

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

VINÍCIUS MATHEUS SZYDLOSKI

AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA ESTABILIDADE APÓS AVANÇO MANDIBULAR
PELAS OSTEOTOMIAS MANDIBULARES DE OBWEGESER–DAL PONT E DE
PURICELLI UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS TRIDIMENSIONAIS

Porto Alegre

2023

VINÍCIUS MATHEUS SZYDLOSKI

AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA ESTABILIDADE APÓS AVANÇO MANDIBULAR
PELAS OSTEOTOMIAS MANDIBULARES DE OBWEGESER–DAL PONT E DE
PURICELLI UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS TRIDIMENSIONAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia, Clínica Odontológica/Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-faciais.

Orientadora: Profa. Dra. Deise Ponzoni

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Szydloski, Vinícius Matheus
AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA ESTABILIDADE APÓS AVANÇO
MANDIBULAR PELAS OSTEOTOMIAS MANDIBULARES DE
OBWEGESER-DAL PONT E DE PURICELLI UTILIZANDO ELEMENTOS
FINITOS TRIDIMENSIONAIS / Vinícius Matheus Szydloski.
-- 2023.
37 f.
Orientadora: Deise Ponzoni.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Odontologia, Programa
de Pós-Graduação em Odontologia, Porto Alegre, BR-RS,
2023.

1. Osteotomia mandibular. 2. Cirurgia ortognática.
3. Estabilidade. 4. Mandíbula. 5. Elementos finitos.
I. Ponzoni, Deise, orient. II. Título.

VINÍCIUS MATHEUS SZYDLOSKI

AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA ESTABILIDADE APÓS AVANÇO MANDIBULAR
PELAS OSTEOTOMIAS MANDIBULARES DE OBWEGESER–DAL PONT E DE
PURICELLI UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS TRIDIMENSIONAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia, Clínica Odontológica/Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-faciais.

Porto Alegre, 22 de maio de 2023.

Profa. Dra. Deise Ponzoni

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Martha Campos

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Jakson Manfredini Vassoler

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Marcos Antonio Torriani

Universidade Federal de Pelotas

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Consoladora.

Aos meus amados pais, Judite e Edison, pelo incentivo e amor incondicional e também por não medirem esforços para me ajudarem nos momentos de dificuldade.

Aos meus irmãos Taynã e Leonardo, por existirem e serem verdadeiros companheiros.

Agradeço, de maneira especial à minha orientadora, Profa. Dra. Deise Ponzoni, pela amizade, competência, incentivo e por todos os ensinamentos transmitidos de maneira tão primorosa. Pela busca incansável por um ensino de excelência e por tamanha dedicação em prol do aprendizado.

A Dra. Edela Puricelli pelo exemplo de cirurgiã e educadora. Pela confiança depositada em mim, e por acreditar no valor da Odontologia e Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-faciais. Por mostrar-me o caminho, as oportunidades e fazer-me amadurecer como pessoa e profissional. Desejo poder ser merecedor do esforço dedicado pela senhora.

À Isabel Pucci pela amizade, pela abertura das portas da Cirurgia Buco-maxilo-faciais, pela confiança investida em mim desde o início da minha trajetória e pelo constante estímulo a ser um profissional melhor. Agradeço ainda, pelos inúmeros conselhos, os quais, tento sempre colocar em prática.

Ao Prof. Dr. Jakson Manfredini Vassoler e a Engenharia Mecânica da UFRGS, pela oportunidade do trabalho em conjunto e aos parceiros de pesquisa, Ana Bárbara Krummenauer Formenton, João Vítor Bordin e Amadheus Bortoluzzi Dias, pela diligência e disponibilidade para que pudesse desenvolver o meu trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Odontologia (PPGODO) da Faculdade de Odontologia da UFRGS, especialmente na figura de seus professores.

A todos que direta ou indiretamente participaram de minha caminhada. Reconheço a paciência e o esforço de todos sem exceção.

Enfim, queria expressar um abraço apertado em palavras. Muito obrigado a todos.

Quando acordei hoje de manhã, eu sabia quem eu era, mas acho que já mudei muitas vezes desde então.

Lewis Carroll

RESUMO

Introdução: A osteotomia sagital do ramo mandibular, tem indicação para o tratamento das deformidades mandibulares, o seu desenvolvimento seguiu em paralelo com avanço da cirurgia bucomaxilofacial. Por ser uma osteotomia importante, teve diversas variações descritas, não apresentando ainda um consenso sobre a melhor localização do ponto de vista biomecânico. Na técnica introduzida por Puricelli, a osteotomia vestibular vertical é realizada, na região do corpo mandibular, na mesial do primeiro molar inferior. **Objetivos:** Este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade biomecânica do desenho da osteotomia de Puricelli e compara-lá com a técnica de Obwegeser-Dal Pont. **Materiais e métodos:** Através Análise de Elementos Finitos (AEF) foi desenvolvido um modelo geométrico computacional da mandíbula em ambiente virtual. Após a reprodução dos movimentos foram definidos três grupos: GTOD10 – Obwegeser Dal-Pont com avanço de 10 mm, GTP10 - Puricelli com avanço de 10 mm e GTP20 - Puricelli com avanço de 20 mm. As alterações geométricas, aplicação da tensão e análise dos elementos finitos foram realizadas em softwares específicos, permitindo análises quantitativas e comparativas da tensão mandibular, do deslocamento vertical da mandíbula e da medida da área de sobreposição entre os segmentos ósseos, nos diferentes grupos experimentais. **Resultados:** O GTP10 apresenta uma tensão 17,48% maior que no GTOD10 e 51,10% menor que GTP20, este último apresenta uma tensão 59,63% maior que no GTOD10. Na avaliação do deslocamento o GTP10 apresenta um deslocamento 28,73% menor que GTOD10 e 56,47% menor que no GTP20, este último que apresenta um deslocamento 38,92 % maior que o GTOD10. Considerando a área de sobreposição óssea o GTP10 apresenta uma superfície 33,13% maior que o GTOD10 e 29,55% maior que o GTP20, este último apresenta uma área de sobreposição óssea 5,08% maior que o GTOD10. **Conclusão:** Este estudo, utilizando a AEF, demonstra que a osteotomia mandibular de Puricelli, aplicada para grandes avanços mandibulares, resulta na localização das tensões críticas longe da linha de osteotomia vertical, menor deslocamento vertical da mandíbula e maior área de sobreposição entre os segmentos ósseos, sugerindo assim maior estabilidade mecânica quando comparada à técnica de Obwegeser Dal-Pont.

Palavras-chave: Osteotomia mandibular, Cirurgia ortognática, Estabilidade, Elementos finitos, Mandíbula

ABSTRACT

Introduction: The sagittal osteotomy of the mandibular ramus is indicated for the treatment of mandibular deformities, its development followed in parallel with the advancement of oral and maxillofacial surgery. As it is an important osteotomy, several variations have been described, and there is still no consensus on the best location from a biomechanical point of view. The technique introduced by Puricelli, the osteotomy is performed in a more distal region close to the mental foramen. **Objectives:** This study aimed to evaluate the biomechanical stability of the Puricelli osteotomy design and compare it with the Obwegeser-Dal Pont technique. **Materials and methods:** Employing Finite Element Analysis (FEA) a computational geometric model of the mandible was developed. After reproducing the movements, three groups were defined: GTOD10 – Obwegeser Dal-Pont with 10 mm increment, GTP10 - Puricelli with 10 mm infeed and GTP20 - Puricelli with 20 mm infeed. Geometric alterations, application of tension and analysis of finite elements were carried out using specific software, allowing quantitative and comparative analyzes of mandibular tension, vertical displacement of the mandible and measurement of the overlapping area between bone segments, in the different experimental groups. **Results:** GTP10 has a tension 17.48% greater than GTOD10 and 51.10% less than GTP20, the latter has a tension 59.63% greater than GTOD10. In the displacement evaluation, GTP10 presents a displacement 28.73% smaller than GTOD10 and 56.47% smaller than in GTP20, the latter that presents a displacement 38.92% greater than GTOD10. Considering the area of bone overlap, GTP10 has a surface area 33.13% larger than GTOD10 and 29.55% larger than GTP20, the latter has a bone overlap area 5.08% larger than GTOD10. **Conclusion:** This study, using the FEA, demonstrates that Puricelli's mandibular osteotomy, applied to large mandibular advancements, results in the location of critical stresses away from the vertical osteotomy line, less vertical displacement of the mandible and greater area of overlap between bone segments, thus suggesting greater mechanical stability when compared to the Obwegeser Dal-Pont technique.

Keywords: Sagittal Split Ramus, Orthognathic Surgery, Stability, Finite element, Mandible

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação dos grupos experimentais.....	21
Figura 2: Representação do biomodelo, grupo GTP20.....	23
Figura 3: Representação da tensão nas hemimandíbulas em gradiente de cores nos grupos experimentais.....	24
Figura 4: Representação do deslocamento vertical da hemimandíbula no GTP10, comparado a versão indeformada espelhada.....	24
Figura 5: Representação da área de sobreposição óssea nos diferentes grupos experimentais (área delimitada pela linha azul).....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de elementos do biomodelo.....	22
Tabela 2: Propriedades dos biomodelos.....	22
Tabela 3: Grupos experimentais e valores de tensão máxima mandibular.....	23
Tabela 4: Deslocamento vertical hemimandíbula.....	24
Tabela 5: Área de sobreposição óssea entre os segmentos ósseos nos três grupos experimentais.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OSRM	Osteotomia sagital do ramo mandibular
AEF	Avaliação por meio de elementos finitos
CAD	<i>Software</i> de design auxiliado por computador
TCCB	Tomografia Computadorizada <i>Cone Beam</i>
TCFB	Tomografia Computadorizada <i>Fan Beam</i>
Pa	<i>Pascal</i>
N	Newtons
SAHOS	Síndrome da apneia obstrutiva do sono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	ARTIGO CIENTÍFICO.....	17
3	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33
	ANEXO A APROVAÇÃO DO PROJETO NA COMISSÃO DE PESQUISA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DA UFRGS	38

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e avanço das osteotomias mandibulares para a correção das deformidades dentofaciais acompanhou a evolução da Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial como especialidade ¹. As mudanças no posicionamento dos segmentos esqueléticos na cirurgia ortognática são fatores determinantes para a alteração da morfologia, função e relação das estruturas anatômicas circundantes ².

O primeiro a descrever uma osteotomia mandibular foi Hüllihen em 1849, realizada com acesso intrabucal, para correção de mordida aberta anterior e protrusão dento alveolar mandibular ³. Em 1898, a osteotomia do colo condilar foi introduzida por Jaboulay e Bérard ⁴ e recebeu contribuições importantes de Babcock, em 1909 ^{4,5}. Em 1954, foi descrita a osteotomia vertical do ramo mandibular que incluiu o corte da chanfradura sigmóide até a borda inferior, em frente ao ângulo da mandíbula e uma porção da lateral do fragmento distal era decorticada para possibilitar maior área de contato ósseo ⁴.

As osteotomias do ramo mandibular são melhores indicadas quando comparadas com às do corpo mandibular ⁴. A osteotomia sagital do ramo mandibular (OSRM) é utilizada para correção de inúmeras deformidades congênitas ou adquirida na região facial ⁶. Dentre as principais vantagens estão o menor risco de lesão do feixe neurovascular, manutenção da extensão do corpo mandibular e resultados estéticos mais satisfatórios na região do ângulo mandibular ⁴. Os primeiros desenhos para osteotomia sagital do ramo foram realizados com acesso extra bucal e apresentavam problemas relacionados à pequena área de contato entre os segmentos ósseos, resultando em mordida aberta e pseudo-artrose ⁷. Schuchardt (apud Obwegeser) sugeriu a osteotomia da superfície cortical medial do ramo, acima da línula e na superfície externa, 10 mm abaixo da primeira osteotomia ⁸. Em 1955, Obwegeser e Trauner descreveram a técnica através da realização de duas osteotomias horizontais nas corticais ósseas, por medial (superior, acima da línula) e vestibular (inferior, ao nível da coroa do segundo molar) ⁹. Trauner e Obwegeser sugeriram que esta distância deveria ser aumentada para 25 mm, permitindo uma maior área de contato. Os autores também foram responsáveis pela introdução do acesso intrabucal para realização da técnica ¹⁰.

Em 1961, Dal Pont incorporou à técnica de Obwegeser a osteotomia retro molar, resultando assim em menor deslocamento do segmento proximal devido à atividade muscular. Em 1968, Hunsuck sugeriu que a osteotomia medial deveria ser estendida até a região posterior da línula, sem necessidade de envolvimento da borda posterior do ramo e a osteotomia lateral realizada na junção do ramo com o corpo da mandíbula ¹¹.

Corroborando com a técnica, Gallo et al., 1976¹² realizaram uma modificação no método de Dal Pont, visando o tratamento do retrognatismo. A osteotomia vertical retro molar do fragmento distal inicia-se próximo à linha oblíqua externa, estendendo-se pela metade da distância até a região basilar em uma posição mais anterior, com isso a área de contato entre os fragmentos é aumentada. Após a contribuição de Gallo, Epker 1977, sugeriu uma dissecação leve do tecido medial do ramo, logo acima da línula, para a inspeção visual do feixe neurovascular alveolar inferior, sem extensão para posterior, com o objetivo de minimizar o edema, hemorragia, necrose dos segmentos e problemas neurológicos relacionadas ao feixe alveolar inferior¹³.

Por ser uma osteotomia com grande aplicabilidade, para tratamento de diferentes deformidades, a osteotomia sagital do ramo teve diversas variações descritas, baseadas nas preferências e experiência dos cirurgiões¹⁴. Ainda, não há um consenso sobre a melhor localização do ponto de vista biomecânico^{14,15}. O conhecimento e entendimento dos aspectos relacionados a novas técnicas devem ser explorados. O tratamento cirúrgico da mandíbula depende do desenvolvimento de técnicas que resultem em processos de reparo e estabilidade adequados⁷, pois maiores áreas de contato ósseo resultam em processos de reparo mais rápidos e diminuição do deslocamento devido às forças musculares¹⁶.

Em uso desde 1985, Puricelli (2007) realizou uma modificação da técnica original de Obwegeser-Dal Pont executando o corte mais anterior na face vestibular, na região do corpo mandibular, na mesial do primeiro molar inferior, aproximadamente 20 mm anteriormente em relação aos protocolos atuais⁷. Esta modificação permite maiores deslizamentos entre os segmentos ósseos, criando maior área de contato entre as superfícies ósseas medulares, facilitando o uso de sistemas de fixação, possibilidade de extrações simultâneas dos terceiros molares. Apresenta como desvantagens, a necessidade de maiores áreas de elevação e manipulação do nervo mentoniano, visto que em muitas situações a fixação da placa será realizada em sua proximidade⁷.

O reparo da ferida óssea está diretamente relacionado ao tamanho do defeito ósseo, localização anatômica, idade, condição sistêmica, dentre outros¹⁷. Na OSRM não há nenhum tipo de preparo nas interfaces ósseas para guiar a reparação óssea. O processo de reparação óssea depende do espaço existente entre os traços da osteotomia. Este processo de reparação óssea inicia-se com uma cascata de acontecimentos durante algumas semanas¹⁸. Após a osteotomia há a formação de um coágulo, sendo constituído por células do sangue periférico e intramedular, bem como células da medula óssea. A lesão desencadeia uma resposta inflamatória que é necessária para o processo de reparação progredir¹⁹. Este processo envolve interação complexa

de eventos biológicos ocorrendo migração celular nas proximidades do local da lesão, juntamente com as forças mecânicas de impacto existentes neste local. O tecido ósseo possui a capacidade substancial de reparação em resposta à fratura; envolvendo a integração complexa de células, fatores de crescimento, e matriz extracelular ²⁰. O reparo inicia-se com o restabelecimento do suprimento sanguíneo, reabsorção dos tecidos necróticos, diferenciação e proliferação de células mesenquimais, liberação de mediadores químicos e estimulação de células osteogênicas, envolvendo, portanto, uma série de eventos celulares e moleculares extremamente complexos ²¹.

A remodelação óssea por primeira intenção ocorre, quando as bordas dos segmentos são precisamente posicionadas com o mínimo de espaço entre elas, havendo contato ósseo entre as porções medulares, e exige fixação interna estável com imobilização para promover a reparação mais rápida com o intuito de diminuir a formação de cicatrizes e risco de infecção. Quando há estabilidade absoluta dos cotos ósseos ocorrerá reparação por ossificação intramembranosa com a mínima formação de calo, sendo descrita como reparação por primeira intenção ²². Em casos onde não há o contato ideal dos cotos ósseos, movimento significativo entre os fragmentos ósseos ou quando há um espaço grande entre eles, há primeiro a formação de calo cartilaginoso intermediário, que posteriormente se torna ossificado; a este processo dá-se a denominação de ossificação endocondral ou reparação por segunda intenção ²³.

Em 2007, utilizando o método dos elementos finitos, verificou-se que a osteotomia mandibular de Puricelli resulta em maior estabilidade mecânica, quando comparada à técnica original introduzida por Obwegeser-Dal Pont. O aumento da área do segmento proximal e consequente diminuição do braço de alavanca aplicado na mandíbula proporcionam menores valores de tensões e deslocamentos e, consequentemente, maior estabilidade dos segmentos ósseos. Sugere-se que, *in vivo* há uma maior estabilidade, com diminuição do braço de alavanca, resultando em melhor reparo, diminuição do deslocamento devido à atividade muscular e consequentemente redução do período de imobilização intermaxilar elástica ¹.

O conhecimento do comportamento biomecânico da mandíbula é importante. Visto que a mandíbula é uma estrutura especializada; músculos, articulações e dentes trabalham em uma complexa sinergia. A função e a forma da mandíbula são adaptadas para trabalhar no sistema mastigatório altamente desenvolvido. Portanto, várias abordagens podem ser usadas para avaliar o seu comportamento. A aplicação e avaliação por meio de elementos finitos (AEF); através de um modelo numérico, representado por malhas de geometria complexas, é uma ferramenta precisa não invasiva que fornece uma visão sobre o comportamento e biomecânica mandibular ^{24,25}. As estruturas envolvidas nesses modelos geralmente, não são passíveis de abordagem

analítica direta, de modo que métodos numéricos devem ser empregados para seu estudo. Isso não representa um problema adicional, pois os métodos numéricos são bem conhecidos, desenvolvidos e amplamente empregados ¹.

A AEF representa uma tendência na engenharia odontológica ^{14,26}. O método é usado para analisar tensões e deformações em sistemas mecânicos complexos. Devido à dificuldade de análise *in vivo* das propriedades mecânicas do esqueleto humano, a AEF encontrou ampla aplicação na Cirurgia Buco-maxilo-facial ²⁶.

Os estudos aplicam a AEF em cirurgias mandibulares ²⁷ e análise de diferentes tipos de osteossíntese ^{6,28,29}, contribuindo para a avaliação da distribuição de tensão na articulação temporomandibular ³⁰, estresse e resistência ao deslocamento em fixação em cirurgia ortognática ³¹, biomecânica da osteotomia sagital do ramo ²⁷, análise de tecidos moles faciais após cirurgia ortognática ³², reabsorção óssea peri implantar e distribuição de tensões no corpo do implante ³³, tensões e deslocamento de mandíbula reconstruída com enxertos de fíbula ³⁴, estresse em maxilas submetidas à expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente ³⁵, avaliação da disjunção pterigomaxilar durante a fratura Le Fort I ³⁶, avaliação da morfologia das vias aéreas superiores ³⁷, relação da pressão da força eruptiva do terceiro molar e a reabsorção nos segundos molares ³⁸ e distribuição do estresse e tensão na mandíbula, como local doador de enxertos ósseos ³⁹.

Entre as vantagens dessa metodologia está a possibilidade de uma avaliação tridimensional e de tensões ²⁴. As tensões, geradas no modelo, reproduzem adequadamente o comportamento mecânico da mandíbula ⁴⁰, com aplicação de carga, o que é difícil de avaliar por outros meios ⁴¹. A AEF oferece dados biomecânicos quantitativos, sem as limitações de medidas experimentais diretas na análise das tensões e supre lacunas de outras metodologias ²⁴, representa economia de tempo e recursos, além de ampliar as possibilidades de avaliações terapêuticas, sem o envolvimento do paciente ²⁵.

A região buco-maxilo-facial contém muitas estruturas anatômicas importantes. Intervenções nesta área requerem linhas de corte precisas e bem organizadas, mantendo ou restaurando a funcionalidade dos tecidos. Com o uso da AEF, é possível conduzir diferentes simulações biomecânicas, economizando tempo e, em simultâneo, obtendo boa relação custo-benefício ²⁶.

Para a realização do estudo e AEF é essencial criar um modelo numérico do objeto que deve ser testado. Na Odontologia, um modelo geométrico que constitui a base para o modelo numérico pode ser obtido usando tomografia computadorizada de feixe cônico, micro tomografia, scanners intra e extra bucal ou *software* de design auxiliado por computador (CAD)

⁴², Tomografia Computadorizada *Cone Beam* – (TCCB) ^{27,30} e Tomografia Computadorizada *Fan Beam* - (TCFB) ^{6,29,43}. Cada elemento recebe propriedades de material adequadas, previamente determinadas em estudos experimentais ⁴².

Por se tratar de uma simulação computacional, a AEF quando comparada com os ensaios mecânicos, diminui a necessidade de construção de protótipos, apresenta um menor custo e gera resultados mais rápidos. É capaz de representar um situação real com fidelidade. A taxa de erro gerada pelas interpretações numéricas é mínima, principalmente quando malhas são bem simuladas e analisadas. Apesar das vantagens, a AEF também possui limitações. Deve-se notar que as condições dos estudos informatizados são totalmente programadas pelos pesquisadores e, como tal, sempre representam um risco de parcialidade. As limitações mais sérias da AEF são simplificações e suposições ^{26,44}, além, da dificuldade de simular adequadamente a ação dos músculos mastigatórios ³¹.

Após a obtenção do modelo virtual é realizado um processo matemático chamado de discretização. Nesse processo, ocorre a divisão do modelo em unidades de menor complexidade (elementos finitos), gerando dados que podem ser utilizados para calcular a deformação e o tensão na estrutura ⁴⁴.

As características dos materiais são definidas através de algumas propriedades como o módulo de elasticidade que é uma propriedade mecânica que mede a rigidez de um material sólido. O Coeficiente de Poisson mede a deformação transversal, em relação à direção longitudinal de aplicação da carga de um material homogêneo e isotrópico. O Módulo de elasticidade é expresso em Pascal (Pa), enquanto o coeficiente de Poisson é adimensional, sendo expresso apenas pela sua forma numérica ⁴⁴.

As mensurações de esforço interno são quantificadas em valores de tensão de von Mises (σ), uma medida utilizada para calcular a tensão de materiais dúcteis e expressada em unidade de força Newtons (N) por unidade de área mm^2 ($1 \text{ N/ mm}^2 = 1 \text{ MPa}$). Esses valores de tensão podem, então, ser representados em uma escala de cor conforme o esforço interno sofrido pela estrutura tridimensional em cada região específica do corpo virtual ^{44,45}. A avaliação das tensões nas placas, parafusos e nas corticais, só é possível, após a aplicação de uma carga no corpo virtual da mandíbula ⁴⁴.

O objetivo principal nas cirurgias de avanço mandibular é manter a estabilização em longo prazo, independentemente de qual técnica é usada ⁶. Em avanços mandibulares menores que 8 mm, a tendência de recidiva é significativamente reduzida ⁴⁶. Quanto maior o avanço, maior a recidiva, devido ao aumento do estiramento, tensão muscular e à redução da área de contato ósseo ⁴⁷. A recidiva a curto-prazo é atribuída à técnica cirúrgica, por instabilidade dos

locais de osteotomia, incorreto posicionamento condilar ⁴⁸ e processo de cicatrização e adaptação fisiológica ⁴⁹. A recidiva a longo-prazo, por sua vez, depende do desequilíbrio gerado por forças progressivas. Este desequilíbrio provoque remodelação óssea e/ou crescimento e o estiramento muscular ⁴⁸.

O avanço mandibular tem mostrado resultados importantes no aumento do espaço aéreo faríngeo, com a distensão da musculatura velo faríngeo e supra hióidea, beneficiando pacientes com a síndrome da apneia obstrutiva do sono (SAHOS) ⁵⁰.

Ensaio clínico observacional demonstraram que os grandes avanços mandibulares (10 mm ou mais) são mais instáveis e aumentaram o risco de recidiva ⁵¹⁻⁵³, podendo ser 4 vezes mais instáveis, quando comparados àqueles entre 5 e 10 mm ⁵⁴. A literatura apresenta diversos avanços mandibulares na OSRM em estudos biomecânicos virtuais, para avaliar a estabilidade da osteotomia/osteossíntese. Os estudos apresentam avanços que variam de 3 a 8 mm ^{6,31,44,55-60}. Apenas, o estudo de Klein e colaboradores (2017) realizou um avanço de 10 mm, utilizando a osteotomia mandibular de Obwegeser - Dal Pont ⁵⁶.

Estudos utilizando a AEF para grandes avanços mandibulares são limitados na literatura. Este estudo teve como objetivo avaliar a estabilidade mecânica da osteotomia mandibular de Puricelli para grandes avanços mandibulares e comparar com a técnica clássica de Obwegeser-Dal Pont.

3 CONCLUSÃO

O tratamento cirúrgico da mandíbula depende de técnicas que resultem em processos de reparo e estabilidade adequados ^{6,7}. Maiores áreas de sobreposição óssea resultam em processos de reparo mais rápidos e diminuição do deslocamento devido às forças musculares ¹⁶. Os primeiros desenhos da osteotomia sagital do ramo apresentavam problemas relacionados à pequena área de sobreposição óssea entre os segmentos ⁷. Por ser uma osteotomia com grande aplicabilidade para tratamentos de diferentes deformidades teve várias modificações descritas ¹⁴. Em uso desde 1985, Puricelli (2007) realizou uma modificação da técnica original de Obwegeser – Dal Pont. A proposta foi a realização do corte mais anterior na face vestibular, na região do corpo mandibular, na face mesial do primeiro molar inferior, aproximadamente 20 mm anteriormente em relação à osteotomia de Obwegeser – Dal Pont ⁷.

Estudos utilizando a AEF para grandes avanços mandibulares são limitados na literatura, portando, esse estudo analisou e comparou, através AEF, a OSRM de Obwegeser-Dal Pont e de Puricelli, em grandes avanços mandibulares, do ponto de vista da distribuição de tensão na mandíbula, deslocamento e área de sobreposição óssea. Os resultados das análises demonstram que a osteotomia mandibular de Puricelli promove maiores superfícies de sobreposição óssea, localização da tensão longe da linha de osteotomia e menor deslocamento vertical da mandíbula, sugerindo maior estabilidade mecânica aos segmentos ósseos.

A AEF, metodologia empregada nesse estudo, apresenta um risco de parcialidade, ocorrência de simplificações e suposições ^{26,44}, além de apresentar dificuldades no que se refere à simulação adequada da ação dos músculos mastigatórios ³¹. Não é possível a realização das análises estatísticas, por utilizar um modelo matemático único.

A técnica de osteotomia mandibular de Puricelli apresenta grande versatilidade. Pode ser realizada bilateralmente ou em associação com a osteotomia vertical Oblíqua. Permite o uso de uma ou duas placas, não exigindo simetria da posição e mesmo número de parafusos, especialmente no lado de utilização de única placa. Ambas as situações permitem adaptação mais fisiológica das forças articulares em pacientes com histórico de disfunção de ATM.

Estudos futuros, considerando modelos matemáticos mandibulares, poderão ser empregados na avaliação da osteotomia de Puricelli aplicada em diferentes movimentos mandibulares e a repercussão desses movimentos nas regiões de articulação temporomandibular.

4 REFERÊNCIAS

1. Puricelli E, Sérgio J, Fonseca O, Paris MF De, Anna HS. Head & Face Medicine Applied mechanics of the Puricelli osteotomy : a linear elastic analysis with the finite element method. 2007;7:1–7.
2. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Stabilini SA, Sarcina M, Maspero C. Functional evaluation in orthodontic surgical treatment: long-term stability and predictability. Prog Orthod. dezembro de 2015;16(1):30.
3. Hullihen SP. Case of Elongation of the under Jaw and Distortion of the Face and Neck, Caused by a Burn, Successfully Treated. Am J Dent Sci. 1849;9(2):157–65.
4. Caldwell J, Letterman G. Vertical osteotomy in the mandibular ramal for correction of prognathism. J Oral Surg. 1954;12:185–202.
5. Babcock WW. THE SURGICAL TREATMENT OF CERTAIN DEFORMITIES OF THE JAW ASSOCIATED WITH MALOCCLUSION OF THE TEETH. J Am Med Assoc. 11 de setembro de 1909;LIII(11):833.
6. Sindel A, Demiralp S, Colok G. Evaluation of different screw fixation techniques and screw diameters in sagittal split ramus osteotomy: finite element analysis method. J Oral Rehabil. setembro de 2014;41(9):683–91.
7. Puricelli E. Head & Face Medicine A new technique for mandibular osteotomy. 2007;8:1–8.
8. Obwegeser H. No Title. Em: Obwegeser H, organizador. Mandibular growth anomalies – terminology – aetiology – diagnosis – treatment. Springer. Berlin; 2001. p. 359–84.
9. Obwegeser H, Trauner R. Zur Operationstechnik bei der Progenie und anderen Unterkieferanomalien. Dtsch Zahn Mund Kieferheilk. 1955;23.
10. Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1957;10(7):677–89.
11. Dal Pont G. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. J Oral Surg Anesth Hosp Dent Serv. 1961;19:42–7.
12. Gallo W, Moss M, Gaul J. Modification of the sagittal ramus-split osteotomy for retrognathia. J Oral Surg. 1976;34:178–9.
13. Epker B. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. J Oral Surg. 1977;35:157–9.
14. Takahashi H, Moriyama S, Furuta H, Matsunaga H, Sakamoto Y, Kikuta T. Three lateral osteotomy designs for bilateral sagittal split osteotomy: biomechanical evaluation with three-dimensional finite element analysis. Head Face Med. dezembro de 2010;6(1):4.
15. Besir A, Tugcugil E. Comparison of different end-tidal carbon dioxide levels in preventing postoperative nausea and vomiting in gynaecological patients undergoing laparoscopic surgery. J Obstet Gynaecol. 12 de outubro de 2020;0(0):1–8.

16. Puricelli E. Less time of the inter-maxillary fixation in the prognathism surgeries. *Rev Gaucha Odontol.* 1982;30(95–98).
17. Schmitz JP, Hollinger JO. The Critical Size Defect as an Experimental Model for Craniomandibulofacial Nonunions: *Clin Orthop.* abril de 1986;205(NA):299–308.
18. Einhorn TA, Gerstenfeld LC. Fracture healing: mechanisms and interventions. *Nat Rev Rheumatol.* janeiro de 2015;11(1):45–54.
19. Gerstenfeld L, Cho TJ, Kon T, Aizawa T, Tsay A, Fitch J, et al. Impaired Fracture Healing in the Absence of TNF- α Signaling: The Role of TNF- α in Endochondral Cartilage Resorption. *J Bone Miner Res.* 1º de setembro de 2003;18(9):1584–92.
20. Al-Aql ZS, Alagl AS, Graves DT, Gerstenfeld LC, Einhorn TA. Molecular Mechanisms Controlling Bone Formation during Fracture Healing and Distraction Osteogenesis. *J Dent Res.* fevereiro de 2008;87(2):107–18.
21. Robbins LS. *Patologia estrutural e funcional. Inflamação e Reparo.* 4º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1991.
22. Shapiro F. Bone development and its relation to fracture repair. The role of mesenchymal osteoblasts and surface osteoblasts. *Eur Cell Mater.* 1º de abril de 2008;15:53–76.
23. Kwong FN, Harris MB. Recent developments in the biology of fracture repair. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;
24. Rangel Goulart D, Takanori Kemmoku D, Noritomi PY, de Moraes M. Development of a Titanium Plate for Mandibular Angle Fractures with a Bone Defect in the Lower Border: Finite Element Analysis and Mechanical Test. *J Oral Maxillofac Res [Internet].* 30 de setembro de 2015 [citado 4 de outubro de 2022];6(3). Disponível em: <http://www.ejomr.org/JOMR/archives/2015/3/e5/v6n3e5ht.htm>
25. Vollmer D, Meyer U, Joos U, Vègh A, Piffkò J. Experimental and finite element study of a human mandible. *J Cranio-Maxillofac Surg.* 2000;28(2):91–6.
26. Lisiak-Myszke M, Marciniak D, Bieliński M, Sobczak H, Garbacewicz Ł, Drogoszewska B. Application of Finite Element Analysis in Oral and Maxillofacial Surgery—A Literature Review. *Materials.* 9 de julho de 2020;13(14):3063.
27. Shu J, Zhang Y, Liu Z. Biomechanical comparison of temporomandibular joints after orthognathic surgery before and after design optimization. *Med Eng Phys.* junho de 2019;68:11–6.
28. Hassan MK, Ring M, Stassen LFA. A Finite Element Analysis Study Comparing 3 Internal Fixation Techniques in Mandibular Sagittal Split Osteotomy. *Int J Otolaryngol Head Amp Neck Surg.* 2018;07(05):298–311.
29. Tamura N, Takaki T, Takano N, Shibahara T. Three-dimensional Finite Element Analysis of Bone Fixation in Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomy Using Individual Models. *Bull Tokyo Dent Coll.* 2018;59(2):67–78.

30. Demircan S, Uretürk EU, Apaydin A, Şen S. Fixation Methods for Mandibular Advancement and Their Effects on Temporomandibular Joint: A Finite Element Analysis Study. *BioMed Res Int.* 2020;2020.
31. Stringhini DJ, Sommerfeld R, Uetanabaro LC, Leonardi DP, Araújo MR, Rebellato NLB, et al. Resistance and stress finite element analysis of different types of fixation for mandibular orthognathic surgery. *Braz Dent J.* 2016;27(3):284–91.
32. Knoops PGM, Borghi A, Ruggiero F, Badiali G, Bianchi A, Marchetti C, et al. A novel soft tissue prediction methodology for orthognathic surgery based on probabilistic finite element modelling. *PLoS ONE.* 2018;13(5):1–15.
33. Bing L, Mito T, Yoda N, Sato E, Shigemitsu R, Han J, et al. Effect of peri-implant bone resorption on mechanical stress in the implant body: In vivo measured load-based finite element analysis. *J Oral Rehabil.* dezembro de 2020;47(12):1566–73.
34. Cheng K jie, Liu Y feng, Wang JH, Jun JC, Jiang X feng, Wang R, et al. Biomechanical behavior of mandibles reconstructed with fibular grafts at different vertical positions using finite element method. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2019;72(2):281–9.
35. De Assis DSFR, Xavier TA, Noritomi PY, Gonçalves ES. Finite element analysis of bone stress after SARPE. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(1):167.e1-167.e7.
36. Fujii H, Kuroyanagi N, Kanazawa T, Yamamoto S, Miyachi H, Shimosato K. Three-dimensional finite element model to predict patterns of pterygomaxillary dysjunction during Le Fort I osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(5):564–71.
37. Banabilh SM, Suzina AH, Mohamad H, Dinsuhaimi S, Samsudin AR, Singh GD. Assessment of 3-D nasal airway morphology in Southeast Asian adults with obstructive sleep apnea using acoustic rhinometry. *Clin Oral Investig.* outubro de 2010;14(5):491–8.
38. Oenning AC, Freire AR, Rossi AC, Prado FB, Caria PHF, Correr-Sobrinho L, et al. Resorptive potential of impacted mandibular third molars: 3D simulation by finite element analysis. *Clin Oral Investig.* dezembro de 2018;22(9):3195–203.
39. Möhlhenrich SC, Kniha K, Szalma J, Ayoub N, Hölzle F, Wolf M, et al. Stress distribution in mandibular donor site after harvesting bone grafts of various sizes from the ascending ramus of a dentate mandible by finite element analysis. *Clin Oral Investig.* maio de 2019;23(5):2265–71.
40. Ramos A, Ballu A, Mesnard M, Talaia P, Simões JA. Numerical and Experimental Models of the Mandible. *Exp Mech.* 2011;51(7):1053–9.
41. Erkmén E, Ataç MS, Yücel E, Kurt A. Comparison of biomechanical behaviour of maxilla following Le Fort I osteotomy with 2- versus 4-plate fixation using 3D-FEA. *Int J Oral Maxillofac Surg.* fevereiro de 2009;38(2):173–9.
42. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofacial Res.* 2014;4(3):200–3.

43. Li H, Zhou N, Huang X, Zhang T, He S, Guo P. Biomechanical effect of asymmetric mandibular prognathism treated with BSSRO and USSRO on temporomandibular joints: a three-dimensional finite element analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg.* novembro de 2020;58(9):1103–9.
44. Erkmén E, Şimşek B, Yücel E, Kurt A. Three-dimensional finite element analysis used to compare methods of fixation after sagittal split ramus osteotomy: setback surgery-posterior loading. *Br J Oral Maxillofac Surg.* abril de 2005;43(2):97–104.
45. Sarkarat F, Motamedi MHK, Bohluli B, Moharamnejad N, Ansari S. Analysis of Stress Distribution on Fixation of Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomy With Resorbable Plates and Screws Using the Finite-Element Method. *J Oral Maxillofac Surg.* :5.
46. Bailey L, Tanya J, Cevidanes LHS, Proffit WR. Stability and predictability of orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* setembro de 2004;126(3):273–7.
47. Sahoo NK, Jayan B, Thakral A, Nagpal V. Skeletal Relapse Following Sagittal Split Ramus Osteotomy Advancement. *J Maxillofac Oral Surg.* junho de 2015;14(2):357–62.
48. Hoffmannová J, Foltán R, Vlk M, Klíma K, Pavlíková G, Bulík O. Factors Affecting the Stability of Bilateral Sagittal Split Osteotomy of a Mandible. *Prague Medical Report.* 2008;109:286–97.
49. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery with rigid fixation: an update and extension. *Head Face Med.* dezembro de 2007;3(1):21.
50. Goncalves JR, Buschang PH, Goncalves DG, Wolford LM. Postsurgical Stability of Oropharyngeal Airway Changes Following Counter-Clockwise Maxillo-Mandibular Advancement Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* maio de 2006;64(5):755–62.
51. Dolce C, Van Sickels JE, Bays RA, Rugh JD. Skeletal stability after mandibular advancement with rigid versus wire fixation. *J Oral Maxillofac Surg.* novembro de 2000;58(11):1219–27.
52. Lee SH, Kaban LB, Lahey ET. Skeletal Stability of Patients Undergoing Maxillomandibular Advancement for Treatment of Obstructive Sleep Apnea. *J Oral Maxillofac Surg.* abril de 2015;73(4):694–700.
53. Ubaldo ED, Greenlee GM, Moore J, Sommers E, Bollen AM. Cephalometric analysis and long-term outcomes of orthognathic surgical treatment for obstructive sleep apnoea. *Int J Oral Maxillofac Surg.* junho de 2015;44(6):752–9.
54. Van Sickels JE, Richardson DA. Stability of orthognathic surgery: a review of rigid fixation. *Br J Oral Maxillofac Surg.* agosto de 1996;34(4):279–85.
55. Chuong CJ, Borotikar B, Schwartz-Dabney C, Sinn DP. Mechanical characteristics of the mandible after bilateral sagittal split ramus osteotomy: Comparing 2 different fixation techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* janeiro de 2005;63(1):68–76.

56. Klein GBG, Mendes GCB, Ribeiro Junior PD, Viswanath A, Papageorge M. Biomechanical evaluation of different osteosynthesis methods after mandibular sagittal split osteotomy in major advancements. *Int J Oral Maxillofac Surg.* novembro de 2017;46(11):1387–93.
57. Oguz Y, Uckan S, Ozden AU, Uckan E, Eser A. Stability of locking and conventional 2.0-mm miniplate/screw systems after sagittal split ramus osteotomy: finite element analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* agosto de 2009;108(2):174–7.
58. Oguz Y, Watanabe ER, Reis JM, Spin-Neto R, Gabrielli MA, Pereira-Filho VA. In vitro biomechanical comparison of six different fixation methods following 5-mm sagittal split advancement osteotomies. *Int J Oral Maxillofac Surg.* agosto de 2015;44(8):984–8.
59. Pozzer L, Olate S, Cavalieri-Pereira L, de Moraes M, Ricardo J. Influence of the design in sagittal split ramus osteotomy on the mechanical behavior. 2014;5.
60. Sato FRL, Asprino L, Noritomi PY, da Silva JVL, de Moraes M. Comparison of five different fixation techniques of sagittal split ramus osteotomy using three-dimensional finite elements analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* agosto de 2012;41(8):934–41.

ANEXO A - APROVAÇÃO DO PROJETO NA COMISSÃO DE PESQUISA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DA UFRGS

UFRGS Sistema Pesquisa - Pesquisador: Deise Ponzoni

Dados Gerais:

Projeto Nº:	42212	Título:	AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA ESTABILIDADE APÓS AVANÇO MANDIBULAR PELA OSTEOTOMIA SAGITAL DO RAMO DE OBWEGESERTAL POINT E OSTEOTOMIA DE PURCELLI USANDO ELEMENTOS FINITOS TRIDIMENSIONAIS		
Área de conhecimento:	Cirurgia Buco-Maxilo-Facial	Início:	05/04/2022	Previsão de conclusão:	30/09/2023
Situação:	Projeto em Andamento				
Origem:	Faculdade de Odontologia Programa de Pós-Graduação em Odontologia	Projeto de linha de pesquisa: BIOMATERIAIS E TÉCNICAS TERAPÊUTICAS EM ODONTOLOGIA			
Local de Realização:	não informado				
Não apresenta relação com Patrimônio Genético ou Conhecimento Tradicional Associado.					
Objetivo:	<p>A osteotomia sagital do ramo é indicada para todos os tipos de deformidades mandibulares, o seu desenvolvimento seguiu em paralelo com avanço da cirurgia bucomaxilofacial. Por ser uma osteotomia importante, a osteotomia sagital do ramo teve diversas variações descritas, não apresentando ainda um consenso sobre a melhor localização do ponto de vista biomecânico. Puricelli, em 2007, realizou uma modificação da técnica original de Obwegeser Dal-Point, realizando o corte mais anterior na face vestibular, na região do corpo mandibular, na face mesial do primeiro molar inferior. Esta pesquisa trata-se de estudo experimental in vitro que será realizada na Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em conjunto com o grupo de mecânica aplicada - grupo do Departamento de Engenharia Médica da mesma universidade. O estudo tem por objetivo avaliar a estabilidade biomecânica e distribuição de estresse em dois grupos de osteotomia sagital do ramo</p>				
Palavras Chave:	OSTEOTOMIA SAGITAL DO RAMO MANDIBULAR				
Equipe UFRGS:	<p>Nome: DEISE PONZONI Coordenador - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p> <p>Nome: ALEXANDRE SILVA DE QUEVEDO Pesquisador - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p> <p>Nome: Ana Barbara Drummond Torres Pesquisador - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p> <p>Nome: JOSÉ A. PURICELLI Pesquisador - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p> <p>Nome: JACSON MARCELO VASCOLES Pesquisador - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p> <p>Nome: VICTOR SAGIENSKI Técnicos Assistentes de Pesquisa - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p> <p>Nome: Vinicius Meibus Squitossi Enferm: Inicializado - Início: 05/04/2022 Previsão de término: 30/09/2023</p>				
Avaliações:	Comissão de Pesquisa de Odontologia - Aprovado em 17/05/2022 Clique aqui para visualizar o parecer				
Anexos:	<p>Outro Data de Envio: 05/04/2022</p> <p>Formulário Curriculo Data de Envio: 05/04/2022</p> <p>Outro Data de Envio: 04/05/2022</p> <p>Outro Data de Envio: 06/05/2022</p>				
Bolsas:	<p>Projeto associado à bolsa BIC UFRGS No Período: 01/09/2022 a 31/08/2023</p> <p>Bolsista: ANADREUS BORTOLUZZI DIAS no período de 02/09/2022 a 31/08/2023</p>				