



BAHIANA
ESCOLA DE MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA

ESCOLA BAHIANA DE MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

**ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE DIFERENTES
MÉTODOS DE FIXAÇÃO MANDIBULAR NA REGIÃO DO
FORAME MENTUAL.**

Itana Santos Fernandes

SALVADOR

2013

ITANA SANTOS FERNANDES

**ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE DIFERENTES
MÉTODOS DE FIXAÇÃO MANDIBULAR NA REGIÃO DO
FORAME MENTUAL.**

**Dissertação apresentada Programa de Pós-
graduação em Odontologia da Escola
Bahiana de Medicina e Saúde Pública, como
requisito para a obtenção do título de Mestre
em Odontologia, área de concentração
Implantodontia.**

Orientador: Prof Dr Atson Carlos de Souza Fernandes

Co-Orientadores: Profa. Dra. Luciana Asprino

Prof Dr. Márcio de Moraes

SALVADOR

2013

Ficha Catalográfica elaborada pela
Biblioteca Central da EBMSP

F363 Fernandes, Itana Santos

Análise mecânica e fotoelástica de diferentes métodos de fixação mandibular na região do forame mental./ Itana Santos Fernandes. – Salvador. 2013.

44f. il.

Dissertação (Mestrado) apresentada á Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. Programa de Programa de Pós - graduação em Odontologia, área de concentração Implantodontia.

Orientador: Prof. Dr. Atson Carlos de Souza Fernandes

Co-Orientadores: Profa. Dra. Luciana Asprino

Prof. Dr. Márcio de Moraes

Inclui bibliografia

1. Fixação interna de fraturas. 2. Consolidação de fratura. 3. Técnicas de fixação da mandíbula. I. Título.

CDU: 616.314-089

ITANA SANTOS FERNANDES

**ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE DIFERENTES
MÉTODOS DE FIXAÇÃO MANDIBULAR NA REGIÃO DO
FORAME MENTUAL.**

Comissão Julgadora

Membros titulares

Prof Dr Atson Carlos de Souza Fernandes - Orientador

Mestre e Doutor Morfologia Humana pela Unifesp

Professor Adjunto do Curso de Odontologia da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública

Professor Pleno do Departamento de Ciências da Vida da Universidade do Estado da Bahia

Prof Dr. Adriano Assis

Doutor em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Unicamp de Piracicaba-SP

Mestre em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela USP de Ribeirão Preto-SP

Especialista em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Unesp de Araraquara-SP

Prof Dr. Arlei Cerqueira

Mestre e Doutor em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Pontifícia Universidade

Católica do Rio Grande do Sul – PUC-RS

Prof Dra. Sandra de Cássia Santana Sardinha

Mestre e Doutora em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Unicamp de Piracicaba-

SP

Professora Adjunta da Universidade Federal da Bahia - UFBA

Membro Suplente

Prof. Dr. Márcio Marchionni

Doutor em Laser na Odontologia pela Universidade Federal da Bahia - UFBA

Mestre em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul – PUC-RS

Professor Adjunto do Curso de Odontologia da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública –
EBMSP

SALVADOR

2013

INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS

- Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública (EBMSP)**
- Faculdade de Odontologia de Piracicaba (FOP/UNICAMP)**

Dedico esta dissertação de mestrado
a todos aqueles que marcaram a minha vida
e que, apoiando ou criticando, me fizeram ter
ânimo e persistência para concluir mais esta etapa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir chegar até aqui apesar dos meus “Tropeços”.

À minha mãe, Amerentina Santos, pelo Amor incondicional que me dedica.

Ao meu irmão, Victory Fernandes, pelo imenso companheirismo e amizade.

Ao meu pai, Gilmar Fernandes, por ter me ensinado a resistir a todo tipo de infortúnio.

Ao meu noivo, Everton Dias, por trazer à minha vida o equilíbrio que faltava.

Às minhas primas, Ana Heloísa e Ana Vitória, pelo olhar de admiração que me estimula a ser melhor a cada dia.

Aos meus familiares, pelo apoio constante.

A Malu Fernandes por ter tornado o final desta jornada ainda mais “colorido”.

Às amigas, Érica Marchiori, Vanessa Liberato de Mattos e Ana Paula Hübner por estarem sempre perto: nas risadas, nas lágrimas e nas broncas.

À ex-orientada e atual colega e amiga, Pauline Cardoso, pelo incansável apoio técnico-científico e companheirismo intelectual.

Ao Prof. Dr. Urbino Tunes, pelo incentivo docente e exemplo profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Atson Fernandes, por todos os bons conselhos e amizade.

Aos co-orientadores, Profa. Dra. Luciana Asprino e Prof. Dr. Márcio de Moraes por abrirem as portas de seu serviço e pela contribuição na condução desta pesquisa com tanta responsabilidade e paciência.

Aos professores e colegas de mestrado pelo estímulo na concretização deste projeto.

À EBMSp e à FOP - UNICAMP por viabilizarem a realização deste trabalho.

À TÓRIDE S.A. pela disponibilização de material técnico e presteza de atendimento.

Aos colegas de docência da EBMSp e da UNEB pela constante reafirmação interna funcionalmente estável da importância do mestrado.

À aluna da graduação em Fonoaudiologia da UNEB, Ana Carolina Brito pelo auxílio na condução desta pesquisa.

Aos funcionários da EBMSp e FOP – UNICAMP pela enorme colaboração e presteza sempre.

“Não encontrei, em meu cabedal, coisa alguma que considere suficientemente cara ou que estime tanto quanto o conhecimento dos atos dos grandes homens.”

Nicolau Maquiavel.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AO /ASIF: Associação para o Estudo da Fixação Interna Rígida (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation)

EBMSP: Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública

FOP: Faculdade de Odontologia de Piracicaba

FIR: Fixação Interna Rígida

G: Grupo

mm: Milímetro

min: Minuto

Min.: Mínimo

Máx.: Máximo

N: Newton

Kp: Quilolibra

®: Marca registrada

UNEB: Universidade do Estado da Bahia

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
APRESENTAÇÃO	01
1. INTRODUÇÃO GERAL	02
MANUSCRITO I	04
RESUMO	05
2. INTRODUÇÃO	06
3. REVISÃO DISCUTIDA DA LITERATURA	
3.1 Histórico do Uso da Osteossíntese	08
3.2 Propriedades da Liga Metálica	08
3.3 Mecanismo de Ação	09
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	11
REFERÊNCIAS	12
MANUSCRITO II	17
RESUMO	18
5. INTRODUÇÃO	19
6. MATERIAL E MÉTODOS	
6.1 Preparo das amostras	20
6.2 Teste de carregamento linear	21
6.3 Análise mecânica	22
6.4 Análise fotoelástica	22
7. RESULTADOS	
7.1 Análise mecânica	24
7.2 Análise fotoelástica	25
8. DISCUSSÃO	27
9. CONCLUSÃO	30
ABSTRACT	31
REFERÊNCIAS	32

APRESENTAÇÃO

Este documento é uma dissertação de Mestrado em Odontologia, com área de concentração em Implantodontia, apresentado ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. O trabalho consiste em duas partes: a primeira é uma revisão de literatura sobre o tema proposto sob a forma de Manuscrito I, intitulado “Osteossíntese em fraturas de mandíbula na região de forame mental: revisão de literatura”; a segunda parte do trabalho consiste no artigo científico, apresentando informações acerca da pesquisa desenvolvida como requisito obrigatório para a aquisição do título de Mestre em Odontologia, sob a forma do Manuscrito II, intitulado: “Análise mecânica e fotoelástica de diferentes métodos de fixação mandibular na região do forame mental”. Trata-se de um estudo *in vitro* que avalia a resistência mecânica e as zonas de tensão geradas a partir de carregamento linear aplicado a quatro diferentes técnicas de osteossíntese em fraturas mandibulares na região de forame mental.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A fixação de fraturas mandibulares com miniplacas flexíveis de titânio e parafusos foi proposta por Michelet em 1973 e aperfeiçoada por Champy, 1978. Desde então, inúmeros estudos vem sendo desenvolvidos com o objetivo de melhorar as ligas utilizadas no material de síntese, aumentando sua resistência e diminuindo a sua toxicidade para o organismo.

A fixação interna inicialmente proposta por Champy para o tratamento das fraturas de parassínfise consistia em placa do sistema 2,0mm com 4 furos e a inserção de parafusos monocorticais que comprimiam a placa diretamente contra a superfície óssea. Mais recentemente, o sistema de placas e parafusos com travamento (*locking*) foi introduzido no mercado, passando a ser amplamente utilizado no tratamento destas lesões. Uma das principais vantagens é que a placa óssea não necessita ser perfeitamente adaptada ao osso. Isto torna a adaptação da placa mais fácil, porque pequenos espaços entre a placa e o osso são toleráveis. Haug *et al.* (2002) demonstraram que a estabilidade da fratura não é reduzida mesmo quando placas de reconstrução com travamento estão 4mm acima da superfície óssea. Além disso, a não compressão da placa contra a superfície óssea e pequenos espaços abaixo da placa possibilitam melhor revascularização da cortical óssea (Prein, 1998).

O tratamento das fraturas de parassínfise mandibular, apresenta algumas diferenças significativas frente ao tratamento de fraturas em outras regiões deste mesmo osso. A necessidade de exposição do nervo mentual, o risco de lesão de raízes dentárias e nervo alveolar inferior com a inserção dos parafusos de fixação e as forças musculares de torção que incidem nessa área, tornam a estabilização das fraturas de parassínfise especialmente desafiadora. Existe uma tendência ao uso de uma combinação de variadas placas de menor perfil e parafusos monocorticais através de acesso intrabucal no tratamento das fraturas de mandibulares (Guimond *et al.*, 2005).

O objetivo deste trabalho foi revisar a literatura a cerca do tratamento por fixação interna funcionalmente estável em casos de fratura de parassínfise mandibular, considerando as diferentes técnicas, tipos de placas proposta para fixação e a evolução nas ligas metálicas utilizadas (R). Em um segundo momento, foram testadas quatro diferentes técnicas de fixação, em modelos *in vitro* de réplicas de poliuretano, submetidos a forças similares às encontradas em indivíduos saudáveis com o objetivo de avaliar a resistência biomecânica e as zonas de tensão geradas a partir das cargas funcionais em mandíbulas tratadas com as técnicas mais amplamente descritas na literatura (P).

R: referente a citações das referências do manuscrito 1

P: referente a citações das referências do manuscrito 2

MANUSCRITO I**OSTEOSSÍNTESE EM FRATURAS DE MANDÍBULA NA
REGIÃO DE FORAME MENTUAL: REVISÃO DA
LITERATURA**

RESUMO

O tratamento de fraturas de mandíbula na região de sínfise e parassínfise com uso de miniplacas e parafusos é especialmente problemático devido às forças de torção presentes nestas áreas. Os primeiros estudos a cerca do tema sugerem o uso de duas miniplacas do sistema 2,0mm fixadas acima e abaixo do forame mentual, com parafusos monocorticais, para neutralizar as cargas funcionais. Com a melhoria das ligas metálicas e o desenvolvimento de novos tipos de dispositivos de fixação, é possível sugerir que a utilização de uma única placa na zona de tensão da mandíbula seja suficiente para estabilizar a fratura durante o período de reparo ósseo. O objetivo deste trabalho foi revisar a literatura sobre as técnicas de fixação interna de fraturas de parassínfise mandibular ressaltando a possibilidade de alteração de técnica para a diminuição do número de placas para a estabilização das fraturas.

Palavras-chave: fixação interna de fraturas, consolidação de fratura, técnicas de fixação da mandíbula, forame mentoniano.

2. INTRODUÇÃO

A osteossíntese com o uso de miniplacas de titânio para o tratamento de fraturas de mandíbula foi proposta inicialmente por Michelet¹ (1973) e modificada por Champy²⁻⁸ (1978). Com o desenvolvimento dos estudos, o protocolo estabelecido mundialmente para a fixação interna de fraturas na região de parassínfise mandibular preconiza o uso de duas miniplacas de 04 furos fixadas com parafusos monocorticais superior e inferiormente ao forame mentual com o objetivo de neutralizar as forças de torção impostas a esta região durante os esforços mastigatórios⁹⁻¹¹.

As miniplacas de titânio são dispositivos utilizados para a estabilização da fratura, colocados em contato direto com a estrutura óssea e fixados nos cotos distal e proximal à fratura, permitindo a preservação da função durante o processo de reparo^{1,2,8,11}.

O reparo ósseo envolve fatores biomecânicos complexos. O grau de mobilidade entre os fragmentos ósseos apresenta influência direta na regeneração e formação do calo. Os estudos evidenciam que a estabilidade mecânica dos cotos ósseos viabiliza o processo de neoformação e reparo da estrutura esquelética¹².

Durante os esforços mastigatórios, forças de tração incidem em todo o corpo mandibular criando zonas de tensão óssea no nível do processo alveolar e compressão na região de base mandibular. A partir da região de caninos, começa a surgirem forças de torção que aumentam progressivamente até à linha mediana (símfise mandibular), atingindo um pico máximo de 1000N, em pacientes em condições normais de mastigação^{7, 13-15}.

A utilização de duas placas em fraturas na região mentual é justificada pela incidência das forças de torção, mas a sua prática apresenta desvantagens como a possibilidade de lesão dos ápices radiculares das unidades dentárias presentes na região e aumento da exposição ao titânio¹⁶.

A disponibilidade de tipos diferentes de dispositivo de fixação interna funcionalmente estável permite considerar a possibilidade de utilização de uma única placa neste tipo de fratura. O uso do sistema *locking* permite a transferência de cargas funcionais diretamente do parafuso à

miniplaca de titânio, apresentando maior uniformidade de forças incidentes sobre a placa, aumentando a estabilidade do sistema¹⁷⁻¹⁹.

O objetivo deste trabalho foi revisar a literatura sobre osteossíntese de fratura de mandíbula considerando as diferentes técnicas de fixação interna funcionalmente e as cargas funcionais atribuídas a esta região durante o processo de reparo.

3. REVISÃO DISCUTIDA DA LITERATURA

3.1 Histórico do Uso da Osteossíntese

O primeiro estudioso a descrever o uso de um sistema de placa e parafuso subcutâneo para fixação de fragmentos ósseos foi Hansmann²⁰ em 1882, sendo considerado o inventor das placas de osteossíntese. Inicialmente as placas eram desenvolvidas com revestimento de níquel e necessitavam ser removidas após um período de 4 a 8 semanas⁷.

Michelet¹ em 1973 descreve o uso de placas de titânio flexíveis, não compressivas posicionadas na zona de tensão da mandíbula e fixadas com uso de parafusos monocorticais, através de acesso cirúrgico intrabucal, em mais de 300 fraturas de mandíbulas, dispensando em muitos casos, o uso do bloqueio maxilo-mandibular.

Champy *et al.*⁷ aprimora a técnica proposta por Michelet¹ em 1978, desenvolvendo placas mais maleáveis. Os autores estabelecem a “linha ideal de fixação” para fraturas de mandíbula, considerando as cargas funcionais durante o processo fisiológico da mastigação de acordo com a direção das fibras musculares inseridas ao osso. Sugerem que em fraturas na região do forame mental, além da miniplaca de 4 furos na zona de tensão (acima do forame mental), deve-se utilizar uma segunda miniplaca também de 4 furos abaixo do forame afim de neutralizar forças de torção que começam a aparecer e vão se intensificando a medida que se aproxima da linha mediana da mandíbula^{2-8, 13-15}.

3.2 Propriedades da Liga Metálica

O titânio é um metal resistente à corrosão que apresenta baixa condutividade térmica e elevada biocompatibilidade. Apesar de apresentar excelente resistência à corrosão, o titânio puro não apresenta resistência mecânica elevada, sendo comumente adicionados outros elementos para modificar suas propriedades mecânicas. Dentre estes, o alumínio e o vanádio utilizados na produção das ligas geram óxidos nocivos ao organismo humano. Velasco-Ortega *et al.*²¹ estudaram as cito e genotoxicidade das ligas comerciais de titânio (Ti-6Al-4V) utilizadas na clínica odontológica e não encontraram potenciais de toxicidade ao organismo humano que justifique a restrição do uso clínico do material.

Olmedo *et. al.*²², em estudo *in vivo*, observaram histologicamente produtos de corrosão no leito onde implantes de titânio haviam sido inseridos, sugerindo cautela no uso do metal para fixações permanentes. Langford e Frame²³ estudando a superfície de 50 placas utilizadas para fixações maxilofaciais não encontraram sinais de corrosão ou deteriorização do material fixado de 1 mês a 13 anos, afixação interna funcionalmente estável, mostrando que não há nenhuma evidência que sugira a necessidade de remoção de fixação no período estudado.

Apesar de sua biocompatibilidade, as placas à base de ligas de titânio algumas vezes são removidas devido ao relato de desconforto local. A pouca quantidade de tecido mole sobrejacente à placa e aspectos psicológicos do paciente podem justificar o desconforto e a remoção do dispositivo de fixação interna após a completa regeneração da fratura²⁴.

3.3 Mecanismo de Ação

As miniplacas promovem estabilidade funcional, o que permite a regeneração óssea primária durante as atividades mecânicas da mandíbula. Os fatores biomecânicos relacionados ao reparo ósseo são estudados de acordo com a interferência das cargas funcionais aplicadas durante a regeneração²¹. Os estudos biomecânicos têm demonstrado que a fixação de fraturas mandibulares com uso do sistema convencional 2,0mm e parafusos monocorticais de 5 a 7mm de comprimento é suficiente para resistir às cargas funcionais da mastigação^{2,3,7}.

Gutwald *et al.*²⁵ (1999), Ellis e Graham²⁶ (2002), desenvolveram sob colaboração do instituto AO/ASIF (*Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation*) um sistema de travamento entre parafuso e miniplaca com dimensões comparadas ao sistema convencional 2,0mm de osteossíntese^{27,28}. O sistema *locking* consiste no rosqueamento direto entre a cabeça do parafuso e a superfície interna dos furos da placa com o objetivo de diminuir a compressão da órtese contra a superfície cortical do osso fixado. Dentre as vantagens do sistema *locking*, destaca-se a facilidade de adaptação da placa, o aumento da estabilidade da fixação dos cotos ósseos e a diminuição da pressão da placa contra o osso subjacente²⁸.

Gutwald²⁷ relata estabilidade três vezes maior do sistema *locking* em comparação ao sistema convencional. A ausência de compressão direta entre placa e cortical óssea no sistema *locking* previne a interferência no suprimento sanguíneo da região, evitando perda de estabilidade do sistema por necrose óssea subjacente e permite a formação de periósteo subjacente à placa .

Chiodo *et al.*²⁹, em estudo laboratorial biomecânico utilizando costela bovina não encontrou diferenças significantes quanto ao potencial de falha entre o sistema convencional de placas 2,0mm e o sistema *locking*. Singh *et al.*³⁰, corrobora com os achados de Chiodo²⁹, através de um estudo clínico prospectivo comparativo entre os dois sistemas com 50 pacientes portadores de fratura de mandíbula em diferentes regiões. Sauerbier *et al.*²⁸, avaliaram as vantagens do sistema *locking* 2,0mm em 53 pacientes com fraturas de mandíbulas em diferentes regiões, concluindo que o uso do sistema *locking* é uma alternativa válida para o tratamento de fraturas de mandíbula, apresentando vantagens biomecânicas em relação ao sistema convencional.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a melhoria das ligas metálicas e o aumento da estabilidade da osteossíntese com o uso de placas do sistema *locking* é possível considerar o uso de apenas uma miniplaca para a fixação de fraturas lineares de mandíbula em região de forame mental.

A diminuição da quantidade de placas utilizadas para o tratamento de fraturas permitiria a redução dos custos atribuídos ao sistema de placa, a redução do tempo cirúrgico e a diminuição de exposição ao titânio, reduzindo a morbidade da cirurgia e a toxicidade do material ao organismo humano.

REFERÊNCIAS

1. Michelet FX, Deymes J, Dessus B. Osteosynthesis with Miniaturized screwed plates in maxilla-facial surgery. *J max-fac Surg* 1973:79-84
2. Champy M, Lodde JP, Jaeger JH, et al. Osteosyntheses mandibulaires selon la technique de Michelet. I. Bases biomecaniques. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1976, 77:569
3. Champy M, Lodde JP, Schmitt R, Jaeger JH, Muster D. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. *J Maxillofac Surg* 1978, 6:14-21
4. Champy M, Wilk A, Schnebelen JM. Die Behandlung der mandibularfrakturen mittels osteosynthese ohne intermaxillare ruhigstellung nach der technik von F. X. Michelet. *Zahn Mund Kieferheilkd* 1975, 63: 339
5. Champy M, Lodde JP. Syntheses mandibulaires. Localisation des syntheses en fonction des contraintes mandibulaires. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1975, 77: 971
6. Champy M, Lodde JP, Jaeger JH, Wilk A, Gerber JC. Osteosyntheses mandibulaires selon la technique de Michelet. II. Presentation d'un nouveau materiel. Resultats. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1976, 77: 577
7. Champy M, Lodde JP, Schmitt R, Jaeger JH, Muster D. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. *J Maxillofac Surg* 1978, 6:14-21

8. Worthington P, Champy M. Monocortical miniplate osteosynthesis. *Otolaryngol Clin North Am* 1987, 20:607
9. Hayter JP, Cawood JI. The functional case for miniplates in maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 1993, 22:91.
10. Tuovinen V, Norholt SE, Sindet-Pedersen S, Jensen J. A retrospective Analysis of 279 patients with isolated mandibular fractures treated with titanium miniplates. *J Oral Maxillofac Surg* 1994, 52:931
11. Kuriakose MA, Fardy M, Sirikumara M, Patton DW, Sugar AW. A comparative review of 266 mandibular fractures with internal fixation using rigid (AO/ASIF) plates or mini-plates. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1996, 34:315
12. Gonzalez-Torres LA, Gómez-Benito MJ, García-Aznar JM. Evaluation of residual stresses due to bone callus growth: a computational study. *Journal of biomechanics* 2011, 44:1782-1787.
13. Jackson IT, Somers PC, Kjar JG. The use of Champy miniplates for osteosynthesis in Craniofacial deformities and trauma. *Plast Reconstr Surg* 1985, 77:729
14. Hayter JP, Cawood JI. The functional case for miniplates in maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 1993, 22:91

15. Saka B. Mechanical and biomechanical measurements of five currently available osteosynthesis systems of self-tapping screws. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2000, 38:70
16. Fernandes AC, Rossi MA, Schaffner IS, Machado LA, Sampaio AA. Lateral cortical bone thickness of the dentate human mandibles in the region of mental foramen. *J Maxillofac Surg* 2010, 68:2980-2985
17. Collins CP, Pirinjian-Leonard G, Tolas A, Alcalde R. A prospective randomized clinical trial comparing 2,0-mm *Locking* plates to 2,0-mm standard plates in treatment of mandible fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 2004, 62:1392
18. Sauerbier S, Schon R, Otten JE, 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, 36:251
19. Chiodo TA, Ziccardi VB, Janal M, Sabitini C. Failure Strength of 2,0 *Locking* Versus 2,0 Convention Synthes Mandibular Plates: A Laboratory Model. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006, 31:78
20. Hansmann C. Eine neue method der fixuring der fragmente bei omplicierten frakturen. *Verh Dtsch Ges Chir* 1886, 15:134-136
21. Velasco-Ortega E, Angeles J, Cameán, AM, Pato-Mourelo J, Segura-Egea JJ. In vitro evaluation of cytotoxicity and genotoxicity of a commercial titanium alloy for dental

implantology Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 2010, 70(2);17-23

22. Olmedo DG, Duffó G, Cabrini RL, Guglielmotti MB. Local effect of titanium implant corrosion: an experimental study in rats. *Int J of Oral Maxillofac Surg.* 2008, 37:1032-1038

23. Lanford RJ, Frame JW. Surface analysis of titanium maxillofacial plates and screws retrieved from patients. *Int J of Oral Maxillofac Surg.* 2002, 31:511-518

24. Kubota Y, Kuroki T, Akita S, Koizumi T, Hasegawa M, Rikihisa N, Mitsukaea N, Satoh K. Association between plate location and plate removal following facial fracture repair_ *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 2012, 65:372-378

25. Gutwald R. Biomechanical stability of an internal mini-fixation-system in maxillofacial osteosynthesis. *Med Bio Eng Comput* 1999, 280-281

26. Ellis E, Graham J. Use of a 2,0-mm locking plate/screw system for mandibular fracture surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2002, 60:642-645

27. Gutwald R, Alpert B, Schmelzeisen R. Principle and stability of locking plates. *Keio J Med* 2003, 52:21-24

28. Sauerbier S, Kuenz J, Hauptmann S, et al. Clinical aspects of a 2,0-mm locking plates system for mandibular fracture surgery. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 2010, 38:501-504

29. Chiodo TA, Ziccardi VB, Janal M, Sabitini C. Failure Strength of 2,0 locking Versus 2,0 Convention Synthes Mandibular Plates: A Laboratory Model. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006, 64:1471-79

30. Singh V, Kumar I, Bhagol A. Comparative evaluation of 2,0-mm locking plate system vs 2,0-mm nonlocking plate system for mandibular fracture: a prospective randomized study. *J Oral Maxillofac Surg* 2011, 40:372-377

31. Abdullah WA. The use of a single titanium microplate in displaced pediatric parasymphysial mandibular fractures. *The Saudi Dental Journal* 2009, 21:95-100

MANUSCRITO II**ANÁLISE MECÂNICA E FOTOELÁSTICA DE DIFERENTES
MÉTODOS DE FIXAÇÃO MANDIBULAR NA REGIÃO DO
FORAME MENTAL.**

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar, *in vitro*, a resistência mecânica e as zonas de tensão geradas a partir de quatro tipos de fixação interna para fratura de mandíbulas em região de forame mental, após carregamento linear. Foram utilizadas vinte mandíbulas sintéticas de poliuretano, seccionadas uniformemente e fixadas com placas do sistema 2,0mm convencional e *locking*, com comprimentos variados de parafusos. Para o teste fotoelástico, foram confeccionadas quatro réplicas em resina fotoelástica fixadas de maneira semelhante. Todas as amostras foram submetidas ao carregamento linear contra-lateral. No teste de resistência mecânica, não se observou diferença estatisticamente significativa entre o grupo fixado com duas placas convencionais do sistema 2,0mm e o grupo fixado com uma única placa *locking* do mesmo sistema em zona de tensão. As franjas fotoelásticas demonstram que no sistema *locking* a distribuição das zonas de tensão é mais uniforme ao redor dos parafusos. **Conclusão:** Considerando os resultados obtidos neste estudo e a redução da força mastigatória após a terapia cirúrgica para redução e fixação de fraturas de mandíbulas, sugere-se que apenas uma placa do sistema 2,0mm do tipo *locking* seja capaz de estabilizar a fratura durante o período de consolidação óssea.

Palavras-chave: Fixação interna de fraturas, Consolidação da fratura, técnicas de fixação da mandíbula.

5. INTRODUÇÃO

As fraturas mandibulares na região do forame mental são convencionalmente tratadas com uso de duas miniplacas flexíveis de titânio de 4 furos, do sistema 2,0mm fixadas com parafusos monocorticais superior e inferiormente ao forame, com objetivo de neutralizar as forças de tensão e torção impostas durante a função¹. Entretanto, a técnica de fixação interna funcionalmente estável amplamente descrita na literatura, expõe os ápices radiculares e o canal mandibular a risco de lesão direta pela perfuração com broca e inserção dos parafusos, além de expor o indivíduo à quantidade significativa de material metálico.

Estudos anteriores mostraram que a força de torção na mandíbula começa a surgir a partir da região do canino, aumentando progressivamente em direção à linha média (sínfise mandibular) quando atinge seu pico máximo de força – 1000N, em pacientes sob condições normais de mastigação²⁻⁴.

Fernandes *et al.*⁵, 2010, consideram o desenvolvimento de uma única placa colocada na altura do forame mental, contornando o plexo vaso-nervoso. Estudando mandíbulas cadavéricas secas, os autores concluíram que esta região apresenta espessura cortical suficiente para inserção de parafusos monocorticais e distância segura do canal mandibular.

Sugere-se, portanto, que a força de torção imposta a áreas correspondentes ao forame mental seja mínima, existindo a possibilidade de uma única placa do sistema 2,0mm ser eficiente para a estabilização deste tipo de fratura.

O objetivo deste trabalho foi testar mecanicamente 4 diferentes técnicas de fixação interna funcionalmente estável para fraturas de parassínfise, em região de forame mental, com réplicas de mandíbulas de poliuretano, variando a quantidade e o tipo de placas, do sistema 2,0mm convencional e *locking*, e o comprimento dos parafusos. Em acréscimo foram avaliadas as zonas de tensão geradas durante o estresse mecânico através do uso de modelos fotoelásticos submetidos a carga.

6. MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizadas 20 mandíbulas sintéticas de poliuretano da marca SYNBONE®, fixadas com placas de titânio e parafusos de liga de titânio-alumínio-vanádio (Ti-6Al-4V) da marca comercial Tóride Ind. Com. Ltda. EPP, Mogi-Mirim, São Paulo, Brasil, para o teste de carregamento mecânico. Foram também utilizadas 20 placas do sistema convencional 2,0mm e 10 placas do sistema *locking* 2,0mm. Para a fixação das placas foram utilizados 60 parafusos de 5mm e 20 parafusos de 8mm do sistema convencional e 40 parafusos de 5mm do sistema *locking*. As mandíbulas sintéticas foram replicadas em resina fotoelástica do tipo Araldite (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) para a realização dos ensaios fotoelásticos.

6.1 Preparo das Amostras

As mandíbulas foram seccionadas uniformemente através de um corte vertical na área correspondente ao forame mental do lado direito. Com o objetivo de padronizar o local de secção das amostras, foi confeccionado um guia em resina acrílica incolor, quimicamente ativada para ser adaptado na superfície lateral das mandíbulas de poliuretano.

Em seguida, as mandíbulas foram separadas aleatoriamente em 4 grupos com 5 amostras cada para a realização do teste de carregamento linear (Tabela 1). As placas foram adaptadas e fixadas com o auxílio de um guia de resina acrílica previamente confeccionado, com o objetivo de padronizar os locais de fixação. Os grupos 1 e 2 foram fixados, com placas do sistema convencional 2,0mm, sendo o grupo 1 (G1) fixado com duas placas convencionais e o grupo 2 (G2) fixado apenas com uma placa acima do forame mental (Figura 1). O grupo 3 (G3) foi fixado com uma placa do sistema *locking* 2,0mm na zona de tensão e o grupo 4 (G4) fixado com a técnica híbrida, utilizando-se placa dos sistemas *locking* (zona de tensão) e convencional (zona de compressão). Todas as amostras foram preparadas e fixadas pelo mesmo operador.

Tabela 1 – Amostras experimentais

Grupo	Técnica de Fixação
1	02 placas do sistema convencional 2,0mm 04 parafusos - 5 mm 04 parafusos – 8 mm
2	01 placa do sistema convencional 2,0mm 04 parafusos - 5 mm
3	01 placa do sistema <i>locking</i> 2,0mm 04 parafusos – 5 mm
4	01 placa do sistema <i>locking</i> e 01 placa do sistema convencional 2,0mm 04 parafusos do sistema <i>locking</i> – 5 mm 04 parafusos do sistema convencional – 8 mm

Para a confecção dos modelos para os testes fotoelásticos, a mandíbula de poliuretano foi moldada com auxílio de silicona do tipo Silibor® (Clássico Artigos Odontológicos Ltda. – São Paulo, São Paulo - Brasil). O molde foi vazado com resina fotoelástica Araldite (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) em uma proporção de 2:1 de resina Araldite GY 279 e endurecedor Aradur 2963-C. As mandíbulas fotoelásticas foram preparadas para teste de carregamento, seccionadas e perfuradas sob irrigação abundante, 72 horas após a sua confecção, seguindo recomendações do fabricante.

6.2 Teste de Carregamento Linear

As amostras foram submetidas ao teste de carregamento aplicando-se força linear contínua de tensão na fossa central do primeiro molar contra-lateral, com o auxílio da máquina para ensaio universal mecânico INSTRON 4411 (Instron Corp, Norwood, MA), para simulação das forças de torção em região de forame mental, mimetizando as forças encontradas *in vivo*. Os testes foram realizados obedecendo-se uma taxa de deslocamento de 2mm/min e os dados foram registrados até um deslocamento máximo de 20mm ou até que houvesse falha total do sistema, fazendo-se registro de carga suportada no deslocamento de 5mm

6.3 Análise Mecânica

A análise estatística foi realizada a fim de se comparar, quantitativamente, as medianas das cargas de força (resistência), em Newton, em deslocamento de 5mm de extensão.

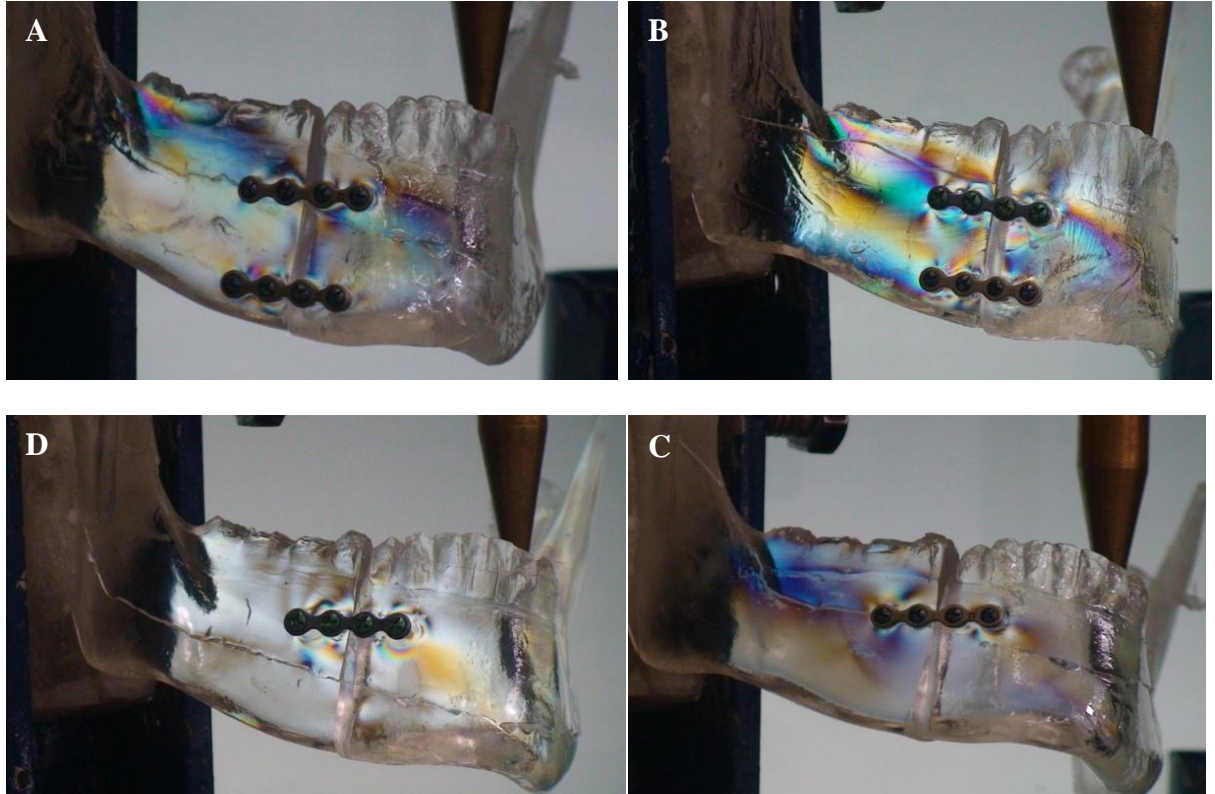
A Carga de pico entre os grupos foi avaliada através da análise de variância não paramétrica (teste de Kruskal-Wallis) seguida pelo ajuste para múltiplas comparações através da taxa de falsa descoberta de Benjamini-Hochberg, mantendo-se um alfa global de 5%. A análise foi efetuada no R versão 3.01.

6.4 Avaliação Fotoelástica

Para a análise fotoelástica, foi adotado o método qualitativo que é composto, de acordo com Damasceno (2005), pela avaliação descritiva e comparativa da localização, distribuição e concentração das franjas isocromáticas formadas durante e após a realização de cada seqüência de testes, no sentido da base da mandíbula em direção ínfero-superior, perpendicularmente ao longo eixo dos parafusos. O teste fotoelástico foi registrado por meio de imagens e a análise foi realizada em um deslocamento final de 10mm (Fig. 1)

Foi utilizado um polaroscópio plano adaptado a um fundo de negatoscópio para obtenção das fotografias digitais durante a realização dos ensaios para melhor visualização e registro das tensões nas amostras. Os modelos fotoelásticos foram fotografados antes e após a aplicação da carga, utilizando-se uma câmera filmadora Sony Modelo Handycam DCR-SR300 6.1 MP (Sony Corporation, Japão) (Figura 1)

Figura 1 – Franjas isocromáticas em modelo fotoelástico após ensaio mecânico. (A) Placas convencionais com parafusos de 5 e 8mm (B) Placas *locking* e convencional com parafusos de 5mm (C) Placa única *locking* com parafusos de 5mm (D) Placa única convencional com parafusos de 5mm.



7. RESULTADOS

7.1 Análise mecânica

O teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* foi escolhido para a avaliação dos resultados uma vez que o coeficiente de assimetria apresentou valores variáveis, não sendo a média representativa dos dados. Obteve-se um valor de $P = 0,0004707$ na avaliação entre os grupos. Após a análise de variância utilizou-se o método de Taxa de Falsa Descoberta (*False Discovery Rate*) para a comparação dois a dois dos grupos.

Na tabela 2 encontram-se os resultados do estudo e da análise estatística. Através do teste de comparações múltiplas após *Kruskal-Wallis* observou-se não haver diferença estatisticamente significativa entre os grupos G1, fixado com duas placas convencionais, e aquele com uma placa *locking* e outra convencional (G4).

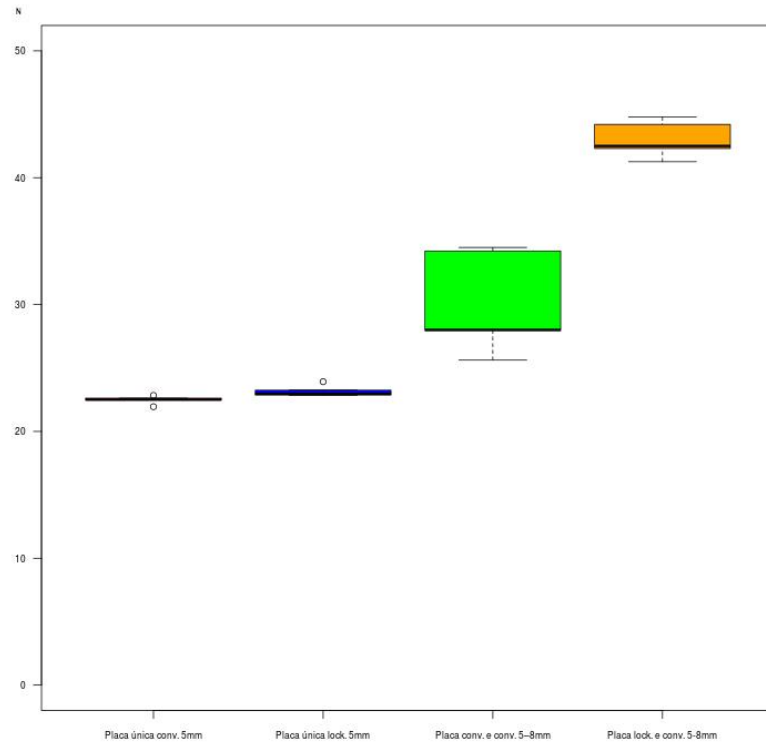
Na comparação entre os grupos fixados com uma única placa (G2 e G3) e aqueles fixados com duas placas (G1 e G4), observou-se não haver diferença significativa entre o grupo fixado com uma única placa *locking* (G3) e o grupo fixado com duas placas convencionais (G1), entretanto o grupo G1 apresenta diferenças estatisticamente significantes quando comparado ao grupo G2. Já o grupo fixado com uma placa *locking* e outra convencional (G4 – 42,5N) apresentou diferença significativa de resistência no deslocamento de 5mm a ambos os grupos fixados com uma única placa (G2 e G3).

Tabela 2 – Mediana, intervalo interquartílico, valor mínimo, valor máximo e teste de comparações múltiplas após *Kruskal-Wallis*

Grupos	Mediana	Iiq	Min	Máx	M. C. teste depois de <i>Kruskal-Wallis</i>
G1	22,5	0,14	21,95	22,84	<G3 <G4
G2	22,96	0,38	22,85	23,92	<G3
G3	28	6,26	25,62	34,50	>G4
G4	42,5	1,9	41,26	44,78	>G2 >G3

Os valores de resistência em Newton dos grupos estudados no deslocamento de 5mm encontram-se representados no gráfico 1.

Gráfico 1 – Box Plot demonstrando os dados obtidos na avaliação de resistência dos grupos em um deslocamento de 5mm.



7.2 Análise fotoelástica

Entre as mandíbulas fixadas com uma única placa (G2 e G3), observou-se que naquela da placa convencional (G2) a zona de estresse apresentou-se de forma mais intensa no segmento distal, assim como, houve concentração de franjas de estresse em torno dos parafusos mais distantes do traço de fratura. Na mandíbula fixada com uma placa *locking* (G3) não foi observado concentração de zona de estresse. Além disso, as franjas de estresse apresentaram-se melhor distribuídas em torno dos quatro parafusos.

Nas mandíbulas fixadas com duas placas (G1 e G4) observou-se que no modelo em que ambas as placas foram convencionais (G1) houve concentração de força na porção superior de ambos os segmentos proximal e distal, com predominância neste último. Na mandíbula fixada com placas *Locking* e convencional (G4) as forças foram distribuídas de forma mais homogênea em ambos os segmentos, com predominância também no segmento distal, provavelmente em razão de ter sido este o segmento fixado no suporte do teste.

Quando se comparou a distribuição de franjas de estresse em torno dos parafusos, na placa superior do G1 (placas convencionais) houve predomínio de concentração nos parafusos localizados próximos ao traço de fratura, enquanto que na placa inferior as franjas encontravam-se melhor distribuídas. Na mandíbula fixada com placas *locking* e convencional (G4), as franjas de estresse apresentaram-se distribuídas de forma homogênea em torno dos parafusos de ambas as placas.

8. DISCUSSÃO

As fraturas mandibulares são convencionalmente tratadas com fixação interna, através do uso de miniplacas de titânio que promovam a estabilidade funcional durante o processo de regeneração óssea primária⁶.

Em meados da década de 70, Champy e Lodde⁷ aprimoram a técnica de fixação interna proposta com Michelet⁸ (1973). Em ensaios biomecânicos, o autor estabelece a “linha ideal de fixação” para fraturas mandibulares que prevê a utilização de uma única placa de quatro furos do sistema convencional de 2,0mm na região de corpo e ângulo mandibular e duas placas do mesmo sistema em fraturas interforame mentual.

Convencionalmente as fraturas de mandíbula na região do forame mentual são tratadas com o uso de duas placas de quatro furos do sistema 2,0mm fixadas acima e abaixo do forame, devido ao surgimento de forças de torção nesta área. Estudos anteriores mostram que a força de torção na mandíbula começa a surgir a partir da região do canino, aumentando progressivamente em direção à linha média (sínfise mandibular) quando atinge seu pico máximo de força – 1000N, em pacientes em condições normais de mastigação²⁻⁴. É provável que as forças de torção impostas na região do forame mentual sejam mínimas, não necessitando de uma associação de duas placas para aumento da resistência da síntese.

Existe uma tendência na literatura de redução da quantidade de material inserido no organismo devido à possibilidade de contaminação por agentes externos. Olmedo *et. at.*⁹ observaram, histologicamente, produtos de corrosão no leito onde implantes de titânio haviam sido inseridos, sugerindo cautela no uso do metal para fixações permanentes. Entretanto, Velasco-Ortega *et al.*⁶ estudaram as cito e genotoxicidade das ligas comerciais de titânio (Ti-6Al-4V) utilizadas na clínica odontológica e não encontraram potenciais de toxicidade ao organismo humano que justifique a restrição do uso clínico do material.

Com a melhoria das ligas metálicas e o advento de novos sistemas de fixação¹⁰, é possível que apenas uma única placa do sistema 2,0mm seja capaz de suportar o estresse funcional no pós-operatório de pacientes tratados com uso de osteossíntese. Gutwald¹¹ relata uma estabilidade três vezes maior do sistema *locking* em comparação ao sistema convencional. Outros estudos

¹² e ¹³, entretanto, não encontram diferença estatisticamente significativa quanto ao potencial de falha entre os sistemas convencional e *locking* de 2,0mm.

Neste ensaio laboratorial não encontramos na comparação entre grupos diferenças estatisticamente significantes quanto à resistência entre aqueles fixados com uma única placa convencional e *locking* (G2 e G3) e aqueles fixados com duas placas convencionais e com a técnica híbrida, placa *locking* e convencional (G1 e G4). Em nossos achados, portanto, não corroboramos com os estudos de Gutwald¹¹ que revela o aumento de resistência com o uso do sistema *locking*. Contudo, na avaliação da distribuição das linhas de tensão em modelos fotoelásticos, observamos uma distribuição mais uniforme das franjas em torno dos parafusos das amostras fixadas com placas *locking*.

A literatura sustenta a ideia de que a resistência necessária para a fixação de fraturas de mandíbula deve ser aquela capaz de suportar apenas a magnitude de forças no pós-operatório¹⁴. Gerlach *et al.*¹⁵, em 2012, avaliaram a força mastigatória no pós-operatório de 22 indivíduos operados de fratura isolada de ângulo mandibular segundo a técnica proposta por Champy⁷. Na primeira semana pós-operatória, a força mastigatória média dos indivíduos tratados era de apenas 31% da força mastigatória encontrada em indivíduos do grupo controle. Sugere-se ainda que a força mastigatória voluntária aferida em testes de esforço mastigatório é provavelmente muito maior do que a força real durante a função mastigatória em pacientes tratados.

Tate *et al.*¹⁴, 1994, estudaram 35 pacientes tratados de fratura de ângulo mandibular, com duas placas (sendo 17 fraturas unilaterais isoladas, 1 com fratura bilateral, 17 combinadas com fratura de corpo ou sínfise). Observou-se diferença estatisticamente significativa na força mastigatória dos pacientes operados, com média de 6.4Kp em região intercanina e 12.3 Kp após 6 semanas de cirurgia, comparados a 15.4Kp de força mastigatória da referida área em pacientes do grupo controle não operados (P< .001).

Neste estudo, os dados revelaram não haver diferença estatisticamente significativa entre a técnica de osteossíntese mais difundida na literatura com uso de duas placas convencionais e parafusos monocorticais e o uso de apenas uma placa *Locking*, o que sugere a possibilidade de apenas uma placa deste sistema ser capaz de suportar as cargas funcionais no pós-operatório de paciente com fraturas transforame mental.

Grupta *et al.*¹⁶, 2012, estudaram a estabilidade e eficácia do uso de uma miniplaca (sistema 2,0mm) associada à uma microplaca (sistema 1,5mm) do sistema convencional para o tratamento de fraturas mandibulares em região interforames mentuais através da medição das forças mastigatórias no pós-operatório de pacientes tratados com osteossíntese. Os autores avaliaram 20 pacientes tratados com fraturas isoladas na região interforame. O grupo controle foi formado por pacientes tratados com duas miniplacas 2,0mm. As medições de força mastigatória foram feitas no pré e no pós-operatório. Os autores não encontraram diferenças estatisticamente significantes da força mastigatória entre os pacientes de ambos os grupos na região de incisivos e molares de ambos os lados. Feller *et al.*¹⁷, 2002, referem sucesso no tratamento de 60 pacientes com fratura em região interforame com uso de associação de microplaca com miniplaca.

Abdullah¹⁸ considera que o uso de apenas uma placa do sistema convencional de 1,5mm, com parafusos monocorticais na zona de compressão, para o tratamento de fraturas parassinfisárias em indivíduos pediátricos não prejudicou a estabilidade do tratamento, reduziu o risco potencial de lesão a estruturas nobres e diminuiu a exposição do indivíduo tratado ao titânio.

O processo de regeneração óssea após uma fratura pode ocorrer com ou sem a formação de calo ósseo. A cicatrização indireta ou secundária envolve várias atividades celulares e formação tecidual e tem como característica a formação de um calo ósseo em seu estágio inicial. Manjubala *et al.*¹⁹, 2009, estudaram as variações das propriedades mecânicas de fraturas em tíbias de ovelhas, analisando histologicamente os animais em 2, 3, 6 e 9 semanas após a fratura. Na segunda semana, deposição de osso tipo trabecular, apresentando aumento da espessura das trabéculas em 3 semanas. Os autores observaram a ausência de estrutura trabeculada em 6 semanas com diminuição da quantidade e do tamanho dos poros. Em 9 semanas, houve mineralização do calo com a fusão do calo com o tecido ósseo cortical.

9. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, observou-se não haver diferença significativa na resistência mecânica das amostras fixadas com duas placas convencionais e uma única placa *locking* posicionada na zona de tensão. Acredita-se que apenas uma placa do sistema 2,0mm seja capaz de suportar as cargas funcionais após a terapia cirúrgica para redução e fixação de fraturas transforame mental. Considerando-se a redução funcional que ocorre nas primeiras semanas de pós-operatório dos pacientes tratados, é possível que um miniplaca tipo *locking* seja capaz de estabilizar os cotos fraturados até a formação do calo ósseo que provê aumento da resistência da área.

Ensaio clínicos prospectivos comparando o uso destas técnicas, associado à análise de força mastigatória pós-operatória são necessários para a avaliação do sistema quando submetido a condições naturais.

ABSTRACT

The aim of this study was an *in vitro* evaluation of mechanical strength and areas of tension generated from four types of internal fixation for jaws fractures in the mental foramen region, after linear forces application. Twenty synthetic polyurethane jaws have been used, uniformly sectioned and fixed with conventional and locking 2.0 mm miniplates system, with different screw lengths. For the photoelastic test, four photoelastic resin replicas were made and fixed similarly. All samples were subjected to linear contra-lateral load. The strength tests showed no statistically significant difference between the group fixed with two miniplates 2.0 mm conventional system group and the ones fixed with a single locking plate of the same system in tension zone. The photoelastic fringes show that in the locking system the tension zones distribution is more uniform around screws. Considering the results obtained in this study and the mastication strength reduction after surgical treatment for reduction and fixation of fractures of the jaws, it is suggested that only one 2.0 mm locking system plate is capable of stabilizing the fracture during bone consolidation.

Key words: Internal fracture fixation, fracture healing, jaw fixation techniques

REFERÊNCIAS

1. Davies BW, Cederna JP, Guyuron B. Noncompression unicortical miniplate osteosynthesis of mandibular fractures. *Plast Surg* 1992, 28:414
2. Champy M, Lodde JP, Schmitt R, Jaeger JH, Muster D. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. *J Maxillofac Surg* 1978, 6:14-21
3. Jackson IT, Somers PC, Kjar JG. The use of Champy miniplates for osteosynthesis in Craniofacial deformities and trauma. *Plast Reconstr Surg* 1985, 77:729
4. Saka B. Mechanical and biomechanical measurements of five currently available osteosynthesis systems of self-tapping screws. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2000, 38:70
5. Fernandes AC, Rossi MA, Schaffner IS, Machado LA, Sampaio AA. Lateral cortical bone thickness of the dentate human mandibles in the region of mental foramen. *J Maxillofac Surg* 2010, 68:2980-2985
6. Velasco-Ortega E, Angeles J, Cameán, AM, Pato-Mourelo J, Segura-Egea JJ. In vitro evaluation of cytotoxicity and genotoxicity of a commercial titanium alloy for dental implantology *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2010, 702:17-23
7. Champy M, Lodde JP, Jaeger JH, et al. Osteosyntheses mandibulaires selon la technique de Michelet. I. Bases biomecaniques. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1976, 77:569
8. Michelet FX, Deymes J, Dessus B: Osteosynthesis with miniaturized screwed plates in maxillo-facial surgery. *J Maxillofac Surg* 1973, 1:79
9. Olmedo DG, Duffó G, Cabrini RL, Guglielmotti MB. Local effect of titanium implant corrosion: an experimental study in rats. *Int J of Oral Maxillofac Surg*. 2008, 37:1032-1038

10. Ellis E, Graham J. Use of a 2,0-mm locking plate/screw system for mandibular fracture surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2002, 60:642-645
11. Gutwald R, Alpert B, Schmelzeisen R. Principle and stability of locking plates. *Keio J Med* 2003, 52:21-24
12. Chiodo TA, Ziccardi VB, Janal M, Sabitini C. Failure Strength of 2,0 locking Versus 2,0 Convention Synthes Mandibular Plates: A Laboratory Model. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006, 64:1471-79
13. Singh V, Kumar I, Bhagol A. Comparative evaluation of 2,0-mm locking plate system vs 2,0-mm nonlocking plate system for mandibular fracture: a prospective randomized study. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;40:372-377
14. Tate GS, Ellis III E, Throckmorton G. Bite forces in patients treated for mandibular angle fractures: implications for fixation recommendations. *J Maxillofac Surg* 1994, 52:734-736
15. Gerlach KL, Schwarz A. Bite forces in patients after treatment of mandibular angle fractures with miniplate osteosynthesis according to Champy. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2002, 31: 345-348
16. Gupta A, Singh V, Mohammad S. Bite force evaluation of mandibular fractures treated with microplates and miniplates. *J Maxillofac Surg* 2012, 70:1903-1908
17. Feller Ku, Richter G, Schneider M, Eckelt U. Combination of microplate and miniplate for osteosynthesis of mandibular fractures: an experimental study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2002, 31: 78-83
18. Abdullah WA. The use of a single titanium microplate in displaced pediatric parasymphysial mandibular fractures. *The Saudi Dental Journal* 2009, 21:95-100

19. Manjubala I, Liu Y, Epari DR, Roschger P, Schell H, Fratzl P, Duda GN. Spatial and temporal variations of mechanical properties and mineral content of the external callus during bone healing. *Bone* 2009, 45:185-192