, exceto nos músculos transversos médios; ao passo que as fibras tipo IIA aumentou nos músculos transverso médio e longitudinal pósterio-inferior (CULLINS; KREKELER; CONNOR, 2018). Em síntese, o estudo verificou que o exercício de língua alterou a composição da bioquímica dos músculos intrínsecos da língua, de tal forma que a composição da MyHC de alguns músculos da língua envelhecida foi mais semelhante à de adultos jovens, enquanto outros músculos fizeram a transição para tipos de fibras de MyHC mais resistentes à fadiga (CULLINS; KREKELER; CONNOR, 2018).

Outros estudos também apontam benefícios do exercício muscular aplicados à fonoterapia. Connor et al. (2009) realizou um estudo em ratos idosos procurando identificar se os ratos submetidos a exercício de língua manifestaram alterações quanto à força protrusiva de língua e aumento das áreas transversais das fibras musculares do genioglosso. Para isso, foram selecionados 48 ratos adultos jovens, de meia-idade e velhos que receberam 8 semanas de exercício de língua, sendo avaliada as forças protrusivas antes e depois do exercício. A área de secção transversa do músculo genioglosso foi medida em ratos submetidos aos exercícios e comparadas com as áreas transversais em um grupo controle sem exercício. O preparo e o treinamento dos animais foram realizados em 87 dias, onde foi realizado um período de aclimatação de quatro semanas. Após este período, metade dos ratos foram alocados em um grupo de exercício ou em grupo controle sem exercício.

Os animais foram treinados para empurrar um disco com língua, na qual recebiam como recompensa ingesta hídrica. Nos primeiros dias de treinamento, os ratos recebiam a água manualmente quando se aproximavam do disco, posteriormente, os animais deveriam realizar uma pressão lingual bem-sucedida em ou acima de um limiar de força preestabelecido. O programa de treinamento foi realizado por período de 8 semanas, sendo realizado sessões de 10 minutos de exercício. Como resultado do programa de treinamento, Connor et al. (2009) verificou que os ratos dos três grupos etários participaram totalmente dos exercícios propostos, pressionando a língua contra o operando de força pelo menos 30 vezes dentro de

uma sessão igual ou acima do valor limite preestabelecido. Pode-se perceber que houve um aumento progressivo de força da língua para esses animais representativos adultos jovens, de meia-idade e idosos, na proporção que o animal adulto jovem demonstrou os maiores valores de força da língua e o número de pressão lingual em geral, e o animal velho os menores valores de força (CONNOR et al., 2009).

Em relação a área de secção transversa do músculo genioglosso, Connor et al. (2009) encontraram uma tendência ao aumento desta região, mas não significativamente aumentado, quando comparados os animais do grupo exercício com o grupo controle. As oito semanas de exercício de língua também foram associadas a um aumento significativo na variabilidade da área de secção transversa das fibras musculares (maiores fibras do genioglosso) medidas por animal (CONNOR et al., 2009). Segundo os autores, o aumento da variabilidade nesta área sugere que as 8 semanas de exercício direcionado da língua podem estar ligados à mudança no tamanho muscular, mas não uniformemente em todo o músculo. Assim sendo, os achados deste estudo indicam que os exercícios de resistência estão vinculados ao aumento progressivo da força da língua, acompanhados por alterações na morfologia da fibra muscular da língua.

Em virtude dos benefícios aparentes após a aplicação de programas de treinamento focados na reabilitação de alterações orofaciais, Stathopoulos e Felson Duchan (2006) observam em sua literatura que a história, a evolução e os princípios do treinamento de força muscular como forma de melhorar as funções estomatognáticas é baseada em definições básicas, como: a força muscular (a causa do movimento; força, poder de energia); o torque (força rotacional em torno de um eixo articular, produzida por um músculo); a carga (a resistência externa oferecida a um músculo); a contração isométrica (o torque é igual a carga, o comprimento do músculo permanece o mesmo - estático); a contração concêntrica isotônica (o torque excede a carga, o músculo encurta - dinâmico); a contração excêntrica isotônica (a carga é maior que o torque, alongamento muscular - dinâmico) e a sobrecarga (o músculo é estimulado além do nível limite para aumentar a força) (STATHOPOULOS; FELSON DUCHAN, 2006).

Tendo em vista estas definições e as aplicações dos programas de treinamento, Stathopoulos e Felson Duchan (2006) elucidam que a fisiologia do

exercício é praticada embasada em princípios que permitem o sucesso das terapêuticas. O primeiro desses princípios é que o treinamento muscular dinâmico demonstra resultados diferentes do treinamento muscular estático, no qual os exercícios isométricos apresentam repercussões no aumento da força de contração e aumento da força muscular máxima. Em contrapartida, o exercício dinâmico proporciona maior velocidade máxima de contração e maior velocidade máxima de encurtamento (STATHOPOULOS; FELSON DUCHAN, 2006).

O segundo princípio abordado por Stathopoulos e Felson Duchan (2006) diz respeito a resposta muscular, isto é, a musculatura responderá de formas diversas a depender do tipo de programa de treinamento que lhe for proposto. De acordo com os autores, os músculos precisam ser condicionados durante a atividade que se almeja melhorar. Ou seja, caso o objetivo seja melhorar a deglutição e você condiciona os músculos da língua por meio de contrações isométricas contra o céu da boca, o treinamento não será tão eficaz quanto se fosse treinado a função de forma mais dinâmica, de forma que a língua desempenhasse o seu papel habitual no mecanismo de deglutição (STATHOPOULOS; FELSON DUCHAN, 2006).

O terceiro princípio citado concerne à terapia baseada em exercícios relacionados à sobrecarga muscular. Este princípio afirma que o músculo deve ser desafiado além de algum nível limiar para obter aumentos de condicionamento desejado (STATHOPOULOS; FELSON DUCHAN, 2006). Stathopoulos e Felson Duchan (2006), discorrem que normalmente, a sobrecarga é iniciada com baixa resistência (carga) e frequência, em seguida, aumenta-se gradualmente a resistência, frequência e duração, com períodos de descanso entre eles. O aumento da força muscular está relacionado a exercícios que envolvem a sobrecarga, Hedayatpour e Falla (2015) citam propriedades deste tipo de treinamento que geram transformações fisiológicas na musculatura esquelética. Hedayatpour e Falla (2015), salientam que em treinamentos resistivos ocorrem no músculo esquelético adaptações fisiológicas que envolvem alterações contráteis e/ou não contráteis no músculo. Por exemplo, quando ocorre sobrecarga mecânica do músculo, as miofibrilas e a matriz extracelular são perturbadas, o que, por sua vez, estimula a síntese proteica (HEDAYATPOUR; FALLA, 2015). Além disso, Hedayatpour e Falla (2015) acentuam que o aumento da tensão mecânica sobre uma unidade muscular pode aumentar a taxa de estresse metabólico e, assim, estimular vias subcelulares envolvidas na síntese proteica, como

a via da proteína quinase ativada por mitógeno, que pode desempenhar um papel no crescimento muscular induzido pelo exercício.

É permitido compreender, neste contexto, que o princípio da fisiologia do exercício são as modificações na estrutura e função dos sistemas do organismo humano. Um programa de treinamento pode ter efeitos agudos e/ou crônicos sobre o corpo humano, e no contexto apresentado até o momento, sobre a musculatura esquelética. Dessa forma, é notória a capacidade que o exercício possui em alterar as propriedades físicas, bioquímicas e mecânicas do músculo esquelético, na medida que é utilizada corriqueiramente em diversas áreas das ciências da saúde, integrando a Fonoaudiologia. Como já abordado em outros momentos, a Fonoaudiologia é a ciência que compreende o estudo da musculatura da face e cervical, bem como, trabalha com alterações relacionados às funções nas quais estas musculaturas estão envolvidas, como à sucção, mastigação, deglutição, respiração e fala.

Portanto, as terapias fonoaudiológicas visam por meio de exercícios a modificação e adaptação destas estruturas musculares, para que permitam ao indivíduo realizar as funções citadas de maneira eficiente. Mediante a isso, além da realização das terapias convencionais (miotterapia e terapia miofuncional), com o desenvolvimento tecnológico científico, há um direcionamento dos fonoaudiólogos à utilização de recursos terapêuticos adjuvantes à terapia tradicional para auxiliar no processo de reabilitação dos seus pacientes. Tendo em vista esta inovação tecnológica que auxilia na reabilitação de alterações fonoaudiológicas, será tratado nos próximos capítulos alguns conceitos e resultados de um destes recursos utilizados durante a prática clínica, conhecida como estimulação elétrica neuromuscular (eletroterapia).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONNOR, N. P. et al. Effect of tongue exercise on protrusive force and muscle fiber area in aging rats. **Journal of speech, language, and hearing research: JSLHR**, v. 52, n. 3, p. 732–744, 2009.
2. COUTRIN, G. C.; GUEDES, L. U.; MOTTA, A. R. Treinamento muscular na face: a prática dos fonoaudiólogos de Belo Horizonte. **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, v. 13, n. 2, p. 127–135, 2008.
3. CULLINS, M. J.; KREKELER, B. N.; CONNOR, N. P. Differential impact of tongue exercise on intrinsic lingual muscles: Impact of Tongue Exercise on Lingual Muscles. **The Laryngoscope**, v. 128, n. 10, p. 2245–2251, 2018.
4. DENKER, A.; RIZZOLI, S. O. Synaptic vesicle pools: an update. **Frontiers in synaptic neuroscience**, v. 2, p. 135, 2010.

5. FERREIRA, T. S. et al. Fisiologia do exercício fonoaudiológico: uma revisão crítica da literatura. **Jornal da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, v. 23, n. 3, p. 288–296, 2011.
6. FRONTERA, W. R.; OCHALA, J. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. **Calcified tissue international**, v. 96, n. 3, p. 183–195, 2015.
7. HALL, J. E.; HALL, M. E. **Pocket companion to Guyton and hall textbook of medical physiology**. 14. ed. Filadélfia, PA, USA: Elsevier - Health Sciences Division, 2020
8. HARGREAVES, M.; SPRIET, L. L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. **Nature metabolism**, v. 2, n. 9, p. 817–828, 2020.
9. HAU, H.-T. A. et al. Slow myosin heavy chain 1 is required for slow myofibril and muscle fibre growth but not for myofibril initiation. **Developmental biology**, v. 499, p. 47–58, 2023.
10. HAWLEY, J. A. Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. **Clinical and experimental pharmacology & physiology**, v. 29, n. 3, p. 218–222, 2002.
11. HECKMAN, C.J.; ENOKA, R. M. Motor unit. **Comprehensive physiology**, v.2, n.4, p. 2629–2682, 2012.
12. HEDAYATPOUR, N.; FALLA, D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: Mechanisms and considerations for training. **BioMed research international**, v. 2015, p. 193741, 2015.
13. KORFAGE, J. A. M. et al. Fiber-type composition of the human jaw muscles--(part 1) origin and functional significance of fiber-type diversity. **Journal of dental research**, v. 84, n. 9, p. 774–783, 2005.
14. KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES, M. R. **Fisiologia do exercício: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
15. KRUEGER-BECK, E. et al. Potencial de ação: do estímulo à adaptação neural. **Fisioterapia em Movimento**, v. 24, n. 3, p. 535–547, 2011.
16. LI, L.; XIONG, W.-C.; MEI, L. Neuromuscular junction formation, aging, and disorders. **Annual review of physiology**, v. 80, n. 1, p. 159–188, 2018.
17. MADEIRA, L. A. et al. Tipos de miosinas de linhagens de frangos de corte criados em sistemas de confinamento e semiconfinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1961–1967, 2011.
18. MUKUND, K.; SUBRAMANIAM, S. Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. **Wiley interdisciplinary reviews. Systems biology and medicine**, v. 12, n. 1, p. e1462, 2020.
19. NISHIMARU, H. et al. Mammalian motor neurons corelease glutamate and acetylcholine at central synapses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n.14, p. 5245–5249, 2005.
20. NISHIMUNE, H.; SHIGEMOTO, K. Practical anatomy of the neuromuscular junction in health and disease. **Neurologic clinics**, v. 36, n. 2, p. 231–240, 2018.
21. POGGESI, C.; TESI, C.; STEHLE, R. Sarcomeric determinants of striated muscle relaxation kinetics. **Pflugers Archiv: European journal of physiology**, v. 449, n. 6, p. 505–517, 2005.
22. QAISAR, R.; BHASKARAN, S.; VAN REMMEN, H. Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. **Free radical biology & medicine**, v. 98, p. 56–67, 2016.
23. RAGHAVAN, M.; FEE, D.; BARKHAUS, P. E. Generation and propagation of the action potential. **Handbook of clinical neurology**, v. 160, p. 3–22, 2019.
24. RIZZOLI, S. O.; BETZ, W. J. Synaptic vesicle pools. **Nature reviews. Neuroscience**, v. 6, n. 1, p. 57–69, 2005.
25. SAWANO, S.; MIZUNOYA, W. History and development of staining methods for skeletal muscle fiber types. **Histology and histopathology**, v. 37, n. 6, p. 493–503, 2022.
26. SHISHMAREV, D. Excitation-contraction coupling in skeletal muscle: recent progress and unanswered questions. **Biophysical reviews**, v. 12, n. 1, p. 143–153, 2020.
27. SMITH, D.L.; PLOWMAN, S.A. Understanding Muscle Contraction. In: **Sports-Specific Rehabilitation**. [s.l.]: Elsevier, 2000, p. 15–38.
28. STATHOPOULOS, E.; FELSON DUCHAN, J. History and principles of exercise-based therapy: how they inform our current treatment. **Seminars in speech and language**, v. 27, n. 4, p. 227–235, 2006.
29. TALBOT, J.; MAVES, L. Skeletal muscle fiber type: using insights from muscle developmental biology to dissect targets for susceptibility and resistance to muscle disease. **Wiley interdisciplinary reviews. Developmental biology**, v. 5, n. 4, p. 518–534, 2016.
30. TORRES, G. M. X; CÉSAR, C. P. H. A. R. Physiology of exercise in orofacial motricity: knowledge about the issue. **Revista Cefac**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 1–11, 2019.

31. TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.
32. WIDMANN, M.; NIESS, A. M.; MUNZ, B. Physical exercise and epigenetic modifications in skeletal muscle. **Sports Medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 49, n. 4, p. 509–523, 2019.

CAPÍTULO 05 – ELETROTERRAPIA

*Thiago Gloria de Almeida
Camila de Alencar Frois
Laura Davison Mangilli Toni*

O fonoaudiólogo possui papel fundamental na avaliação e reabilitação de pacientes com alterações musculares, principalmente nas intervenções que envolvem a fala, a voz e a deglutição. Dessa forma, durante o processo de reabilitação o profissional pode empregar técnicas convencionais/tradicionais ou recursos terapêuticos adjuvantes à terapia. Em vista disso, evidencia-se a utilização da estimulação elétrica neuromuscular (EENM) como um dos recursos recém utilizados na terapia de reabilitação das disfagias, por exemplo.

A deglutição é uma função essencial para a manutenção da vida, fundamental na ingestão e absorção de nutrientes pelo organismo (CALDAS et al., 2018). Ante o exposto, é primordial enfatizar, conforme Matsuo e Palmer (2008), que deglutição é uma função que envolve a contração de diversas unidades musculares que se distribuem em três principais fases, sendo elas: a fase oral, faríngea e esofágica. Além disso, Ramsey e Smithard (2004), denotam a deglutição como um processo complexo que envolve o uso de seis pares de nervos cranianos e 55 músculos, sendo uma função que envolve controle voluntário (na fase oral) e controle involuntário (fase faríngea e esofágica), sendo assim, um processo predominantemente involuntário, cujo as fases são modificadas pelas características do bolo alimentar e pela entrada dos centros corticais e subcorticais superiores.

Por outro lado, denomina-se disfagia quando há alterações neste processo e a deglutição passa a não ser funcional. Pansarini (2012) define a disfagia como um distúrbio da deglutição causado por alterações em uma ou mais fases da deglutição, podendo ser decorrente de causas neurológicas e/ou estruturais. As consequências da disfagia podem gerar a entrada de alimentos nas vias aéreas causando tosse, sufocação/asfixia, aspiração laringotraqueal, problemas pulmonares, desidratação, perda peso e morte (PANSARINI, 2012). Assim, quando detectados sinais de

alteração nesta função, o indivíduo disfágico deve ser encaminhado para uma avaliação fonoaudiológica e, caso necessário, deve-se iniciar o processo de reabilitação.

As estratégias convencionais de manejo da disfagia envolvem exercícios de fortalecimento da musculatura, modificação postural e modificações de dieta (ASSORATGOON et al., 2022). Entretanto, com o desenvolvimento tecnológico-científico, outras abordagens terapêuticas adjuvantes à terapia convencional vêm sendo estudadas e uma destas inovações têm surtido efeitos positivos em pacientes disfágicos, conhecida como estimulação elétrica neuromuscular (EENM). De acordo com Assoratgoon et al. (2022), a EENM tem sido amplamente utilizada e estudada extensivamente na prática clínica, contudo, o método e o protocolo para a utilização do tratamento estão longe de serem padronizados. Nesse sentido, uma grande preocupação dos clínicos está ligada à intensidade elétrica que deve ser empregada, considerando que atualmente cada profissional tem delimitado a sua utilização.

O estudo de Assaratgoon et al. (2022) expõe duas abordagens utilizadas no contexto clínico, a primeira denominada estimulação elétrica neuromuscular motora, que tem por objetivo evocar a contração dos músculos responsáveis pela deglutição. Esta estimulação tem-se mostrado eficaz para a redução do tempo de trânsito faríngeo, do tempo de resposta para o disparo da deglutição e da taxa de aspiração. Também mostra resultados positivos no aumento da elevação laríngea, o fechamento das pregas vocais, a frequência de deglutição e a melhora da proteção das vias aéreas (ASSARATGOON et al., 2022). No entanto, observou-se a necessidade de uma frequência muito alta para que se atingisse o objetivo de gerar contrações musculares na área estimulada. Em contrapartida, Assaratgoon et al. (2022) aponta a possibilidade de realizar a estimulação elétrica neuromuscular sensorial, realizada em uma frequência mais baixa, apenas para estimular a via neural sensorial aferente e estabelecer uma melhora na excitabilidade cortical de longa duração, permitindo que as funções motoras sejam ativadas facilmente.

Nesse contexto, é imprescindível determinar a utilização da eletroestimulação na prática fonoaudiológica. Assim sendo, Behlau et al. (2022) destaca que há uma variabilidade de correntes elétricas que podem ser usadas como recurso terapêutico com diferentes objetivos, seja para controle da dor, progresso na vascularização,

cicatrização dos tecidos, ativação de metabolismo celular, melhora na propriocepção, relaxamento, drenagem ou contração muscular. Posto isso, é precípuo balizar os procedimentos de utilização das correntes da eletroestimulação, isto é, compreender que os parâmetros fundamentais em eletroterapia e que definem o tipo de corrente elétrica são frequência, duração de pulso e intensidade, além da forma de onda (BEHLAU et al.; 2022). A combinação destes quatro parâmetros vai definir o tipo de corrente e também vários tipos diferentes de correntes e, portanto, provocar efeitos diversos nos tecidos (BEHLAU et al.; 2022).

Como abordado anteriormente, os parâmetros manipuláveis desta terapêutica repercutem de formas diferentes nos tecidos em que são aplicados. Em virtude disso, salienta-se que a literatura elucida a necessidade de entendimento de alguns princípios e parâmetros manipuláveis que embasam a utilização da EENM como recurso terapêutico. O primeiro parâmetro a ser estabelecido é o tipo de corrente terapêutica a ser utilizada (ressalta-se que o princípio básico da EENM é a repercussão de estímulos elétricos terapêuticos na superfície do tecido muscular, através do sistema nervoso periférico íntegro). Sendo assim, para que o fonoaudiólogo entenda o princípio básico da eletroterapia, ele deve reconhecer conhecimentos básicos da física no que diz respeito ao entendimento sobre eletricidade e suas características.

Barry (1991) enfatiza que a base da eletricidade é a carga elétrica e o fluxo de carga. Segundo o autor, tal fundamentação é embasada nos experimentos realizados por Benjamin Franklin. Em um dos experimentos conduzidos por Franklin, o cientista esfregou um bastão de vidro em um retalho de seda e notou que a posteriori o bastão atraía o pedaço de seda. Contudo, também verificou que se outro bastão fosse friccionado contra um pedaço de seda e posicionado ao lado do primeiro bastão, ambos se repeliam. Benjamin arbitrariamente definiu a carga do bastão de vidro como positiva e a carga da seda de negativa. A partir desta experiência, conceitos sobre a eletricidade foram desenvolvidas, uma delas, a de corrente elétrica. Corrente elétrica pode ser definida como o fluxo ou movimento de cargas de um objeto para outro, em outros termos, a corrente (ampères) é definida como quantidade de carga (coulombs) que flui por unidade de tempo (segundos) (BARRY, 1991).

A ponderação no que concerne ao conceito de corrente elétrica deve-se a necessidade do profissional determinar, programar e modular a corrente que melhor se adequa ao seu objetivo terapêutico. Neste caso, por exemplo, o fonoaudiólogo deverá determinar a utilização da eletroestimulação como recurso adjuvante à sua intervenção, avaliando o quadro clínico e hipótese diagnóstica de um indivíduo, assim como considerar a sua patologia de base. Estas considerações iniciais são indispensáveis para o raciocínio clínico de como se encontra a musculatura alvo da sua terapia e qual corrente elétrica proporcionaria maior benefício fisiológico, e conseqüentemente, a melhora da funcionalidade do músculo.

De uma forma geral, as correntes usadas na eletroterapia clínica contemporânea pode ser dividida em três tipos: as contínuas, as alternadas e as pulsadas (BRASILEIRO; CASTRO; PARIZOTTO, 2002). A corrente contínua (CC) ou direta (historicamente conhecida como corrente galvânica) é a corrente elétrica que flui em uma única direção por aproximadamente um segundo ou mais (ALON, 2003). Contudo, conforme Brasileiro, Castro e Parizotto (2002), este tipo de corrente não é aplicada aos programas de EENM. A corrente alternada (CA), é uma corrente de fluxo bidirecional contínuo de partículas carregadas, ou seja, os íons corporais movimentam-se em uma direção e quando há a reversão do campo elétrico, eles retomam suas posições originais (BRASILEIRO; CASTRO; PARIZOTTO, 2002). Por fim, tem-se a corrente pulsada (CP), amplamente utilizada nos programas de EENM, sendo definida como um fluxo uni ou bidirecional de partículas carregadas que periodicamente são interrompidas, por um período de tempo finito (BRASILEIRO; CASTRO; PARIZOTTO, 2002).

Na Fonoaudiologia, as correntes mais estudadas são definidas como corrente TENS e FES. A corrente TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation), que significa estimulação elétrica nervosa transcutânea. Segundo Santos (2021), a corrente TENS estimula as fibras nervosas de grande diâmetro e essa ativação desencadeia, ao nível central, os sistemas analgésicos descendentes de caráter inibitório, causando no paciente uma sensação de redução de dor e relaxamento muscular. Trata-se de um recurso não invasivo, seguro, utilizado no combate à dor em diversos casos clínicos e tem efeito sobre o quadro de fadiga e redução da hiperatividade muscular (SANTOS, 2021). Além da corrente TENS, os fonoaudiólogos costumam se beneficiar dos efeitos da corrente FES. A corrente FES (Functional

Electrical Stimulation), que significa estimulação elétrica funcional, constitui um recurso eletroterapêutico que promove contração muscular com objetivos funcionais (SANTOS, 2021). De acordo com Santos (2021) essa corrente é excitomotora, isto é, sua aplicação na clínica acontece em casos onde os músculos podem estar paralisados ou enfraquecidos decorrente de uma lesão na altura do neurônio motor superior, como os traumas raquimedulares, derrames, paralisia cerebral, dentre outros acometimentos neuronais.

Além dos benefícios já citados, Guimarães, Furkim e Silva (2010) salientam em sua revisão bibliográfica que a eletroestimulação neuromuscular (EENM) apresentou resultados quando utilizadas em pacientes com disfagia orofaríngea. A EENM terapêutica foi proposta como uma opção de tratamento para a disfagia orofaríngea, demonstrando benefícios para disfágicos pós acidente vascular encefálico (AVE), pós-radioterapia, em pacientes com xerostomia, tensões e dores, com resultados favoráveis para o aumento na qualidade vocal e na deglutição desta população (GUIMARÃES; FURKIM; SILVA, 2010). Cielo et al. (2014) infere que eletroterapia transcutânea é uma das prescrições de recurso terapêutico para auxiliar em casos de síndrome de tensão musculoesquelética, musculatura laríngea extrínseca e postura corporal. Outrossim, Santos (2021) evidencia que nos Estados Unidos a estimulação neuromuscular é usada desde a década de 90 quando a FDA (*Food and Drug Administration*) aprovou o seu uso para promover a movimentação supra-hióidea laríngea e favorecer a contração dos grupos musculaturas envolvidas diretamente com a deglutição.

Em vista de tantos benefícios proporcionados pela EENM, a literatura científica avança para a definição dos melhores parâmetros de aplicação deste recurso. Posto isto, faz-se necessário explorar cada um destes parâmetros e os seus impactos no entendimento da utilização da eletroterapia como recurso terapêutico adjuvante às terapias convencionais. Doucet, Lam e Griffin (2012), definem a frequência como primeiro parâmetro a ser compreendido, de tal forma que conceitualmente a frequência é descrita como os pulsos produzidos por segundo durante a estimulação e é expressa em unidades de *Hertz* (Hz). As frequências de estimulação elétrica utilizadas podem variar amplamente dependendo dos objetivos da tarefa ou intervenção (DOUCET; LAM; GRIFFIN, 2012). O estudo de Doucet, Lam e Griffin (2012) trazem que frequências mais altas são em geral mais confortáveis, pois a

resposta da força é suavizada e tem um efeito de formigamento, entretanto as frequências mais baixas provocam um efeito de batida em que os pulsos individuais gerados pelo aparelho podem ser distinguidos.

A frequência também está diretamente correlacionada com o *ramping*, que consoante a Doucet, Lam e Griffin (2012) é a gradação da estimulação até a frequência e intensidade desejadas para conforto do paciente. O tempo de rampa é designado como o período de tempo desde o início da estimulação até o início efetivo da frequência desejada, e é utilizado nas aplicações clínicas em que os tónus musculares aumentados do paciente cria resistência contra o movimento estimulado (DOUCET; LAM; GRIFFIN, 2012). Outro parâmetro a ser definido é a largura ou duração do pulso, que Doucet, Lam e Griffin (2012) definem como o período de tempo de um único pulso. Para Gonnelli et al. (2021) é um parâmetro que desempenha papel fundamental na determinação das características de ativação muscular, na proporção que maiores larguras de pulso requerem menor intensidade de EENM para ativar os nervos motores periféricos e alcançar uma saída de força desejada.

Ademais, Taylor, Fornusek e Ruys (2018) expõem em seu estudo um parâmetro denominado ciclo de trabalho, uma medida grafada em proporção ou em porcentagem que indica o tempo de estimulação em termos de *on* (ligado) ou *off* (desligado). Ciclos de ligar e desligar (estimulação intermitente) é uma prática comum para preservar o desenvolvimento da força e, simultaneamente, aumentar o conforto para o paciente (DOUCET; LAM; GRIFFIN, 2012). Enfim, tem-se a amplitude/intensidade, parâmetro ao qual Doucet, Lam e Griffin (2012), apontam como responsável por gerar fadiga, por ser caracterizada como a força de corrente que é administrada (geralmente relatada em miliamperes - mA). Quanto maior a intensidade, mais forte o efeito despolarizante nas estruturas subjacentes aos eletrodos; intensidades mais altas podem provocar aumento de na força e, conseqüentemente, ganhos de força são encontrados após a aplicação de programas de estimulação elétrica (DOUCET; LAM; GRIFFIN, 2012).

A manipulação e união destes parâmetros provoca diferentes efeitos fisiológicos no tecido muscular esquelético. Isso posto, frisa-se a necessidade de explorar a fisiologia por trás desta terapêutica e o motivo pelo qual seus efeitos têm sido tão bem recebidos pelos profissionais que atuam com a reabilitação de estruturas

musculares esqueléticas e de funções essenciais associadas a elas. Nessa perspectiva, Bergquist et al. (2011) analisa que a estimulação elétrica neuromuscular gera contrações a partir da despolarização dos axônios abaixo dos eletrodos estimulantes. A despolarização dos axônios motores produz contrações por sinais que viajam do local de estimulação até o músculo - via periférica (BERGQUIST et al., 2011). Guo et al. (2021) destaca que a medida da eficácia da EENM em termos de seu mecanismo de ação sobre o sistema nervoso periférico e a junção neuromuscular, e múltiplas adaptações moleculares em nível de fibra única não é bem descrita. Contudo, as contrações involuntárias repetidas aumentam os níveis de atividade das enzimas oxidativas, aumentam a capilarização da fibra e podem influenciar a conversão do tipo de fibra (GUO et al., 2021).

Apesar de ainda não estarem bem definidas os mecanismos que permeiam a aplicação da estimulação elétrica, ainda é possível observar alguns estudos que se concatenam em relação aos efeitos fisiológicos desta tecnologia. Dacko (2003), Bergquist et al. (2011) e Sillen et al. (2013) descrevem em seus estudos que a EENM envolve a aplicação de eletrodos sobre a pele visando pontos motores dos músculos-alvo, e a estimulação elétrica advinda destes eletrodos acarreta na despolarização das placas motoras terminais através do nervo motor e, por sua vez, provocam contrações musculares esqueléticas. Dean, Yates e Collins (2007) fazem destaque ao fato da EENM gerar contrações através de mecanismos periféricos e centrais. A ativação direta dos axônios motores (mecanismo periférico) recruta unidades motoras em uma ordem não natural, com fibras musculares fatigáveis muitas vezes ativadas precocemente nas contrações (DEAN; YATES; COLLINS, 2007). Outrossim, as ativações dos axônios sensoriais podem produzir contrações através de um mecanismo central, fornecendo entrada sináptica excitatória para neurônios espinhais que recrutam unidades motoras na ordem natural (DEAN; YATES; COLLINS, 2007).

Em resumo, Wergzyk et al. (2017) evidencia que, do ponto de vista neuromuscular, as contrações isométricas induzidas pela EENM podem surgir da ativação direta dos axônios motores (via eferente), assim como do recrutamento de neurônios motores na medula espinhal através da despolarização dos axônios sensoriais (via aferente). Ainda conforme Wergzyk et al. (2017), os parâmetros da EENM, como intensidade de estimulação, frequência de pulso e duração do pulso, irão direcionar a contribuição relativa das vias eferentes e aferentes para a produção

de força. Insausti-Delgado et al. (2020) e Wergzyk et al. (2017) apontam para a atividade produzida pela EENM em diversas estruturas cerebrais, ao passo que é possível identificar padrões de ativações generalizadas, incluindo áreas sensório-motoras e estruturas subcorticais, de acordo com o padrão de ativação de movimentos voluntários. Assim, as investigações de ressonância magnética funcional revelaram um padrão de ativação cerebral generalizado em resposta à EENM de diferentes grupos musculares, incluindo os córtices motor primário e sensorial contralateral, área somatossensorial secundária, área motora suplementar e córtex pré-frontal (WERGZYK et al., 2017). Carson e Buick (2021) inteira a ideia expondo que ao avaliar uma sucessão de neuroimagens, pode-se supor que a estimulação elétrica de aferentes periféricos envolve circuitos no córtex somatossensorial primário (dentro do giro pós-central) a segunda área somatossensorial (dentro do opérculo parietal do teto do sulco lateral) e o córtex parietal posterior.

Considerando este mecanismo de estimulação neural, Mancinelli et al. (2019) salientam que as adaptações neurais como mudanças induzidas pelo treinamento na função do sistema nervoso e *feedback* aferente para a medula espinhal durante as contrações desencadeadas pela EENM explicariam, pelo menos em partes, o aumento da força muscular. Contudo, a aplicação da EENM tem demonstrado outras modificações que favorecem o aumento da força muscular. Mancinelli et al. (2019) em seu estudo elucida a capacidade que a EENM possui de induzir a melhora funcional muscular sem aumentar o estresse oxidativo muscular, bem como observou ativação da via miogênica e desvio para fenótipo oxidativo em miofibrilas do tipo II. Em outro estudo realizado por Toth et al. (2020) com objetivo de avaliar o efeito da EENM sobre o tamanho e a função do músculo esquelético em pacientes com câncer de mama em tratamento quimioterápico, é possível identificar na análise dos autores que a EENM tem possibilitado melhorias na qualidade de vida de pacientes com câncer, além de propiciar melhora sobre a força muscular e função física em pacientes no qual o tratamento clássico é complexo.

De forma mais ampla, como a EENM pode aumentar a ativação neuromuscular, seus efeitos para a melhora da força e função podem estar relacionados à melhora da ativação neural, em vez de efeitos para aumentar o tamanho muscular e/ou a função (TOTH et al., 2020). Ademais, os resultados da pesquisa de Toth et al. (2020) mostraram que a estimulação elétrica neuromuscular promoveu hipertrofia das fibras

musculares, principalmente devido aos efeitos nas fibras tipo IIa, além de ser verificado uma tendência de deslocamento de fibras do tipo II para um fenótipo mais lento, enquanto que o grupo controle deste mesmo estudo (não submetidos a EENM, mas à um teste basal) apresentaram um direcionamento de fenótipo mais rápido. Apesar dos benefícios em promover a hipertrofia das fibras musculares e a capacidade de viabilizar transições de tipo de fibra semelhantes ao exercício resistido, o estudo frisa a necessidade de se compreender os efeitos da EENM na estrutura e função muscular (TOTH et al., 2020).

Em estudo experimental, voltado para o tratamento dos distúrbios da deglutição, Kletzien et al. (2018) utilizou a EENM para examinar os efeitos da frequência de estimulação na plasticidade muscular da língua em um modelo de rato envelhecido. O estudo conduzido por Kletzien e colaboradores, avaliou 86 ratos jovens, de meia-idade e idosos, sendo eles selecionados para estimulação bilateral do nervo hipoglosso a uma frequência de 10 ou 100 Hz, durante 5 dias da semana, por 8 semanas. As propriedades contráteis musculares e a composição da cadeia pesada de miosina (MyHC) foram determinadas para os músculos hioglosso e estiloglosso (KLETZIEN et al., 2018). A amplitude de corrente utilizada variou entre 300 - 500 μ A para cada rato. A duração do tratamento diário também variou, sendo aplicado por 30 minutos em ratos do grupo de 10 Hz e 10 min para o grupo de 100 Hz. Diferenças na duração do tratamento foram empregadas para normalizar a extensão da fadiga muscular dentro de uma sessão de treinamento (KLETZIEN et al., 2018).

Quanto aos resultados após as 8 semanas de treinamento, Kletzien e colaboradores evidenciaram que os grupos de meia-idade e idosos apresentaram tempos de contração mais longos do que o grupo de adultos jovens. Os principais efeitos para a condição foram encontrados para o tempo de contração, tempo de meio decaimento e razão de fadiga (KLETZIEN et al., 2018). O grupo de 100 Hz apresentou tempos de contração maiores que os do grupo controle, bem como apresentou maior resistência à fadiga quando comparados aos outros dois grupos. Quanto às isoformas de cadeia pesada de miosina, Kletzien et al. (2018) aponta que no músculo hioglosso houve maior proporção de fibras do tipo IIa e menor do tipo IIb quando comparados idosos versus jovens e de meia-idade. Nos grupos de estimulação 100 Hz versus controle e 10 Hz, notou-se aumento das fibras tipo IIa e IIx e menos fibras do tipo IIb.

Em contrapartida, no músculo estiloglosso, a proporção de fibras Ila aumentou nos grupos de meia-idade e idoso, quando comparados com os ratos jovens (KLETZIEN et al., 2018). Com o tratamento de estimulação de 10 Hz e 100 Hz, a proporção de fibras do tipo Ila e fibras do tipo I isoformas aumentaram e Iix diminuiu, quando comparados com o grupo controle. Ademais, Kletzien et al. (2018) verificou diminuição nas fibras tipo IIb com tratamento de 100 Hz em relação às condições de estimulação de 10 Hz e grupo controle.

Em suma, os resultados demonstraram que a estimulação elétrica neuromuscular pode ser um recurso promissor para o tratamento e reabilitação da disfagia, onde a melhora da resistência à fadiga é um alvo terapêutico (KLETZIEN et al., 2018). O estudo traz como principal achado, bem como nas literaturas anteriores, a característica que a EENM possui em realizar a transição de uma contração rápida para uma contração mais lenta, o aumento da resistência à fadiga contrátil e também a modificação nos fenótipos dos músculos hioglosso e estiloglosso, independentemente da frequência de estimulação implementada durante o período de 8 semanas.

Em outro estudo realizado por Johnson e Connor (2011) foi identificado relações entre a EENM e alterações na relação pré e pós-sináptica na região da junção neuromuscular. Johnson e Connor (2011) fizeram uma análise bidimensional e tridimensional da morfologia da junção neuromuscular no músculo genioglosso. Os achados foram comparados em ratos submetidos a 8 semanas de terapia com EENM na região do nervo hipoglosso e ratos do grupo controle que não foram submetidos à terapia de estimulação elétrica. O desenho experimental foi baseado na avaliação de 50 ratos divididos em três grupos etários: adulto jovem, meia-idade e idosos. Como parte de um estudo maior, ratos dentro de cada faixa etária foram aleatoriamente alocados em um grupo que recebeu 8 semanas de estimulação e um grupo que não recebeu estimulação elétrica (JOHNSON; CONNOR, 2011). O protocolo de estimulação baseou-se na utilização de um paradigma de exercício que simulasse um exercício clínico de fortalecimento da musculatura de língua.

A estimulação crônica foi administrada 5 dias por semana durante 8 semanas; cada repetição consistiu em um trem de pulso de 1 segundo a 40 Hz seguido de 1 segundo de descanso, com intervalos de 2 minutos entre as séries (JOHNSON;

CONNOR, 2011). Conforme, Johnson e Connor (2011), pulsos de estimulação de 0,2 ms de duração foram liberados em intensidade supramáxima para recrutar todas as fibras musculares inervadas pelo nervo hipoglosso (geralmente 300 - 500 μ A). A intensidade supramáxima foi determinada empiricamente para cada animal, encontrando-se a corrente na qual a força máxima da língua foi atingida, medida por um transdutor de força fixado à ponta da língua, e aumentando gradualmente a corrente até 1,5 vezes a intensidade máxima (JOHNSON; CONNOR, 2011). Após o programa de 8 semanas os animais foram anestesiados e eutanasiados, o músculo genioglosso foi dissecado e reservado para análise.

Foi verificado que a estimulação crônica pareceu restaurar a relação entre a morfologia pré e pós-sináptica em animais do grupo de idosos para um estado semelhante ao encontrado em adultos jovens e animais de meia-idade (JOHNSON; CONNOR, 2011). Entretanto, não houve após a aplicação da EENM, alterações significativas no tamanho das placas motoras terminais ou a relação entre a placa motora e os volumes receptores em animais adultos jovens ou de meia idade. Portanto, assim como as alterações relacionadas à idade na morfologia da junção neuromuscular, os efeitos da EENM variaram dentro de diferentes grupos etários (JOHNSON; CONNOR, 2011). Johnson e Connor (2011) explicitam que o aumento da dobra pós-sináptica amplifica o efeito da acetilcolina na ativação muscular, dessa forma, é plausível indicar que a EENM possa resultar no aumento do dobramento pós-sináptico, conseqüentemente, melhorando a eficiência sináptica e reduzindo a média e a variabilidade do volume da placa motora terminal identificado nos ratos do grupo de idosos.

O aumento da eficiência sináptica pode facilitar as contrações musculares e reduzir a fadiga (JOHNSON; CONNOR, 2011). Em síntese, o estudo de Johnson e Connor (2011), demonstra que a EENM pode ser um recurso terapêutico viável e complementar à redução de alterações relacionadas ao envelhecimento, visto que a avaliação da morfologia da junção neuromuscular no músculo extrínseco da língua pós estimulação demonstrou maior eficiência sináptica e restauração entre os volumes pré e pós-sinápticos. Não obstante, os autores alertam que a eficácia da reabilitação por meio da EENM está ligada à associação entre exercícios voluntários e aplicação da estimulação elétrica, do que utilizar apenas a estimulação isoladamente (JOHNSON; CONNOR, 2011).

À face do exposto, foi possível verificar dos artigos selecionados, que a estimulação elétrica é uma modalidade de reabilitação eficaz para melhorar a força muscular, fluxo sanguíneo, diminuição da atrofia muscular, cicatrização do tecido e diminuição da dor. Todavia, estudos que justifiquem estas alterações em níveis moleculares, histológicos, morfológicos e fisiológicos ainda são recentes e em processo de desenvolvimento experimental com animais. Apesar disso, os estudos experimentais apontam benefícios e argumentos bem fundamentados dos mecanismos que justificam a efetividade da estimulação elétrica neuromuscular como recurso terapêutico. É perceptível a carência de estudos voltados para às ciências fonoaudiológicas, entretanto, o embasamento teórico necessário para o entendimento desta tecnologia está sendo consolidado. Há, agora, a necessidade de se iniciar pesquisas e estudos randomizados em que se verifiquem os aspectos fisiológicos no organismo humano e, empregar esses conhecimentos à aplicação clínica fonoaudiológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALON, G. Os Princípios da Estimulação Elétrica. In: NELSON, R. M. HAYES, K. W.; CURRIER, D. P. **Eletroterapia Clínica**. 3. ed. Barueri: Manole, 2003. Cap. 3. p. 55-142.
2. ASSORATGOON, I. et al. Sensory neuromuscular electrical stimulation for dysphagia rehabilitation: a literature review. **Journal Of Oral Rehabilitation**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 157-164, 28 nov. 2022. Wiley.
3. BARRY, D. T. AAEM minimonograph #36: Basic concepts of electricity and electronics in clinical electromyography. **Muscle & Nerve**, v. 14, n. 10, p. 937–946, out. 1991.
4. BEHLAU, M. et al. Reducing the gap between science and clinic: lessons from academia and professional practice - part b. **Codas**, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 1-13, 2022.
5. BERGQUIST, A. J. et al. Neuromuscular electrical stimulation: implications of the electrically evoked sensory volley. **European journal of applied physiology**, v. 111, n. 10, p. 2409–2426, 2011.
6. BRASILEIRO, J. S. CASTRO, C. E. S.; PARIZOTTO, N. A. Parâmetros manipuláveis clinicamente na estimulação elétrica neuromuscular. **Fisioterapia Brasil**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 16-24, 15 jan. 2002. Convergences Editorial.
7. CALDAS, A. S. C. et al. Motor imagery and swallowing: a systematic literature review. **Revista Cefac**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 247-257, abr. 2018.
8. CARSON, R. G.; BUICK, A. R. Neuromuscular electrical stimulation-promoted plasticity of the human brain. **The journal of physiology**, v. 599, n. 9, p. 2375–2399, 2021.
9. DACKO, S. Revisão da fisiologia. In: NELSON, R. M. HAYES, K. W.; CURRIER, D. P.. **Eletroterapia Clínica**. 3. ed. Barueri: Manole, 2003. Cap. 1. p. 03-14.
10. DEAN, J. C.; YATES, L. M.; COLLINS, D. F. Turning on the central contribution to contractions evoked by neuromuscular electrical stimulation. **Journal of applied physiology** (Bethesda, Md.: 1985), v. 103, n. 1, p. 170–176, 2007.
11. DOUCET, B.M.; LAM, A.; GRIFFIN, L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. **Yale J Biol Med**, v. 85, n. 2, p. 201-215, 2012.
12. GONNELLI, F. et al. Effects of NMES pulse width and intensity on muscle mechanical output and oxygen extraction in able-bodied and paraplegic individuals. **European journal of applied physiology**, v. 121, n. 6, p. 1653–1664, 2021.
13. GUIMARÃES, B.T. L.; FURKIM, A. M.; SILVA, R. G. Eletroestimulação neuromuscular na reabilitação da disfagia orofaríngea. **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 615-621, dez. 2010.

14. GUO, Y. et al. Molecular and neural adaptations to neuromuscular electrical stimulation; Implications for ageing muscle. **Mechanisms of ageing and development**, v. 193, n. 111402, p. 111402, 2021.
15. INSAUSTI-DELGADO, A. et al. Intensity and dose of neuromuscular electrical stimulation influence sensorimotor cortical excitability. **Frontiers in neuroscience**, v. 14, p. 593360, 2020.
16. JOHNSON, A. M.; CONNOR, N. P. Effects of electrical stimulation on neuromuscular junction morphology in the aging rat tongue: Nerve Stimulation and NMJ Morphology. **Muscle & nerve**, v. 43, n. 2, p. 203–211, 2011.
17. KLETZIEN, H. et al. Effect of neuromuscular electrical stimulation frequency on muscles of the tongue: Stimulation Frequency Aging Tongue Muscle. **Muscle & nerve**, v. 58, n. 3, p. 441–448, 2018.
18. MANCINELLI, R. et al. Neuromuscular Electrical Stimulation induces skeletal muscle fiber remodeling and specific gene expression profile in healthy elderly. **Frontiers in physiology**, v. 10, p. 1459, 2019.
19. MATSUO, K.; PALMER, J. B. Anatomy and Physiology of Feeding and Swallowing: normal and abnormal. **Physical Medicine And Rehabilitation Clinics Of North America**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 691-707, nov. 2008. Elsevier BV.
20. PANSARINI, A.C. et al. Deglutition of pasty and solid food: a critical review of the literature. **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 357-362, jan. 2012.
21. RAMSEY, Djc; SMITHARD, Dg. Assessment and management of dysphagia. **Hospital Medicine**, [S.L.], v. 65, n. 5, p. 274-279, maio 2004. Mark Allen Group.
22. SANTOS, J. K. O.. Aplicações da eletroestimulação e fotobiomodulação - laserterapia na prática clínica fonoaudiológica. In: CÉSAR, A. M.; LIMA, M. D. **Fundamentos e Práticas em Fonoaudiologia**. Rio de Janeiro: Thieme Revinter Publicações, 2021. Cap. 8. p. 57-63.
23. SILLEN, M. J. H. et al. Metabolic and structural changes in lower-limb skeletal muscle following neuromuscular electrical stimulation: a systematic review. **PloS one**, v. 8, n. 9, p. e69391, 2013.
24. TAYLOR, M. J.; FORNUSEK, C.; RUYS, A. J. Reporting for Duty: The duty cycle in Functional Electrical Stimulation research. Part I: Critical commentaries of the literature. **European journal of translational myology**, v. 28, n. 4, p. 7732, 2018.
25. TOTH, M. J. et al. Effect of neuromuscular electrical stimulation on skeletal muscle size and function in patients with breast cancer receiving chemotherapy. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)**, v. 128, n. 6, p. 1654–1665, 2020.
26. WEGRZYK, J. et al. Specific brain activation patterns associated with two neuromuscular electrical stimulation protocols. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 2742, 2017.
27. CIELO, C. A. et al. Síndrome de tensão musculoesquelética, musculatura laríngea extrínseca e postura corporal: considerações teóricas. **Revista Cefac**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 1639-1649, out. 2014.

CAPÍTULO 06 – APLICAÇÃO DA ELETROTERRAPIA NA PRÁTICA FONOAUDIOLÓGICA - ACHADOS DA LITERATURA

*Laura Davison Mangilli Toni
Fernanda Souza Lobo
Iasmim Claudino Doria
Milena Assis da Silva
Camila de Alencar Frois
Thiago Gloria de Almeida*

Embora tenhamos defendido ao longo deste livro que o uso da eletroterapia na atuação fonoaudiológica é carente de comprovação científica, não podemos deixar de finalizar essa importante reflexão trazendo informações condensadas sobre o que já se sabe e se apresenta na literatura arbitrada sobre o uso da técnica. Desta forma, neste último capítulo serão apresentados os resultados de estudos de conclusão de curso de discentes de graduação, em parceria com discentes de pós-graduação da Faculdade de Ceilândia da Universidade de Brasília, que juntos compõem um grupo de pesquisa da unidade denominado “Funcionalidade da Face”.

As especialidades de voz, motricidade orofacial e disfagia da ciência Fonoaudiológica possuem como foco de estudo o sistema estomatognático. Particularmente as especialidades de voz e disfagia apresentam como enfoque o aparelho fonador e a dinâmica da deglutição, considerando todas as suas características estruturais, neurológicas e funcionais. O sistema respiratório funciona como o ativador da voz, pois é através da pressão do fluxo de ar expirado, que passando pelas pregas vocais, vai provocar vibração, resultando na voz propriamente dita (SIQUEIRA et al., 2017). Qualquer comprometimento da função aérea pode vir a provocar um efeito direto sobre a fala e/ou sobre a voz do indivíduo. A tensão cervical por exemplo pode vir a causar disfonias comportamentais que são tratadas na terapia fonoaudiológica por meio do relaxamento laríngeo realizado por técnicas de manipulação digital da laringe e técnicas de suavização da produção e estabilização da emissão vocal (SANTOS et al., 2016).

A deglutição é uma função que necessita de uma sequência de eventos fisiológicos, algumas etapas ocorrem de forma simultânea e outras de forma

sequencial, onde os músculos orofaciais, faríngeos, laríngeos, respiratórios e esofágicos estão envolvidos (CALDAS et al., 2018). A disfagia está relacionada à alteração na deglutição, que impede a efetiva condução do bolo alimentar pelo trato gastro digestivo, afetando as diferentes fases da deglutição. Essas alterações podem ser de origem mecânica, neurogênica, senil ou psicogênica (RESENDE et al., 2015), e as consequências da disfagia podem ser desidratação, desnutrição, aspiração, asfixia, pneumonia e morte súbita (TAN et al., 2013).

A terapia fonoaudiológica miofuncional orofacial conforme definição da Classificação Brasileira de Procedimentos em Fonoaudiologia (CBPFa, 2010) tem como função a “habilitação e reabilitação morfológica e funcional das estruturas quanto à simetria, tonicidade, mobilidade, sensibilidade, diadocosinesia; dinâmica nas estruturas e funções de fala, sucção, mastigação, deglutição; dinâmica respiratória e articulação da fala”.

Associado a este contexto, a Eletroestimulação Neuromuscular (EENM) vem sendo citada como tendo um importante papel em vários segmentos na clínica da reabilitação, podendo ser usada para conseguir o aumento efetivo na força muscular; no tratamento das limitações da amplitude de movimento das articulações devido a restrições de tecidos moles ou fraqueza; para a redução da debilidade no desempenho neuromuscular minimizando a incapacidade associada à espasticidade; para a redução das debilidades de controle do movimento, nos músculos inativos; e para favorecer a criação de um feedback que maximize o desempenho muscular após exercícios de contração muscular voluntária (GUIRRO et al, 2008; GUIMARÃES et al., 2010).

No final de 2001, a fim de obterem a habilitação junto ao FDA para a liberação de um aparelho eletroestimulador, de uso específico para o tratamento da disfagia, pesquisadores apresentaram um amplo estudo sobre a utilização da EENM no tratamento da disfagia, desenvolvido entre 1997 e 2000, demonstrando ser a EENM eficiente e segura para esta modalidade terapêutica. Os estudos foram monitorados e revisados com 892 pacientes, em diversas faixas etárias, de ambos os gêneros e com diversos diagnósticos, dos quais 58% apresentavam disfagia grave. Os pacientes foram estimulados em três condições de terapia: sensorial (E1), motor (E2) e com estimulação térmica (ET). Os primeiros 157 pacientes foram randomizados para

grupos E1 e ET, sendo os 735 restantes distribuídos em qualquer um dos grupos E1 e E2. Os pacientes foram tratados até atingirem deglutição funcional ou até quando não houvesse mais possibilidades de mudanças benéficas aos indivíduos. Os pacientes dos grupos E1 e E2 somaram 98,4% de sucesso em comparação com 32,7% do grupo ET. Nos pacientes que apresentaram disfagia grave e que foram atendidos com EENM, o índice de eficácia chegou a 97,5% (FREED et al., 2001).

No contexto do controle da dor, a literatura aponta que a estimulação elétrica nervosa transcutânea vai promover a melhora da vascularização e analgesia na região aplicada (GUIRRO et al., 2008 e SILVA et al. 2018).

A EENM foi usada em um grupo de 23 pacientes com quadro de disfagia moderada e grave, sendo 11 homens e 12 mulheres, com idades variando entre 37 e 87 anos, com capacidade de elevação laríngea reduzida e que não apresentaram bons resultados com a terapia convencional para disfagia. Foi aplicada a EENM em sessões diárias de até quatro horas de estimulação contínua e 21 casos chegaram até ao final do programa. O resultado foi considerado satisfatório para todos os pacientes que deglutiram 3 ml de água sem penetração ou aspiração laringotraqueal. Os autores concluíram que a EENM pode ser um recurso útil para pessoas com disfagia moderada, por ser uma técnica não invasiva e por possibilitar maior facilitação da deglutição, já que as contrações provocadas pela EENM aumentam a excursão laríngea durante a deglutição. A EENM reduz o tempo de uso da sonda nasogástrica e da gastrostomia, bem como o tempo de internação hospitalar (LEELAMANIT et al., 2002).

A partir de um estudo retrospectivo foram analisados os resultados da aplicação da EENM em 80 pacientes com disfagia. Destes, 40 pacientes realizaram tratamento com EENM e 40 pacientes foram submetidos à terapia tradicional para disfagia. A etiologia da disfagia incluía insuficiência respiratória, AVE e outras condições crônicas. A terapia tradicional consistiu na combinação de exercício terapêutico, alterações na dieta e/ou consistência e de manobras voluntárias de deglutição. A EENM foi administrada a uma frequência de 80Hz e a intensidade ideal foi determinada quando se identificava uma resposta motora visualmente ou verbalmente. Foi usada escala de grau de comprometimento para disfagia orofaríngea pré e pós-fonoterapia. Os resultados indicaram que ambos os grupos

mostraram mudanças benéficas na deglutição após o tratamento. Os pacientes que se submeteram a EENM demonstraram mais resultados positivos do que o grupo de terapia tradicional nos aspectos relacionados à biomecânica da deglutição. Além disso, os indivíduos que receberam EENM necessitaram de menor tempo de internação do que aqueles que receberam terapia tradicional de deglutição (BLUMENFELD et al., 2006).

Os efeitos fisiológicos da EENM sobre a eficácia da deglutição foram avaliados em 11 pacientes disfágicos, com distintas etiologias, randomizados para receberem EENM em nível sensorial ou motor. Foi avaliada a movimentação do osso hióide e da laringe durante a EENM máxima e em condição de repouso; além disso, foi utilizada uma escala de avaliação da penetração laríngea e da aspiração laringotraqueal, especialmente criada para este estudo. O osso hióide apresentou descida máxima durante a EENM, resultando em aumento na aproximação hiolaríngea. Os autores não encontraram alterações significativas durante as deglutições, quer na estimulação em nível sensorial quer na estimulação motora (LUDLOW et al., 2007).

De forma geral, os estudos quanto a utilização do TENS ainda são limitados e restritos a uma fase que seria preliminar ou inicial à realização da terapia fonoaudiológica, onde abordam o uso desse recurso no relaxamento da musculatura laríngea (SIQUEIRA et al., 2017) e na reabilitação da disfagia orofaríngea mecânica (GUIMARÃES et al., 2010; CRARY et al., 2014; BLUMENFELD et al., 2006).

O uso da EENM na reabilitação da disfagia orofaríngea, bem como a eficácia encontrada na reabilitação das distintas populações disfágicas, ainda merece investigação, no entanto, os estudos atuais elegeram parâmetros como a biomecânica, o grau de comprometimento da disfagia, o nível de ingestão oral, a autopercepção e a qualidade de vida como itens importantes a serem mensurados pré e pós-fonoterapia com EENM. Até o presente, as pesquisas apontaram mudanças positivas após a aplicação da EENM, demonstrando possibilidade para o aumento da movimentação hiolaríngea, diminuição no tempo de trânsito faríngeo, redução da xerostomia nos casos de radioterapia e aumento do nível de ingestão oral (GUIMARÃES et al., 2010).

Humbert et al. (2012) defende que a Fonoaudiologia pode levar vantagem e apresentar resultados satisfatórios com a técnica de eletroestimulação. Estudos comprovam que há resultados favoráveis através do uso da eletroestimulação para melhoria de pacientes nas clínicas de fonoaudiologia. À exemplo disso, alguns estudos comparam os efeitos da eletroestimulação no tratamento da disfagia com a terapia convencional.

No artigo de Fowler e colaboradores (2011) os pacientes foram divididos em grupo experimental (GE) tratados com terapia tradicional associada à EENM e grupo controle (GC) tratado com terapia tradicional, e como resultado demonstrou que ambos os grupos foram beneficiados com as duas abordagens terapêuticas, porém não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre os dois métodos utilizados. Em contrapartida, nos estudos de Bluenfeld e colaboradores (2006) e de Kiger e colaboradores (2006) foi identificado que a terapia associada à EENM apresenta resultado superior à terapia tradicional, trazendo aumento da ingestão por via oral, diminuição do grau de disfagia e redução de aspiração laringotraqueal e retorno a via oral. Assim, de acordo com os autores, a terapia tradicional associada à eletroestimulação traz mais benefícios aos pacientes se comparada à terapia tradicional isolada.

Nas áreas de Neonatologia e Pediatria, a disfagia vem assumindo uma importância cada vez maior, visto que dentre as necessidades básicas de uma criança ao nascer e se desenvolver está a respiração e a alimentação. Desta forma, qualquer distúrbio na coordenação respiração-deglutição ou no controle neuromuscular do alimento no caminho até o estômago pode desencadear, rapidamente, uma situação de risco como déficits nutricionais (desidratação e desnutrição), pneumonia e morte (PAULA *et al.*, 2002).

O uso da EENM em crianças foi relatado por um estudo com nível de evidência 2B segundo normativas da escala Oxford (CHRISTIAANSE *et al.*, 2003), e nele participaram 30 crianças que já estavam em terapia convencional, porém sem resultados satisfatórios. As crianças receberam o tratamento com EENM por uma hora ininterrupta, diariamente, durante aproximadamente 22 dias, e destas, 17 apresentaram benefícios na recuperação parcial da deglutição, sendo que cinco alcançaram recuperação completa.

Os estudos envolvendo a população pediátrica demonstraram que a EENM é um recurso terapêutico que oferece benefícios na reabilitação da disfagia. Novos estudos com maiores níveis de evidência científica envolvendo a população pediátrica devem ser realizados com a finalidade de se determinar um tempo ideal de aplicação e a frequência do uso da EENM na reabilitação destes pacientes. Com isso, é possível perceber que ainda não há um consenso acerca dos benefícios da técnica de eletroestimulação neuromuscular no tratamento da disfagia, entretanto, com maiores estudos a técnica pode ser um importante avanço no tratamento das desordens de deglutições em crianças.

O músculo esquelético pode ter sua força muscular aumentada por quase qualquer estratégia, desde que a frequência de exercícios e intensidade de carga excedam suficientemente o nível normal ou atual de ativação daquele músculo (KOMI, 1986). A estimulação elétrica manipula o padrão de saída da atividade dos motoneurônios e somam-se com a atividade inerente dos músculos da região estimulada, em comparação, à estimulação por meio de exercícios voluntários as unidades motoras são ativadas individualmente de modo gradual e hierárquico (KITCHEN, 2001).

Para que uma nova abordagem terapêutica seja aceita, deve pelo menos ter o mesmo nível de benefício que as terapêuticas já comprovadas e utilizadas. Nos últimos anos, alguns ensaios clínicos comparando o TENS com a terapia fonoaudiológica tradicional nas áreas de voz (SIQUEIRA et al., 2017; FOWLER et al., 2011) e disfagia (BLUMENFELD et al., 2006; ORTEGA et al., 2016) foram publicados, mas estes artigos relataram resultados discrepantes, no que se refere aos desfechos relacionados aos parâmetros acústico, qualidade vocal, queixa de dor, e gravidade da disfagia. A compreensão da utilização da TENS como estratégia terapêutica nas áreas de voz e disfagia se faz necessária

A partir do produto final deste estudo, espera-se que estudantes de graduação e fonoaudiólogos possam se embasar teoricamente em relação ao uso da eletroterapia como recurso terapêutico adjuvante à terapia convencional. Ademais, que esta pesquisa possa dar início a uma cadeia de estudos acerca da eletroterapia, pois, como já destacado anteriormente, há poucos estudos que abordam os processos fisiológicos desta tecnologia no contexto de terapêutica fonoaudiológica. Além disso,

visa-se ampliar e implantar a ideia de que o estudo de tecnologias complementares deve ser iniciado ainda durante a graduação em Fonoaudiologia, visto que este conhecimento pode ser fundamental e um diferencial para o egresso do curso que almeja um espaço no mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLUMENFELD, L. et al. Transcutaneous electrical stimulation versus traditional dysphagia therapy: a nonconcurrent cohort study. **Otolaryngology--head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery**, v. 135, n. 5, p. 754–757, 2006.
2. CALDAS, A. S. C. et al. Motor imagery and swallowing: a systematic literature review. **Revista CEFAC**, v. 20, n. 2, p. 247–257, 2018.
3. CHRISTIAANSE, M.; GLYNN, J.; BRADSHAW, J. Experience with transcutaneous electrical stimulation: A new treatment option for the management of pediatric dysphagia. **NCSHA**, 2003.
4. CONSELHOS FEDERAL E REGIONAIS DE FONOAUDIOLOGIA. **Classificação Brasileira De Procedimentos em Fonoaudiologia**. [s.l.] CBPFa, 01/2010. Disponível em: <<<http://fonoaudiologia.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Classificacao-Brasileira-de-Procedimentos-em-Fonoaudiologia-3-Edicao.pdf>>>.
5. CRARY, M. A.; CARNABY, G. D. Adoption into clinical practice of two therapies to manage swallowing disorders: exercise-based swallowing rehabilitation and electrical stimulation. **Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery**, v. 22, n. 3, p. 172–180, 2014.
6. FOWLER, L. P.; GORHAM-ROWAN, M.; HAPNER, E. R. An exploratory study of voice change associated with healthy speakers after transcutaneous electrical stimulation to laryngeal muscles. **Journal of voice: official journal of the Voice Foundation**, v. 25, n. 1, p. 54–61, 2011.
7. FREED, M. L. et al. Electrical stimulation for swallowing disorders caused by stroke. **Respiratory care**, v. 46, n. 5, p. 466–474, 2001.
8. GUIMARÃES, B.; FURKIM, A. M.; SILVA, R. G. Neuromuscular electrical stimulation in the rehabilitation of oropharyngeal dysphagia. **Rev Soc Bras Fonoaudiol**, v. 15, n. 4, p. 615–621, 2010.
9. GUIRRO, R. R. DE J. et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation in dysphonic women. **Pro-fono: revista de atualizacao cientifica**, v. 20, n. 3, p. 189–195, 2008.
10. HUMBERT, I. A. et al. Electrical stimulation and swallowing: how much do we know? **Seminars in speech and language**, v. 33, n. 3, p. 203–216, 2012.
11. KIGER, M.; BROWN, C. S.; WATKINS, L. Dysphagia management: an analysis of patient outcomes using VitalStim therapy compared to traditional swallow therapy. **Dysphagia**, v. 21, n. 4, p. 243–253, 2006.
12. KITCHEN S. ELECTROTHERAPY - EVIDENCE-BASED PRACTICE. 11a ED. CHURCHILL LIVINGSTONE (ED.). Electrotherapy - Evidence-Based Practice. 2001.
13. KOMI, P. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. **International journal of sports medicine**, v. 07, n. S 1, p. S10–S15, 1986.
14. LEELAMANIT, V.; LIMSAKUL, C.; GEATER, A. Synchronized electrical stimulation in treating pharyngeal dysphagia. **The Laryngoscope**, v. 112, n. 12, p. 2204–2210, 2002.
15. LUDLOW, C. L. et al. Effects of surface electrical stimulation both at rest and during swallowing in chronic pharyngeal Dysphagia. **Dysphagia**, v. 22, n. 1, p. 1–10, 2007.
16. ORTEGA, O. et al. A comparative study between two sensory stimulation strategies after two weeks treatment on older patients with oropharyngeal dysphagia. **Dysphagia**, v. 31, n. 5, p. 706–716, 2016.
17. PAULA, A. DE et al. Avaliação da disfagia pediátrica através da videoendoscopia da deglutição. **Revista brasileira de oto-rino-laringologia**, v. 68, n. 1, p. 91–96, 2002.
18. RESENDE, P. D. et al. Oropharyngeal dysphagia: analyses of Brazilians and Americans protocols of fluoroscopy. **Rev. CEFAC**, v. 17, n. 5, p. 1610–1619, 2015.

19. SANTOS, J. K. DE O. et al. Evaluation of electrostimulation effect in women with vocal nodules. **Journal of voice: official journal of the Voice Foundation**, v. 30, n. 6, p. 769.e1-769.e7, 2016.
20. SILVA, B. C. Aussie current in students with chronic neck pain: a randomized controlled trial. **BrJP**, p. 202–206, 2018.
21. SIQUEIRA, L. et al. Effects of laryngeal manual therapy (LMT) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in vokal folds diadochokinesis of dysphonic women: a randomized clinical trial. **CoDAS**, v. 29, n. 3, 2017.
22. TAN, C. et al. Transcutaneous neuromuscular electrical stimulation can improve swallowing function in patients with dysphagia caused by non-stroke diseases: a meta-analysis. **Journal of oral rehabilitation**, v. 40, n. 6, p. 472–480, 2013.