



DANILLO COSTA RODRIGUES

**“ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE
QUATRO DIFERENTES MÉTODOS DE FIXAÇÃO
EM FRATURAS DE CORPO MANDIBULAR”**

Piracicaba

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

DANILLO COSTA RODRIGUES

“ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE QUATRO DIFERENTES MÉTODOS DE FIXAÇÃO EM FRATURAS DE CORPO MANDIBULAR”

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Clínica Odontológica com área de concentração em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais.

Orientador: Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida por Danilo Costa Rodrigues e orientada pelo Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira.


Assinatura do Orientador

Piracicaba
2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello - CRB 8/6159

R618a Rodrigues, Danilo Costa, 1981-
Análise mecânica e fotoelástica de quatro diferentes métodos de fixação em fraturas de corpo mandibular / Danilo Costa Rodrigues. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Roger William Fernandes Moreira.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Placas ósseas. 2. Fixação de fratura. 3. Ossos - Fraturas. 4. Parafusos ósseos. I. Moreira, Roger William Fernandes, 1971-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Mechanical and photoelastic analysis of four different fixation methods for mandibular body fractures

Palavras-chave em inglês:

Bone plates

Fracture fixation

Bone fractures

Bone screws

Área de concentração: Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais

Titulação: Doutor em Clínica Odontológica

Banca examinadora:

Roger William Fernandes Moreira [Orientador]

Marcelo Marotta Araújo

Alessandro Costa da Silva

Fábio Ricardo Loureiro Sato

Raul Seabra Guimarães Neto

Data de defesa: 19-05-2014

Programa de Pós-Graduação: Clínica Odontológica



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 19 de Maio de 2014, considerou o candidato DANILLO COSTA RODRIGUES aprovado.

Prof. Dr. ROGER WILLIAM FERNANDES MOREIRA

Prof. Dr. MARCELO MAROTTA ARAÚJO

Prof. Dr. ALESSANDRO COSTA DA SILVA

Prof. Dr. FÁBIO RICARDO LOUREIRO SATO

Prof. Dr. RAUL SEABRA GUIMARÃES NETO

RESUMO

O propósito do presente estudo foi avaliar comparativamente, através de teste de carregamento linear e análise fotoelástica, quatro métodos de fixação em fraturas simuladas em corpo de hemimandíbulas de poliuretano e resina fotoelástica. O trabalho foi dividido em quatro grupos: O grupo I, foi fixado com duas placas do sistema 2,0mm, uma na zona de tensão e outra na zona de compressão mandibular. No grupo II, utilizou-se uma placa do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula e uma barra de Erich na zona dentada. O grupo III, foi fixado com uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão e uma barra de Erich na zona dentada. E no grupo IV, foi empregada uma placa do sistema 2,0mm na zona de tensão e uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão. Os métodos de fixação utilizados em cada grupo foram semelhantes em ambos os testes. Testes de carregamento linear foram realizados por meio da máquina para ensaio universal mecânica Instron®. Os valores foram analisados pelo teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA), Kruskal-Wallis e posteriormente, o teste de Tukey e Mann-Whitney com correção de Bonferroni. Para a análise do teste fotoelástico, as hemimandíbulas em resina fotoelástica foram fotografadas quando a máquina de ensaio registrou o deslocamento final de 3mm e as franjas formadas no substrato foram avaliadas de forma qualitativa. Os resultados dos testes mecânicos indicaram que o grupo II apresentou menor resistência, seguido dos grupos I, IV e III. O teste fotoelástico confirmou a maior formação de tensão no grupo de menor resistência mecânica. Dessa forma concluiu-se que em fraturas lineares de corpo de mandíbula a utilização de placa do sistema 2,4mm apresentou maior resistência e que o emprego de apenas uma placa do sistema 2,0mm na zona central apresentou maior tensão.

Palavras-Chave: placas ósseas, fixação de fratura, fraturas ósseas, parafusos ósseos.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate comparatively through linear load testing and photoelastic analysis, four methods of fixation in simulated fractures on polyurethane hemimandibles body and photoelastic resin. The study was divided into four groups: Group I was fixed with two plates of 2.0 mm system, one in the tension zone and another in compression zone. In Group II, it was used a 2.0 mm plate in the neutral zone and an Erich bar. Group III was fixed with a 2.4 mm plate in the compression zone and an Erich bar. The group IV was employed a 2.0 mm plate in tension zone and a 2.4 mm plate in the compression zone. The fixation methods used in each group were similar in both tests. Linear load testing was performed using an Instron® mechanical universal testing machine. After the tests, the values were analyzed by the Shapiro-Wilk test, Analysis of Variance (ANOVA), Kruskal -Wallis test and subsequently the Tukey test, and Mann-Whitney test with Bonferroni correction. For the analysis of photoelastic test, the hemimandibles were photographed in photoelastic resin when the testing machine recorded the final displacement of 3mm and the fringes formed on the substrate were evaluated qualitatively. The results of mechanical tests indicated that the group II had lower resistance, followed by the groups I, III and IV. The photoelastic test confirmed the increased formation of tension in the group of lower mechanical strength. Thus, it was concluded that in linear mandibular body fracture using the system board 2.4 mm presented more resistance and the use of only one 2.0 mm plante in the central area of the mandible showed higher tension.

Keywords: bone plates, fracture fixation, bone fracture, bone screws.

SUMÁRIO

Dedicatória	xi
Agradecimentos	xv
Introdução	1
Capítulo:	4
Análise mecânica e fotoelástica de quatro diferentes métodos de fixação em fraturas de corpo mandibular	
Conclusão	31
Referências	32
Apêndice	35
Anexo	37

Dedico este trabalho em especial ao meu querido irmão **Henrique** (*in memoriam*), aos meus pais **Edilson** e **Maria**, ao meu irmão **Murilo** e às minhas sobrinhas **Maria Paula** e **Mariana** pelo amor, apoio, compreensão e incentivo que me deram em toda minha caminhada na busca da realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) pela oportunidade de realizar o curso de pós-graduação na Faculdade de Odontologia de Piracicaba – FOP/UNICAMP, na pessoa do diretor **Prof. Dr. Jacks Jorge Jr.**

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira**, primeiramente por confiar na minha capacidade. Agradeço por tudo que fez e continua fazendo por mim. Pelo incentivo, amizade, compreensão e apoio no momento mais difícil que passei na minha vida. Muito obrigado professor.

Ao **Prof. Dr. Fábio Ricardo Loureiro Sato** e **Érica Marchiori** pelos ensinamentos e contribuição com a minha formação cirúrgica.

À **Área de Materiais Dentários da FOP/UNICAMP** por possibilitar a realização dos experimentos da pesquisa e ao engenheiro **Marcos Blanco Cagiani** pela orientação nos testes laboratoriais.

À **Universidade Estadual de Montes Claros** onde iniciei minha formação acadêmica e ao amigo **Prof. Mário Melo**, responsável pelo início da minha trajetória na cirurgia. Um exemplo de pessoa, cirurgião e de dedicação à profissão e a família. Muito obrigado.

À **Universidade Federal de Minas Gerais**, a qual possibilitou minha formação de especialista em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial.

Às empresas **Tóride** pelo fornecimento dos materiais para realização desse estudo

Aos **pacientes**, que são fundamentais na nossa formação, obrigado pela confiança.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço primeiramente a **Deus** pelo dom da vida, o qual nada seria possível.

Ao meu querido irmão **HENRIQUE** (*in memoriam*) que nos deixou há pouco, mas que sempre estará em meu coração. Um garoto visionário, apaixonante, alegre e de bondoso coração. Guerreiro e que amava a vida. Te amo.

Aos meus pais, **Edilson e Maria**, pelo amor, dedicação e apoio incondicional em toda minha vida. Por acreditarem nas conquistas dos meus objetivos e pelas lições de vida que contribuem para o meu crescimento.

Ao meu irmão **Murilo**, exemplo de honestidade e caráter. Amigo que sempre posso contar e que vibra com as minhas conquistas.

À minha avó **Maria Cecília**, por toda dedicação à família. Um exemplo de força e superação.

Às minhas sobrinhas **Maria Paula e Mariana**, presentes de Deus que alegram minha vida.

À minha **família**, pelo apoio e por compartilhar os momentos de alegria e dificuldades. A minha eterna gratidão.

Aos meus colegas de pós-graduação: **Gabriela Mayrink, Lucas Martins, Marcelo Mendes, Castelo Cidade, Darkilson Santos, Valdir Andrade, Evandro Portela, Andrezza Lauria, Raquel Medeiros, Saulo Falsi, Clarice Maia, Douglas Goulart, Milton Cougo, Zarina Santos, Fabiano Menegatt, Pauline Magalhães, Éder Sigua, Breno Nogueira e Renato Ribeiro**, pelo convívio e ajuda diária.

Aos meus colegas e amigos do Hospital dos Defeitos da Face: **Rodrigo Tavares, Jee Park, Magno Liberato, Samuel Morais, Daiana Tonin, Ingrid Gama e Renata Figueira**.

Às funcionárias da área **Edilaine Felipe, Angélica Quinhones, Laís Romano, Beatriz Piga, Débora Barbeiro, Daiana Tonin, Leticia Cristina, Jade Castagna, Jaqueline Machado e Ingrid Gama** por ajudarem no funcionamento do curso de pós-graduação.

À **Ana Paula** da pós-graduação, pela disposição em ajudar. Exemplo de educação e competência.

“Nem tudo que se enfrenta pode ser
modificado, mas nada pode ser modificado até que seja enfrentado”

Albert Einstein

INTRODUÇÃO

A mandíbula, devido a sua topografia, anatomia e projeção no terço inferior da face, é frequentemente atingida por traumatismos (Zachariades *et al.*, 1994), sendo a segunda região do esqueleto maxilofacial mais acometida por fraturas (Ogundare *et al.*, 2003). E de acordo com a localização as fraturas mandibulares podem ser classificadas em dentoalveolar, sínfise, parassínfise, corpo, ângulo, ramo, processo coronóide e côndilo mandibular (Dingman & Natvig, 1983), sendo a região de corpo o sítio mais comum de fratura (Chacon & Larsen, 2004).

Anatomicamente, as fraturas de corpo mandibular ocorrem na região entre o forame mental até a porção distal do segundo molar, coincidindo com o bordo anterior do músculo masseter (Dingman & Natvig, 1983). Estas fraturas envolvem os dentes e requerem atenção especial em relação a oclusão e contorno ósseo (Eusterman, 2012).

As fraturas mandibulares causam severa morbidade, perda da função e alteração do contorno facial do paciente (Prein *et al.*, 1998; Miloro *et al.*, 2008), podendo gerar problemas emocionais, sociais e comportamentais nos indivíduos afetados, além de causar um impacto social negativo e gerar altos custos financeiros para o governo, desde o diagnóstico até seu tratamento (Levine *et al.*, 2005).

O diagnóstico das fraturas mandibulares é realizado através de análises clínicas e imaginológicas e as formas de tratamento, que seguem um padrão histórico de evolução baseados nos princípios ortopédicos, podem variar de condutas mais conservadoras, como a realização de bloqueio maxilo-mandibular à procedimentos com exploração cirúrgica, redução e fixação das fraturas e terapias de suporte (Ellis III, 1999; Chacon & Larsen, 2004).

Na redução fechada, as fraturas não são expostas e é realizada uma imobilização da mandíbula durante o período de reparo ósseo por bloqueio maxilo-mandibular; e no método aberto, a fratura é exposta através de acessos

intra ou extra-bucais, permitindo a visualização e aplicação direta de um meio de fixação no sítio da fratura como fios de aço, placas ósseas ou parafusos compressivos (Oikarinen *et al.*, 1989).

Uma das técnicas de bloqueio maxilo-mandibular é através da utilização de um arco pré-fabricado adaptado e fixado aos dentes em cada arcada com fios de aço, para que ambas as arcadas sejam fixadas uma a outra. Os arcos-barra são indicados principalmente em casos de urgência para estabilizar temporariamente os fragmentos antes do tratamento definitivo; como banda de tensão em combinação com fixação interna rígida; em tratamentos conservadores e para fixação de dentes avulsionados ou fraturas dentoalveolares (Assael *et al.*, 2012).

Com a criação do grupo AO/ASIF (Association for the Study of Internal Fixation) na Suíça, a partir de 1958 foram estabelecidos os princípios para a utilização dos materiais de síntese (Prein, 1998). Como vantagens da fixação interna estável, pode-se citar a liberação do bloqueio maxilo-mandibular pós-operatório, possibilidade de retorno do paciente as suas atividades sociais de forma rápida, movimentação mandibular precoce e manutenção da alimentação mais próxima do normal (Trivellato, 2001).

No tratamento das fraturas mandibulares são empregadas várias técnicas de fixação interna estável, selecionadas de acordo com o local, tipo e tempo de fratura, gênero, idade e comportamento do paciente, experiência do cirurgião e custo do material de fixação (Schilli, 1998). O conhecimento das tensões mastigatórias ao qual a mandíbula é submetida é fundamental pois essas forças deverão determinar o desenho e posicionamento das osteossínteses (Champy & Blez, 1999).

A utilização de miniplacas se tornou padrão para a fixação em fraturas de mandíbula (Sauerbier *et al.*, 2008) e no planejamento do tratamento, o melhor posicionamento, orientação e seleção da placa são de suma importância (Korkmaz, 2007).

Os métodos de fixação podem ser avaliados empiricamente através de testes mecânicos em máquinas universais e a preparação de substratos deve ser realizada para simular a fixação de uma fratura (Vieira e Oliveira & Passeri, 2011). Dessa forma, é possível observar a evolução *in vitro* do comportamento da fixação quando a mesma é exposta a carga, apesar de servirem apenas como métodos auxiliares para determinar o potencial dos sistemas, assim como a disposição e métodos de fixação (Oliveira *et al.*, 2012).

Outro teste *in vitro* utilizado para validar diversos métodos de osteossíntese utilizado no tratamento das fraturas é o fotoelástico (Niederdelmann *et al.*, 1975; Karasz *et al.*, 1986; Rudman *et al.*, 1997). A fotoelasticidade é uma técnica experimental de análise de tensões/deformações que vem sendo usado com o objetivo de trazer orientações a problemas complexos de engenharia quando a solução analítica e/ou numérica é de difícil aplicação. A fotoelasticidade também é usada na validação ou verificação experimental de soluções numéricas, no estudo de distribuição de tensões em problemas de geometria e carregamentos complexos, bem como na otimização de formas. Tal metodologia permite uma rápida análise qualitativa do estado de tensão, através da observação dos efeitos ópticos em modelos (Ueda *et al.*, 2004).

Escassos trabalhos são encontrados na literatura científica sobre técnicas de fixação em fraturas de corpo mandibular e a realização de estudos mecânicos e fotoelásticos das diferentes técnicas de fixação interna rígida para fraturas de corpo da mandíbula citadas na literatura se faz necessária. Não há nenhuma evidência clara na literatura que uma técnica de fixação interna estável para tratamento de fraturas simples (linear) de corpo de mandíbula é melhor do que outra (Ellis III, 2011).

Essa tese foi desenvolvida em formato alternativo, de acordo com deliberação CCPG 002/06, a qual descreve uma análise *in vitro* de resistência mecânica e fotoelástica de quatro métodos de fixação em hemimandíbulas de poliuretano e resina fotoelástica com fraturas simuladas em corpo mandibular.

CAPÍTULO

“ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE QUATRO DIFERENTES MÉTODOS DE FIXAÇÃO EM FRATURAS DE CORPO MANDIBULAR”

Objetivos: Avaliar comparativamente, *in vitro*, a resistência mecânica em réplicas de hemimandíbulas humanas em resina de poliuretano e a distribuição de tensões induzidas em modelos fotoelásticos de quatro métodos de fixação utilizados no tratamento de fraturas de corpo mandibular, submetidas a testes mecânicos de carregamento linear e fotoelasticidade.

Materiais e Métodos: Sessenta hemimandíbulas em poliuretano e quatro em resina fotoelástica com seccionamento linear simulando uma fratura de corpo mandibular foram utilizadas como substrato e fixadas de acordo com quatro técnicas de fixação. O grupo I, foi fixado com duas placas do sistema 2,0mm, uma na zona de tensão e outra na zona de compressão mandibular. No grupo II, utilizou-se uma placa do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula e uma barra de Erich na zona dentada. O grupo III, foi fixado com uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão e uma barra de Erich na zona dentada. No grupo IV, foi empregada uma placa do sistema 2,0mm na zona de tensão e uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão. Os métodos de fixação utilizados em cada grupo foram semelhantes em ambos os testes. Para os testes mecânicos de carregamento linear foi utilizada a máquina para ensaio universal mecânica Instron®, modelo 4411, com registros da carga de pico (em N) e o deslocamento de pico em milímetros (mm). Os valores foram analisados no pelo teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA), Kruskal-Wallis e posteriormente, o teste de Tukey e Mann-Whitney com correção de Bonferroni. Para a análise do teste fotoelástico, as hemimandíbulas em resina fotoelástica foram fotografadas quando a máquina de ensaio registrou o deslocamento final de 3mm e as franjas formadas no substrato foram avaliadas de forma qualitativa.

Resultados: Com relação a resistência à carga e ao deslocamento de pico, o grupo que apresentou a maior média foi o grupo III, fixado com uma placa reta do sistema 2,4mm com 6 furos e barra de Erich, o grupo que apresentou a menor média foi o grupo II fixado com uma miniplaca do sistema 2,0mm com 4 furos e barra de Erich. A análise fotoelástica evidenciou que o emprego de apenas uma placa do sistema 2,0mm na zona central mandibular e uma barra de Erich na zona dentada apresenta maior formação de tensão.

Conclusão: A utilização de placa do sistema 2,4mm apresentou maior resistência mecânica e o emprego de apenas uma placa do sistema 2,0mm na zona central apresentou maior tensão no teste fotoelástico. Os testes empregados no presente estudo podem ser considerados como mais um fator para auxiliar a tomada de decisão clínica do método de fixação a ser empregado em fraturas lineares de corpo de mandíbula.

Palavras-chave: fixação interna, placas ósseas, parafusos ósseos.

1 INTRODUÇÃO

Traumatismos maxilofaciais são frequentes e podem causar alterações funcionais e estéticas importantes. Os principais objetivos do tratamento das fraturas faciais são a restauração das estruturas e função, o que requer adequada redução e imobilização da fratura. Isso assegura a consolidação dos segmentos ósseos, sem as quais, sequelas importantes podem advir, alterando significativamente a qualidade de vida do paciente (Singh *et al.*, 2012).

As fraturas mandibulares apresentam alta incidência e correspondem a cerca de dois terços das fraturas faciais devido a sua proeminência e posição no esqueleto da face, podendo ser classificadas em diferentes categorias de acordo com a etiologia, direção, tipo e localização anatômica (Dingman & Natvig, 1983; Thaller, 1994).

Os princípios básicos no tratamento de fraturas mandíbulas incluem: redução da fratura, restauração da oclusão dentária e controle de complicações ou infecções pós-operatórias (Joss *et al.*, 1999). Dois padrões de tratamentos são usados para reparar esse tipo de fratura: a redução fechada representada pelo bloqueio maxilomandibular (BMM), que objetiva a estabilização da fratura através da fixação dos dentes por meio de fios de aço, sem a exposição e manipulação direta da área fraturada, e a redução aberta que consiste na exposição direta, redução e fixação dos fragmentos através de fios de aço e sistemas de placas e parafusos (Peterson *et al.*, 2005; Andreasen *et al.*, 2008; Miloro *et al.*, 2008).

Como vantagens da fixação interna, pode-se citar a liberação do bloqueio maxilo-mandibular pós-operatório, possibilidade de retorno do paciente as suas funções sociais de forma rápida, movimentação mandibular precoce e manutenção da alimentação mais próxima do normal (Dodson *et al.*, 1990).

As placas e os parafusos dos diversos sistemas de fixação aplicados para tratamentos de fraturas faciais, têm de ser capazes de atender todos os critérios necessários para a sua adequada função minimizando as chances de falha da osteossíntese (Prein *et al.*, 1998; Ehrenfeld *et al.*, 2012).

O método ideal de fixação depende da região e da característica da fratura. Enquanto uma fratura pode ser fixada adequadamente com apenas uma miniplaca, outra pode ficar estável apenas com a utilização de placa de reconstrução. Além disso, a escolha da fixação depende da experiência e do julgamento do cirurgião. É necessário estimar a magnitude e duração da carga para cada situação específica ou quando existir indecisão por parte do operador, escolher uma placa e parafuso mais resistentes ou ainda duas placas de fixação para obter maior segurança (Assael & Ueeck, 2012).

Fraturas de corpo mandibular são afetadas pela ação muscular, o que pode produzir uma fratura favorável pela redução da mesma durante a atividade do músculo ou desfavorável quando os músculos depressores e elevadores da mandíbula causam afastamento da fratura (Eusterman, 2012). Em observações biomecânicas durante a função mandibular normal, observa-se que a tensão ocorre ao nível da dentição, enquanto que a compressão ocorre ao longo do

bordo inferior da mandíbula (Kroon *et al.*, 1991; Chacon & Larsen, 2004; Coletti & Caccamese, 2009; Ellis, 2009).

As fraturas isoladas de corpo mandibular quando submetidas à função, apresentam tendência a abertura na parte mais superior e possibilidade de ocorrer torque nos fragmentos, causando um desalinhamento mediolateral da borda inferior. Nesses casos é necessário, além do uso de uma placa ou barra de Erich na porção superior (para evitar a abertura entre os dentes), a utilização de uma placa de fixação ou parafuso de compressão aplicados em outro local do corpo mandibular para prevenir esse tipo de deslocamento (Chacon & Larsen, 2004).

A efetividade clínica das placas e parafusos de fixação interna estável em trauma mandibular e cirurgias reconstrutivas está bem documentada. Para melhor entendimento da biomecânica da fixação mandibular e das técnicas e materiais de fixação, investigações experimentais são realizadas com frequência para quantificar e avaliar a funcionalidade em um ambiente *in vitro* (Asprino *et al.*, 2006).

Os métodos de fixação podem ser avaliados empiricamente através de testes mecânicos em máquinas universais e a preparação de substratos deve ser realizada para simular a fixação de uma fratura (Vieira e Oliveira & Passeri, 2011). Dessa forma, é possível observar a evolução *in vitro* do comportamento da fixação quando a mesma é exposta a carga, apesar de servirem apenas como métodos auxiliares para determinar o potencial dos sistemas, assim como a disposição e métodos de fixação (Oliveira *et al.*, 2012).

Outro método utilizado para validar os diversos métodos de osteossíntese utilizado no tratamento das fraturas é a fotoelasticidade (Niederdelmann *et al.*, 1975; Karasz *et al.*, 1986; Rudman *et al.*, 1997). O teste fotoelástico é uma técnica experimental que permite uma rápida análise qualitativa do estado de tensão, através da observação dos efeitos ópticos em modelos (Ueda *et al.*, 2004).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar comparativamente, *in vitro*, a resistência mecânica e a distribuição de tensões induzidas em modelos

fotoelásticos de quatro métodos de fixação utilizados no tratamento de fraturas de corpo mandibular, em réplicas de hemimandíbulas humanas em resina de poliuretano e em resina fotoelástica, submetidas a testes mecânicos de carregamento linear e fotoelasticidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Modelo de Teste Mecânico

Para os testes foram utilizadas 60 hemimandíbulas de poliuretano rígido com dentes e densidade padronizada de 200 /L da marca comercial Nacional Ossos® (Franceschi & Costa e Silva Ltda. – Jaú, São Paulo – Brasil). Estas foram submetidas a um seccionamento simulando uma fratura de corpo de mandíbula (entre segundo pré-molar inferior e primeiro molar inferior) com auxílio de um disco diamantado, acoplado a peça reta em micromotor elétrico e através da confecção de um guia de resina acrílica quimicamente ativada incolor (Dental Vipi Ltda. Pirassununga – São Paulo, Brasil) para padronização da secção.

2.2 Modelo de Teste Fotoelástico

Para a confecção dos modelos para análise fotoelástica, partiu-se de uma hemimandíbula de poliuretano rígido da marca Nacional Óssos® (Franceschi & Costa e Silva Ltda. – Jaú, São Paulo – Brasil), seccionada em dois segmentos, idêntica àquelas utilizadas nos teste mecânicos. Os segmentos foram então enviados para a empresa Nacional Nacional Ossos®, Jaú – SP – Brasil, para confecção de quatro hemimandíbulas seccionadas com 100 partes em resina fotoelástica GY-279 Araldite® (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) modificada, com diluído reativo, de baixa até média viscosidade, formulada à base de Bisfenol A, e 48 partes de um endurecedor HY 2963 Araldite® (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) à base de amina cicloalifática, modificado, de baixa viscosidade.

Para a confecção do grupo controle no teste fotoelástico foi utilizada uma hemimandíbula íntegra.

2.3 Placas e Parafusos

Para realização do estudo foram selecionadas 64 placas retas de quatro furos do sistema 2,0mm, 16 placas retas de quatro furos do sistema 2,4mm e 16 placas retas de seis furos do sistema 2,4mm, totalizando 96 placas de titânio comercialmente puro, grau II (ASTM-67). Foram utilizados 192 parafusos de 2,0x5mm, 64 parafusos de 2,0x10mm e 160 parafusos de 2,4x10mm totalizando 416 parafusos de liga de titânio- alumínio-vanádio (Ti-6Al-4V). Os materiais utilizados foram da marca comercial Tóride® (Tóride Indústria e Comércio Ltda. – Mogi Mirim, São Paulo – Brasil).

2.4 Amostras

Para a realização desse trabalho, as amostras foram agrupadas da seguinte maneira:

Teste Mecânico:

As amostras foram divididas em quatro grupos.

Grupo I: 15 hemimandíbulas de poliuretano fixadas com duas miniplacas com quatro furos de titânio do sistema 2,0mm, e parafusos dispostos linearmente inseridos com angulação de 90° em relação a hemimandíbula. A primeira placa foi fixada na zona de tensão com parafusos 2,0mm x 5mm e a segunda na zona de compressão com parafusos 2,0mm x 10mm (Figura 1).



Figura 1 – Hemimandíbula do grupo I, fixada com duas placas do sistema 2,0mm, uma na zona de tensão e outra na zona de compressão.

Grupo II: 15 hemimandibulas de poliuretano fixadas com uma barra do tipo Erich situada na zona dentada e uma placa de titânio com quatro furos do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula, fixada com parafusos 2,0mm x 5mm, dispostos linearmente e inseridos com angulação de 90° em relação a hemimandíbula (Figura 2).

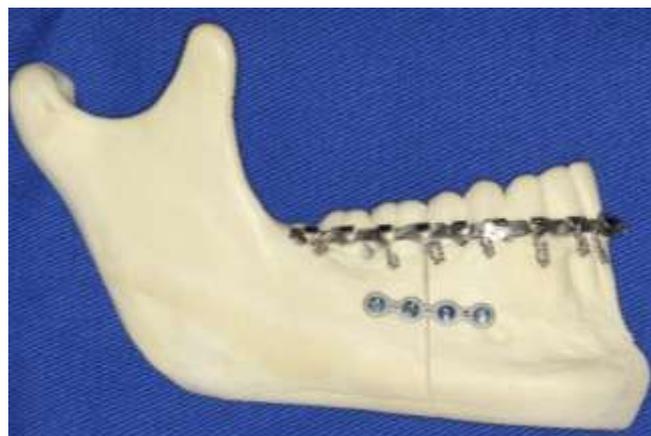


Figura 2 - Hemimandíbula do grupo II, fixadas com uma placa do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula e uma barra de Erich na zona dentada.

Grupo III: 15 hemimandíbulas de poliuretano fixadas com uma barra do tipo Erich situada na zona dentada e uma placa de titânio com seis furos do sistema 2,4mm na zona de compressão da mandíbula, fixada com parafusos 2,4mm x 10mm, dispostos linearmente e inseridos com angulação de 90º em relação a hemimandíbula (Figura 3).



Figura 3 - Hemimandíbula do grupo III, fixadas com uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão e uma barra de Erich na zona dentada.

Grupo IV: 15 hemimandíbulas de poliuretano fixadas com uma miniplaca de titânio do sistema 2,0mm na zona de tensão da mandíbula com parafusos 2,0mm x 5mm e uma placa de titânio com quatro furos do sistema 2,4mm na zona de compressão da mandíbula fixada com parafusos 2,4mm x 10mm. Os parafusos foram dispostos linearmente, inseridos com angulação de 90º em relação a hemimandíbula (Figura 4).



Figura 4 – Hemimandíbula do grupo IV, fixada com uma placas do sistema 2,0mm na zona de tensão e uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão.

Com a finalidade de padronizar os locais das perfurações para instalação dos parafusos foi construído para cada grupo um guia de resina acrílica incolor quimicamente ativada (Dental Vipi Ltda. Pirassununga – São Paulo, Brasil). O guia foi inserido nos segmentos fraturados das hemimandíbulas e em seguida realizou-se as perfurações. Após a fixação, os guias foram removidos das hemimandíbulas e foi verificada a correta redução e fixação dos segmentos.

Após, todas as amostras foram incluídas em um bloco de resina acrílica incolor quimicamente ativada (Dental Vipi Ltda. Pirassununga – São Paulo, Brasil) em toda a extensão do ramo mandibular para permitir seu posicionamento e fixação em um suporte de aço inoxidável para realização dos testes.

Para realização do teste mecânico foi utilizada a máquina para ensaio universal mecânica Instron® modelo 4411 (Instron Corp, Norwood, MA) do Departamento de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas (FOP-UNICAMP).

Para o teste de carregamento linear, foi estabelecida uma velocidade de 1 mm/min para aplicação de carga progressiva sobre o sistema para obter o valor de resistência ao carregamento, em newton (N) na carga de pico e o deslocamento de pico imposto pelo ensaio em milímetros (mm). A carga foi aplicada no segmento distal à fratura num ponto fixo, que recebia o dispositivo de aplicação de carga, previamente confeccionado, na região de cingulo do canino.

Os dados coletados foram organizados e digitados em uma base de dados usando o programa SPSS para Windows, versão 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) e envolveu análise descritiva e testes de comparação entre grupos. O teste de Shapiro-Wilk foi realizado e revelou uma distribuição normal dos valores do deslocamento de pico e uma distribuição não normal da carga de pico. Em seguida, ANOVA One-Way e Kruskal-Wallis foram realizados para investigar se houve diferenças significativas entre as médias dos grupos. Por fim, foi utilizado o teste de Tukey para confirmar diferenças estatísticas entre os

grupos que one-way Anova foi realizado e Mann-Whitney com correção de Bonferroni foi utilizado para confirmar diferenças estatísticas para os grupos quando o teste de Kruskal - Wallis foi realizado. O nível de significância dos testes foi de $p < 0,05$ para todos os testes, exceto para o teste de Mann-Whitney, que foi fixado em $p < 0,0083$, após a correção de Bonferroni.

Teste Fotoelástico:

Para o teste fotoelástico foram utilizadas 5 hemimandíbulas. Sendo uma íntegra como grupo controle e quatro com fratura simulada em corpo de mandíbula, as quais foram fixadas de forma semelhante aos quatros tipos de fixação interna estável empregados no teste mecânico, tendo uma amostra cada grupo.

Grupo I: 1 modelo fotoelástico de hemimandíbula com fratura de corpo de mandíbula fixada com duas placas de 4 furos do sistema 2,0mm, uma na zona de tensão e outra na zona de compressão mandibular.

Grupo II: 1 modelo fotoelástico de hemimandíbula com fratura de corpo de mandíbula fixada com uma placa de 4 furos do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula e uma barra de Erich na zona dentada.

Grupo III: 1 modelo fotoelástico de hemimandíbula com fratura de corpo de mandíbula fixada com uma placa de 6 furos do sistema 2,4mm na zona de compressão e uma barra de Erich na zona dentada.

Grupo IV: 1 modelo fotoelástico de hemimandíbula com fratura de corpo de mandíbula fixada com uma placa de 4 furos do sistema 2,0mm na zona de tensão e uma placa de 4 furos do sistema 2,4mm na zona de compressão.

Grupo controle: 1 modelo fotoelástico de hemimandíbula sem fratura e sem fixação interna estável.

Para isso foi utilizada uma máquina para ensaio universal mecânica Instron, modelo 4411 (Instron Corp, Norwood, MA), acoplada ao polariscópio plano desenvolvido pela empresa Eikonai Instrumentos Ópticos Comércio e Serviço 44 Ltda, (São Paulo – SP, Brasil).

A máquina de ensaio foi programada para realizar o teste a uma velocidade constante de 1mm/min até atingir o deslocamento de 3 mm, quando a mesma estacionava a ponta de incidência de carga e era realizada a tomada fotográfica das franjas isocromáticas.

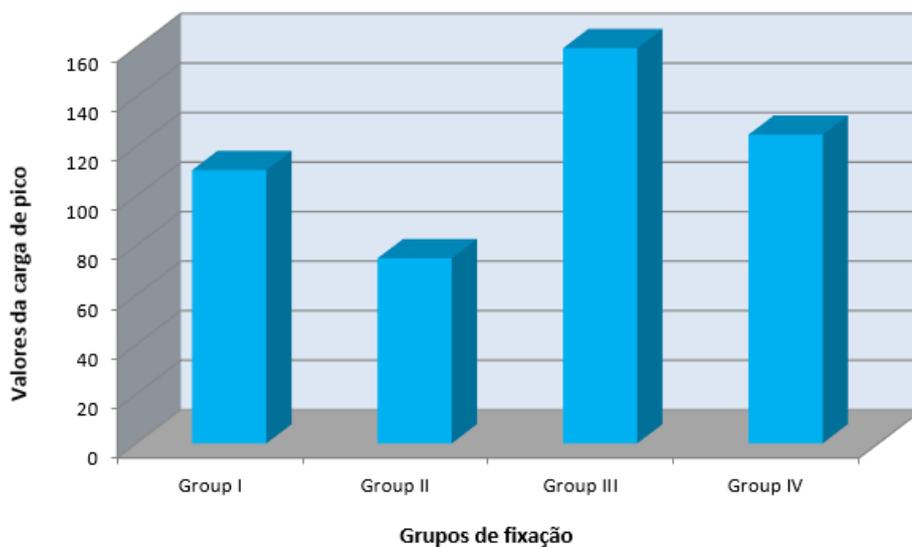
Para a análise fotoelástica, foi adotado o método qualitativo, pela avaliação descritiva e comparativa da localização, distribuição e concentração das franjas formadas durante e após a realização de cada sequência de testes, sem a sua quantificação. Não houve preocupação em descrever os padrões de cores visualizados, pois não foi objetivo quantificar o padrão de tensões, e sim avaliar comparativamente a sua distribuição e concentração ao longo da fixação empregada.

3 RESULTADOS

Teste de Carregamento

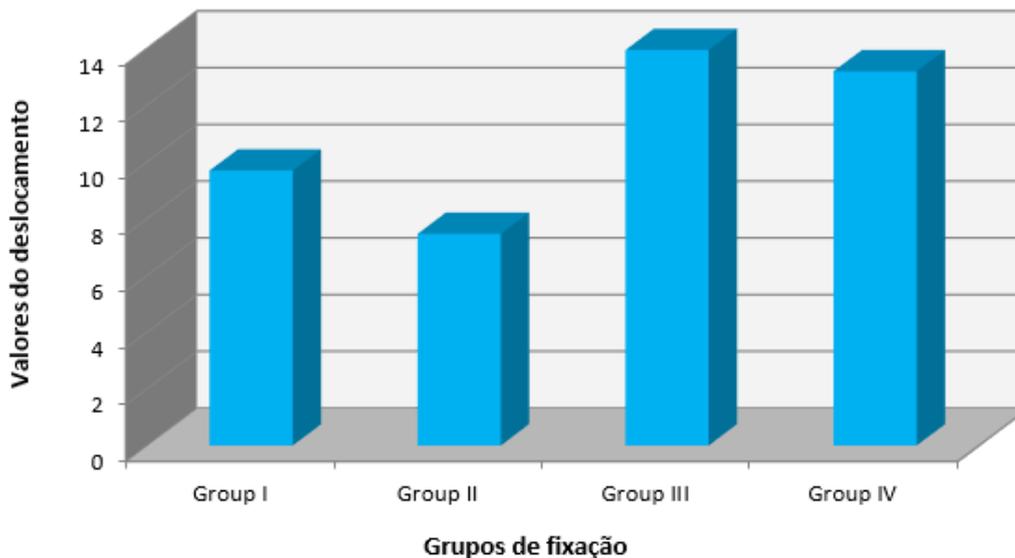
Com relação à carga de pico, o grupo que apresentou a maior média foi o grupo III, fixado com uma placa reta do sistema 2,4mm com 6 furos e barra de Erich, o grupo que apresentou a menor média foi o grupo II fixado com uma miniplaca do sistema 2,0mm com 4 furos na zona central da mandíbula e barra de Erich (Figura 5).

Figura 5 – Média dos valores da carga de pico em função dos grupos de fixação



Com relação ao deslocamento de pico, o grupo que apresentou maior média de deslocamento foi o grupo III, fixado com uma placa reta do sistema 2,4mm com 6 furos e barra de Erich, o grupo que apresentou a menor média de deslocamento foi o grupo II fixado com uma miniplaca do sistema 2,0mm com 4 furos e barra de Erich (Figura 6).

Figura 6 – Média dos valores do deslocamento de pico em função dos grupos de fixação



O resultado dos valores das médias da carga de pico foram diferentes entre os grupos (teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,001$). O teste de Mann-Whitney, com correção de Bonferroni demonstrou que a diferença estatística no teste de Kruskal-Wallis foi determinada pela diferença das médias entre (Grupo II x Grupo IV; $p=0.001$), (Grupo II x Grupo III; $p<0.001$) e (Grupo IV x Grupo III; $p=0.004$) (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação dos valores da carga de pico entre os grupos I, II, III e IV.

Grupos	Media	SD	<i>p</i>*
Grupo I	110,36	70,87	0.054
Grupo II	74,77	58,39	
Grupo I	110,36	70,87	0.011
Grupo III	159,58	30,87	
Grupo I	110,36	70,87	0.085
Grupo IV	124,66	27,20	
Grupo II	74,77	58,39	0.001
Grupo IV	124,66	27,20	
Grupo II	74,77	58,39	<0.001
Grupo III	159,58	30,87	
Grupo III	159,58	30,87	0.004
Grupo IV	124,66	27,20	

* Teste Mann-Whitney após correção de Bonferroni. A significância foi estabelecida em $p < 0.0083$.

O resultado dos valores das médias do deslocamento de pico entre os grupos foi diferente. O Teste de Tukey, demonstrou que a diferença estatística para a análise de variância foi determinada pela diferença das médias entre (Grupo I x Grupo IV; $p=0.004$), (Grupo I x Grupo III; $p<0.001$), (Grupo II x Grupo IV; $p<0.001$), (Grupo II x Grupo III; $p<0.001$) (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação dos valores do deslocamento de pico entre os grupos I, II, III e IV.

Grupos		Media	SD	p*
Grupo I	a	9,69	1,76	<0.001
Grupo II	aa	7,46	2,95	
Grupo III	bb	13,94	3,40	
Grupo IV	bb	13,19	2,34	

* Teste Anova one-way. Teste de Tukey; letras diferentes, na mesma coluna, diferença estatisticamente significativa; letras iguais, na mesma coluna, não há diferença estatisticamente significativa.

Teste Fotoelástico

Para a análise dos testes fotoelásticos, as hemimandíbulas em resina fotoelástica foram fotografadas no momento inicial (antes do início do teste) e final (quando a máquina de ensaio registrou o deslocamento final de 3mm). Para análise dos dados, as franjas formadas no substrato foram avaliadas de forma qualitativa, ou seja, quanto aos padrões de formação e localização, sem a preocupação em quantificar essas zonas de tensões.

No grupo controle, após o deslocamento de 3 mm da hemimandíbula, observou-se que quase a totalidade da tensão estava localizado na região de ramo e corpo mandibular até a mesial de segundo molar, estando livre de tensão a região do corpo mandibular correspondente a área de eleição para confecção da fratura (entre segundo pré-molar e primeiro molar inferior) (Figura 7).

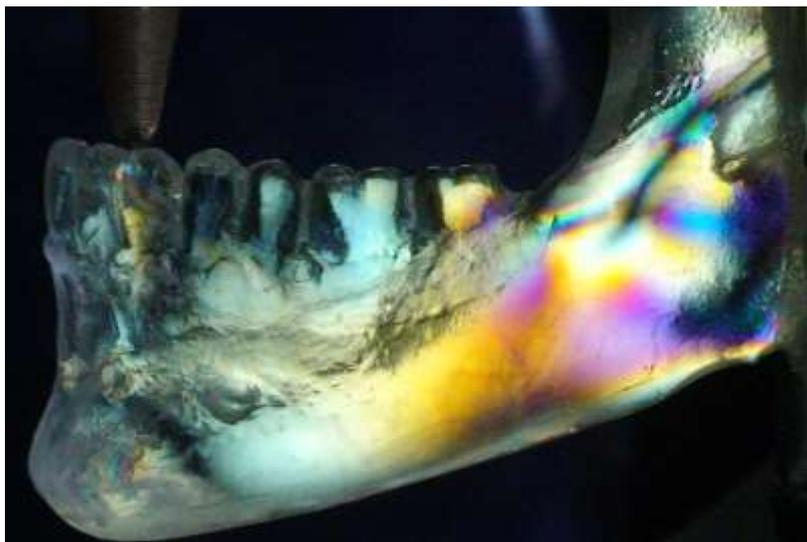


Figura 7 - Teste Vertical – Deslocamento de 3 mm. Grupo Controle.

No grupo I, com fratura de corpo de mandíbula fixada com duas placas do sistema 2,0mm, uma na zona de tensão e outra na zona de compressão mandibular, constatou-se na análise fotoelástica, que a tensão se concentra no parafuso mais distal a fratura, tanto na zona de tensão quanto na zona de compressão da mandíbula (Figura 8).

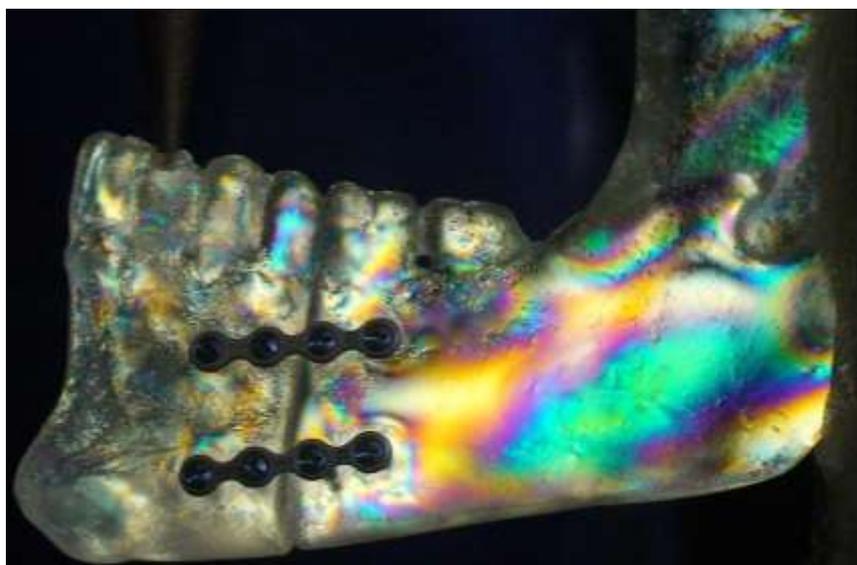


Figura 8 - Teste Vertical – Deslocamento de 3 mm. Grupo I.

No grupo II, com fratura de corpo de mandíbula fixada com uma placa do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula e uma barra de Erich na zona dentada é interessante notar que a tensão além de se concentrar no parafuso mais distal à fratura, ela se dissipa para a zona de compressão mandibular, tanto no segmento proximal quanto no segmento distal à fratura (Figura 9).



Figura 9 - Teste Vertical – Deslocamento de 3 mm. Grupo II.

No grupo III, com fratura de corpo de mandíbula fixada com uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão e uma barra de Erich na zona dentada, observa-se que a tensão se concentra no parafuso mais distal a fratura e se dissipa para a zona de tensão, se concentrando principalmente no segmento proximal à fratura (Figura 10).



Figura 10 - Teste Vertical – Deslocamento de 3 mm. Grupo III.

No grupo IV, com fratura de corpo de mandíbula fixada com uma placa do sistema 2,0mm na zona de tensão e uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão constatou-se na análise fotoelástica, que a tensão se concentra no parafuso mais distal a fratura, tanto na zona de tensão quanto na zona de compressão da mandíbula. Foi observado que o grupo em questão apresentou imagem mais aproximada do grupo controle (Figura 11).

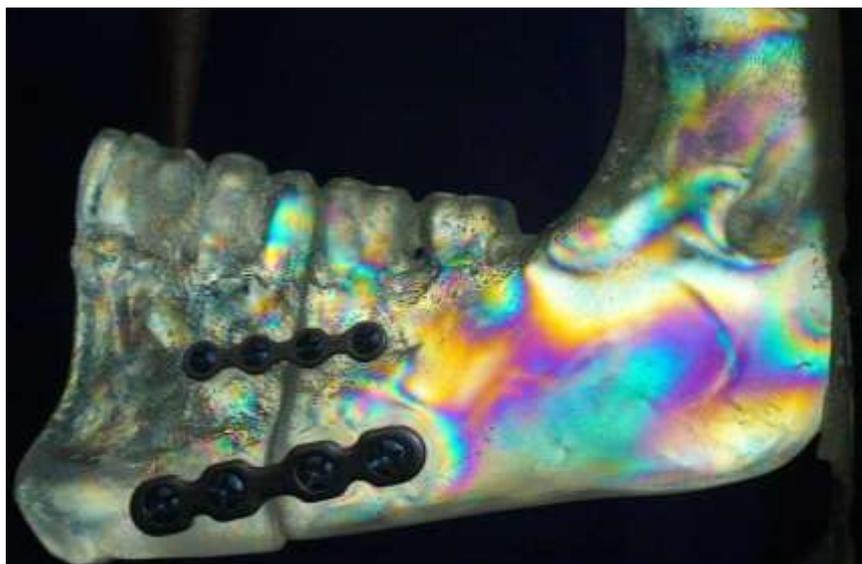


Figura 11 - Teste Vertical – Deslocamento de 3 mm. Grupo IV.

4 DISCUSSÃO

A reparação é comumente compreendida como reposição de componentes perdidos no organismo por elementos iguais aos tecido de origem e altamente organizados. O osso tem um potencial único para restaurar sua estrutura original e suas propriedades mecânicas. No entanto, a capacidade de reparo ósseo tem suas limitações se enfrentar condições como alterações de vascularização, instabilidade mecânica ou competição com tecidos de alta atividade proliferativa (Schenk,1996). O reparo ósseo envolve fatores biológicos e mecânicos. Como fatores biológicos, temos o suprimento sanguíneo e estado geral do paciente, como mecânico, a quantidade de movimentação dos segmentos fraturados (Prein & Ranh, 1998), sendo o processo de reparo otimizado quando se obtém uma redução anatômica precisa e estabilidade na imobilização dos fragmentos (Tu e Tenhulzem, 1985) que pode ser conquistada através de métodos de fixação como os abordados no presente estudo.

Atualmente, a utilização da fixação interna estável é amplamente difundida entre os profissionais, sendo utilizada em praticamente todos os procedimentos cirúrgicos para tratamento das fraturas dos ossos da face. Sendo assim, a avaliação de diferentes métodos de fixação é de grande importância. O presente estudo se propôs realizar a análise mecânica e fotoelástica de quatro diferentes tipos de fixação em fraturas de corpo mandibular.

Anatomicamente, as fraturas de corpo mandibular ocorrem na região entre o forame mental até a porção distal do segundo molar, coincidindo com o bordo anterior do músculo masseter (Dingman & Natvig, 1983). Este fato justifica a escolha da área de eleição para a realização do seccionamento das hemimandíbulas do presente trabalho para simular uma fratura de corpo de mandíbula foi entre o segundo pré-molar inferior e o primeiro molar inferior.

As fraturas de corpo mandibular são afetadas pela ação muscular, o que pode produzir uma fratura favorável pela redução da mesma durante a atividade do músculo ou desfavorável quando os músculos depressores e

elevadores da mandíbula causam afastamento da fratura (Eusterman, 2012). Em observações biomecânicas durante a função mandibular normal, observa-se que a tensão ocorre ao nível da dentição, enquanto que a compressão ocorre ao longo do bordo inferior da mandíbula (Kroon *et al.*, 1991; Chacon & Larsen, 2004; Coletti & Caccamese, 2009; Ellis, 2009; Rudderman & Mullen, 2012). Ellis (2009) e Rudderman & Mullen (2012) afirmaram que na região de tensão há tendência a separação e criação de um espaço devido a ação oposta dos músculos elevadores, que fazem com que o ramo mandibular se encontre em uma posição mais superior e anterior e ainda que os músculos depressores causem uma rotação da região anterior da mandíbula inferiormente. O presente estudo se baseou no princípio de que é necessário um material na zona de tensão, seja uma barra de Erich ou uma placa de fixação, para realização dos testes.

Atualmente a fixação interna estável com emprego de miniplacas do sistema 2,0mm, placas do sistema 2,4mm, parafusos compressivos e placas reconstrutivas é comumente usada para o tratamento de fraturas mandibulares. (Dodson *et al.*, 1990; Assael & Ueek, 2012). Definir o método de fixação adequado para uma fratura de mandíbula depende muito mais das características da fratura, cooperação, personalidade do paciente, ausência de doenças sistêmicas e aderência as restrições parciais funcionais no período pós-operatório.

Diversas combinações de fixação interna estável estão disponíveis para fraturas de corpo mandibular. Segundo Ellis III (2011), as placas empregadas na fixação podem ser do sistema 2,0mm, uma combinação do sistema 2,0mm com o sistema 2.4mm e ainda uma placa do sistema 2.4mm aliada à uma barra de Erich. No entanto, existem poucos trabalhos na literatura que comparam diferentes formas de fixação nesse tipo de fratura como realizado nesse estudo.

A localização e condição da fratura geralmente ditam o tipo de redução apropriada para cada caso, seja pela técnica aberta ou fechada. Na redução fechada, as fraturas não são expostas e é realizada uma imobilização da

mandíbula durante o período de reparo ósseo por bloqueio maxilo-mandibular; e no método aberto, como o próprio nome diz, a fratura é exposta (através de acessos intra ou extra-bucais), permitindo a visualização e aplicação direta de um meio de fixação no sítio da fratura como fios de aço, placas ósseas ou parafusos compressivos (Oikarinen *et al.*, 1989). No presente estudo, foi empregado quatro métodos de fixação preconizados pela Associação de Osteossíntese para o Estudo de Fixação Interna Estável (AO/ASIF).

Partindo do princípio que estudos mecânicos fazem parte da análise do material, servindo para avaliar a fixação e disposição da osteossíntese quando expostos à carga (Vieira e Oliveira & Passeri, 2011) o presente estudo tem como um dos seus objetivos realizar uma avaliação do comportamento do material de fixação em termos de resistência do sistema.

A estabilidade biomecânica é um importante elemento na escolha do material a ser empregado. Através da metodologia aplicada ao estudo, foi possível verificar que o emprego de placas do sistema 2,4mm apresentaram melhor comportamento em relação a resistência quando comparada ao uso das placas 2,0mm. Em relação a utilização da barra de Erich associada a uma placa de fixação do sistema 2,0mm na zona central é necessário uma maior colaboração do paciente no período pós-operatório, principalmente em relação a higienização e dieta (Miloró *et al.*, 2009), devido a menor fragilidade do sistema durante a aplicação de cargas, como comprovado no estudo.

Para a realização do teste mecânico dos materiais de fixação faz-se necessário lançar mão de substratos que servirão de modelos experimentais. A literatura reporta alguns modelos que são utilizados para tal finalidade, como mandíbulas cadavéricas humanas (Ardary *et al.*, 1989; Tharanon, 1998), mandíbulas frescas de carneiro (Foley & Beckman, 1992), costelas bovinas (Anucul *et al.*, 1992; Armstrong *et al.*, 2001), costelas de porco (Foley *et al.*, 1989), carvalho vermelho (Haug *et al.*, 1999) e poliuretano (Haug *et al.*, 2002; Asprino *et al.*, 2006; Madsen *et al.*, 2008; Haug & Serafin, 2008) servindo de substrato para testar métodos de fixação interna. No presente estudo, foram

utilizadas hemimandíbulas de poliuretano. Dessa forma, é possível observar a evolução *in vitro* do comportamento da fixação quando a mesma é exposta a carga, apesar de servirem apenas como métodos auxiliares para determinar o potencial dos sistemas, assim como a disposição e métodos de fixação (Oliveira *et al.*, 2012).

Para o ensaio mecânico de carregamento utilizou-se a máquina universal Instron 4411, que foi regulada em relação a velocidade da carga (mm/minuto) e deslocamento (em mm). O presente estudo realizou seus testes com a velocidade padronizada de 1mm/min e não se observa na literatura relação direta entre a velocidade da aplicação de carga e alterações em relação a resistência.

Através desses testes, podemos determinar a resistência do sistema de fixação como um todo. No entanto, não se sabe exatamente quais são as áreas de maior tensão e de maior fragilidade do sistema. Assim, além da avaliação do sistema de fixação através de teste mecânico, é preciso também avaliar a distribuição das forças de tensão exercidas sobre cada um dos componentes do sistema, o que é possível através de estudos como a análise fotoelástica. Essa técnica é baseada na propriedade óptica de certos materiais plásticos transparentes que apresentam diferentes índices de refração (ou anisotropia óptica) quando submetido a um estado de tensão/deformação (Dally & Rillley, 1978). Assim, hemimandíbulas de resina fotoelástica foram utilizadas no estudo para a avaliação do padrão de distribuição de tensão dos métodos de fixação empregados.

Na área de cirurgia e traumatologia buco-maxilo-faciais a metodologia da fotoelasticidade é empregada há alguns anos. Os primeiros trabalhos com fotoelasticidade na área procuraram analisar os padrões de estresse em mandíbulas humanas dentadas e desdentadas (Ralph, 1975; Ralph & Caputo, 1975; Mongini *et al.*, 1979) e validar diversos métodos de osteossíntese utilizado no tratamento das fraturas (Niederdelhmann *et al.*, 1975; Karasz *et al.*, 1986; Rudman *et al.*, 1997).

O teste fotoelástico realizado no presente estudo objetivou conhecer o padrão de distribuição de tensão. Nesse teste, a opção foi pela definição em relação ao deslocamento (3 mm), pois assim evitou-se discrepâncias quanto ao deslocamento e principalmente quanto às cargas torcionais entre os grupos amostrais. Os resultados observados nesta investigação fotoelástica permitem uma análise do comportamento das tensões oriundas das forças oclusais sobre diferentes sistemas de fixação

O método selecionado para essa pesquisa é fortemente balizado por diversos autores como Broadsky *et al.* (1975), Kim *et al.* (1993), entre outros, que descrevem e qualificam a fotoelasticidade como um método de análise que possibilita a visualização conjunta das tensões nos corpos, que podem ser medidas e fotografadas. É sempre bom ressaltar a importância da avaliação inicial dos modelos fotoelásticos para verificar as tensões que foram formadas na confecção dos modelos. Outro dado importante diz respeito à distribuição de tensões em uma hemimandíbula íntegra, ou seja, sem a fratura no corpo mandibular. Essa avaliação é importante para avaliarmos numa mandíbula normal quais são as regiões de maior tensão e como elas se alteram com a fratura e as diversas formas de fixação (Sato, 2009). Assim, no presente estudo, foi confeccionado um modelo fotoelástico de hemimandíbula e submetido ao teste sem fratura e sem fixação como grupo controle.

Considerando as fixações utilizadas e a mandíbula do grupo controle sem seccionamento, observou-se que a principal região de concentração das tensões está localizado no ramo mandibular. Isso se justifica por ser essa a região em que as hemimandíbulas foram incluídas em resina acrílica para fixação das mesmas no suporte.

Observou-se que as hemimandíbulas dos grupos I e IV que foram fixadas com duas placas, sendo uma na zona de tensão e outra na zona de compressão, apresentaram tensões nos parafusos mais distais à fratura, mas que não se estenderam para a porção mais anterior do corpo da mandíbula. Imagens que se assemelharam a hemimandíbula do grupo controle.

A hemimandíbula do grupo II, que apresentou apenas uma placa do sistema 2,0mm na zona central da mandíbula e uma barra de Erich na zona dentada, apresentou uma concentração de tensão por toda a base do corpo mandibular. A partir dessa consideração é possível afirmar que essa região está submetida à grande tensão, e que, portanto, necessita de maior atenção quando esse método de fixação for selecionado para ser aplicado na clínica. Ou seja, deve-se levar em consideração a característica da fratura, cooperação, personalidade do paciente, e aderência as restrições parciais funcionais no período pós-operatório.

O grupo III, que foi fixado com uma placa do sistema 2,4mm na zona de compressão e uma barra de Erich na zona dentada apresenta uma dissipação da tensão pela zona de tensão de corpo mandibular, mas que não se estende para o segmento distal ao traço de fratura. Isso evidenciou a maior resistência proporcionada pela placa do sistema 2,4mm.

5 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia deste estudo, pode-se concluir que:

O sistema de fixação utilizando uma placa de 6 furos do sistema 2,4mm e barra de Erich na zona dentada foi o grupo que apresentou maior resistência ao carregamento nos testes mecânicos, seguido pela utilização de uma placa de 4 furos 2,4mm na zona de compressão e uma placa de 4 furos 2,0mm na zona de tensão. Os grupos fixados apenas com placas do sistema 2,0mm apresentaram menor resistência, sendo que o emprego de duas placas de 4 furos 2,0mm (uma na zona de compressão e a outra na zona de tensão) foi superior ao grupo fixado com uma placa 2,0mm na zona central e barra de Erich na zona dentada.

Na análise fotoelástica, as tensões se concentraram nos parafusos localizados mais distais do segmento proximal da fratura e se dissipa por toda a base da região de corpo mandibular no grupo fixado com uma placa 2,0mm na zona

central e barra de Erich na zona dentada, justificando a menor resistência mecânica desse grupo amostral.

6 REFERÊNCIAS¹

1. Andreassen JO, Jensen SS, Kofod T, Schwartz O, Hillerup S. Open or closed repositioning of mandibular fractures: is there a difference in healing outcome? A systematic review. *Dental Traumatology*. 2008; 24: 17–21.
2. Anucul B, Waite PD, Lemons JE. In vitro strength analysis of sagittal split osteotomy fixation: noncompression monocortical plates versus bicortical position screws. *J Oral Maxillofac Surg*. 1992; 50(12): 1295-9.
3. Ardary WC. Prospective clinical evaluation of the use of compression plates and screws in the management of mandible fractures. *J Oral Maxillofac Surg*. 1989; 47(11): 1150-3.
4. Armstrong JE, Lapointe HJ, Hogg NJ, Kwok AD. Preliminary investigation of the biomechanics of internal fixation of sagittal split osteotomies with miniplates using a newly designed in vitro testing model. *J Oral Maxillofac Surg*. 2001; 59(2): 191-5.
5. Assael L, Ueek B. Body and angle fractures of the mandible. In: Ehrenfeld M, Manson PN, Prein J. *Principles of Internal Fixation of the Craniomaxillofacial Skeleton Trauma and Orthognathic Surgery*. Davos Platz: AO Foundation; 2012. p. 147-58.
6. Asprino L, Consani S, de Moraes M. A comparative biomechanical evaluation of mandibular condyle fracture plating techniques. *J Oral Maxillofac Surg*. 2006; 64(3): 452.
7. Broadsky JE, Caputo AA, Furtsman LL. Root Typing: photoelastichistopatologic correlation. *Am J Orthod* 1975, 67 (1): 1-10.
8. Coletti DP & Caccamese JF. Diagnosis and management of mandible fractures. In: Fonseca RJ, Marciani RD, Turvey TA. *Oral and maxillofacial surgery*. 2.ed. St Louis: Saunders; 2009. v. 3. p. 139-61.

¹De acordo com a norma da Unicamp/FOP baseada na norma do International Committee of Medical Journal Editors – Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

9. Dally JW, Riley WF. Experimental stress analysis. 2^a Ed. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, Ltda, 1978.
10. Dingman RO, Natvig P. A mandíbula. In: Dingman RO, Natvig P. Cirurgia das fraturas faciais. São Paulo: Santos; 1983. p. 133-210.
11. Dodson T, Perrott DH, Kaban LB, Gordon NC. Fixation of mandibular fractures: A comparative analysis of rigid internal fixation standard fixation techniques. J Oral Maxillofac Surg. 1990; 48(4): 362-6.
12. Ehrenfeld M, Manson PN, Prein, J. Principles of Internal Fixation of the Craniomaxillofacial Skeleton: Trauma and Orthognathic Surgery.2012.
13. Ellis III E 3rd. Management of fractures through the angle of the mandible. Oral Maxillofacial Surg Clin N Am. 2009; 21(2): 163–74.
14. Ellis III E. A study of 2 bone plating methods for fractures of the mandibular symphysis/body. J Oral Maxillofac Surg. 2011 Jul; 69(7): 1978-87.
15. Eusterman VD. Mandibular trauma. In: Holt GR & Brennan JA. Resident Manual of Trauma to the Face, Head and Neck. Alexandria: American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery Foundation; 2012. p. 100-39.
16. Foley WL; Beckman TB. In vitro comparison of screws versus plate fixation in the sagittal split osteotomy. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg. 1992; 7: 147-51.
17. Foley WL; Frost DE; Paulin Jr WB; Tucker MR. Internal screw fixation: comparison of placement pattern and rigidity. J Oral Maxillofac Surg. 1989; 47(7): 720-3.
18. Haug HH, Serafin BL. Mandibular angle fractures: a clinical and biomechanical comparison—the works of Ellis and Haug. Craniomaxillofac Trauma Reconstr. 2008; 1(1): 31-8.
19. Haug RH, Barber JE, Punjabi AP. An in vitro comparison of the effect of number and pattern of positional screws on load resistance. J Oral Maxillofac Surg. 1999; 57(3): 300-8.
20. Haug RH, Street CC, Goltz M. Does plate adaptation affect stability? A biomechanical comparison of locking and nonlocking plates. J Oral Maxillofac Surg. 2002; 60(11): 1319-26.
21. Joss U, Meyer U, Tkrotz T, Weingart D. Use of a mandibular fracture score to predict the development of complications. J Oral Maxillofac Surg. 1999; 57(1): 2-5.
22. Karasz I, Korondi L, Szabo G. Photoelastic stress analysis on mandibular osteosynthesis. Int J Oral Surg 1986;15:259-62

23. Kim HC, Essaki S, Kameyama T, Yamamoto K. Photoelastic analysis of internal screw fixation after sagittal split ramus osteotomy. *J Cran MaxilloFacSurg* 1993, 21, 266-70.
24. Kroon FH, Mathisson M, Cordey JR, Rahn BA. The use of miniplates in mandibular fractures. An in vitro study. *J Craniomaxillofac Surg.* 1991; 19(5): 199–204.
25. Madsen MJ, McDaniel CA, Haug RH. A biomechanical evaluation of plating techniques used for reconstructing mandibular symphysis/ parasymphysis fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008; 66(10): 2012-9.
26. Miloro M, Ghali G E, Larsen P, Waite P D. Princípios de Cirurgia Bucomaxilofacial de Peterson. 2ª ed. São Paulo: Santos, 2008.
27. Mongini F, Caldrale PM, Barberi G. Relationship between stress and the stress pattern in the human mandible. *J Dent Res* 1979;58:2334-7.
28. Niederdellmann H., Shetty, V. Technical Improvements in the sagittal split osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1989; 67: 25-30.
29. Oikarinen K, Altonen M, Kauppi H, Laitakari K. Treatment of mandibular fractures - need for rigid internal fixation. *J Craniomaxillofac Surg.* 1989; 17(1): 24-30.
30. Oliveira LB, Sant'Ana E, Manzato AJ, Guerra FLB, Arnett GW. Biomechanical *in vitro* evaluation of three stable internal fixation techniques used in sagittal osteotomy of the mandibular ramus: a study in sheep mandibles. *J Appl Oral Sci.* 2012; 20(4): 419-26.
31. Peterson L J, Ellis III E, Hupp J R, Tucker MR. Cirurgia Oral e maxilofacial contemporânea. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
32. Prein, J; Rahn, BA. Scientific and technical background. In: Prein, J et al. Manual of internal fixation of the cranio-facial skeleton. Berling: Springer-Verlag, 1998; 1-49.
33. Ralph JP, Caputo AA. Analysis of stress patterns in the human mandible. *J Dent Res* 1975;54:814-21.
34. Ralph JR Photoelastic studies in the edenmlous human mandible. *J Dent* 1975;3:9-14.
35. Rudman RA, Rosenthal SC, Shen C, Ruskin JD, Ifju PG. Photoelastic analysis of miniplate osteosynthesis for mandibular angle fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;84:129-36.
36. Sato FRL. Avaliação mecânica e fotoelástica de diferentes técnicas de fixação interna rígida da osteotomia sagital em avanços mandibulares. [dissertação]. Piracicaba: FOP/UNICAMP; 2009.

37. Schenk RK. Regeneração óssea: Bases Biológicas. In Regeneração Óssea Guiada na Implantodontia. São Paulo. 1996; cap 3, p. 49-100.
38. Schilli W, Stoll P, Bähr W, Prein J. In: Assael LA, Klotch DW, Manson PN, Prein J, Rahn BA, Schilli W. Manual of internal fixation in the cranio-facial skeleton. New York: Springer; 1998. p. 57-94.
39. Singh V, Malkunje L, Mohammad S, Singh N, Dhasmana S, Das SK. The maxillofacial injuries: A study. Natl J Maxillofac Surg. 2012; 3(2): 166-71.
40. Tharanon, W. Comparison between the rigidity of bicortical screws and a miniplate for fixation of a mandibular setback after a simulated bilateral split osteotomy. J Oral Maxillofac Surg. 1998; 56 (9): 1055-8.
41. Thaller SR. Management of mandibular fractures. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 1994; 120(1): 44–7.
42. Tu HK, Tenhulzen D. Compression osteosynthesis of mandibular fractures: a retrospective study. J Oral Maxillofac Surg. 1985; 43(6): 585-590.
43. Ueda C, Markarian RA, Sendyk CL, Laganá DC. Photoelastic analysis of stress distribution on parallel and angled implants after installation of fixed prostheses. Braz Oral Res. 2004 Jan-Mar;18(1):45-52.
44. Vieira e Oliveira TR, Passeri LA. Mechanical evaluation of different techniques for symphysis fracture fixation — an in vitro polyurethane mandible study. J Oral Maxillofac Surg. 2011; 69(6): e141-6. Epub 2011 Mar 12.

CONCLUSÃO

A respeito das considerações finais dos testes mecânicos, os resultados obtidos pela análise fotoelástica devem ser considerados como mais um fator para auxiliar a tomada de decisão clínica para o tratamento de fraturas lineares em corpo de mandíbula.

REFERÊNCIAS¹

1. Assael L, Ueeck B. Body and angle fractures of the mandible. In: Ehrenfeld M, Manson PN, Prein J. Principles of Internal Fixation of the Craniomaxillofacial Skeleton Trauma and Orthognathic Surgery. Davos Platz: AO Foundation; 2012. p. 147-58.
2. Chacon & Larsen. Princípios de tratamento das fraturas mandibulares. In: Miloro M, Ghali PE, Waite PD. Princípios de Cirurgia Bucomaxilofacial de Peterson. São Paulo: Santos; 2004. p. 401-34.
3. Champy M, Blez P. Anatomical aspects and biomechanical considerations. In: Härle F, Champy M, Terry BC. Atlas of craniomaxillofacial osteosynthesis: Miniplates, microplates and screws. New York: Thieme Stuttgart; 1999. p. 3-7.
4. Dingman RO, Natvig P. A mandíbula. In: Dingman RO, Natvig P. Cirurgia das fraturas faciais. São Paulo: Santos; 1983. p. 133-210.
5. Ellis III E. Treatment methods for fractures of the mandibular angle. J Oral Maxillofac Surg. V.28, n.4, p.243-252, 1999.
6. Eusterman VD. Mandibular trauma. In: Holt GR & Brennan JA. Resident Manual of Trauma to the Face, Head and Neck. Alexandria: American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery Foundation; 2012. p. 100-39.
7. Karasz I, Korondi L, Szabo G. Photoelastic stress analysis on mandibular osteosynthesis. Int J Oral Surg 1986;15:259-62.
8. Korkmaz HH. Evaluation of different miniplates in fixation of fractured human mandible with the finite element method. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2007; 103(6): e1-13. Epub 2007 Apr 30.
9. Levine E, Degutis L, Pruzinsky T, Shin J, Persing J A. Quality of life and facial trauma: psychological and body image effects. Ann Plast Surg. 2005; 54(5):502-10.

¹De acordo com a norma da Unicamp/FOP baseada na norma do International Committee of Medical Journal Editors – Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

10. Miloro M, Ghali G E, Larsen P, Waite P D. Princípios de Cirurgia Bucomaxilofacial de Peterson. 2ª ed. São Paulo: Santos, 2008.
11. Niederdellmann H., Shetty, V. Technical Improvements in the sagittal split osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1989; 67: 25-30.
12. Oikarinen K, Altonen M, Kauppi H, Laitakari K. Treatment of mandibular fractures - need for rigid internal fixation. *J Craniomaxillofac Surg.* 1989; 17(1): 24-30.
13. Ogundare, B.O., Bonnick, A., Bayley, N. Pattern of mandibular fracture in an urban major trauma center. *J Oral Maxillofac Surg.*, v.61, n.6, p. 713-8, 2003.
14. Oliveira LB, Sant'Ana E, Manzato AJ, Guerra FLB, Arnett GW. Biomechanical *in vitro* evaluation of three stable internal fixation techniques used in sagittal osteotomy of the mandibular ramus: a study in sheep mandibles. *J Appl Oral Sci.* 2012; 20(4): 419-26.
15. Rudman RA, Rosenthal SC, Shen C, Ruskin JD, Ifju PG. Photoelastic analysis of miniplate osteosynthesis for mandibular angle fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;84:129-36.
16. Sauerbier S, Schon R, Otten J, Schmelzeisen R, Gutwald R. The development of plate osteosynthesis for the treatment of fractures of the mandibular body - a literature review. *J Craniomaxillofac Surg.* 2008; 36(5): 251-9.
17. Schilli W, Stoll P, Bähr W, Prein J. In: Assael LA, Klotch DW, Manson PN, Prein J, Rahn BA, Schilli W. *Manual of internal fixation in the cranio-facial skeleton.* New York: Springer; 1998. p. 57-94.
18. Trivellato AE. Resistência à flexão de fixação em osteotomia de costela bovina, variando o número, a localização e extensão das placas. [tese]. Piracicaba: FOP/UNICAMP; 2001.
19. Ueda C, Markarian RA, Sendyk CL, Laganá DC. Photoelastic analysis of stress distribution on parallel and angled implants after installation of fixed prostheses. *Braz Oral Res.* 2004 Jan-Mar;18(1):45-52.
20. Vieira e Oliveira TR, Passeri LA. Mechanical evaluation of different techniques for symphysis fracture fixation — an *in vitro* polyurethane mandible study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 69(6): e141-6. Epub 2011 Mar 12.

21. Zachariades N, I Papademetriou, G Rallis. Mandibular fractures treated by bone plating and intraosseous wiring. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac.*, 1994; 95(5):386- 90.

APÊNDICE



Figura 1. Máquina de ensaio universal Instron® 4411.



Figura 2. Dispositivo de Suporte metálico - Vista frontal - Dimensões do suporte de testes. (a) Altura da haste = 18 cm, (b) Altura da haste onde era adaptada a hemimandíbula = 12 cm, (c) Largura interna da haste = 3 cm, (d) Largura da base do suporte = 13 cm. Vista lateral - Dimensões do suporte de testes. (a) Altura da haste = 18 cm, (b) Comprimento da base = 23 cm, (c) Altura da base = 1,2 cm.



Figura 3. Incidência da carga axial no canino do modelo mandibular de Poliuretano.

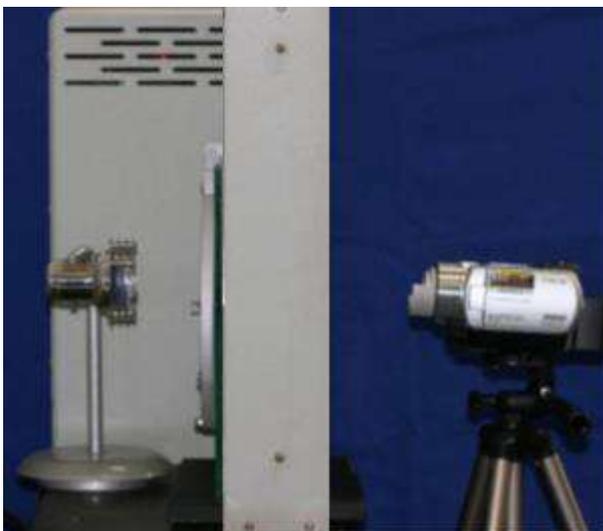


Figura 4. Vista lateral do polariscópio já acoplado à máquina de ensaio e com a câmera em posição.

ANEXO

Comprovação de submissão

Em Domingo, 20 de Abril de 2014 20:24, International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery <IJOMS@elsevier.com> escreveu:

Dear Dr. Danillo Rodrigues,

We acknowledge, with thanks, the receipt of your manuscript submitted to International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery.

Journal: International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery Authors: Danillo C Rodrigues, MSc; Saulo Gabriel Falsi, PhD; Andrezza Lauria, MSc; Érica C Marchiori, PhD; Roger W Moreira, PhD Title: Mechanical and Photoelastic Analysis of Four Different Fixation Methods for Mandibular Body Fractures An Open Researcher and Contributor ID (ORCID) is a unique digital identifier to which you can link your published articles and other professional activities, providing a single record of all your research.

We would like to invite you to link your ORCID ID to this submission. If the submission is accepted, your ORCID ID will be linked to the final published article and transferred to CrossRef. Your ORCID account will also be updated.

Thank you for showing your interest in publishing in the International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.

Kind regards,

Jacqui Merrison

IJOMS Editorial Office

Page: 1 of 1 (2 total submissions)		Display 10 results per page.			
Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
View Submission Send Email	DOHS-D-14-00335	Mechanical and Photoelastic Analysis of Four Different Fixation Methods for Mandibular Body Fractures	21 Apr 2014	23 Apr 2014	With Editor