

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

RICARDO AUGUSTO CONCI

**ESTUDO COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE FIXAÇÃO ÓSSEA EM
FRATURAS DE CÔNDILO MANDIBULAR ATRAVÉS DE ANÁLISE POR
ELEMENTOS FINITOS**

Porto Alegre

2014

**ESTUDO COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE FIXAÇÃO ÓSSEA EM
FRATURAS DE CÔNDILO MANDIBULAR ATRAVÉS DE ANÁLISE POR
ELEMENTOS FINITOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos obrigatórios para a obtenção do título de Mestre, na área de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientado: Ricardo Augusto Conci

Orientador: Prof. Dr. Claiton Heitz

Porto Alegre

2014

RICARDO AUGUSTO CONCI

**ESTUDO COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE FIXAÇÃO ÓSSEA EM
FRATURAS DE CÔNDILO MANDIBULAR ATRAVÉS DE ANÁLISE POR
ELEMENTOS FINITOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos obrigatórios para a obtenção do título de Mestre, na área de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Claiton Heitz (PUC/RS)

Prof. Dr. Guilherme Genehr Fritscher (PUC/RS)

Prof. Dr. Luís Eduardo Schneider (ULBRA/RS)

Porto Alegre

2014

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A Deus pelo dom da vida, por mais essa oportunidade e por sempre guiar meus passos.

Aos meus pais, Dacir e Cleni, pelo amor, carinho, dedicação, paciência e incentivo, para que eu pudesse alcançar mais esse importante objetivo. São essenciais para a minha vida. Amo muito vocês. Muito obrigado por tudo, de coração.

Aos meus irmãos Juliano e Fernanda, pelo amor, carinho e pela torcida para que concluísse esse Mestrado. Amo vocês.

Ao Professor Dr. Claiton Heitz, pela acolhida e pela confiança em mim depositada. Obrigado pelos ensinamentos, cirurgias, conselhos e paciência. Obrigado também pelo incentivo para que eu busque sempre melhorar. Tenho muito orgulho de ter sido seu orientado, pela sua enorme capacidade, pelo seu profissionalismo, dedicação, humildade, ética, respeito ao próximo e amor à Cirurgia Bucomaxilofacial. Sou eternamente grato por tudo o que fez por mim.

Ao Professor Dr. Guilherme Genehr Fritscher, agradeço por seus valiosos ensinamentos e pela confiança. Pelos planejamentos cirúrgicos, pelas cirurgias e por ter aceito ser membro da banca avaliadora dessa dissertação.

Ao Professor Dr. Luís Eduardo Schneider por ter aceito compor a banca avaliadora desse trabalho.

A todos os professores de Odontologia da PUC/RS, em especial aos de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pelos ensinamentos e pelo convívio.

Aos professores da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE/Cascavel), em especial aos professores da Residência em Cirurgia e

Traumatologia Bucomaxilofacial, pelos ensinamentos e conselhos e, principalmente pela amizade e incentivo que conferem a mim, sempre.

A todos os meus amigos, por tudo que fazem por mim e pela torcida.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, através do diretor, professor Dr. Alexandre Bahlis.

À professora Dra. Ana Maria Sphor, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da PUC/RS, pelo empenho e dedicação.

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa que possibilitou a conclusão deste Mestrado.

Aos colegas de Pós-Graduação de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pela troca de informações e amizade, em especial a Roger Correa de Barros Berthold, pelo companheirismo e ajuda nesses dois anos.

Ao colega, Cirurgião Bucomaxilofacial, Daniel Augusto Gaziri, pela ajuda e pelo incentivo para que realizasse essa pesquisa com Elementos Finitos. Obrigado pelas explicações, material didático e por todo o auxílio.

Ao Centro de Tecnologias da Informação Rentao Archer (CTI/CenPRA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Agradecimento a Jorge Vicente Lopes da Silva, chefe da divisão de tecnologias tridimensionais, por aceitar o nosso projeto e pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa nessa renomada e conceituada instituição. Também aproveito para agradecer imensamente a Pedro Yoshito Noritomi, pesquisador da divisão de tecnologias tridimensionais, pela acolhida e pela valiosa contribuição em todas as etapas de execução do trabalho, sempre com muita disposição e paciência, desde a questão dos agendamentos de horários até a conclusão do projeto, com ideias e explicações muito importantes e pela ajuda em tudo o que foi necessário. Ainda aproveito a oportunidade para agradecer Daniel Takanori Kemmoku (Taka), engenheiro chefe

do grupo de Bioengenharia, que executou a parte computacional do projeto no CTI, pela sua dedicação e paciência, fundamentais para que pudesse realizar essa pesquisa com uma gama de informações tão valiosa. A todas as pessoas do CTI/CenPRA que ajudaram e fizeram parte desse projeto, meu muito obrigado.

À Toride, pelo fornecimento dos arquivos em 3D das placas e parafusos de titânio e todas as informações necessárias para a pesquisa e pela disponibilidade que sempre demonstraram para a execução desse trabalho.

Aos funcionários da secretária de Pós Graduação da Faculdade de Odontologia da PUC/RS.

Aos funcionários da disciplina de cirurgia da Faculdade de Odontologia da PUC/RS.

Aos funcionários do bloco cirúrgico do Hospital São Lucas da PUC/RS.

RESUMO

As fraturas de côndilo mandibular representam um tema de grande importância dentro da Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pela grande incidência dentre as fraturas faciais, além das inúmeras discussões no que diz respeito às formas de tratamento, acessos cirúrgicos e o tipo de material que vai ser utilizado para fixação das fraturas. O tratamento divide-se em cirúrgico e não-cirúrgico, e depende de algumas situações e indicações. Quando o tratamento cirúrgico é a escolha, deve-se buscar uma adequada redução das fraturas, além de eficiente fixação interna para se obter um bom resultado final. Inúmeras configurações de placas, isoladas ou não, com formatos e tamanhos variados, são utilizadas para a resolução cirúrgica das fraturas condilares. Almejando aprimorar as vantagens e minimizar as desvantagens das técnicas de fixação, foi desenvolvido o parafuso *Neck Screw*, visando a estabilidade necessária para a correta fixação através de um sistema de compressão dinâmica, aumentando o contato entre os cotos fraturados, além de servir como aliado no momento da redução das fraturas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a fixação e a estabilidade das fraturas de côndilo mandibular e comparar três técnicas de fixação, sendo que a primeira configuração apresenta uma placa de 2.0 mm, com 4 furos, com parafusos de 6 mm de comprimento, a segunda configuração apresenta duas placas, sendo uma de 1.5 mm e outra de 2.0 mm, ambas com 4 furos, com parafusos de 6 mm de comprimento e a última, apresenta o parafuso *Neck Screw*. Os resultados demonstram uma melhor estabilidade quando do uso de duas placas, no que diz respeito ao deslocamento das fraturas, deformação dos materiais de síntese e valores de tensões mínimas e máximas. Os resultados

com o parafuso *Neck Screw* são satisfatórios, semelhantes aos encontrados quando da utilização de uma miniplaca, sendo, portanto, uma alternativa para redução e fixação das fraturas condilares, desde que corretamente indicado e com sequência e técnica cirúrgica adequadas.

Palavras-chave: Côndilo mandibular. Fraturas condilares. Parafuso Neck Screw

ABSTRACT

Mandibular condylar fractures are a theme of great importance within Oral and Maxillofacial Surgery due to their high incidence among facial fractures, and to numerous discussions regarding forms of treatment, surgical approaches, and the type of material used for fracture fixation. Treatment can be either surgical or nonsurgical, and depends upon certain situations and directions. When the choice is for surgical treatment proper fracture reduction and efficient internal fixation must be pursued to achieve good final results. Numerous plate configurations, whether or not isolated, with various shapes and sizes, are used for the surgical resolution of condylar fractures. In order to enhance the advantages and minimize the disadvantages of fixation techniques, the Neck Screw was developed, aiming at the necessary stability for proper fixation through a dynamic compression system that could increase the contact between the fractured stumps, and, at the same time, assist at the time of fracture reduction. The purpose of this study was to assess the fixation and stability of mandibular condylar fractures, and to compare three fixation techniques, in that the first configuration had a 2.0 mm plate with 4 holes, and with 6-mm-long screws, the second configuration had two plates — one of 1.5 mm and the other of 2mm —both with 4 holes, and with 6-mm-long screws, and the last had a Neck Screw. The results showed improved stability when using two plates, in regard to displacement of the fractures, deformation of the synthesis materials, and minimum and maximum tension values. The results with the Neck Screw were satisfactory, similar to those found when using a Mini-Plate, and it is thus an alternative for the reduction and fixation of condylar fractures, provided it is correctly prescribed, and follows an appropriate surgical sequence and technique.

Key-words: Mandibular condyle. Condylar fractures. Neck Screw.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|--------|
| Figura 1 - Classificação de Lindahl..... | 17 |
| Figura 2 – Classificação da AO Foundation | 18 |
| Figura 3 – Fratura subcondilar esquerda | 25 |
| Figura 4 - Dissecção subcutânea sobre a parte superior do músculo platisma e dissecção roma entre as fibras do músculo masseter | 26 |
| Figura 5 – Exposição e redução da fratura condilar | 26 |
| Figura 6 – Instalação do Neck Screw | 26 |
| Figura 7 – Instalação da placa sobre o parafuso Neck Screw | 27 |
| Figura 8 – Exames de imagens pós-operatório | 27 |
| Figura 9 – Parafuso Neck Screw | 30 |
| Figura 10 – Teste com resina fotoelástica realizada por Christopoulos | 32 |
| Figura 11 – Restrição de movimento superior do côndilo e aplicação de forças . | 32 |
| Figura 12 – Configurações de fixações para fraturas de côndilo mandibular..... | 33 |
| Figura 13 – Deformação dos materiais utilizados para fixação das fraturas de côndilo | 35, 36 |
| Figura 14 – Valores de Von Misses para placas e parafusos | 37, 38 |
| Figura 15 – Valores de Von Misses para placas e para o Neck Screw..... | 38, 39 |
| Figura 16 – Valores de tensão máxima principal | 39, 40 |
| Figura 17 – Valores de tensão mínima principal | 41 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

PUC/RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

ATM - Articulação Têmporo Mandibular

AO - Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

BMM – Bloqueio Maxilo-Mandibular

FEA – Análise por elementos finitos

3 D – Três dimensões

CTI – Centro de Tecnologia da Informação

CenPRA – Centro de Pesquisa Rentao Archer

TC – Tomografia Computadorizada

Mpa – Mega Pascal

N – Newton

mm – Milímetro

mm² – Milímetro quadrado

% - Por cento

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 Introdução e Revista Preliminar de Literatura | 15 |
| 2 Objetivos..... | 28 |
| 3 Justificativa..... | 29 |
| 4 Metodologia..... | 30 |
| 5 Resultados..... | 35 |
| 6 Discussão..... | 42 |
| 7 Conclusões..... | 47 |
| 8 Bibliografia | 48 |
| 9 Anexos..... | 53 |

1. INTRODUÇÃO

As fraturas faciais constituem tema de grande importância, pois podem comprometer as funções mastigatória, fonética, visual e respiratória, além de afetarem a estética, afastando, desta maneira, o indivíduo do convívio social e de suas atividades laborais, com prejuízos sócio-econômicos¹.

Dentre as fraturas faciais, as fraturas de mandíbula apresentam grande prevalência, tanto em adultos quanto em crianças, sendo que as fraturas de côndilo merecem atenção especial, não somente pela frequência com que são encontradas, como pela dificuldade e controvérsia do tratamento, além das sérias sequelas que poderão advir, quando mal conduzido o tratamento^{2,3}.

As fraturas de mandíbula são comuns nos traumas faciais devido à sua posição proeminente, o que lhe permite receber grande parte dos traumas do terço inferior da face³.

Apesar de ser o mais pesado e forte osso da face, a mandíbula está propensa a fraturas por alguns motivos particulares: é um arco aberto; está localizada na região inferior da face; pelo mecanismo de hiperextensão e hiperflexão da cabeça em acidentes de trânsito e atrofia-se com a idade³.

O côndilo mandibular, em particular, é a extremidade bilateral da mandíbula e, na opinião da maioria dos autores, é o local de maior fragilidade do terço inferior da face, devido ao mecanismo de proteção fisiológica que desempenha, que evita que a descarga de energia do trauma submetida a mandíbula seja transmitida diretamente à base do crânio, ocasionando a intrusão do côndilo na fossa craniana média, o que causaria maiores danos ao sistema nervoso central⁴.

Quando a região mentoniana recebe um impacto, a força é transmitida do mento ao longo da mandíbula para o côndilo, frequentemente, causando uma fratura³.

Fraturas condilares correspondem de 25% a 35% de todas as fraturas mandibulares⁵.

Apesar de a mandíbula ser um dos locais mais atingidos por traumas faciais, as fraturas do processo condilar, muitas vezes, não são diagnosticadas, em especial, nas regiões do colo e da cabeça condilar^{3,4}.

As complicações da fratura condilar incluem dor, movimento mandibular restrito, espasmo muscular e desvio da mandíbula, má oclusão, e alterações patológicas na ATM, a osteonecrose e anquilose. Incluem também fratura da placa timpânica, fossa mandibular, fratura do osso temporal, com ou sem deslocamento do segmento condilar na fossa craniana média, lesão dos nervos cranianos, lesão vascular, sangramento, perturbações do crescimento, fístula arteriovenosa, assimetria facial com desvio do mento para o lado fraturado e retroposicionamento mandibular (nas fraturas bilaterais)^{2,3}.

As fraturas condilares são o campo de maior discussão dentre as fraturas mandibulares. Há sempre uma perda de continuidade da mandíbula que acarreta em má-oclusão, desarranjos internos na ATM, restrição dos movimentos mandibulares, anquilose e distúrbio no crescimento mandibular quando em crianças, dificultando a função e a estética. Tudo isso faz com que o cirurgião tenha que lançar mão de uma ampla gama de tratamentos⁶.

A primeira classificação obtida para fratura de côndilo foi realizada por Wassmund em 1927, e esta foi utilizada por muitos anos. Porém, pela sua complexidade, essas fraturas necessitavam de uma classificação baseada na

localização anatômica, na relação da fossa articular (cavidade glenóide) e da mandíbula com o segmento condilar fraturado⁷.

Fraturas condilares são classificadas de acordo com a localização anatômica (intracapsular e extracapsular) e com o grau de deslocamento do cabeça do côndilo².

Em 1977, Lindahl⁸ publicou uma classificação para as fraturas de côndilo baseadas em um trabalho em que 123 pacientes que apresentavam 138 fraturas condilares em um estudo prospectivo. Para isso, ele levou em consideração a localização anatômica, dividindo-as em cabeça do côndilo, pescoço do côndilo e subcondilar. A relação do segmento fraturado com a mandíbula também foi classificada como deslocada, desviada, deslocada com desvio para medial ou lateral, deslocada com desvio anterior e posterior e sem contato entre fragmentos. Além disso, também classificou a relação do fragmento com a fossa articular citando as fraturas como não-deslocada, deslocadas e fora da fossa articular (**Fig. 1**).

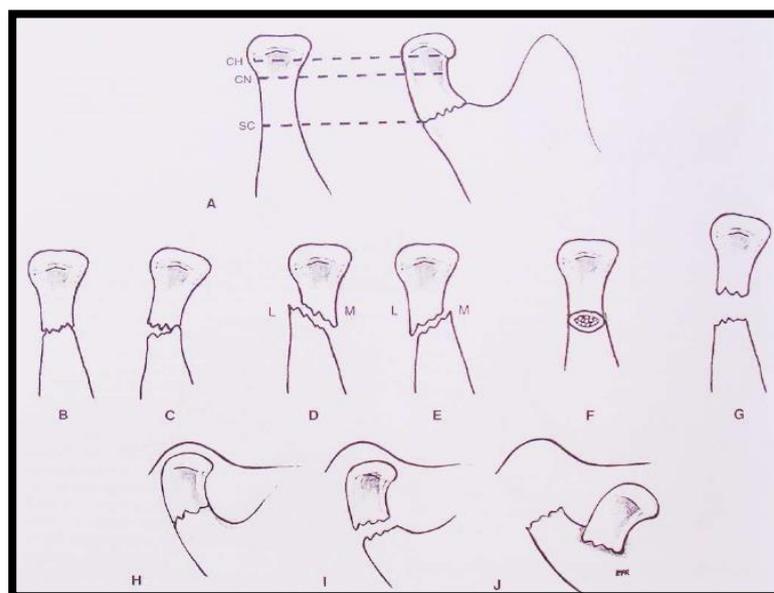


Fig. 1 - Classificação de LINDAHL. **A** - Nível da fratura. **CH** - Cabeça de côndilo. **CN** - Pescoço do côndilo. **SC** - Subcondilar. **B-G** - Relação dos segmentos proximal e distal na linha de fratura. **H-J** - Relação da cabeça condilar com a fossa articular (cavidade glenóide).

Atualmente, sistemas de classificação simples são amplamente utilizados. Levam em consideração o local anatômico da fratura e distinguem entre fraturas da cabeça do côndilo, fraturas subcondilares e condições patológicas, tais como o deslocamento da cabeça da mandíbula. Segundo a classificação da AO Foundation⁹, as linhas de fraturas da cabeça da mandíbula podem ocorrer dentro a cápsula da articulação temporomandibular (ATM), mas frequentemente têm um componente extra-capsular. Algumas fraturas de cabeça do côndilo dividem a cabeça sagitalmente, onde uma parte permanece intacta com o resto do ramo. Fraturas subcondilares estão localizados abaixo do côndilo e podem ser classificadas em altas (pescoço condilar) e baixas. Fraturas subcondilares estão localizadas na base do processo condilar a ou abaixo do nível da incisura sigmóide, que são as fraturas do ramo ascendente da mandíbula. Fraturas do processo coronóide são raras e podem ocorrer sem envolvimento do processo condilar (**Fig.2**).

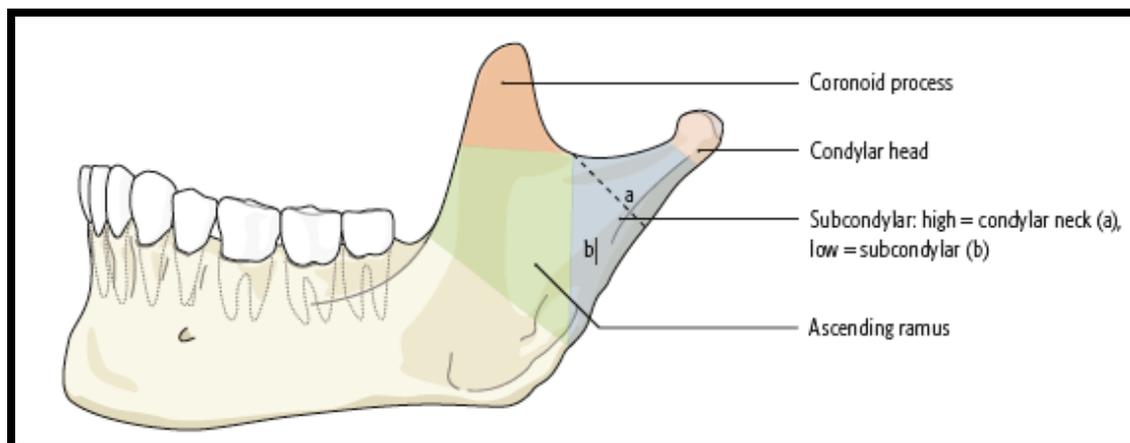


Fig. 2 - Classificação da AO Foundation – 2013.

O tipo de tratamento frente às fraturas do processo condilar da mandíbula é um dos tópicos mais polêmicos e controversos na área da Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, principalmente no que diz respeito a realização de redução aberta ou fechada^{10,11,12,13}.

Segundo Zide e Kent¹³, as indicações absolutas para a redução aberta estão presentes naquelas situações em que há limitação da função (que pode ser causada por fratura com luxação do segmento proximal para a fossa craniana média, pela invasão do conjunto por um corpo estranho, por deslocamento extracapsular lateral da cabeça da mandíbula, ou pela presença de qualquer deslocamento da fratura que produz uma obstrução mecânica, impedindo o movimento mandibular) e nos casos de incapacidade de realizar uma redução fechada (quando a fratura é deslocada de modo que não é possível manipular os dentes em uma oclusão apropriada).

Já as indicações relativas para a redução aberta também existem e devem ser avaliadas de acordo com o risco x benefício. São indicadas em fraturas bilaterais de côndilo com fraturas cominutivas médias da face; em situações em que o bloqueio maxilo mandibular (BMM) não é factível (casos de convulsões mal controladas, distúrbios psiquiátricos, ou retardo mental grave, pacientes com politraumatismo, principalmente nos casos de ferimento na cabeça ou no peito. Além disso, é extremamente difícil realizar BMM em pacientes com fraturas condilares deslocadas em quem dentaduras não estão presentes e *splints* não são viáveis por causa de atrofia mandibular severa); em fraturas bilaterais em que é impossível determinar a oclusão adequada (podendo levar a mandíbula a uma má-oclusão); e, finalmente, nos casos de luxação em paciente adulto, para restaurar a posição e função do disco¹³.

Para cada tipo de fratura condilar, as técnicas devem ser escolhidas tendo em conta a presença de dentes, altura da fratura, o sistema mastigatório do paciente, adaptação, a perturbação da função oclusal, desvio da mandíbula,

distúrbios internos da articulação temporomandibular (ATM) e anquilose da articulação com a incapacidade resultante para mover a mandíbula².

Muitos cirurgiões parecem favorecer o tratamento fechado com fixação maxilomandibular, mas nos últimos anos, o tratamento aberto de fraturas condilares com fixação interna rígida tornou-se mais comum²

As técnicas de tratamentos do tipo aberta podem ser realizadas através de acessos extra-orais ou por acessos intra-orais^{14,15}.

Normalmente, quando a técnica aberta é escolhida, ocorre a utilização da fixação rígida através de implantação de placas e parafusos de titânio para o correto posicionamento dos fragmentos ósseos fraturados^{16,17,18}.

O tratamento conservador pode evitar maiores injúrias, entretanto, pode-se observar anquilose, necrose avascular do processo condilar, inibição no crescimento mandibular e distúrbios oclusais.

O tratamento cirúrgico visa restabelecer a relação anatômica preexistente, com aceitável função através de fixação estável^{5,17}.

A redução aberta e fixação de fraturas de côndilo estão associadas com um aumento de risco cirúrgico para o paciente, além de ser mais oneroso, em relação ao tratamento fechado⁵.

Deve-se fazer um balanço entre o tratamento eficaz e o conforto do paciente. Pacientes com fraturas condilares sem deslocamento ou má-oclusão, são melhores tratados com medicamentos somente para alívio da sintomatologia. Entretanto, pacientes com leve desarranjo oclusal e deslocamento de leve a moderado (especialmente em casos unilaterais), podem ser tratados com uma redução fechada com uso de bloqueio maxilomandibular (BMM), medicamentos para aliviar a sintomatologia dolorosa,

além de fisioterapia pós-operatória. Finalmente, pacientes com deslocamentos severos e fraturas deslocadas (especialmente nos casos bilaterais), devem ser tratados com fixação interna rígida⁶.

Yang *et al.*⁵, em 2012, em um estudo de 52 pacientes tratados de forma conservadora, apontam algumas complicações como má-oclusão, assimetria mandibular, restrição da função mastigatória, má-união ou não-união dos fragmentos, deslocamento de disco, anquilose e sintomatologia dolorosa no lado afetado. Entretanto, no mesmo estudo, o grupo de pacientes tratados de forma cirúrgica apresentou baixas taxas de complicações, o que foi atribuído a redução precisa dos segmentos fraturados, que seria praticamente impossível por meio de técnicas de tratamento fechado.

A função do músculo pterigóideo lateral tende a deslocar o côndilo numa direção ântero-medial e não há nenhuma outra estrutura para contrapor a força e direção deste vetor³. A simples manipulação do fragmento distal, incluindo a distração, não auxilia na redução apropriada do segmento proximal. A cabeça da mandíbula freqüentemente permanece deslocada. A reabilitação é mais rápida com o tratamento cirúrgico, possibilitando a articulação temporomandibular e os músculos da mastigação terem suas funções restabelecidas mais rapidamente^{3,5}.

Com o desenvolvimento das técnicas cirúrgicas melhoradas e a aceitação do sistema de fixação rígida, uma redução funcional pode ser conseguida facilmente^{1,2}.

Quando a oclusão não é afetada e a fratura não está deslocada, dieta macia por 3 a 4 semanas é suficiente⁵.

Adultos com fraturas que promovem deslocamento condilar importante, encurtamento do ramo de 5 mm ou mais e nos casos de fraturas condilares bilaterais, podem ser tratados através de redução aberta e fixação. Isto poupa o paciente de um período prolongado de fixação intermaxilar (BMM). Com o reposicionamento anatômico e recuperação da altura do côndilo, as chances de desenvolvimento de problemas da ATM podem ser reduzidos⁵.

A escolha do acesso cirúrgico depende do sistema de fixação selecionado e o tipo da fratura. Sabe-se, no entanto, que a estrutura responsável pela hesitação na escolha do acesso cirúrgico é o nervo facial. Os dois tipos de acesso mais frequentemente utilizados são o pré-auricular e submandibular e possuem uma relação anatômica direta com ramos aurículo temporal e marginal da mandíbula, respectivamente^{5,14,15}.

Para fraturas subcondilares, o acesso pré-auricular é muito alto, enquanto o submandibular é muito baixo. Já o acesso retromandibular, permite a visualização completa e alinhamento dos fragmentos fraturados. A abordagem transoral, embora ofereça melhores resultados estéticos, muitas vezes necessita de parafuso transbucal, através de trocarter, que também pode acarretar injúrias ao nervo Facial^{5,14}.

A abordagem intra-oral e suas modificações endoscopicamente assistida pode oferecer melhor resultado estético⁵.

A abordagem coronal pode fornecer acesso se existem outras indicações para usar esta incisão³.

Diferentes técnicas de osteossíntese têm sido usadas, objetivando resultados satisfatórios. Estudos têm sido conduzidos usando análise biomecânica, computacionais ou não, com o propósito de selecionar um

apropriado sistema que ocasione o máximo de estabilidade com um trauma mínimo durante a cirurgia¹.

A precisão da redução dos segmentos fraturados e a estabilidade da fixação são consideradas pré-requisitos fundamentais para restaurar a função nos casos de injúrias do côndilo mandibular. A ATM sofre carga de vários músculos quando do processo mastigatório, logo, os métodos de fixação devem ser suficientes resistentes para se oporem a essas forças e não devem interferir na posição do côndilo após a redução. Muitos métodos têm sido descritos na literatura para avaliar a eficácia dos tipos de fixação, porém, ainda não há um consenso sobre a fixação ideal para as fraturas de processo condilar^{1,2}.

Os estudos biomecânicos computacionais empregam um método convencional para a obtenção de protótipos virtuais, com base numa superfície de mandíbula real, que é reproduzido pelo método de elementos finitos, tendo em consideração as propriedades anisotrópicas típicas do tecido mandibular¹⁹.

A fim de obter um modelo experimental utilizando elementos finitos, é necessário definir inicialmente a geometria da estrutura a ser analisada^{19,20}.

Análise de elementos finitos (FEA) é uma técnica computacional originalmente desenvolvida por engenheiros para modelar o comportamento mecânico de estruturas como edifícios, aviões e peças de motor. Quando a estrutura é carregada, sua resposta pode ser descrita em termos de stress e tensões dentro da estrutura. Em uma estrutura geométrica simples criada a partir de materiais homogêneos sintéticos, estresse e tensão podem ser previstos com precisão razoável a partir de análise de equações matemáticas²⁰.

Naqueles geometricamente complexos, com estruturas não homogêneas, a modelagem matemática torna-se exigente e não pode ser facilmente utilizada para prever o comportamento mecânico com precisão²⁰.

Análise de elementos finitos (FEA) é uma aproximação numérica que aborda a complexidade da modelagem por derivar uma aproximação para a solução, que é conseguido através da simplificação de uma forma complexa, que tem infinitos graus de liberdade, em um número de formas mais simples interconectadas, ou elementos em que os campos de deslocação e tensão dentro dos elementos são aproximadas por funções simples. A precisão de uma solução é uma função de diversas variáveis, incluindo a precisão da replicação geométrica, o número e complexidade dos elementos utilizados no modelo, como também as propriedades do material que são capturadas no interior dos elementos e, como foram simuladas. A partir disto, modelar a matriz resultante de rigidez gera uma série de equações a serem resolvidas simultaneamente, com o número correspondente ao número de graus de liberdade ativa dentro do modelo, tipicamente milhões para este tipo de modelo. Como há um número (finito) limitado de elementos de um determinado modelo, a análise é denominada de análise por elementos finitos. FEA tem sido usada previamente para avaliar o tratamento facial de fraturas e sua utilização na avaliação de técnicas de revestimento tem sido confirmada^{20,21}.

Buscando aprimorar as vantagens e minimizar as desvantagens das técnicas de fixação interna rígida, utilizamos o *Neck Screw*, desenvolvido por Gaziri *et al.*²² para redução e fixação das fraturas do Complexo Zigomático-Orbitário, e conciliamos a técnica do *Lag Screw* à das placas convencionais de titânio, com o intuito de facilitar a correta redução dos segmentos condilares

fraturados, sendo ainda que o parafuso pode servir para a fixação das fraturas, independente da direção do deslocamento dessas fraturas.

O parafuso *Neck Screw* está indicado para fraturas subcondilares, independente do grau e do tipo de deslocamento das fraturas. Após minucioso exames físico e imaginológico do paciente, pode-se optar por esta técnica cirúrgica (**Fig. 3**). Após incisão adequada, realiza-se dissecação (**Fig. 4**) e descolamento subperiostal para visualização satisfatória da região da fratura e então, realiza-se a redução da fratura (**Fig. 5**). Instala-se o parafuso *Neck Screw* intramedularmente na porção proximal fraturada e realiza-se uma canaleta na porção distal para acomodação do parafuso (**Fig. 6**). Faz-se então a instalação de uma placa, que pode ser reta ou, preferencialmente em “L” (pela facilidade da instalação), perpendicularmente sobreposta ao parafuso, impedindo a movimentação do mesmo, haja vista o formato redondo da cabeça do parafuso (**Fig. 7**), conferindo uma estabilidade satisfatória na redução da fratura, que pode ser comprovado clinicamente e através de exames de imagens (**Fig. 8**).



Fig 3 – Fratura subcondilar esquerda

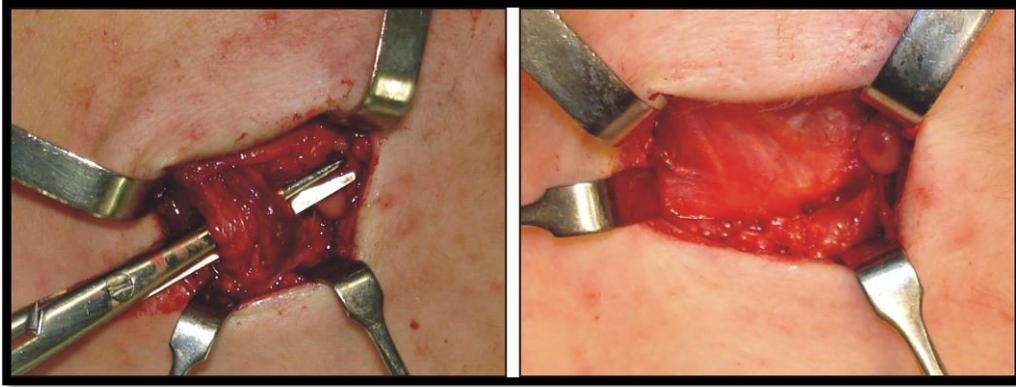


Fig. 4 – Após a incisão, dissecação subcutânea sobre a parte superior do músculo platisma e dissecação roma entre as fibras do músculo masseter

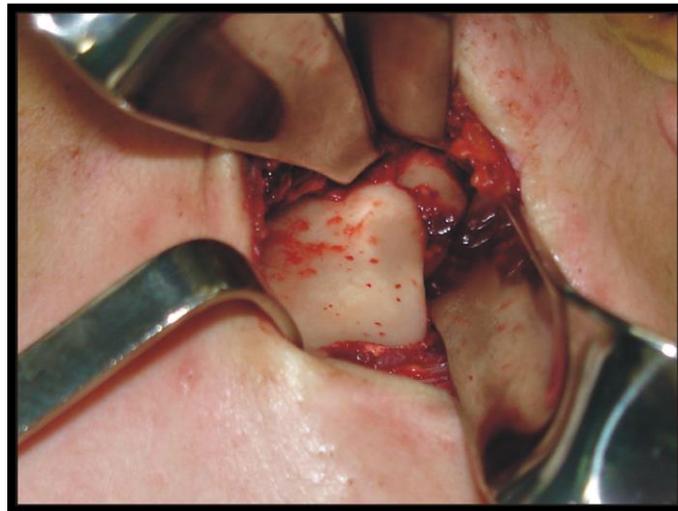


Fig. 5 – Exposição e redução da fratura condilar

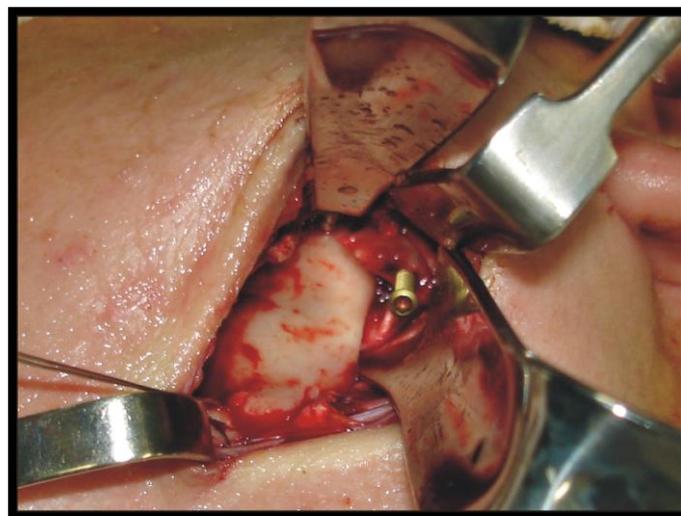


Fig. 6 – Instalação do Neck Screw

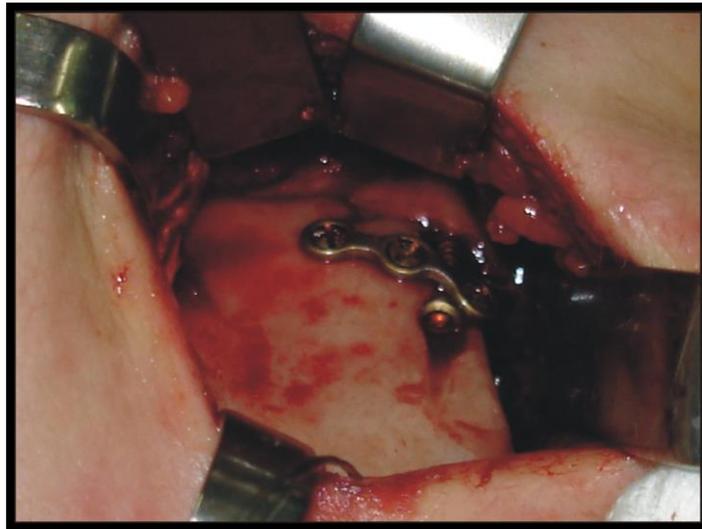


Fig. 7 – Instalação da placa sobre o parafuso *Neck Screw*

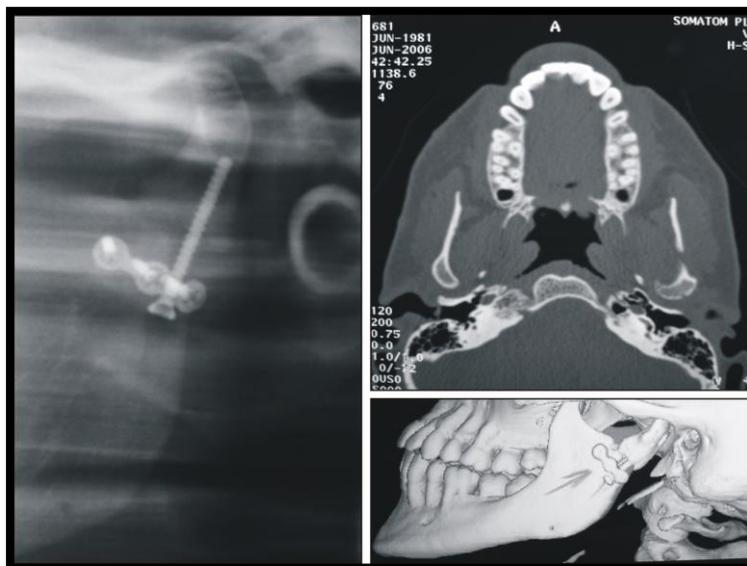


Fig. 8 – Exames de imagens pós-operatório

A importância desta pesquisa encontra-se no fato de comparar, através de testes computacionais em 3D, com utilização de análise por elementos finitos, a redução cirúrgica e fixação através do parafuso *Neck Screw* comparado a sistemas de placas e parafusos de titânio, que convencionalmente são utilizadas para osteossíntese das fraturas condilares, buscando uma forma de tratamento eficiente, com maior conforto aos pacientes e de baixo custo financeiro.

2. OBJETIVOS

Comparar através de análise por elementos finitos, a fixação interna rígida através de parafuso *Neck Screw*, descrita por Gaziri *et al.*²², à fixação interna rígida através do sistema atual de placas e parafusos de titânio, no tratamento das fraturas de côndilo mandibular.

3. JUSTIFICATIVA

A importância desta pesquisa está na comparação de três técnicas de fixação de fraturas condilares, propondo assim, avaliar e comparar a efetividade, através de análise de elementos finitos, das técnicas para fixação das fraturas de côndilo mandibular.

A literatura é controversa e, no que diz respeito ao melhor método de fixação para as fraturas subcondilares, logo, o estudo vai comparar três sistemas de fixação, à procura daquela que possa ser considerada ideal, quando da análise através de elementos finitos.

4. METODOLOGIA

4.1 Análise por Elementos Finitos (FEA)

Foram criados três grupos de modelos de elementos finitos, para cada tipo de fixação escolhida para o estudo, sendo um para a fixação através de parafuso *Neck Screw* e duas para o sistema atual de placas e parafusos, conforme descrito nos estudos de O'Hara *et al.* (1996) e Deveci *et al.* (2004).

Para criar o modelo de elementos finitos, foi necessário construir as estruturas geométricas da mandíbula, dos parafusos e das miniplacas. A mandíbula foi construída a partir de um arquivo DICOM de mandíbula retirado do banco de dados no CTI (Centro de Tecnologia da Informação do CenPRA - Campinas, SP, Brasil). Os dados foram obtidos anteriormente a partir de uma mandíbula seca submetida a uma tomografia computadorizada helicoidal com um espessura de 1 mm. Os modelos de computador das placas de titânio e dos parafusos foram baseados em amostras físicas da Tóride (Tóride Ind. e Com. Ltda. – Mogi Mirim, São Paulo, Brasil), iguais aos utilizados no trabalho de Sato, que aplicou a comparação dos resultados obtidos com a FEA.

O modelo do parafuso tipo *Neck Screw* foi baseado em amostra física do parafuso desenvolvido por Gaziri *et al.*²², para as fraturas de Complexo Zigomático Orbitário (**Fig.9**), aumentando o tamanho do parafuso para 26 mm.

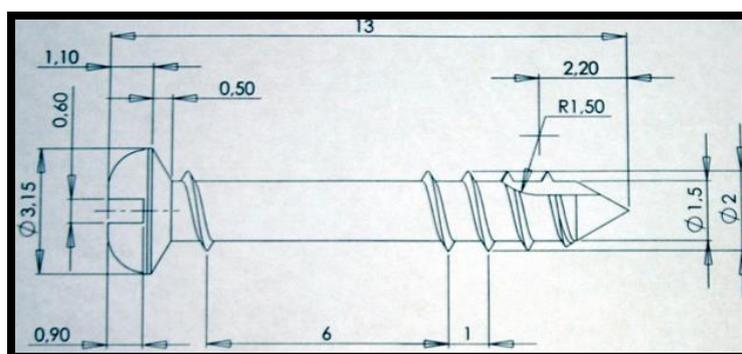


Fig. 9 – Parafuso *Neck Screw*

A geometria tridimensional de ambas, mandíbula, miniplacas e parafusos, foi criado por software Rhinoceros 4.0 (McNeel-América do Norte, Seattle, WA, USA).

A geometria foi importada para o software Ansys Workbench V.14.5 (Ansys Inc., Canonsburg, PA, USA) para o pré-processamento de desenvolvimento do elemento finito (FEA). Todos os materiais foram considerados como sendo homogêneos, isotrópicos, de elasticidade linear.

Propriedades para osso cortical com o módulo de isotropia de Young de 18.600 Mpa para o osso cortical e de 1.860 Mpa para o osso medular, com valores de Poisson de 0,34.

Propriedades para a liga de titânio foram fornecidas pelos fabricantes, com um módulo de isotropia de Young de 103.000 MPa para o titânio de liga leve, e proporções de Poisson 0,34.

Foi simulada uma fratura subcondilar, idêntica para os três grupos, com aplicação de forças que simulam a abertura de boca e forças simulando a ação muscular, conforme trabalho de Christopoulos²¹.

Ferramenta de apoio foi usada para restringir o movimento superior, simulando a mandíbula articulada com a base do crânio. Restringiu-se os côndilos mandibulares, superiormente, para que, quando das aplicações de força no sentido inferior, a mandíbula não “girsse” virtualmente. Aplicou-se, então, 39,059 N na região de molares e incisivos, simultaneamente, e 4,9773 N em uma direção que simule a ação dos músculos pterigoideos laterais, bilateralmente (**Fig 10 e 11**).



Fig. 10 – Teste com resina fotoelástica realizado no trabalho de Christopoulos, com simulação da articulação da mandíbula na base do crânio. Fios de nylon são utilizados para aplicação de forças que simulam as ações musculares

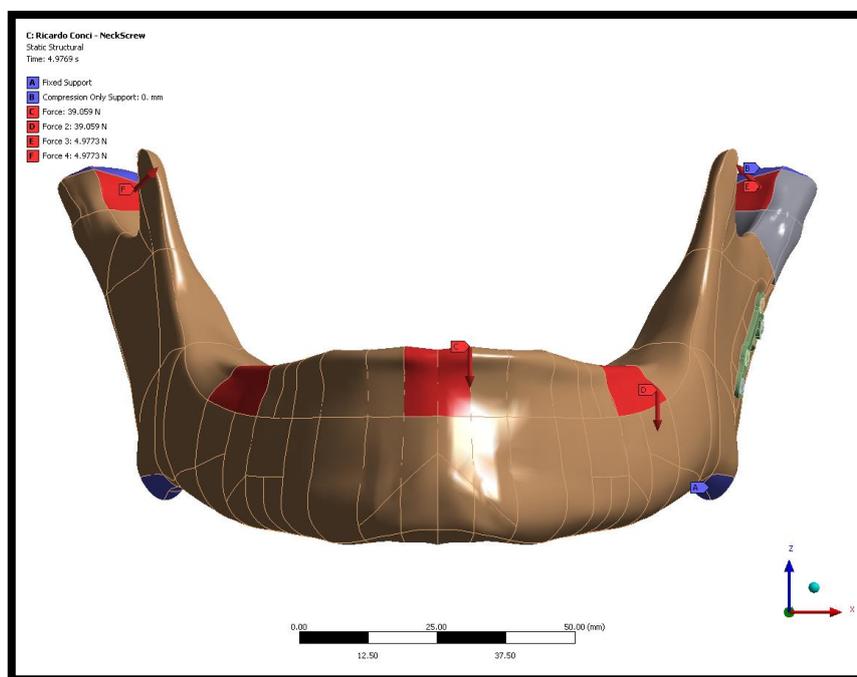


Fig. 11 – Restrição de movimento superior dos côndilos mandibulares e aplicação de forças, realizado de forma idêntica para os três grupos

As fraturas de côndilo mandibular foram fixadas por meio de três técnicas de FIR, sendo que a primeira utiliza apenas uma miniplaca com 4 furos e 4 parafusos do sistema 2.0 mm de 6.0mm de comprimento, a segunda técnica utiliza uma miniplaca de 2.0 mm associada a uma microplaca de 1.5 mm, com parafusos de 6.0 mm de comprimento, dispostas obliquamente e a terceira técnica apresenta um parafuso tipo *Neck Screw* preconizado por Gaziri *et al.*²², associado a uma miniplaca em "L" com 4 furos, com parafusos de 6.0 mm de comprimento (**Fig. 12**).

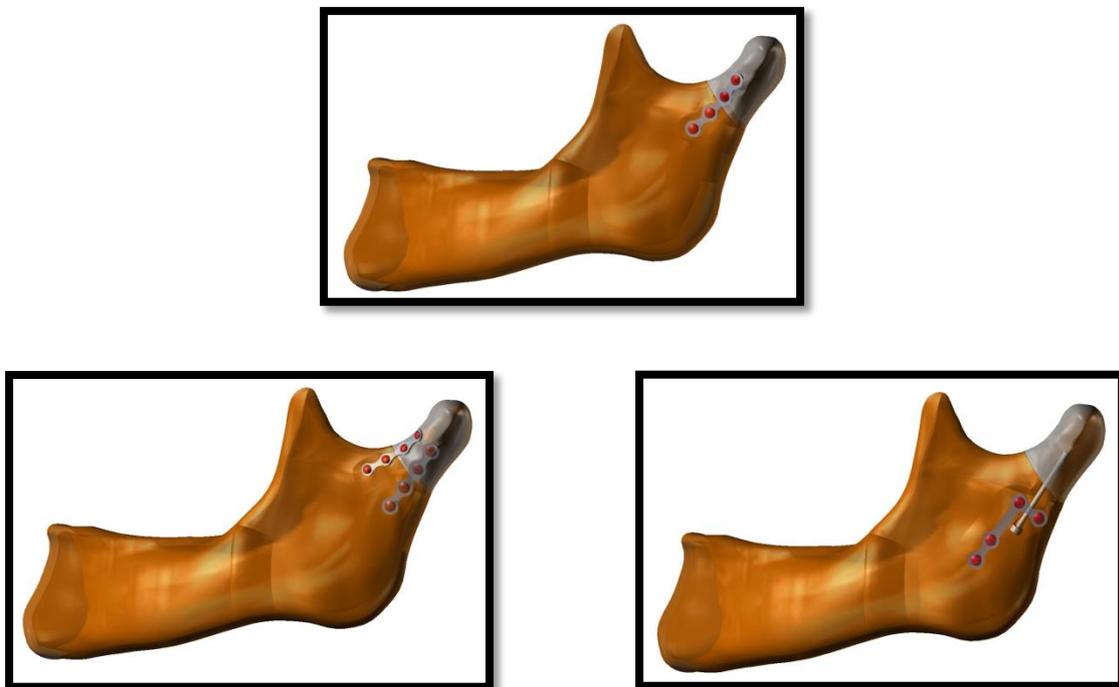


Fig. 12 – Configurações de fixação para fraturas de côndilo mandibular que foram comparadas através de Análise por Elementos Finitos (FEA)

As placas e parafusos foram "virtualmente" dobrados, para se ajustar a superfície e morfologia da mandíbula, passivamente, simulando as situações clínicas, seguindo protocolos detalhados por Parr *et al.*²³.

Depois de resolver cada modelo, o movimento relativo entre os fragmentos proximais e distais foi calculado.

A estabilidade de um estado de stress tridimensional (3D) foi avaliado de acordo com a hipótese de stress de tensão mínima e tensão máxima principal, que mede a eficácia geral de stress em um material. Todos os valores de tensão são dados em MPa (N/mm²). Uma escala de cores com valores de tensão foi utilizada para avaliar a distribuição quantitativamente.

A visualização gráfica dos resultados foi exportado para o software Ansys Workbench V.14.5.

A análise quantitativa foi realizada considerando-se a carga realizada pelo modelo no deslocamento preconizado.

5. RESULTADOS

O valor encontrado para o deslocamento das fraturas, quando da aplicação das forças, é de 0,006635 mm para o sistema com uma miniplaca para fixação da fratura.

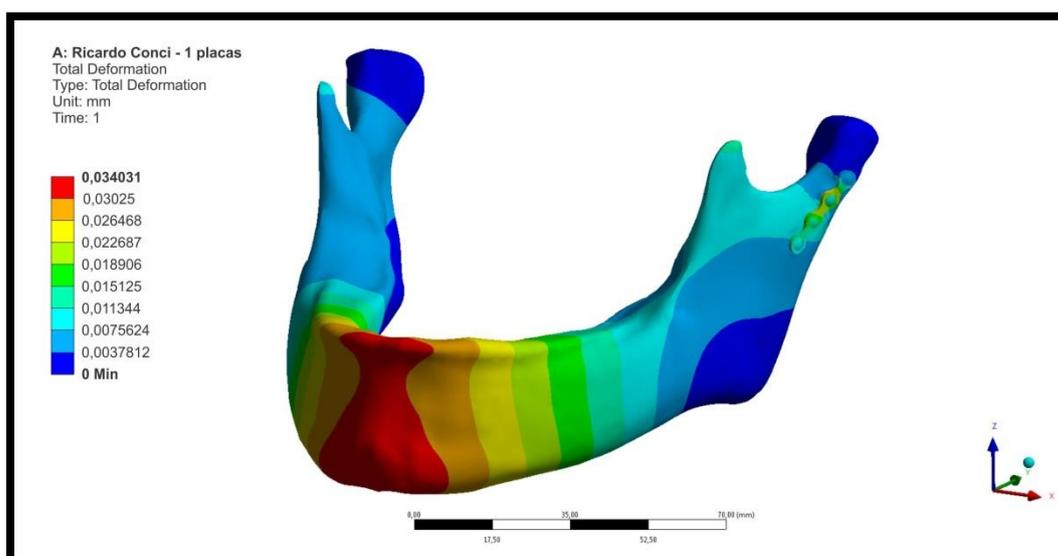
Para o sistema com duas placas, o valor é de 0,001218 mm, ou seja, quase 6 vezes menor, demonstrando, que o esquema com duas placas é o mais estável.

Já para o *Neck Screw*, o valor de deslocamento é de 0,011678 mm.

A deformação das placas apresentou valores distintos para os grupos pesquisados (**Fig. 13**).

A configuração com duas placas associadas apresentam valores seis vezes menores que os outros sistemas de fixação.

O sistema com uma placa e o *Neck Screw* não apresentam diferenças significativas.



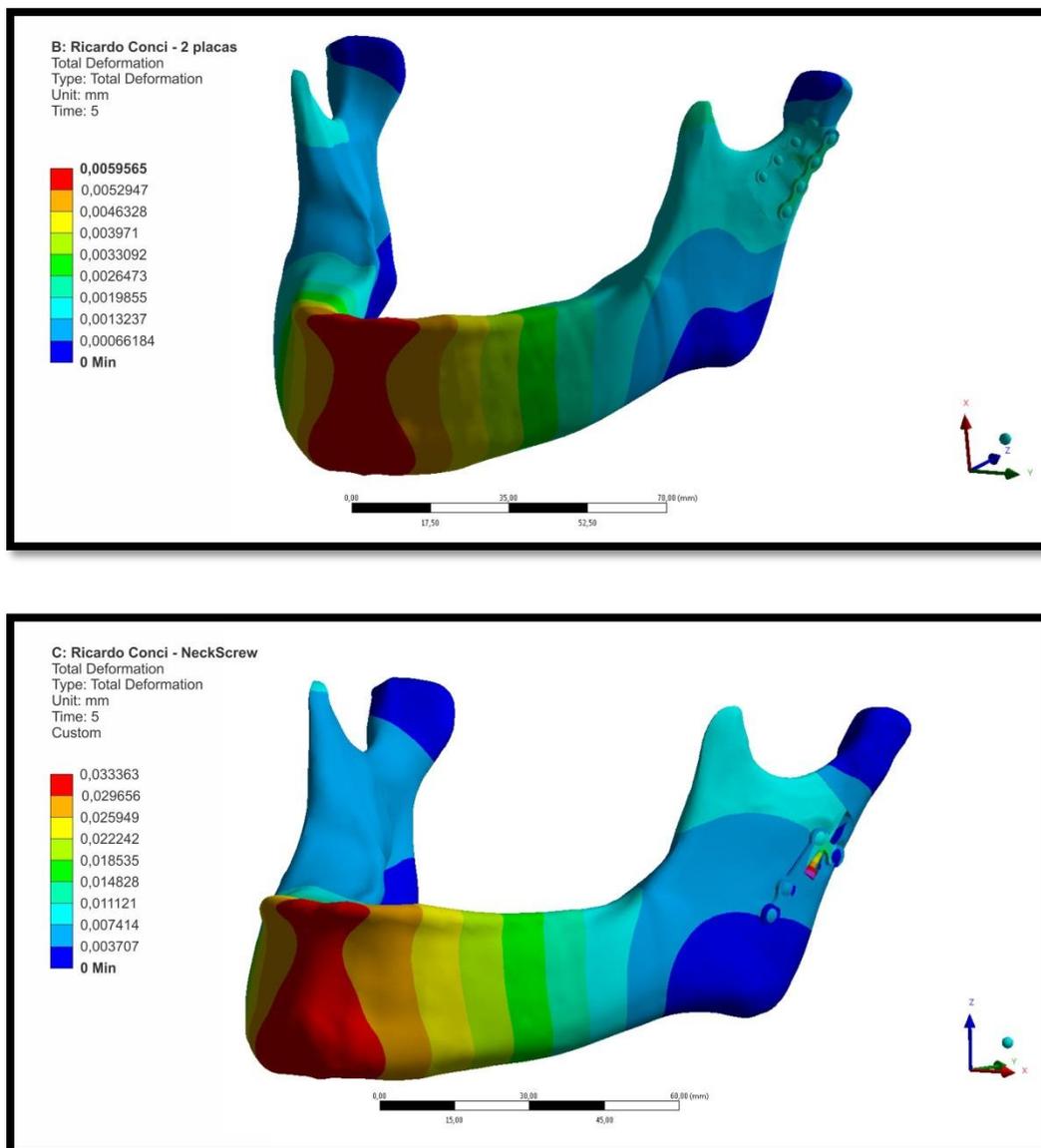


Fig. 13 – Deformação dos materiais utilizados para fixação das fraturas de cômulo

Os valores de tensão de Von Mises são mostrados nas figuras 14 e 15.

No esquema com uma placa, valores maiores são encontrados na região da primeira perfuração no segmento proximal.

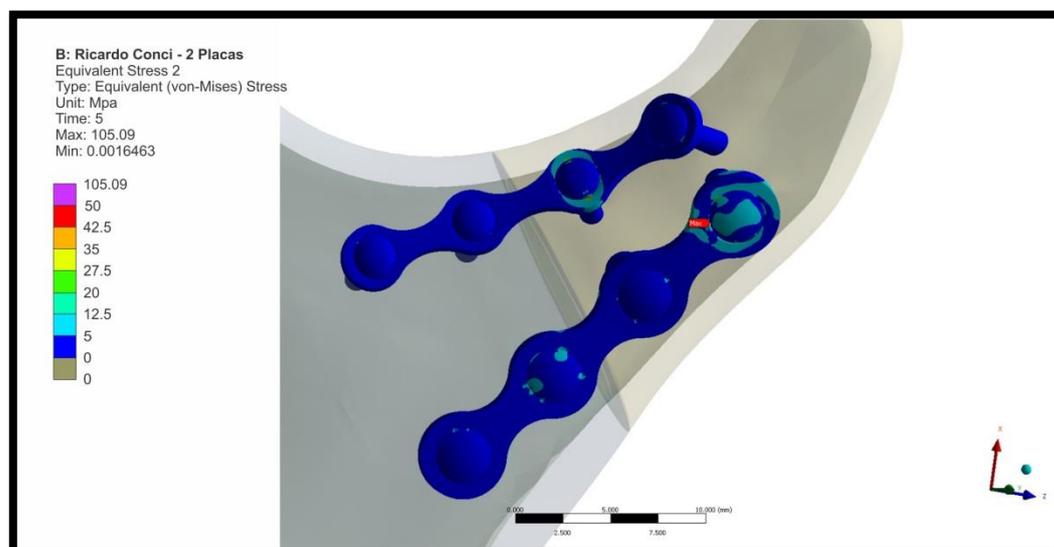
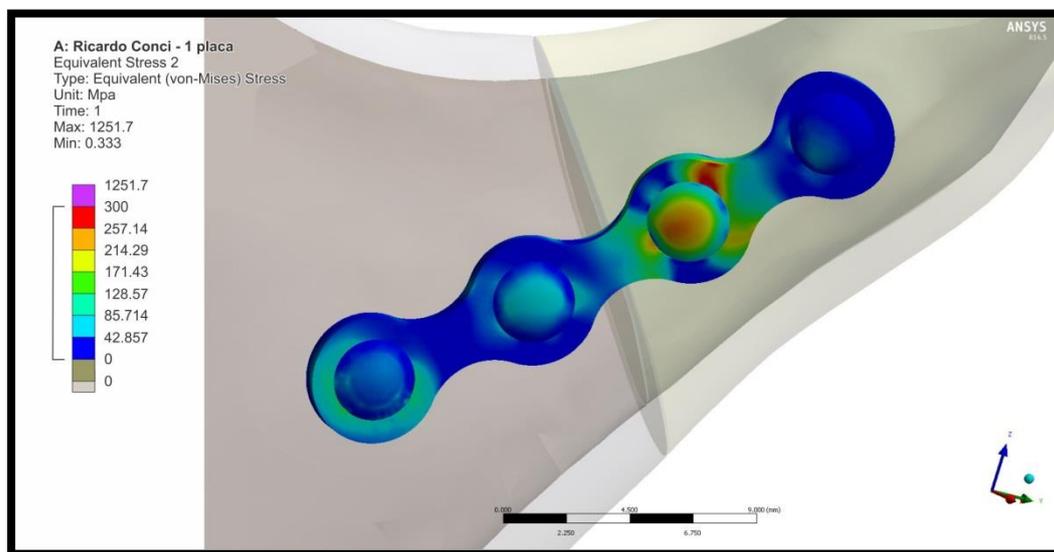
No esquema com duas placas, valores maiores na região da primeira perfuração no segmento distal na microplaca de 1.5 mm, superior, e na região da perfuração mais posterior da miniplaca de 2.0 mm.

Já no parafuso *Neck Screw*, o maior valor é encontrado na interface entre o parafuso e a placa em “L” sobreposta.

Os resultados encontrados na configuração de duas placas é significativamente menor que nos demais grupos, sendo a mais estável.

O Neck Screw apresenta resultados próximos daqueles que são encontrados na configuração com apenas uma placa.

Quando os parafusos são “removidos” para avaliação, os resultados são idênticos, com o mesmo resultado demonstrado anteriormente.



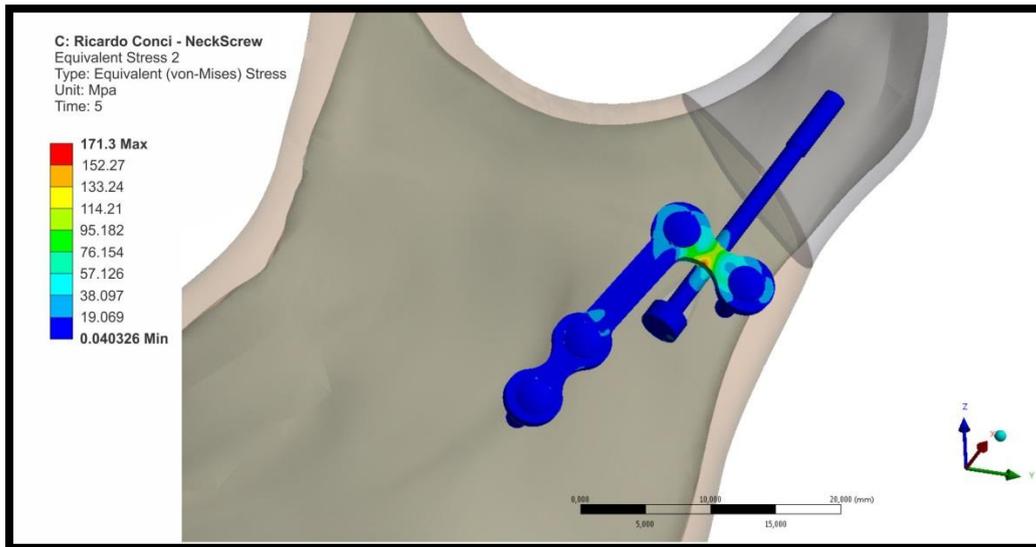
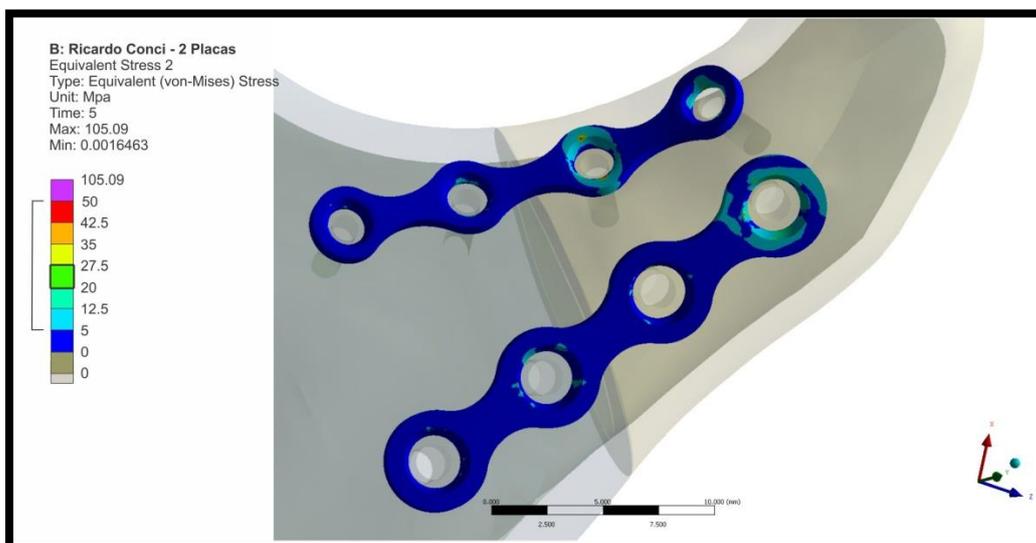
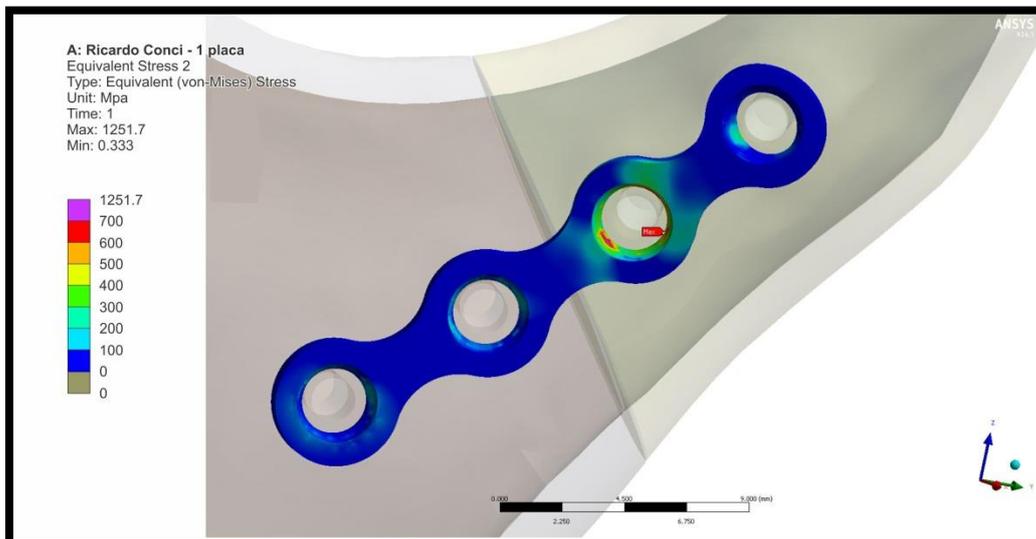


Fig 14 – Valores de Von Mises para placas e parafusos



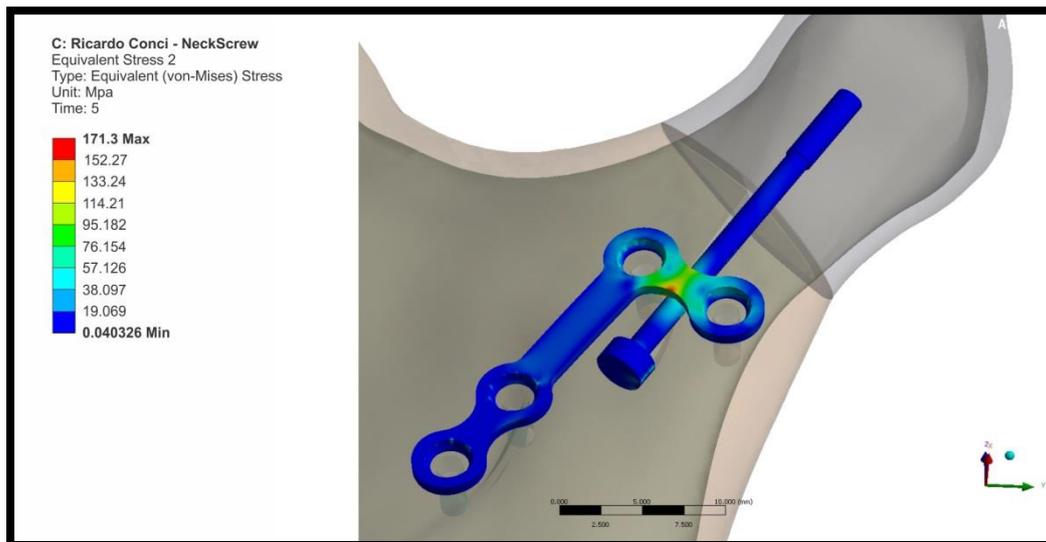
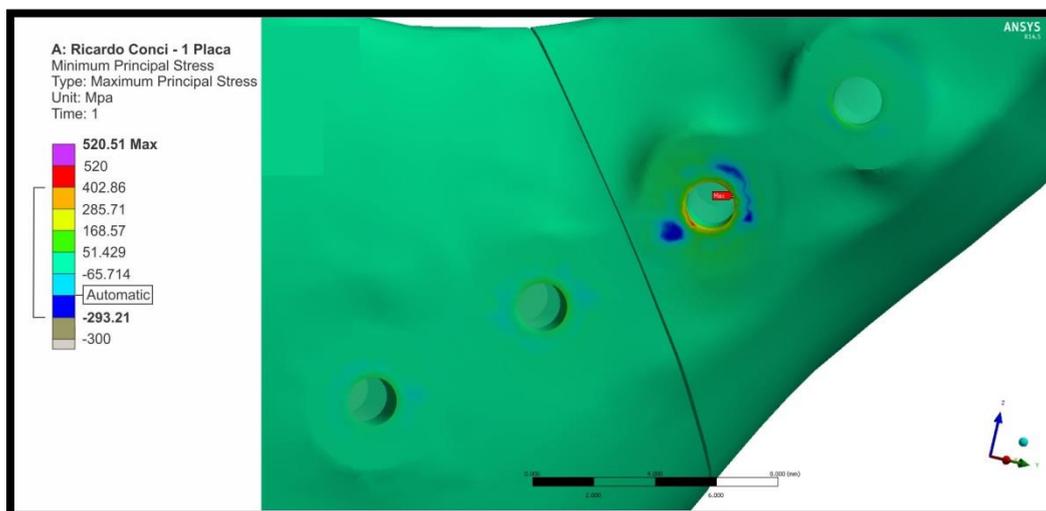


Fig 15 – Valores de Von Misses somente para placas e para o Neck Screw

Os valores de tensão máxima principal também são menores na configuração com duas placas, com diferença significativa para a configuração de uma placa e do Neck Screw (Fig. 16).



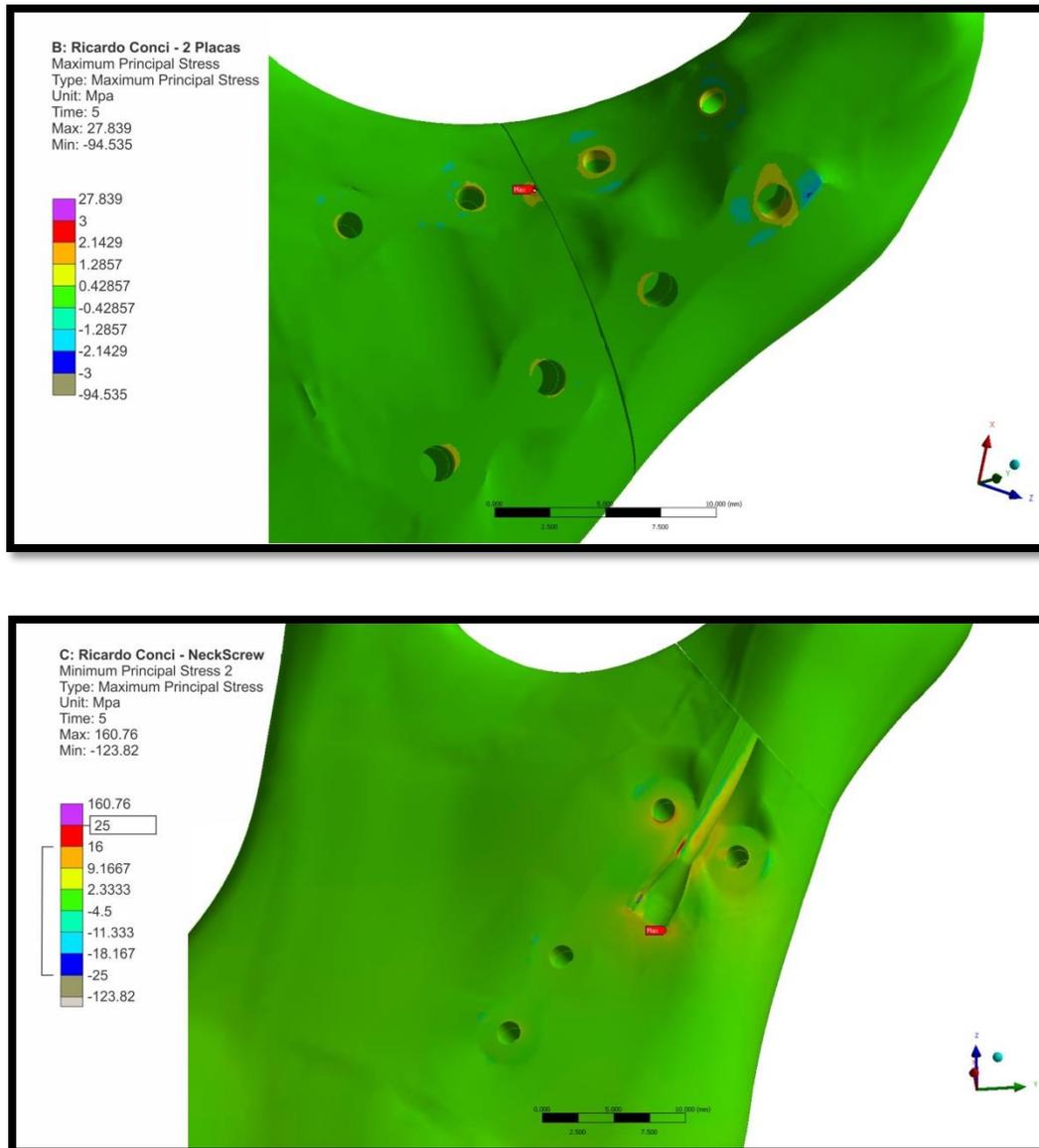


Fig 16 – Valores de tensão máxima principal

A variação de tensão mínima principal também é menor na configuração com duas placas, com diferença significativa para os demais grupos (**Fig 17**).

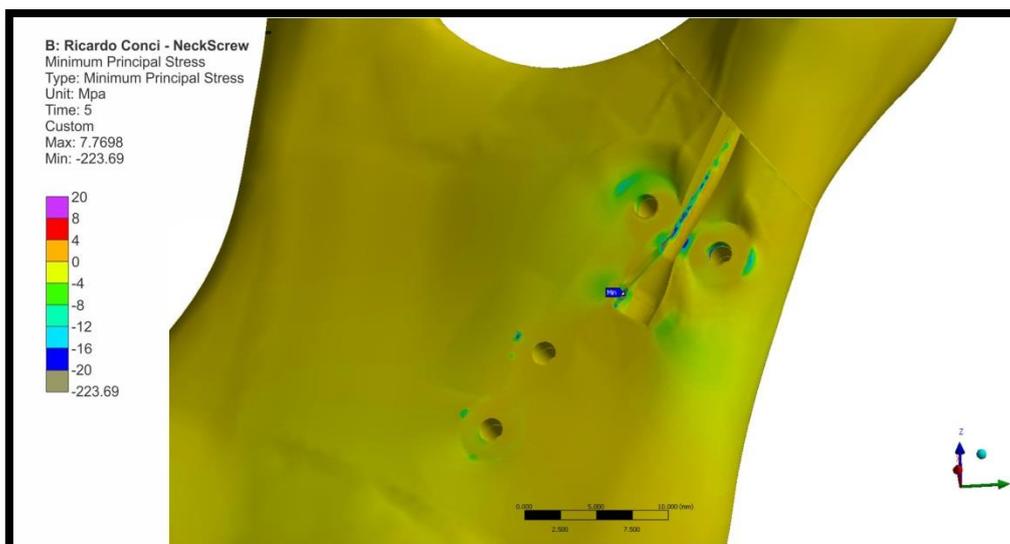
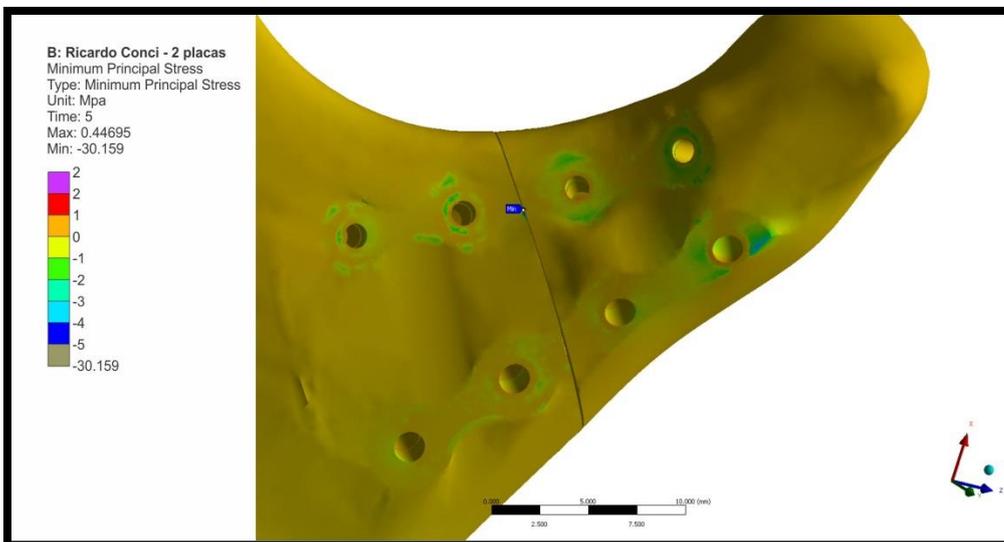
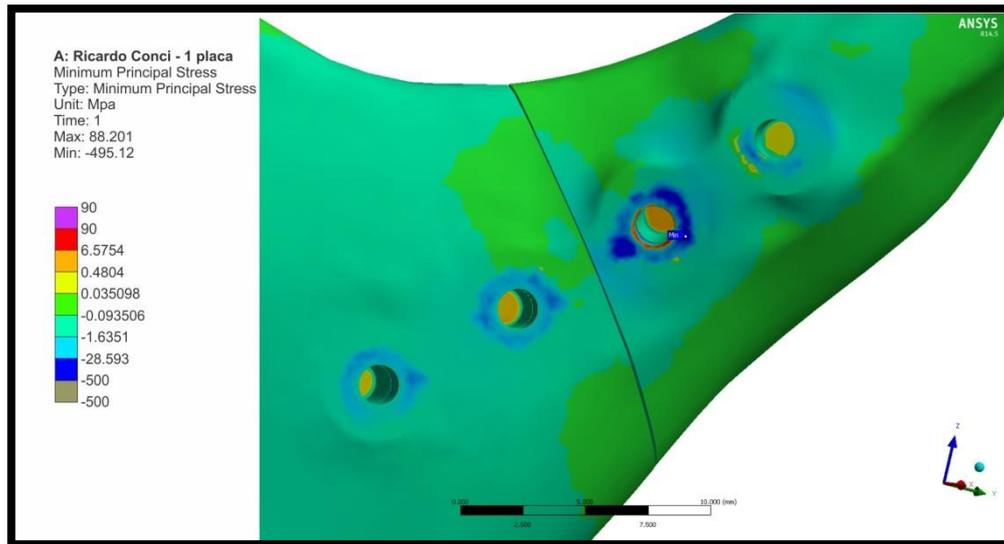


Fig 17 – Valores de tensão mínima principal

6. DISCUSSÃO

As fraturas do côndilo mandibular, dentre as fraturas faciais, são as que apresentam maior dificuldade no diagnóstico e maior número de controvérsias quanto ao seu tratamento. A escolha do tratamento, entre cirúrgico ou não-cirúrgico, está diretamente ligado ao tipo de fratura, à idade do paciente e ao grau de alteração funcional em decorrência da fratura^{1,2,3,5,7}.

As indicações para cada tipo de tratamento é amplamente discutida na literatura.

Yang *et al.*⁵ apresentam vantagens quando do tratamento cirúrgico para fraturas de côndilo.

Várias técnicas e tipos de material de síntese estão disponíveis para esses procedimentos.

Considerando os princípios de fixação funcionalmente estável de Champy, osteossíntese deve ser realizada em áreas de tensão, contrapondo a tendência da abertura da linha de fratura. Isto explica a fraca estabilidade primária da maioria dos esquemas que utilizam apenas uma placa na borda posterior do ramo. Duas placas sobrepostas também podem falhar ou fraturar quando usadas isoladamente, pois, mesmo que sejam mais robustas, não estão posicionadas no local anatômico correto para apoiar as forças fisiológicas¹.

Haug *et al.*²⁴ mostraram que as placas de compressão dinâmica foram mais favoráveis para contrapor os movimentos látero-laterais do côndilo mandibular, dentre os esquemas de apenas uma miniplaca.

Asprino *et al.*¹⁷, sugerem o uso de duas placas, mas quando não é possível devido ao tamanho do segmento ou dificuldade cirúrgica, uma placa pode ser fixada com parafusos mais longos (8mm).

Gealh *et al.*²⁵, mostraram que duas placas sobrepostas não aumentam a resistência do côndilo para as cargas laterais.

Apenas dois artigos estudaram a utilização de materiais sintéticos projetados especificamente para uso em fraturas condilares¹.

Placa de formato trapezoidal mostrou melhores resultados que a utilização de uma única placa, ou parafusos *Lag Screw*, quando de forças simulando os músculos da mastigação¹.

Segundo Costa *et al.*¹, em um estudo realizado entre 1999 e 2010, foram selecionados 11 artigos, sendo que 4 envolviam estudos com elementos finitos. Em todos os estudos, nos grupos onde foram utilizados duas placas isoladas, os resultados foram superiores a todos os demais grupos com outros sistemas e métodos de fixação.

Segundo Costa *et al.*¹, Lauer *et al.*²⁶ e Parascandolo *et al.*¹², usaram placas reproduzidas em um modelo artificial da mandíbula humana, enquanto Wagner *et al.*²⁶, usaram imagens de tomografia computadorizada para criar o modelo virtual, baseado na conversão do Hounsfield, com valores de dureza elástica. Em seguida, o objeto foi traçado graficamente, utilizando um programa informatizado específico para, em seguida, discretizar a estrutura criada em pequenos elementos (finitos) em software específico, formando uma malha de duas ou três dimensões. O passo seguinte foi determinar as propriedades mecânicas e físicas de cada componente do modelo. Parascandolo *et al.*¹². desenvolveu seu modelo virtual da mandíbula com base em física (Coeficiente

de Poisson: 0.34) e mecânica (tensão de carga: 950 MPa; carga de compressão: 970MPa; tensão de escoamento: 880MPa, Módulo de Young para titânio: 113.800 MPa), diferentemente de outros autores que não especificaram o modelo.

Os métodos de simulação das forças musculares também devem ser tomados em consideração na análise crítica dos resultados biomecânicos dos estudos. Poucos artigos revisados simulam cargas na articulação quando ocorre a máxima força de mordida ou oclusão. Relatou-se que duas placas apresentaram maior resistência à deformação permanente do que os métodos de uma única placa (tanto miniplacas, quanto as de reconstrução ou de compressão dinâmica, com $P < 0,05$)¹.

Wagner *et al.*²⁷ testaram grupos musculares menores em comparação ao trabalho de Parascandolo *et al.*¹². No entanto, os primeiros autores aplicaram forças proporcionalmente maiores, especialmente o músculo temporal (42,4%). Estudos que utilizaram o método de elementos finitos também tentaram determinar osteossíntese eficaz e um protocolo estável e favorável para fraturas condilares¹.

De acordo com Lauer *et al.*²⁶ e Seemann *et al.*²⁸, quando se utiliza a técnica de uma placa única, observa-se resultados satisfatórios em termos de estabilidade, haja vista a ausência de fratura de placas em estudos clínicos realizados. Provavelmente este fato ocorreu porque eles testaram novas placas com formatos favoráveis.

Nos estudos em que foram feitos testes comparativos entre o uso de uma placa única e o uso de duas placas aposicionais na região da fratura,

concluiu-se que o protocolo envolvendo duas placas foi o mais apropriado, indicando-a como um método de escolha^{1,19,20,29}.

Embora poucos estudos tenham utilizado o método de elementos finitos, os resultados dos estudos in vitro são semelhantes em alguns aspectos, aos encontrados em estudos computacionais, em relação à utilização de duas placas de titânio estáveis nessas fraturas^{1,28}.

Ensaio clínico e a aplicação da metodologia de elementos finitos são necessários para indicar melhor a técnica mais apropriada para a osteossíntese em casos de fraturas no côndilo^{1,30}.

Análise de elementos finitos têm sido amplamente utilizada para essa questão e o nosso modelo buscou comparar a técnica do *Neck Screw* utilizando essa ferramenta.

Simulamos a ação muscular, com restrições de movimentos superiores da mandíbula, diferenciação de osso cortical e medular e nas “dobras” virtuais das placas e parafusos para que se ajustassem à superfície condilar.

Os achados do nosso trabalho corroboram com os descritos na literatura, haja vista que os resultados obtidos com a configuração com duas placas foram superiores em termos de deslocamento dos segmentos fraturados e nos valores de tensão máxima principal e tensão mínima principal.

Quando da escolha pelo tratamento cirúrgico das fraturas de côndilo mandibular, o parafuso *Neck Screw* pode ser usado na redução das fraturas, antes de servir como fixação. A técnica é relativamente simples e desde que bem indicado, é uma alternativa viável para as fraturas de côndilo mandibular.

Os resultados do *Neck Screw* são semelhantes àqueles do sistema com uma placa reta de 4 furos do sistema 2.0 mm, sendo portanto, uma alternativa para a redução e fixação das fraturas de côndilo mandibular, quando corretamente indicado e com conhecimento da técnica por parte do cirurgião.

São necessários mais trabalhos para validar esses resultados, principalmente no que diz respeito ao Neck Screw, buscando melhorias no design, tamanho, perfuração e tipo de rosca, tanto em análises computacionais, quanto melhor entendimento do comportamento do parafuso e dos resultados clínicos a médio e longo prazo.

7. CONCLUSÕES

- As configurações de fixação com duas placas são favoráveis, tanto no que diz respeito à estabilidade dos segmentos ósseos, quanto na menor probabilidade de deformação das placas e parafusos;

- O sistema com uma miniplaca de 2.0 mm apresenta boa estabilidade, desde que em zonas neutras de força;

- O parafuso *Neck Screw* apresentou resultados através de análise por elementos finitos semelhantes aos encontrados no sistema de uma miniplaca.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – Costa FWG, Bezerra MF, Ribeiro TR, Pouchain EC, Sabóia VPA, Soares ECS: Biomechanical analysis of titanium plate systems in mandibular condyle fractures. A systematized literature review. *Acta Cirúrgica Brasileira* 27 : 424-429, 2012.

2 - Valiati R, Ibrahim D, Abreu MER, Heitz C, de Oliveira RB, Pagnoncelli RM, SILVA DM: The treatment of condylar fractures: to open or not to open? A critical review of this controversy. *Int J Med Sciences* 5 (6):313-318, 2008.

3 - Manganello LC, Silva AAF: Fraturas do côndilo mandibular: classificação e tratamento. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 68 (5): 749-55, 2002.

4 - Ferreira AGM, Weismann R: Acesso Intrabucal para redução de fratura subcondilar unilateral – relato de caso. *Rev Odonto Ciência.* 20(47): ,83-87, jan./mar. 2005.

5 - Yang L, Patil PM: The retromandibular transparotid approach to mandibular subcondylar fractures. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 41: 494–499, 2012.

6 - Gupta M, Iyer N, Das D, Nagaraj J: Analysis of Different Treatment Protocols for Fractures of Condylar Process of Mandible. *J Oral Maxillofac Surg* 70:83-91, 2012.

7 - Rombach DM, QUINN PD: Trauma to the temporomandibular joint region. In: FONSECA, R. J.; EWALKER, R. V.; NORMAN, N. J. Oral and Maxillofacial Trauma. 3 ed. St Louis: Elsevier, p. 523-557, 2005.

8 - Lindahl L, Hollender L: Condylar fractures of the mandible. II. A radiographic study of remodeling processes in the temporomandibular joint. Int J Oral Surg 6: 153-165, 1977.

9 – Ehrenfeld M, Manson PN, Prein J: AOCMF - Principles of Internal Fixation of the Craniomaxillofacial Skeleton -Trauma and Orthognathic Surgery. Thieme, 2012

10 - Luo S, Li B, Long X, Deng M, Cai H, Cheng Y: Surgical Treatment of Sagittal Fracture of Mandibular Condyle Using Long-Screw Osteosynthesis. J Oral Maxillofac Surg 69:1988-1994, 2011.

11 - Vesnaver A: Open Reduction and Internal Fixation of Intra-Articular Fractures of the Mandibular Condyle: Our First Experiences. J Oral Maxillofac Surg 66:2123-2129, 2008.

12 - Parascandolo S, Spinzia A, Parascandolo S, Piombino P, Califano L: Two load sharing plates fixation in mandibular condylar fractures: Biomechanical basis. J Craniomaxillofac Surgery. 38: 385-390, 2010.

13 - Zide MF, Kent JN: Indications for open reduction of mandibular condyle fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 1: 89-98, 1983.

14 - Kim BK, Kwon YD, Ohe JY, Choi YH, Choi BJ: Usefulness of the Retromandibular Transparotid Approach for Condylar Neck and Condylar Base Fractures. *J Craniofac Surg* 23: 712-715, 2012.

15 - Kheradpir AR, Chien AT, Julian III RS: Transoral Osteosynthesis of Subcondylar Fractures of the Mandible Using a Fenestrated Levassier-Merrill Retractor. *J Oral Maxillofac Surg* 69:2006-2011, 2011.

16 - Sugiura T, Yamamoto K, Murakami K, Sugimura M: A Comparative Evaluation of Osteosynthesis With Lag Screws, Miniplates, or Kirschner Wires for Mandibular Condylar Process Fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 59:1161-1168, 2001.

17 - Asprino L, Consani S, de Moraes M: A Comparative Biomechanical Evaluation of Mandibular Condyle Fracture Plating Techniques. *J Oral Maxillofac Surg* 64:452-456, 2006.

18 - Tominaga K, Manabu Habu M, Khanal A, Mimori Y, Yoshioka I, Fukuda J: Biomechanical Evaluation of Different Types of Rigid Internal Fixation Techniques for Subcondylar Fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 64:1510-1516, 2006.

19 - 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.* 41: 934–941, 2012.

20 - Aquilina P, Chamoli U, Parr WCH, Clausen PD, Wroe S: Finite element analysis of three patterns of internal fixation of fractures of the mandibular condyle. *Br J Oral Maxillof Surgery*, 2012.

21 - Christopoulos P, Stathopoulos P, Alexandridis C, Shetty V, Caputo A: Comparative biomechanical evaluation of mono-cortical osteosynthesis systems for condylar fractures using photoelastic stress analysis. *Br J Oral Maxillof Surgery* 50:636-641, 2012.

22 – Gaziri DA, Omizollo G, Luchi GHM, de Oliveira, MG, Heitz C: Assessment for treatment of tripod fractures of the zygoma with microcompressive screws. *J Oral Maxillofac Surg* 70: 378-388, 2012.

23 – Parr WCH, Wroe S, Chamoli U, Richards HS, McCurry MR, Clausen PD, McHenry CR: Toward integration of geometric morphometrics and computational biomechanics: new methods for 3D virtual reconstruction and quantitative analysis of finite element models. *J Theoret Biol* 301:1–14, 2012.

24 - Haug RH, Assael LA: Outcomes of open versus closed treatment of mandibular subcondylar fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 59(4):370-6, 2001.

25 - Gealh WC, Costa JV, Ferreira GM, Iwaki Filho L. Comparative study of the mechanical resistance of 2 separate plates and 2 overlaid plates used in the fixation of the mandibular condyle: an in vitro study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67(4):738-43.

26 - Lauer G, Pradel W, Schneider M, Eckelt U: A New 3-Dimensional Plate for Transoral Endoscopic-Assisted Osteosynthesis of Condylar Neck Fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 65:964-971, 2007.

27 - Wagner A, Krach W, Schicho K, Undt G, Ploder O, Ewers R: A 3-dimensional finite-element analysis investigating the biomechanical behavior of the mandible and plate osteosynthesis in cases of fractures of the condylar process. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*: 94:678-86, 2002.

28 - Seemann R, Schicho K, Reichwein A, Eisenmenger G, Ewers R, Wagner A: Clinical evaluation of mechanically optimized plates for the treatment of condylar process fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104:e1-e4, 2007.

29 - Haim D, Müller A, Leonhardt H, Nowak A, Richter G, Lauer G: Biomechanical Study of the Delta Plate and the TriLock Delta Condyle Trauma Plate. *J Oral Maxillofac Surg* 69:2619-2625, 2011.

30 - Ramos A, Completo A, Relvas C, Mesnard M, Simões JA: Straight, semi-anatomic and anatomic TMJ implants: The influence of condylar geometry and bone fixation screws. *J Craniomaxillof Surg* 39: 343-350, 2011.

ANEXO 1 – CARTA DE APROVAÇÃO DO PROJETO

*Comissão Científica e de Ética
Faculdade da Odontologia da PUCRS*

Porto Alegre 16 de janeiro de 2014

O Projeto de: Dissertação

Protocolado sob nº: 0055/13
Intitulado: Estudo comparativo das técnicas de fixação óssea em fraturas de côndilo mandibular através de análise por elementos finitos.
Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Cláiton Heitz
Pesquisadores Associados: Ricardo Augusto Conci
Nível: Dissertação / Mestrado

Foi **aprovado** pela Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS em *Dezesseis de janeiro de dois mil e quatorze*

Profa. Dra. Luciane Macedo de Menezes
Coordenadora da Comissão Científica e de Ética da
Faculdade de Odontologia da PUCRS

ANEXO 2 – ARTIGOS

Artigo 1 - Reduction and fixation of mandibular condylar fractures with Neck Screw

Artigo encaminhado para: **Journal of Craniofacial Surgery** – B2 Internacional (Web Qualis – 2013) e segue as normas de publicação da revista.

Aceito em 26/11/2013

From: jcraniofacialsurgery@gmail.com
To: ricardo_conci@hotmail.com
Date: Tue, 26 Nov 2013 12:28:43 -0500
Subject: SCS Decision

CC: mbhabal@verizon.net

Nov 26, 2013

RE: SCS-13-1350, entitled "Reduction and fixation of mandibular condylar fractures with Neck Screw"

Dear Mr. Conci,

I am pleased to inform you that your work has now been accepted for publication in Journal of Craniofacial Surgery. All manuscript materials will be forwarded immediately to the production staff for placement in an upcoming issue.

OPEN ACCESS

If you indicated in the revision stage that you would like your submission, if accepted, to be made open access, please go directly to step 2. If you have not yet indicated that you would like your accepted article to be open access, please follow the steps below to complete the process:

1. Notify the journal office via email that you would like this article to be available open access. Please send your email to jcraniofacialsurgery@gmail.com. Please include your article title and manuscript number.
2. A License to Publish (LTP) form must be completed for your submission to be made available open access. Please download the form from <http://links.lww.com/LWW-ES/A49>, sign it, and Email the completed form to the journal office.
3. Go to <http://wolterskluwer.qconnect.com> to pay for open access. You will be asked for the following information. Please enter exactly as shown:
 - a. Article Title - Reduction and fixation of mandibular condylar fractures with Neck Screw
 - b. Manuscript Number - SCS-13-1350

Thank you for submitting your interesting and important work to the journal.

<http://scs.edmgr.com/>

Your username is: ricardo_conci@hotmail.com
Your password is: XXXXXXXX

With Kind Regards,

Mutaz B. Habal, M.D.
Editor-in-Chief
Journal of Craniofacial Surgery

Reduction and fixation of mandibular condylar fractures with Neck Screw

Introduction

Owing to the high incidence and importance of condylar fractures, various therapeutic methods have been described, and may be divided into conservative (closed reduction) and surgical (open reduction) methods [1-7].

The conservative treatment is indicated in cases of fractures with little or no displacement, and a maxilo-mandibular blockage is necessary for up to 14 days [2].

On the other hand, for a surgical treatment, the debate is even greater, especially as regards the access, difficulty in repositioning the fractured fragments, and fixation [2, 8-11].

The treatment by means of extra-oral accesses with miniplates is most widely used today, and aims at restoring the original anatomy. An early fixation promotes the total restoration of the condylar function [8,9,12].

Among the most frequently used extra-oral accesses are the submandibular, the retromandibular, and the preauricular accesses, depending on the experience and preference of the surgeon, the height and type of fracture, and cosmetic considerations [8,9,12].

An intra-oral access with the help of endoscopy has currently also been prescribed [8,12].

Different osteosynthesis techniques have been used, aiming at satisfactory results. Studies have been carried out that use biomechanical analyses – whether or not computational – with the purpose of selecting an

appropriate system that will lead to maximum stability with low morbidity [11,13,14].

The most widely used reduction and fixation techniques of condylar fractures are those which use plates and screws, arranged in various ways [6,10,11,13,14].

Among the possibilities are the use a straight 2.0 mm miniplate, two straight 2.0 mm miniplates placed in parallel, one 2.0 mm and another 1.5 mm miniplate, the second being placed obliquely in relation to the first, trapezoidal plates (hybrid, or not). In addition, a Neck Screw may be used, which makes the reduction of the fracture easier, since installation is possible in an intramedullary way in the proximal fractured portion [6,10,11,13-23].

Surgical Technique

The surgical technique is performed by means of a modified submandibular access, with a 0.5 cm incision under the mandibular angle, with an extension of 3 cm, to access the region of mandibular condylar fracture (**Fig. 1**).

A subcutaneous dissection is made upon the upper portion of the platysma muscle, extends itself broadly along the fascia parotideomasseterica, and involves the antero-superior and inferior portions of the parotid gland and of the masseter muscle. A blunt dissection is made throughout the fibers of the masseter muscle between the superior and inferior branches of the facial nerve (**Fig. 2**).

Reduction occurs after the subperiosteal detachment of the region of the ascendant branch and of the condylar neck (**Fig.3**).

An intramedullar Neck Screw is installed in the proximal fractured portion, and a groove is made in the distal portion to accommodate the screw, thus attaining a satisfactory reduction of the fracture. A plate – either straight or preferably in “L” (because of the ease of installing it) – is then installed perpendicularly overlapping the screw, thereby preventing its movement. One must consider the round shape of the screw head, which affords a satisfactory stability in the reduction of the fracture (**Fig. 4, 5 and 6**).

Discussion

Mandibular condylar fractures differ from other types especially because of the difficulty of making a clinical and radiographic diagnosis [1,5].

They have a high rate of occurrence: some 25 to 30 % of mandibular fractures, with undesirable consequences for the patient, such as malocclusion and limitation of mouth opening [12].

The precision of the reduction of fractured segments and the stability of the fixation are regarded as fundamental prerequisites to restore the function in cases of injuries of the mandibular condyle. The temporomandibular joint (TMJ) suffers the load of various muscles during the masticatory process. Thus, the methods of fixation must be sufficiently resistant to oppose these forces, and should not interfere with the condylar position after the reduction. A number of methods have been described in the literature to evaluate the efficiency of types of fixation, but no consensus exists to date about the ideal fixation for fractures of the condylar process [5,13].

When a rotation or displacement of the fractured condylar portion occurs, there may be malocclusion, restriction of the mandibular movements, internal derangements in the TMJ, and ankylosis [13].

Taking into account Champy's principles of a functionally stable fixation, osteosynthesis should be performed in tension areas, counteracting the tendency of opening the line of the fracture. This explains the weak primary stability of most of the schemes that use only one plate in the posterior border of the branch [13].

Haug et al. [7] showed that dynamic compression plates were more favorable to counteract latero-lateral movements of the mandibular condyle, among the schemes of a single miniplate.

Asprino et al. [11] suggest the use of two plates, but when this is not possible because of the size of the segment or surgical difficulty, a plate may be fixed with longer screws (8 mm).

Gealh et al. [15] showed that two overlapping plates do not increase the resistance of the condyle to lateral loads.

Conclusion

Among all facial fractures, those of the condyle are the most controversial, especially concerning treatment. A wide range of techniques have been proposed both regarding the access and the reduction and fixation of the fractures.

We aimed at facilitating reduction with the technique of an intramedular screw associated to a miniplate in view of the degree of difficulty of this stage when a surgery of the condylar fracture is required.

Figures



Fig. 1 (A) CT scan and **(B)** 3D reconstruction and visualization for fracture of the left mandibular condyle

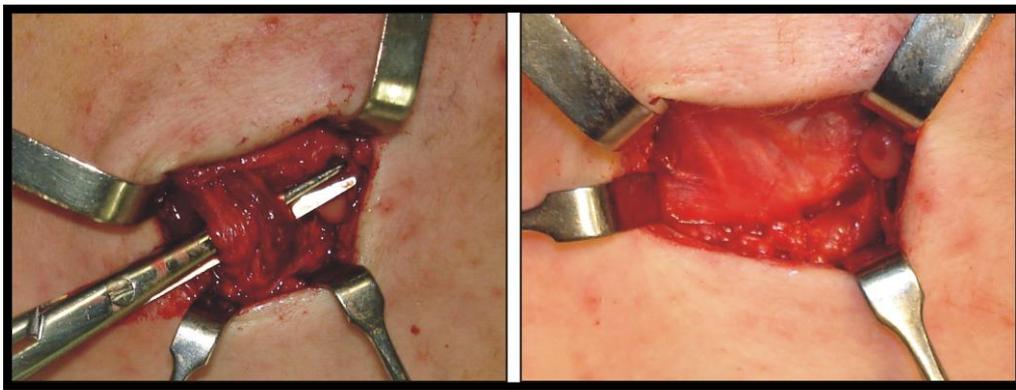


Fig. 2 (A) Subcutaneous dissection is made upon the upper portion of the masseter muscle and **(B)** blunt dissection is made throughout the fibers of the masseter muscle

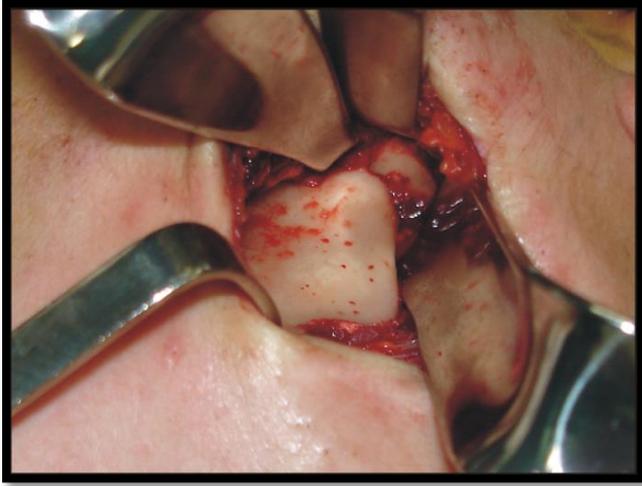


Fig. 3 Subperiosteal detachment of the region of the ascendant branch and of the condylar neck and reduction of fractures

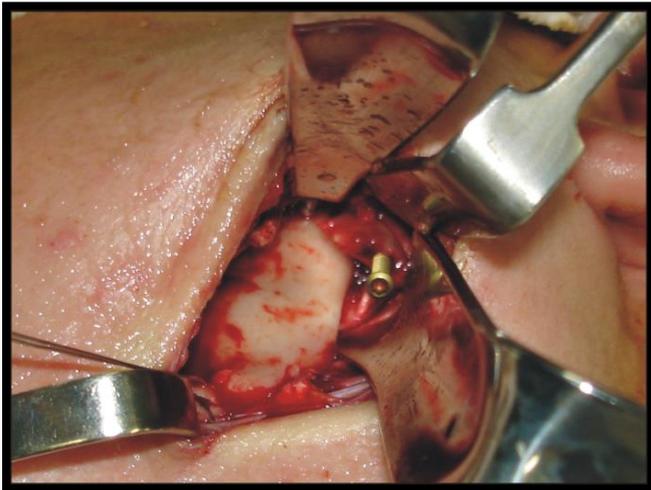


Fig. 4 Neck Screw is installed

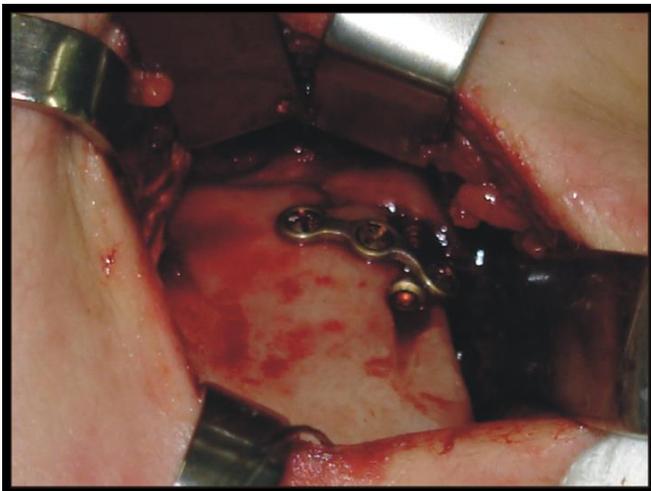


Fig. 5 A plate is then installed perpendicularly overlapping the screw

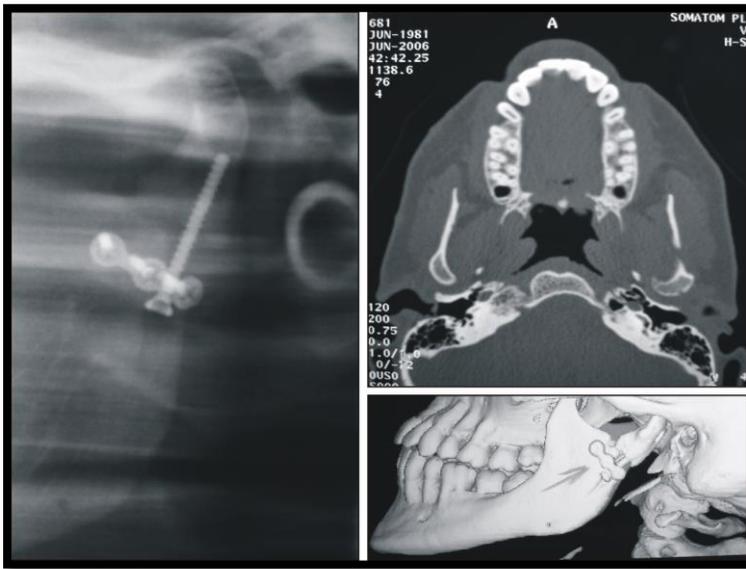


Fig. 6 (A) X-Ray, **(B)** CT and **(C)** 3D reconstruction showing good fracture reduction and the correct position of the mandibular condyle

References

- 1 - Gupta M, Iyer N, Das D, Nagaraj J: Analysis of Different Treatment Protocols for Fractures of Condylar Process of Mandible. *J Oral Maxillofac Surg* 70:83-91, 2012.
- 2 - Zide MF, Kent JN: Indications for open reduction of mandibular condyle fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 1: 89-98, 1983.
- 3 - Luo S, Li B, Long X, Deng M, Cai H, Cheng Y: Surgical Treatment of Sagittal Fracture of Mandibular Condyle Using Long-Screw Osteosynthesis. *J Oral Maxillofac Surg* 69:1988-1994, 2011.
- 4 - Vesnaver A: Open Reduction and Internal Fixation of Intra-Articular Fractures of the Mandibular Condyle: Our First Experiences. *J Oral Maxillofac Surg* 66:2123-2129, 2008.
- 5 - Valiati R, Ibrahim D, Abreu MER, Heitz C, de Oliveira RB, Pagnoncelli RM, SILVA DM: The treatment of condylar fractures: to open or not to open? A critical review of this controversy. *Int J Med Sciences* 5 (6):313-318, 2008.
- 6 - Parascandolo S, Spinzia A, Parascandolo S, Piombino P, Califano L: Two load sharing plates fixation in mandibular condylar fractures: Biomechanical basis. *J Craniomaxillof Surgery*. 38: 385-390, 2010.

7 - Haug RH, Assael LA: Outcomes of open versus closed treatment of mandibular subcondylar fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 59(4):370-6, 2001.

8 - Kim BK, Kwon YD, Ohe JY, Choi YH, Choi BJ: Usefulness of the Retromandibular Transparotid Approach for Condylar Neck and Condylar Base Fractures. *J Craniofac Surg* 23: 712-715, 2012.

9 - Kheradpir AR, Chien AT, Julian III RS: Transoral Osteosynthesis of Subcondylar Fractures of the Mandible Using a Fenestrated Levassier-Merrill Retractor. *J Oral Maxillofac Surg* 69:2006-2011, 2011.

10 - Sugiura T, Yamamoto K, Murakami K, Sugimura M: A Comparative Evaluation of Osteosynthesis With Lag Screws, Miniplates, or Kirschner Wires for Mandibular Condylar Process Fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 59:1161-1168, 2001.

11 - Asprino L, Consani S, de Moraes M: A Comparative Biomechanical Evaluation of Mandibular Condyle Fracture Plating Techniques. *J Oral Maxillofac Surg* 64:452-456, 2006.

12 - Yang L, Patil PM: The retromandibular transparotid approach to mandibular subcondylar fractures. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 41: 494–499, 2012.

13 – Costa FWG, Bezerra MF, Ribeiro TR, Pouchain EC, Sabóia VPA, Soares ECS: Biomechanical analysis of titanium plate systems in mandibular condyle fractures. A systematized literature review. *Acta Cirúrgica Brasileira* 27 : 424-429, 2012.

14 - Tominaga K, Manabu Habu M, Khanal A, Mimori Y, Yoshioka I, Fukuda J: Biomechanical Evaluation of Different Types of Rigid Internal Fixation Techniques for Subcondylar Fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 64:1510-1516, 2006.

15 - Gealh WC, Costa JV, Ferreira GM, Iwaki Filho L. Comparative study of the mechanical resistance of 2 separate plates and 2 overlaid plates used in the fixation of the mandibular condyle: an in vitro study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67(4):738-43.

16 - 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.* 41: 934–941, 2012.

17 - Aquilina P, Chamoli U, Parr WCH, Clausen PD, Wroe S: Finite element analysis of three patterns of internal fixation of fractures of the mandibular condyle. *Br J Oral Maxillof Surgery*, 2012.

18 - Christopoulos P, Stathopoulos P, Alexandridis C, Shetty V, Caputo A: Comparative biomechanical evaluation of mono-cortical osteosynthesis systems for condylar fractures using photoelastic stress analysis. *Br J Oral Maxillof Surgery* 50:636-641, 2012.

19 - Lauer G, Pradel W, Schneider M, Eckelt U: A New 3-Dimensional Plate for Transoral Endoscopic-Assisted Osteosynthesis of Condylar Neck Fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 65:964-971, 2007.

20 - Wagner A, Krach W, Schicho K, Undt G, Ploder O, Ewers R: A 3-dimensional finite-element analysis investigating the biomechanical behavior of the mandible and plate osteosynthesis in cases of fractures of the condylar process. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*: 94:678-86, 2002.

21 - Seemann R, Schicho K, Reichwein A, Eisenmenger G, Ewers R, Wagner A: Clinical evaluation of mechanically optimized plates for the treatment of condylar process fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104:e1-e4, 2007.

22 - Haim D, Müller A, Leonhardt H, Nowak A, Richter G, Lauer G: Biomechanical Study of the Delta Plate and the TriLock Delta Condyle Trauma Plate. *J Oral Maxillofac Surg* 69:2619-2625, 2011.

23 - Ramos A, Completo A, Relvas C, Mesnard M, Simões JA: Straight, semi-anatomic and anatomic TMJ implants: The influence of condylar geometry and bone fixation screws. *J Craniomaxillof Surg* 39: 343-350, 2011.