

Atendendo solicitação do
autor, o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a
partir de 29/07/2024



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Giovanni Cunha

**Influência do volume ósseo no padrão de separação da osteotomia sagital do
ramo mandibular**

Araraquara

2022



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Giovanni Cunha

**Influência do volume ósseo no padrão de separação da osteotomia sagital do
ramo mandibular**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas, na Área de Diagnóstico e Cirurgia

Orientador: Prof^a Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli

Araraquara

2022

C972i	<p>Cunha, Giovanni</p> <p>Influência do volume ósseo no padrão de separação da osteotomia sagital do ramo mandibular / Giovanni Cunha. -- Araraquara, 2022</p> <p>82 p. : il., tabs.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara</p> <p>Orientadora: Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli</p> <p>1. Cirurgia ortognática. 2. Análise de Elementos Finitos. 3. Anatomia. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Giovanni Cunha

Influência do volume ósseo no padrão de separação da osteotomia sagital do ramo mandibular

Comissão julgadora

Tese para obtenção do grau de Doutor em Ciências Odontológicas

Presidente e orientador Prof^a Dr^a Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli

2º Examinador Profº Drº Marcelo Gonçalves

3º Examinador Profº Drº Marcelo Monnazzi

4º Examinador Profº Drº Cássio Edvard Sverzut

5º Examinador Profº Dr^a Carla Renata Sanomya Ikuta

Araraquara, 29 de Julho de 2022.

DADOS CURRICULARES

Giovanni Cunha

NASCIMENTO: 19/11/1992 – Jundiaí – São Paulo

FILIAÇÃO: Luiz Américo da Cunha e Maria Aparecida Faca Cunha

2000/2004

Ensino fundamental I Escola Municipal de Ensino Fundamental José Odair Montelatto, Louveira-SP.

2005/2008

Ensino fundamental II Escola Estadual Odilon Leite Ferraz, Louveira-SP.

2008/2010

Ensino médio Escola Técnica Estadual Vasco Antônio Venchiarutti, Jundiaí-SP

2009/2010

Ensino técnico em informática Escola Técnica Estadual Vasco Antônio Venchiarutti, Jundiaí-SP.

2011/2015

Graduação em odontologia, Faculdade de Odontologia de Araraquara Unesp, Araraquara-SP.

2016-2018

Pós-graduação em Ciências Odontológicas – Área de diagnóstico e cirurgia, nível de mestrado acadêmico, Faculdade de Odontologia de Araraquara Unesp, Araraquara-SP.

2017-2019

Especialização em implantodontia e prótese sobre implantes Faculdade Avantis, São Carlos-SP.

2020-2021

Especialização em Imaginologia e Radiologia Odontológica – Faculdade do Centro Oeste Paulista - FACOP, Bauru-SP.

2021-2021

Research fellowship Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Universitätsspital Basel e Swiss MAM - Departamento de Engenharia Biomédica - Universidade de Basel

2022-2023

Treinamento em cirurgia plástica periodontal e periimplantar – AORP – Ribeirão Preto

AGRADECIMENTOS

A Deus, o autor da vida.

Aos meus pais Luiz e Maria, bem como minha irmã Bruna pelo apoio e dedicação nessa etapa tão importante da minha formação profissional.

À CAPES: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. O qual permitiu financiamento nacional (Bolsa DS) e internacional por meio do CAPES PRInt processo: 88887.467578/2019-00.

À minha orientadora, prof^a Dr^a Marisa A. C. Gabrielli pela excelente orientação e contribuição ímpar a esse trabalho e aos supervisores estrangeiros Prof. Dr. Florian Markus Thieringer e Prof^a Dr^a Neha Sharma– Universidade de Basel e Hospital Universitário de Basel.

Agradeço à Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FOAr-UNESP), na pessoa do Diretor, Prof^o. Dr^o. Edson Campos, pela oportunidade de minha formação desde a graduação, deste curso e deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em ciências odontológicas, na pessoa de sua coordenadora, a Profa. Dra. Fernanda Lourenção Briguenti.

Às Prof^{as}. Dr^{as}. Livia Dovigo Nordi, Juliana Alvares Duarte Bonini Campos e Dr^a Marina Reis Oliveira pelo conhecimento transmitido de estatística, fundamentais para a realização desse estudo.

Aos Professores da disciplina de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial da Faculdade de Odontologia de Araraquara, Profs. Drs. Mario Francisco Real Gabrielli, Eduardo Hochuli Vieira, Valfrido Antonio Pereira Filho. De igual modo aos docentes da área de diagnóstico e cirurgia, em especial aos Prof^o Dr^o Marcelo Gonçalves, Prof^a Dr^a Andreia Gonçalves e Prof^a Dr^a Andrea Buffalino. Muito obrigado pelos ensinamentos durante esses anos.

Ao Dr. Fued Salmir Salmen, pela contribuição dispensada para execução deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação e residentes do Serviço de Cirurgia e traumatologia Buco-Maxilo-Facial da FOAr-UNESP e ao grupo de pesquisa Swiss MAM, pelo convívio e cooperação clínica e em pesquisa, muito obrigado.

Aos funcionários do Departamento de Diagnóstico e Cirurgia da Faculdade de Odontologia de Araraquara-UNESP, Marcos, Edneide, Priscila, Silvana, Antônio, Thelma e Suleima pela amizade, por me tratarem com muito respeito e pela ajuda prestada.

Aos pacientes inclusos neste trabalho, pela contribuição e por permitir todo o aprendizado. Pela paciência em cooperar e nos fornecer dados que possam ser realizados nas pesquisas. Sem vocês não haveria formação profissional.

“Se o Senhor não constrói a casa em vão edificam os construtores, se o Senhor não guarda a cidade em vão vigia a sentinela. Salmos 127.1*

*Bíblia. A Bíblia Sagrada. Rei Salomão. Barueri: Sociedade Bíblica do Brasil; 2009.

Cunha G. Influência do volume ósseo no padrão de separação da osteotomia sagital do ramo mandibular [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2022.

RESUMO

A anatomia óssea tem sido estudada e descrita como um dos fatores de risco para a ocorrência de padrões de separação (fratura) indesejados entre os seguimentos proximal (contendo o côndilo) e distal (contendo o processo alveolar) após a osteotomia sagital do ramo mandibular (OSRM). Considerando as metodologias empregadas na literatura, esse estudo teve por premissa avaliar a proporção óssea cortical e medular além da do volume ósseo na região da OSRM, bem como aplicar a mecânica da fratura a um modelo anatômico. Para tal, tomografias pré e pós-operatórias de 82 pacientes foram utilizadas, totalizando 164 análises de deformidade dento-esquelética-facial. Com o pesquisador devidamente calibrado, as tomografias foram avaliadas utilizando os softwares *Dolphin 11.95* e *3D Slicer 4.13*. Nos exames pré-operatórios determinou-se: a proporção em área (mm^2) de tecido ósseo além o volume (mm^3) na região entre a face distal do 1º molar inferior até a incisura da mandíbula. Nas tomografias pós-operatórias, o padrão de fratura entre os segmentos foi verificado, atribuindo-lhes 4 tipos possíveis, sendo I (mais desejado), II, III ou IV (totalmente indesejado) resultando em 4 grupos: G1 G2 G3 e G4 de acordo com o padrão gerado, nos quais os valores de volume e proporção do tipo ósseo foram comparados. Uma terceira análise foi conduzida aplicando os conceitos da mecânica da fratura a um modelo anatômico na região da OSRM. Dois modelos (*Pre Meshed* e *Arbitrary*) foram utilizados para investigar o início e propagação da trinca por meio de elementos finitos. A análise paramétrica ANOVA one way com posterior aplicação do pós-teste de Tukey foi utilizada. Observou-se que o volume ósseo (mm^3) foi geralmente maior para o padrão Hunsuck verdadeiro (tipo I) e aparentemente menor em casos de fraturas não ideais (tipo III). Além disso menores proporções de medular foram encontradas no padrão tipo IV em regiões-chave para a clivagem. Ademais, maior área de osso cortical foi observada na língua, região retromolar e entre molares nas ocorrências de *bad split*. Finalmente, observou-se a aplicabilidade da mecânica da fratura com o algoritmo XFEM em modelos anatômicos.

Palavras – chave: Cirurgia ortognática. Análise de elementos finitos. Anatomia.

Cunha G. The influence of bone volume on the sagittal split osteotomy [Tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2022.

ABSTRACT

Bone anatomy has been studied and described among the variables related to the undesired fractures after sagittal split osteotomy (SSO). Based on the current findings, this study aimed to access the influence of cortical/medullar proportion and bone volume on the SSO. A parallel analysis targeted to evaluate two types of fracture mechanics through an anatomical model. Preoperative and postoperative CT scans of 82 patients have been used, resulting in a total of 164 SSO. The pre-operative CT scans were evaluated using Dolphin 11.95 for bone proportion and 3D *Slicer* 4.13 to measure the volume. On post-operative CT scans, a fracture pattern was assigned in 4 possible types, I (True Hunsuck), II, III, or IV (totally undesired) resulting in 4 groups: G1 G2 G3, and G4. A parallel analysis was performed to access the fracture mechanics in an anatomical model. Two models (Pre-Meshed and Arbitrary) were used to investigate crack initiation and propagation by using finite element analysis. One-way ANOVA parametric analysis with subsequent Tukey's post-test has been chosen. It was observed that bone volume (mm³) was generally higher for the true Hunsuck pattern (type I) and lower in non-ideal cases (type III). Furthermore, smaller medullary proportions were found in type IV - mainly in key regions of SSO. Moreover, a higher area of cortical bone was noticed in the lingula, retromolar region, and between molars in bad split occurrences. At last, the fracture mechanics analysis with the XFEM algorithm brings over an option to simulate surgical parameter in anatomic models.

Keywords: Orthognathic surgery. Finite element analysis. Anatomy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA	11
1.1 Fatores que Influenciam a Fratura Indesejada na Osteotomia Sagital do Ramo	11
1.2 Introdução a Mecânica da Fratura	15
2 PROPOSIÇÃO	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Descrição da Osteotomia Sagital do Ramo Mandibular	22
3.2 Análise Tomográfica Pré-Operatória: Proporção Óssea	23
3.3 Análise Tomográfica Pré-Operatória: Volume ósseo	25
3.4 Análise Tomográfica Pós-Operatória: Padrão de Fratura.....	37
3.5 Otimização do Modelo Anatômico Previamente a Análise	40
3.6 Mecânica da Fratura: Análise em Elementos Finitos	44
3.6.1 Aquisição de geometria	44
3.6.2 Otimização da geometria	44
3.6.3 Ansys Workbench: <i>engineering data</i>	45
3.6.4 Ansys Mechanical: <i>boundary conditions</i>	45
3.7 Modelos de Geração da Fratura: <i>Pre Meshed e Arbitrária</i>	46
3.7.1 Ansys mechanical: análise da fratura	46
3.7.2 Iniciação da fratura: <i>pre meshed crack</i>	47
3.7.3 Iniciação da fratura: <i>arbitrary crack</i>	49
3.7.4 Propagação de fratura: <i>S.M.A.R.T Crack Growth</i>	51
3.8 Análise Estatística.....	52
4 RESULTADOS	53
4.1 Calibração	53
4.2 Proporção Óssea Total	54
4.3 Proporção Óssea Medular	55
4.4 Proporção Óssea Cortical	56
4.5 Volume Ósseo	56
4.5.1 CT classe II.....	56
4.5.2 CT classe III.....	57
4.5.3 CBCT classe II	58
4.5.4 CBCT classe III	59
4.6 Análise da Fratura: Fator de Intensificação do Estresse (SIF).....	59
4.7 Análise da Fratura: Estresse Equivalente	60
4.8 Análise da Fratura: Deformação	61
5 DISCUSSÃO	63
5.1 CBCT x CT.....	63
5.2 A Análise da Proporção e Volume Ósseo	64
5.3 FEA e a Mecânica da Fratura.....	67
6 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	73

ANEXO A.....79
APÊNDICE A81

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

A análise do volume ósseo e mais recentemente as simulações computacionais na temática da cirurgia ortognática podem ser consideradas um tema relativamente novo na literatura. A compreensão do cenário científico desses temas exige uma descrição detalhada que deve ser iniciada com o histórico da cirurgia dos maxilares perpassando pela evolução da técnica, fatores que podem gerar resultados indesejados além de descrever as recentes técnicas para o estudo e entendimento da mecânica da fratura em modelos anatômicos.

1.1 Fatores que Influenciam a Fratura Indesejada na Osteotomia Sagital do Ramo

Considerando a evolução descrita por Bockmann et al.¹ o conceito de tratar cirurgicamente os ossos da face com a finalidade de correção das deformidades dento-esqueléticas se originou com o cirurgião Hüllihen² em 1849, entretanto a primeira publicação oficial deste tipo de cirurgia ocorreu em 1907, descrito por Blair³ um relato de caso em região de corpo mandibular, inclusive com tratamento ortodôntico associado.

A técnica de osteotomia em mandíbula com finalidade de correção de deformidade dento-esquelética-facial, sofreu várias modificações ao longo dos anos. Em 1955, Trauner e Obwegeser⁴ descreveram uma abordagem mais aprimorada para cirurgias mandibulares, com a nomenclatura de osteotomia sagital do ramo mandibular (OSRM). Essa técnica inovadora, possuía o intuito de corrigir problemas dento-esqueléticos da região mandibular, tanto nas deficiências como nos excessos ântero posteriores.

Outros pesquisadores também sugeriram modificações ao desenho original da osteotomia como Dal Pont⁵ 1961, Hunsuck⁶ 1968, Epker⁷ 1977 e Wolford^{8,9} 1987 e 2015 e Verweij et al.¹⁰ (2015) visando aumentar a quantidade de contato ósseo no avanço ou no recuo mandibular, o que facilitaria a instalação de fixação interna, além de melhorar a estabilidade dos seguimentos proximal (contendo o côndilo) e distal (contendo região alveolar), além de obter maior controle do posicionamento do côndilo e diminuir as complicações pós operatórias, como por exemplo, disestesia ou parestesia permanente do nervo alveolar inferior.

Embora as diversas evoluções tenham apresentado sua particularidade, todas objetivaram facilitar a correta separação (fratura) entre os segmentos ósseos. No

entanto, o desenho das osteotomias abrange certas regiões mandibulares que não são diretamente visualizadas no ato cirúrgico, como por exemplo, a face medial do ramo. Apesar de existirem estudos que busquem pontos de referência para maior segurança¹¹, nesse local o cirurgião realiza a osteotomia baseando-se principalmente em seus conhecimentos anatômicos¹¹. De forma que a dificuldade de visualização dessa região pode gerar osteotomias inadequadas e padrões de separação indesejáveis¹².

Além da dificuldade do acesso cirúrgico em alguns locais, como descrito, a anatomia tem sido investigada como um importante fator na predisposição da fratura indesejada, seja representada pela qualidade, quantidade, morfologia, ou como pretende nosso estudo, volume ósseo na área que recebe a OSRM. O padrão ósseo com maior proporção de trabéculas entre as corticais facilita a separação dos seguimentos e diminui as chances de fraturas indesejadas¹³⁻¹⁷, além de mandíbulas menos espessas estarem associadas a padrões indesejados¹⁸⁻²⁰.

No trabalho de Muto et al.¹⁷ é possível analisar como a anatomia na região de base mandibular permite um plano de separação adequado para toda a extensão da osteotomia. Quando o corte ósseo basal entre molares se localiza em área sem fusão de corticais vestibular e lingual, ou seja, em área em que há presença de osso medular e conseqüente rompimento de ambas corticais, os padrões de fratura predominantes serão ideais, de outra forma há predominância de padrões indesejados.

Witherow et al.²¹ considerando possíveis fatores para a ocorrência de separações indesejadas após OSRM, analisaram 7 casos dentre 52 sítios cirúrgicos, com 2 histórias progressivas de leucemia e anorexia nervosa. Dentre as variáveis estudadas, considerou-se a altura do osso mandibular na área da OSRM, mensurando-se as distâncias da crista alveolar, na região retromolar, e ápice do último molar, ambos à base mandibular. Menores quantidades de osso nas áreas avaliadas foram descritas como um fator de risco para o desenvolvimento de separações indesejadas, além da influência das doenças sistêmicas na qualidade óssea.

Falter et al.²² também abordando o tema, investigaram a incidência de fraturas indesejadas após a OSRM, com 14 casos em 2005 OSRM, com média de idade de 33 anos, enquanto que no restante da amostra foi de 25. Ao analisar a variável idade, houve maior ocorrência de fraturas indesejadas nas mulheres após os 40 anos.

Concluindo-se que a idade é uma variável relevante para a ocorrência de fraturas indesejáveis, possivelmente pela variação na qualidade óssea.

Melsink et al.²³ e Hou et al.²⁴ investigaram a possível influência de estruturas anatômicas e a morfologia mandibular sobre o padrão de fratura. O primeiro verificou se o canal mandibular e o sulco milo-hióideo exercem influência sobre a linha de fratura entre os seguimentos. Embora as referidas áreas sejam regiões de menor resistência óssea, não há correlação significativa entre a presença destas e padrões indesejáveis¹². O segundo identificou que o formato do ramo pode gerar traços de fraturas diferentes. Quando os ramos se apresentavam em formato “meia lua” ou triangular (região anterior mais espessa) os padrões foram ideais (tipo I do nosso estudo), enquanto ramos “bem distribuídos”, ou seja, espessura semelhante entre região posterior e inferior, apresentavam traços de fratura mais posteriorizados (tipo II) possivelmente pela menor resistência criada frente a considerável quantidade de osso medular.

Aarabi et al.¹⁸, estudaram a anatomia de maneira quantitativa avaliando 96 sítios cirúrgicos divididos em dois grupos, G1 com fratura indesejável e G2 sem. A espessura vestíbulo-lingual na região retromolar e no ramo (na altura da língula); a altura da mandíbula que compreende desde a crista alveolar até a borda mandibular; a distância entre a incisura da mandíbula e a borda inferior e a largura ântero posterior do ramo foram mensuradas. As variáveis da incisura da mandíbula, espessura vestíbulo-lingual do ramo mandibular e região retromolar foram significantes a análise estatística. Os pacientes com menor espessura vestíbulo-lingual no corpo mandibular, além de menor altura e espessura no ramo foram mais susceptíveis às fraturas indesejadas.

Wang et al.¹⁹, corroborando com os estudos de Aarabi et al.¹⁸ analisaram em exames 3D fatores de risco para a ocorrência de fraturas indesejadas. Os parâmetros analisados em tomografias pré-operatórias foram: largura ântero posterior do ramo na altura da língula, distância entre linha oblíqua externa e a língula, distância entre a incisura da mandíbula e a borda inferior, o ângulo mandibular em graus, distância da cortical inferior do canal mandibular e a borda inferior na região abaixo do segundo molar, largura vestíbulo-lingual do ramo na altura da língula, distal ao primeiro e segundo molar. Com essas medidas, os autores encontraram somente variações das medidas na distal do segundo molar e na incisura mandibular que foram significantes para a ocorrência de fraturas incorretas. Os autores concluíram que pacientes cujas

medidas foram significantes são candidatos a maior ocorrência de fraturas indesejadas, uma vez que a anatomia precisa ser considerada como um dos fatores de risco.

Zamiri et al.²⁵ investigaram se além da espessura óssea, o tipo de osteotomia medial: curta (atrás na línula) ou longa (3 a 4 mm da línula) influenciaria o padrão de fratura. Com 92 OSRM mediu-se na altura da línula, a largura do ramo no sentido ântero posterior, a distância do término da osteotomia medial até a base mandibular; a espessura vestibulo-lingual da porção anterior do ramo; além da distância entre a línula até o local de separação dos segmentos. A análise dos dados revelou que padrões de fratura indesejados estavam associados a ramos menos espessos e não ao desenho da osteotomia medial

Cunha et al.²⁰ baseados dos estudos de Aarabi e Wang também analisaram a espessura óssea, porém em outros locais da OSRM sob uma amostra de 62 sítios cirúrgicos e tomografias pré e pós-operatórias. Nos exames pré-operatórios consideraram 4 áreas-chave no sentido vestibulo-lingual: Região A - 1,5mm acima da línula mandibular, Região B - 1mm distante da borda anterior de ramo (Região A e B na altura da osteotomia medial), Região C - 5mm distalmente ao segundo molar e 5mm a partir da borda superior (região retromolar) Região D - região de entre as raízes distal e mesial do 1º e 2º molares inferiores, distando 5 mm da base inferior da mandíbula. Nos exames pós-operatórios, o padrão de fratura foi analisado e classificado em I (desejado/ideal), II, III ou IV (indesejado), conforme classificação de Plooi et al.¹². Em todos os locais maiores médias foram encontrados para o padrão ideal e menores médias para o padrão indesejado, sendo a região A estatisticamente significativa, com diferença entre os padrões de fratura tipo I e IV. Concluiu-se que mandíbulas menos espessas na região do ramo mandibular apresentam maior probabilidade de fratura indesejada.

Em relação a maneira com que se avalia e tipifica os possíveis padrões de fratura, classificações foram sugeridas para estudar o tema^{17,24,26}. Dentre elas, Plooi et al.¹² descreveram quatro tipos possíveis de separações dos segmentos mandibulares baseado na direção do traço de fratura. Sendo o tipo I, o padrão ideal, no qual não se atinge o trajeto do nervo alveolar inferior ou a região condilar. Seguida pelos tipos II e III, as quais normalmente não causam grandes complicações pós-cirúrgicas e a classificação IV, totalmente indesejada, que abrange fraturas de maior risco na recuperação do paciente. Sendo essa categorização adotada pela fácil e

objetiva reprodutibilidade, além da considerável quantidade de citações em estudos que compreendem a mesma linha de pesquisa.

Quando uma separação indesejada entre os seguimentos ocorre, a literatura descreve-a como uma das intercorrências mais danosas após a OSRM, pois existe grande chance do desenvolvimento de outras complicações pós-operatórias ainda mais deletérias, desde distúrbios neurosensoriais permanentes²⁷⁻²⁹, má oclusão dentária²⁸, infecção óssea²⁷⁻²⁹, reabsorção e dificuldade de fixação dos segmentos ósseos²⁹, não união óssea²⁷ alterações importantes do posicionamento e função condilar^{28,29}, assimetria facial²⁸ a hemorragias importantes^{27,28}.

Considerando o apresentado, é possível verificar a quantidade de estudos que objetivaram avaliar regiões específicas da OSRM associando-as a fraturas indesejadas. Seja quanti ou qualitativamente, a anatomia tem sido estudada e relacionada como um forte fator de risco dentre aqueles que precipitam a ocorrência de padrões indesejados. Dessa forma, é importante buscar o aprimoramento de metodologias que melhor a estudem e interpretem seu real papel no mecanismo da fratura. Além disso, em se tratando do volume das estruturas ósseas mandibulares, encontram-se análises realizadas a partir de ferramentas específicas no software Dolphin no qual a reconstrução tridimensional é adotada para avaliação da região cônica^{30,31}. No entanto, uma metodologia semelhante aplicada a região da OSRM associando-a a possíveis padrões de fratura não foi encontrada nas recentes buscas bibliográficas. Dessa forma este trabalho irá compor a segunda parte da nossa investigação sobre o tema, na qual o primeiro estudo analisou a espessura (mm) e o terceiro se propõe a avaliar a área de osso cortical e medular (mm²). Embora este estudo não se propõe a modificar a maneira com que o cirurgião realiza a técnica, espera-se que os resultados possam auxiliar na redução de complicações irreversíveis ao paciente²⁸ que sobrecarregam os sistemas de saúde (principalmente públicos)³². Além disso, fraturas indesejadas e suas consequências podem ser motivo de acionamentos judiciais^{33,34}.

1.2 Introdução a Mecânica da Fratura

A compreensão da mecânica da fratura em ortopedia e cirurgia maxilofacial é um tema relevante enquanto é uma rotina no cuidado hospitalar diário em todo o mundo. Independentemente da etiologia, seja por trauma ou após uma osteotomia, ela tem sido alvo de estudos ao longo das últimas décadas.

O osso é o resultado de uma rede orquestrada composta de partículas minerais, conjuntos de colágeno e água³⁵. Como órgão estrutural, semifriável, híbrido e adaptativo, de origem em tecido conjuntivo e natureza composta, o osso é um material relativamente complexo³⁶ que exibe características anisotrópicas, viscoelásticas e heterogêneas³⁷. Essas propriedades advêm do ato de neoformação ao invés de ser fabricadas, o que cria um material dinâmico adaptado à demanda fisiológica³⁵. Esta afinação é função dependente. Isto implica que a estrutura e as propriedades mecânicas são influenciadas e determinadas pela respectiva função.

Embora a função estrutural e protetora do osso, a forma (isto é, longa, curta ou em chata) também determina características peculiares. Por exemplo, um osso longo protege o esqueleto contra a flexão e um osso curto oferece resistência sob cargas compressivas³⁵.

Várias características estão envolvidas na resistência óssea. Como fator externo, medicamentos como os bifosfonatos e a dieta desempenham um papel importante na diminuição da resistência óssea. Como fatores intrínsecos são destacados a idade, doenças (por exemplo, diabetes e osteoporose) arquitetura trabecular, estrutura cortical, a capacidade de renovação (turnover), além do conteúdo mineral e orgânico^{35,37}. A densidade mineral óssea (BMD) mede a proporção de partículas inorgânicas (quantidade de tecido mineralizado)³⁵ e embora seja um teste importante para orientar o padrão a conduta clínica, no entanto, esse dado não prevê por si só a resistência óssea de forma completa, ao passo que a alta rigidez óssea torna o material friável, o que o torna quebradiço. Além disso O BMD não considera a rede e a quantidade de fibras de colágeno, que por sua vez, desempenham um papel importante na resistência óssea. Esse conteúdo orgânico é responsável por absorver a energia conferindo ductilidade ao material^{37,38}.

Em associação com os fatores intrínsecos e extrínsecos, a ciência dos materiais descreve vários princípios para a resistência óssea. Por exemplo, parâmetros como Módulo de elasticidade, *Poisson's Ratio*, *Tensile* e *Yield Ultimate Strength*, rigidez (resistência à deformação elástica), resistência propriamente dita (resistência à deformação plástica) e tenacidade (resistência à fratura) são alguns dos conceitos básicos que orientam uma análise de início e propagação da trinca³⁵. Além disso, variáveis externas, como intensidade e direção da força, de igual modo estão relacionados à resistência do material.

A mecânica da fratura no osso cortical e medular tem um vasto conteúdo de dados, uma vez que é um tema estudado há muito tempo. Este conceito abrange a análise da carga, direção, tamanho da trinca e resistência à fratura³⁹. Diferentes modelos foram publicados para avaliar o comportamento da trinca: A Resistência dos Materiais, a Mecânica dos Danos Contínuos e a Mecânica das Fraturas. O último é amplamente utilizado enquanto considera a resistência à fratura ao longo da análise e divide-a em meso, micro e nano escala, o que traz resultados mais fidedignos³⁹. Entretanto, a fratura, por ser um acontecimento complexo, é explicada pela sinergia dos modelos descritos anteriormente, onde o dano interno ao redor da trinca promove o trajeto da fratura enquanto a resistência do material resiste à propagação³⁵. Não obstante, considerando a dificuldade de mesclar tais modelos ao longo de uma mesma análise, parte dos estudos publicados foram concluídos em termos teóricos (analíticos), devido à escassez tecnológica.

Uma melhor compreensão e avaliação da mecânica da fratura tornou-se viável com o aprimoramento da tecnologia, considerando que uma simulação computacional é exigida. É possível introduzir vários dos parâmetros necessários além de considerar diferentes modelos de análise usando o recurso dos Elementos Finitos (FEA). A FEA é uma técnica eficaz que funciona como um solucionador de problemas matemáticos. A simulação pode dividir as variáveis e testar os parâmetros separadamente, eliminando ao mesmo tempo os fatores de confusão. Além disso, a FEA é útil para criar hipóteses quando as propriedades do material ou a carga sofrerem alterações.³⁹

Atualmente, três modelos são descritos para construir uma análise em FEA: O convencional, também conhecido como modelo de Malha⁴⁰. Neste modelo, a superfície do objeto é feita por um número finito de geometrias (por exemplo, triângulos) e estas são conectadas por pontos (nós). O segundo é descrito como NURBS (*Non-uniform rational basis spline*), na qual a superfície é dividida em várias faces e cada uma delas é elegível para aplicação de carga e, finalmente, há uma terceira modalidade descrita, aparentemente sendo utilizada com menos frequência, chamada modelo sem malha (*Meshless*). Ela traz o modelo como um objeto único, ou seja, sem triângulos ou faces⁴¹. Em todos eles, o objetivo é receber e espalhar a carga sobre a estrutura.

Antes do teste computacional, a estrutura alvo precisa ser convertida em um arquivo de geometria. Nos casos de modelos anatômicos, Essas geometrias são provenientes da tomografia computadorizada (CT), que fornece os detalhes e volume

adequado, que uma vez transformadas em geometrias podem são reconhecidas pelo software de FEA. Além disso, os modelos não homogêneos, ou seja, que seguem a variação da calcificação óssea ao longo de determinada estrutura para atribuição do Módulo de elasticidade também podem ser transformados em geometrias, obviamente com um maior nível de complexidade no que tange a processamento computacional e interpretação ^{41,42}.

O software de FEA *ANSYS* disponibilizou uma tecnologia para análise de fraturas, que abrange tanto o início como a propagação de trincas. Publicado em 1999 por Belytschko & Benko⁴³ e aprimorado ao longo dos anos, o Método dos Elementos Finitos Estendidos (XFEM ou XFEA) facilita a simulação, visto que o algoritmo atualiza automaticamente a malha do objeto de acordo com a trajetória de crescimento da trinca⁴²⁻⁴⁴. Em outras palavras, além do usuário não precisar gerar novas malhas ao longo da simulação, o recurso prevê o início e a propagação da trinca sem um pré-conhecimento de sua trajetória, o que representaria de forma mais fidedigna o que ocorre clinicamente⁴². Neste método a trinca se propaga ao longo do objeto enquanto a malha se auto modifica instantaneamente sem a intervenção do usuário, porém respeitando as características do material. Esta ferramenta tem sido introduzida na ciência dos materiais elásticos lineares com diferentes abordagens, tais como o Crescimento da Fadiga em feixe metálico ⁴⁵, a interferência de furos na propagação da fenda⁴⁴, e a previsão de vida útil de um espécime⁴⁶.

Contudo, a literatura tem um número restrito de estudos avaliando parâmetros da cirurgia ortognática com o método FEA. Aparentemente, a maioria destas análises se concentra na geometria e posição das placas além do número e diâmetro dos parafusos, ou seja na biomecânica entre implante e osso⁴⁷. Isso pode ser em parte ser explicado pela tendência no design e fabricação de implantes paciente-específico devido a sua precisão e superioridade em termos de resistência e demais propriedades mecânicas⁴⁸. Entretanto, esses estudos são conduzidos sobre a mandíbula pré-fraturada e resultados usualmente avaliam parâmetros básicos como a tensão-deformação e o deslocamento do implante de acordo com a força aplicada. Esse tipo de análise não considera o início e a propagação da trinca³⁹. Por isso, para o melhor de nosso conhecimento, não há dados disponíveis aplicando a mecânica da fratura em modelos anatômicos, principalmente da região maxilofacial, sendo este possivelmente o primeiro estudo conduzido para entender a iniciação da fratura em

um modelo mandibular utilizando o método XFEM.

6 CONCLUSÃO

Com os dados obtidos por meio da metodologia aplicada observou-se que:

- Menores proporções de osso medular foram encontradas no padrão tipo IV em regiões chave de clivagem (entre molares inferiores). De igual modo, maior área de osso cortical foi observada na línula, região retromolar e entre molares nas ocorrências de bad split.
- O volume ósseo (mm^3) na região da OSRM é geralmente maior para o padrão Hunsuck verdadeiro (tipo I) e aparentemente menor em casos de fraturas não ideais (tipo II e III) além daquelas totalmente indesejadas (bad split);
- O algoritmo XFEM permitiu a análise de dois tipos de mecânica da fratura aplicados a modelos anatômicos.

REFERÊNCIAS*

- 1 Böckmann R, Meyns J, Dik E, Kessler P. The modifications of the sagittal ramus split osteotomy: a literature review. *Plast Reconstr surgery Glob open*. 2014; 2(12): e271.
- 2 Hullihen SP. Case of elongation of the underjaw and distorsion of the face and neck, caused by a burn, successfully treated. *Am J Dent Sci*. 1849; 9: 157–61.
- 3 Blair V. Operations on the jaw-bone and face. *Surg Gynecol Obs* 1907; 4: 67–78.
- 4 Trauner, R; Obwegeser H. Zur Operationstechnik bei der Progenia und anderen Unter kieferanomalien. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd*. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 1955; 23: 11–25.
- 5 DAL PONT G. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. *J Oral Surg Anesth Hosp Dent Serv* 1961; 19: 42–7.
- 6 Hunsuck EE. A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism. *J Oral Surg* 1968; 26: 250–3.
- 7 Epker BN. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J Oral Surg* 1977; 35: 157–9.
- 8 Wolford LM, Bennett MA, Rafferty CG. Modification of the mandibular ramus sagittal split osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1987; 64: 146–55.
- 9 Wolford LM. Influence of osteotomy design on bilateral mandibular ramus sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg*. 2015; 73(?): 1994–2004.
- 10 Verweij JP, Mensink G, Houppermans PNWJ, van Merkesteyn JPR. Angled Osteotomy Design Aimed to Influence the Lingual Fracture Line in Bilateral Sagittal Split Osteotomy: A Human Cadaveric Study. *J Oral Maxillofac Surg* 2015; 73: 1983–93.
- 11 Yu IH, Wong YK. Evaluation of mandibular anatomy related to sagittal split ramus osteotomy using 3-dimensional computed tomography scan images. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008; 37: 521–8.
- 12 Plooij JM, Naphausen MTP, Maal TJJ, Xi T, Rangel FA, Swennen G et al. 3D evaluation of the lingual fracture line after a bilateral sagittal split osteotomy of the mandible. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009; 38: 1244–9.
- 13 Tom WK, Martone CH, Mintz SM. A study of mandibular ramus anatomy and its significance to sagittal split osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1997; 26: 176–8.
- 14 Scomparin L, Soares M-Q-S, Rubira C-M-F, Yaedú R-Y-F, Imada T-S-N, Centurion B-S et al. CBCT location of the fusion between the buccal and lingual cortical in the mandibular ramus: importance to sagittal split osteotomy. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2017; 22: e500–e505.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

- 15 Fernandes AC de S, Cardoso PM, Fernandes IS, de Moraes M. Anatomic study for the horizontal cut of the sagittal split ramus osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2013; 71: 1239–44.
- 16 Muto T, Shigeo K, Yamamoto K, Kawakami J. Computed tomography morphology of the mandibular ramus in prognathism: effect on the medial osteotomy of the sagittal split ramus osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2003; 61: 89–93.
- 17 Muto T, Takahashi M, Akizuki K. Evaluation of the mandibular ramus fracture line after sagittal split ramus osteotomy using 3-dimensional computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg* 2012; 70: e648-52.
- 18 Aarabi M, Tabrizi R, Hekmat M, Shahidi S, Puzesh A. Relationship between mandibular anatomy and the occurrence of a bad split upon sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2014; 72: 2508–13.
- 19 Wang T, Han JJ, Oh H-K, Park H-J, Jung S, Park Y-J et al. Evaluation of Mandibular Anatomy Associated With Bad Splits in Sagittal Split Ramus Osteotomy of Mandible. *J Craniofac Surg* 2016; 27: e500-4.
- 20 Cunha G, Oliveira MR, Salmen FS, Gabrielli MFR, Gabrielli MAC. How does bone thickness affect the split pattern of sagittal ramus osteotomy? *Int J Oral Maxillofac Surg* 2020; 49: 218–223.
- 21 Witherow H, Offord D, Eliahoo J, Stewart A. Postoperative fractures of the lingual plate after bilateral sagittal split osteotomies. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2006; 44: 296–300.
- 22 Falter B, Schepers S, Vrielinck L, Lambrichts I, Thijs H, Politis C. Occurrence of bad splits during sagittal split osteotomy. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 2010; 110: 430–435.
- 23 Mensink G, Gooris PJJ, Bergsma EJ, Frank MH, van Gemert JTM, van Merkesteyn JPR. Is the Lingual Fracture Line Influenced by the Mandibular Canal or the Mylohyoid Groove During a Bilateral Sagittal Split Osteotomy? A Human Cadaveric Study. *J Oral Maxillofac Surg* 2014; 72: 973–979.
- 24 Hou M, Yu T-P, Wang J-G. Evaluation of the Mandibular Split Patterns in Sagittal Split Ramus Osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2015; 73: 985–993.
- 25 Zamiri B, Tabrizi R, Shahidi S, Pouzesh A. Medial cortex fracture patterns after sagittal split osteotomy using short versus long medial cuts: can we obviate bad splits? *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015; 44: 809–15.
- 26 Song JM, Kim YD. Three-dimensional evaluation of lingual split line after bilateral sagittal split osteotomy in asymmetric prognathism. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2014; 40: 11–6.
- 27 Teltzrow T, Kramer F-J, Schulze A, Baethge C, Brachvogel P. Perioperative complications following sagittal split osteotomy of the mandible. *J Cranio-Maxillofacial Surg* 2005; 33: 307–313.
- 28 Panula K, Finne K, Oikarinen K. Incidence of complications and problems related to orthognathic surgery: a review of 655 patients. *J Oral Maxillofac Surg* 2001; 59: 1128–36; discussion 1137.

- 29 Friscia M, Sbordone C, Petrocelli M, Vaira LA, Attanasi F, Cassandro FM et al. Complications after orthognathic surgery: our experience on 423 cases. *Oral Maxillofac Surg* 2017; 21: 171–177.
- 30 Goulart DR, Muñoz P, Cantín López MG, de Moraes M, Olate S. Comparative Evaluation of Condylar Volume Between Patients With Unilateral Condylar Hyperplasia and Class III Dentofacial Deformity. *J Oral Maxillofac Surg* 2017; 75: 180–188.
- 31 da Silva RJ, Valadares Souza CV, Souza GA, Ambrosano GMB, Freitas DQ, Sant’Ana E et al. Changes in condylar volume and joint spaces after orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2018; 47: 511–517.
- 32 Vieira Junior WM, Martins M. Idosos e planos de saúde no Brasil: análise das reclamações recebidas pela Agência Nacional de Saúde Suplementar. *Cien Saude Colet* 2015; 20: 3817–3826.
- 33 Melani, Rodolfo Francisco Haltenhoff; Oliveira, Rogério Nogueira de; Oliveira, Silvia Virginia Tedeschi; Juhás R. Dispositivos jurídicos e argumentos mais utilizados em processos civis: análise de casuística em Odontologia. *RPG Rev Pós Gr* 2010; 17: 46–53.
- 34 Zanin AA, Herrera LM, Melani RFH. Civil liability: characterization of the demand for lawsuits against dentists. *Braz Oral Res* 2016; 30. doi:10.1590/1807-3107BOR-2016.vol30.0091.
- 35 Launey ME, Buehler MJ, Ritchie RO. On the Mechanistic Origins of Toughness in Bone. <http://dx.doi.org/101146/annurev-matsci-070909-104427> 2010; 40: 25–53.
- 36 Ur Rahman W, Khan R, Rahman N, Alrowaili ZA, Bibi B, Us Sama N. Experimental evaluation of fracture properties of bovine hip cortical bone using elastic-plastic fracture mechanics. *Biomed Mater Eng* 2021; : 1–10.
- 37 Viguet-Carrin S, Garnero P, Delmas PD. The role of collagen in bone strength. *Osteoporos Int* 2006; 17: 319–336.
- 38 Puustjärvi K, Nieminen J, Räsänen T, Hyttinen M, Helminen HJ, Kröger H et al. Do more highly organized collagen fibrils increase bone mechanical strength in loss of mineral density after one-year running training? *J Bone Miner Res* 1999; 14: 321–329.
- 39 Ural A. Advanced Modeling Methods-Applications to Bone Fracture Mechanics. *Curr Osteoporos Rep* 2020; 18: 568–576.
- 40 Liu Y feng, Fan Y ying, Jiang X feng, Baur DA. A customized fixation plate with novel structure designed by topological optimization for mandibular angle fracture based on finite element analysis. *Biomed Eng Online* 2017; 16. doi:10.1186/s12938-017-0422-z.
- 41 Rivera AF, Magalhães F de C, Moreno A, Rubio JC. Assessment of the highest stress concentration area generated on the mandibular structure using meshless finite elements analysis. *Bioengineering* 2020; 7: 1–11.
- 42 Ali AA, Cristofolini L, Schileo E, Hu H, Taddei F, Kim RH et al. Specimen-specific modeling of hip fracture pattern and repair. *J Biomech* 2014; 47: 536–543.
- 43 Belytschko T, Black T. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing. *Int J Numer Methods Eng* 1999; 45: 601–620.

- 44 Alshoaibi AM, Fageehi YA. Finite Element Simulation of a Crack Growth in the Presence of a Hole in the Vicinity of the Crack Trajectory. *Materials (Basel)* 2022; 15. doi:10.3390/MA15010363.
- 45 Fageehi YA. Fatigue Crack Growth Analysis with Extended Finite Element for 3D Linear Elastic Material. *Met* 2021, Vol 11, Page 397 2021; 11: 397.
- 46 Alshoaibi AM, Fageehi YA. Numerical Analysis of Fatigue Crack Growth Path and Life Predictions for Linear Elastic Material. *Mater (Basel, Switzerland)* 2020; 13: 1–15.
- 47 Chang LR, Chen CC, Jeng SF, Chen YR, Hwang LC, Lin TS. Investigation of a Modified Novel Technique in Bilateral Sagittal Splitting Osteotomy Fixation: Finite Element Analysis and in Vitro Biomechanical Test. *Biomed Res Int* 2020; 2020. doi:10.1155/2020/8707389.
- 48 Pavlychuk T, Chernogorskyi D, Chepurnyi Y, Neff A, Kopchak A. Biomechanical evaluation of type p condylar head osteosynthesis using conventional small-fragment screws reinforced by a patient specific two-component plate. *Head Face Med* 2020; 16. doi:10.1186/s13005-020-00236-0.
- 49 Steenen SA, Becking AG. Bad splits in bilateral sagittal split osteotomy: systematic review of fracture patterns. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2016; 45: 887–97.
- 50 Böckmann R, Schön P, Neuking K, Meyns J, Kessler P, Eggeler G. In Vitro Comparison of the Sagittal Split Osteotomy With and Without Inferior Border Osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2015; 73: 316–323.
- 51 Roy V, Shukla S, Shukla PK, Rawat P. Gaussian Elimination-Based Novel Canonical Correlation Analysis Method for EEG Motion Artifact Removal. *J Healthc Eng* 2017; 2017. doi:10.1155/2017/9674712.
- 52 Lopes CCA, David EF, Costa G V, Bernardino Junior R. P-o23G - Análise do diâmetro do canal mandibular humano do gênero masculino e feminino através de tomografias computadorizada. *Arch Heal Investig* 2013; 2. <https://www.archhealthinvestigation.com.br/ArchHI/article/view/558>.
- 53 Suazo Galdames IC, Morales Herrera CA, Cantín López MG, Zavando Matamala DA. Aspectos Biométricos del Canal Mandibular . *Int. J. Morphol. .* 2007; 25: 811–816.
- 54 Siiskonen T, Gallagher A, Bjelac OC, Novak L, Merce MS, Farah J et al. A European perspective on dental cone beam computed tomography systems with a focus on optimisation utilising diagnostic reference levels. *J Radiol Prot* 2021; 41: 442–451.
- 55 Black J, Hastings G. *Handbook of Biomaterial Properties*. Springer US: Boston, MA, 1998 doi:10.1007/978-1-4615-5801-9.
- 56 Kutz M. *Standard Handbook of Biomedical Engineering & Design*. 2003.
- 57 Irwin GR. Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate. *J Appl Mech* 1957; 24: 361–364.
- 58 Cook RB, Zioupos P. The fracture toughness of cancellous bone. *J Biomech* 2009; 42: 2054–2060.
- 59 Fermanian J. Measure de l'accord entre deux juges: cas quanti tati f. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1984; 32: 408–413.

- 60 Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33: 159–74.
- 61 Razi T, Niknami M, Alavi Ghazani F. Relationship between Hounsfield Unit in CT Scan and Gray Scale in CBCT. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2014; 8: 107–10.
- 62 Mah P, Reeves TE, McDavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2010; 39: 323–335.
- 63 Pauwels R, Jacobs R, Singer SR, Mupparapu M. CBCT-based bone quality assessment: Are Hounsfield units applicable? *Dentomaxillofacial Radiol.* 2015; 44. doi:10.1259/dmfr.20140238.
- 64 Pauwels R, Stamatakis H, Manousaridis G, Walker A, Michielsen K, Bosmans H et al. Development and applicability of a quality control phantom for dental cone-beam CT. *J Appl Clin Med Phys* 2011; 12: 245–260.
- 65 Lagravère MO, Carey J, Ben-Zvi M, Packota G V., Major PW. Effect of object location on the density measurement and Hounsfield conversion in a NewTom 3G cone beam computed tomography unit. *Dentomaxillofacial Radiol* 2008; 37: 305–308.
- 66 Plachtovics M, Bujtar P, Mommaerts M, Nagy K. High-quality image acquisition by double exposure overlap in dental cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2014; 117: 760–767.
- 67 Katsumata A, Hirukawa A, Okumura S, Naitoh M, Fujishita M, Arijji E et al. Effects of image artifacts on gray-value density in limited-volume cone-beam computerized tomography. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 2007; 104: 829–836.
- 68 Molteni R. Prospects and challenges of rendering tissue density in Hounsfield units for cone beam computed tomography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* 2013; 116: 105–119.
- 69 van der Hee JG, Verweij JP, de Jonge HKT, Fiocco M, Mensink G, van Merkesteyn JPR. Density of the mandibular ramus (cancellous:cortical bone volume ratio) as a predictor of the lingual fracture pattern in bilateral sagittal split osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2020. doi:10.1016/j.bjoms.2020.01.026.
- 70 JC D, AD M, BR D, CG R, R G, DS P. Concomitant removal of mandibular third molars during sagittal split osteotomy minimizes neurosensory dysfunction. *J Oral Maxillofac Surg* 2012; 70: 2153–2163.
- 71 JP V, G M, M F, JP van M. Presence of mandibular third molars during bilateral sagittal split osteotomy increases the possibility of bad split but not the risk of other post-operative complications. *J Craniomaxillofac Surg* 2014; 42: e359–e363.
- 72 Priyadarshini S, Sahoo P, Niyogi S, Patnaik S, Bhuyan S. Qualitative and morphological evaluation of the mandibular bone using computed tomography. *Indian J Dent Res* 2020; 31: 899–903.
- 73 Chen C-M, Liang S-W, Chou S-T, Hwang D-S, Kim U-K, Tseng Y-C. Importance in the occurrence rate of shortest buccal bone marrow distance (<1 mm) for sagittal split ramus osteotomy. *J Formos Med Assoc* 2021; 120: 697–704.

- 74 Ueki K, Okabe K, Miyazaki M, Mukozawa A, Moroi A, Marukawa K et al. Skeletal stability after mandibular setback surgery: comparisons among unsintered hydroxyapatite/poly-L-lactic acid plate, poly-L-lactic acid plate, and titanium plate. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; 69: 1464–1468.
- 75 Koester KJ, Ager JW, Ritchie RO. The true toughness of human cortical bone measured with realistically short cracks. *Nat Mater* 2008; 7: 672–677.
- 76 Heřt J, Fiala P, Petrářl M. Osteon orientation of the diaphysis of the long bones in man. *Bone* 1994; 15: 269–277.
- 77 Rho JY, Ashman RB, Turner CH. Young's modulus of trabecular and cortical bone material: ultrasonic and microtensile measurements. *J Biomech* 1993; 26: 111–119.
- 78 Tanaka E, Tanne K, Sakuda M. A three-dimensional finite element model of the mandible including the TMJ and its application to stress analysis in the TMJ during clenching. *Med Eng Phys* 1994; 16: 316–322.
- 79 Gregolin RF, Zavaglia CA de C, Tokimatsu RC, Pereira JA. Biomechanical Stress and Strain Analysis of Mandibular Human Region from Computed Tomography to Custom Implant Development. *Adv Mater Sci Eng* 2017; 2017: 7525897.
- 80 Franks G V., Sesso ML, Lam M, Lu Y, Xu L. Elastic plastic fracture mechanics investigation of toughness of wet colloidal particulate materials: Influence of saturation. *J Colloid Interface Sci* 2021; 581: 627–634.
- 81 Ueki K, Moroi A, Yoshizawa K. Stability of the chin after advancement genioplasty using absorbable plate and screws with template devices. *J Craniomaxillofac Surg* 2019; 47: 1498–1503.
- 82 Böckmann R, Neuking K, Kessler P. An In Vitro Comparison Study of the Use of a Drill or a Saw in the Hunsuck-Dal Pont Modification of the Obwegeser Sagittal Split Osteotomy in Pig Mandibles. *J Oral Maxillofac Surg* 2017; 75: 1742.e1-1742.e9.
- 83 Tate GS, Ellis E, Throckmorton G. Bite forces in patients treated for mandibular angle fractures: Implications for fixation recommendations. *J Oral Maxillofac Surg* 1994; 52: 734–736.
- 84 Joshi U, Kurakar M. Assessment of Lingual Stability in Mandible Fracture: Monocortical Versus Bicortical Fixation Using FEM Analysis. *J Maxillofac Oral Surg* 2018; 17: 514–519.