

RESSALVA

Atendendo solicitação do
autor, o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 17/08/2022



UNESP - Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Odontologia de Araraquara



Lucas Borin Moura

Avaliação tomográfica de fraturas orbitárias unilaterais tratadas por meio de malhas de titânio e validação da fisiopatologia do trauma orbitário por meio de elementos finitos

Araraquara

2018



UNESP - Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Odontologia de Araraquara



Lucas Borin Moura

Avaliação tomográfica de fraturas orbitárias unilaterais tratadas por meio de malhas de titânio e validação da fisiopatologia do trauma orbitário por meio de elementos finitos

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

Orientador: Prof. Dr. Valfrido Antonio Pereira Filho

Araraquara

2018

Moura, Lucas Borin

Avaliação tomográfica de fraturas orbitárias unilaterais tratadas por meio de malhas de titânio e validação da fisiopatologia do trauma orbitário por meio de elementos finitos / Lucas Borin

Moura . -- Araraquara: [s.n.], 2018

81 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado em Ciências Odontológicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Valfrido Antonio Pereira Filho

1. Órbita 2. Fraturas orbitárias 3. Telas cirúrgicas 4. Análise de elementos finitos 5. Simulação por computador I. Título

Lucas Borin Moura

Avaliação tomográfica de fraturas orbitárias unilaterais tratadas por meio de malhas de titânio e validação da fisiopatologia do trauma orbitário por meio de elementos finitos

Comissão julgadora

Tese para obtenção do grau de DOUTOR em CIÊNCIAS ODONTOLÓGICAS

Presidente e orientador: Prof. Dr. Valfrido Antonio Pereira Filho

2º Examinador: Profa. Dra. Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli

3º Examinador: Prof. Dr. Marcelo Gonçalves

4º Examinador: Prof. Dr. Otacílio Luiz Chagas Júnior

5º Examinador: Prof. Dr. Philipp Christian Jürgens

Araraquara, 17 de agosto de 2018

DADOS CURRICULARES

Lucas Borin Moura

NASCIMENTO	06/07/1988 – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
FILIAÇÃO	André Luiz de Carvalho Moura Carla Borin Moura
2006-2011	Graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Pelotas UFPel, Pelotas-RS
2008-2011	Bolsista (MEC/Sesu) do Programa de Educação Tutorial, Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Pelotas UFPel, Pelotas-RS
2011-2011	Aperfeiçoamento em Cirurgia Oral Menor, Universidade Cruzeiro do Sul UNICSUL, Pelotas-RS
2012-2015	Residência em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial no Hospital Escola da Universidade Federal de Pelotas UFPel, Pelotas-RS (Bolsista MEC)
2015-2018	Doutorado em Ciências Odontológicas – Área de Concentração: Diagnóstico e Cirurgia pela Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – FOAr/UNESP, Araraquara-SP (Bolsista FAPESP Doutorado Direto)
2017-2017	Doutorado sanduíche em Cirurgia Crânio-Maxilo-Facial, no Universitätsspital Basel, Basileia, Suíça (Bolsista FAPESP BEPE - Doutorado Direto)
2018	Professor do Curso de Odontologia da Universidade Católica de Pelotas – UCPel, Pelotas-RS

*Dedico este trabalho aos meus pais, **André** e **Carla**, por todo amor, inspiração e suporte.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Odontologia de Araraquara e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas pela oportunidade e pela estrutura para a realização desta tese, me proporcionando crescimento profissional e pessoal. Agradeço à CAPES e à Fapesp (Processos: 2015/04521-0 e 2016/01445-4) pelas bolsas e suporte.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Valfrido Antonio Pereira Filho, pela amizade e pelos ensinamentos. Agradeço pelas oportunidades e confiança durante minha trajetória, e aos ensinamentos futuros! Certamente levarei um pouco de sua experiência comigo. Muito obrigado por ser mais do que um orientador.

Aos professores Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli, Mário Francisco Real Gabrielli, Eduardo Hochuli Vieira, Roberto Barbeiro e José Scarso Filho, muito obrigado por todo o conhecimento e pelo aprendizado no dia-a-dia. Agradeço a todos professores e funcionários do Departamento de Diagnóstico e cirurgia pelo ótimo convívio e amizade.

Ao meu supervisor, Prof. Dr. Dr. Philipp Christian Jürgens, muito obrigado por me acolher durante o período de doutoramento do exterior. Agradeço pelos ensinamentos e pela experiência vivida em Basel, a qual modificou minha visão sobre a Cirurgia Buco-Maxilo-Facial.

Agradeço aos professores, cirurgiões e residentes do Universitätsspital Basel, pela recepção e colaboração, vocês me acolheram como parte da equipe. Ao Dr. Florian Thieringer pelas oportunidades e ensinamentos.

Muito obrigado aos colegas Pedro Henrique de Azambuja Carvalho, Guilherme dos Santos Trento e Juliana Dreyer da Silva de Menezes, pela parceria durante a realização deste doutorado. Aos demais colegas e amigos dividiram suas experiências e conhecimentos.

Agradeço à Medartis e à CADFEM pela contribuição para confecção deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Moura LB. Avaliação tomográfica de fraturas orbitárias unilaterais tratadas por meio de malhas de titânio e validação da fisiopatologia do trauma orbitário por meio de elementos finitos [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2018.

RESUMO

Fraturas orbitárias apresentam alta prevalência, ocasionando alterações estéticas e funcionais com repercussão clínica. A severidade dos defeitos orbitários é dependente da sua extensão, morfologia e localização, sendo que as alterações do volume orbitário estão intimamente relacionadas com a presença de enoftalmia e de diplopia. Desta forma, o tratamento objetiva restabelecer a anatomia e o volume orbitário prévio ao trauma. Atualmente, o material mais utilizado para a reconstrução orbitária é a malha de titânio convencional, sendo que a combinação de outras técnicas, como assistência por endoscopia e utilização de biomodelos, pode otimizar o tratamento. Em relação à fisiopatologia do trauma orbitário, dois mecanismos estão historicamente estabelecidos, mecanismo hidráulico e trauma direto ao rebordo orbitário. Entretanto, o completo entendimento das características da distribuição de forças de cada mecanismo ainda não está esclarecido. Desta forma, este trabalho teve o objetivo de realizar uma análise tomográfica de fraturas orbitárias unilaterais tratadas por meio de malhas de titânio convencionais; confeccionar um modelo digital da cavidade orbitária para a simulação dinâmica dos mecanismos de trauma orbital; e reportar a otimização do tratamento de fraturas orbitárias pela associação de técnicas com endoscopia transantral e biomodelos.

Palavras-chave: Órbita. Fraturas orbitárias. Telas cirúrgicas. Análise de elementos finitos. Simulação por computador.

Moura LB. Tomographic evaluation of unilateral orbital fractures treated using titanium mesh and validation of orbital trauma pathophysiology by finite element analysis [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2018.

ABSTRACT

Orbital fractures are high prevalent, and result in aesthetic and functional impairments. The severity of orbital defects is related with the extension, morphology and location. The orbital volume changes are intimately associated with the presence of enophthalmos and diplopia. Therefore, the treatment must reestablish the orbital anatomy and volume. Presently, the most applied material for orbital reconstruction is the conventional titanium mesh, and the association of other techniques, such as endoscopic assistance and the use of printed models, can optimize the treatment. About the orbital trauma pathophysiology, two mechanisms are historically established – hydraulic and buckling mechanisms. However, the complete understanding of the features of stress distribution of each mechanism are not clear. Thus, the aim of this work is to perform a tomographic evaluation of unilateral orbital fractures treated with conventional titanium mesh; to create a digital model of the orbital cavity for a dynamic simulation of the mechanisms of orbital trauma; and to report the optimization of treatment of orbital fractures by the association of techniques, with transantral endoscopy and printed model.

Key-words: Orbit. Orbital fractures. Surgical mesh. Finite element analysis. Computer simulation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROPOSIÇÃO	18
3 ARTIGO 1 – Volumetric evaluation of orbital fractures treated by titanium mesh.	19
4 ARTIGO 2 – Dynamic three-dimensional finite element analysis of orbital trauma	39
5 ARTIGO 3 – Reconstruction of orbital floor defects assisted by transantral endoscopy.....	54
6 ARTIGO 4 – Three-dimensional printed model and transantral endoscopy to orbital fracture repair	63
7 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	70
ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética (CEP)	74
ANEXO B – Permissão para publicação do artigo 3 em tese.....	77
ANEXO C – Permissão para publicação do artigo 4 em tese.....	81

1 INTRODUÇÃO

A cavidade orbitária é uma estrutura piramidal bilateral localizada na região de terço médio facial, que apresenta como função a contenção do aparelho lacrimal, do globo ocular e de suas estruturas adjacentes, como músculos, nervos e vasos. Anatomicamente sete ossos são responsáveis pela composição das paredes orbitárias, sendo a parede superior formada pelos ossos frontal e esfenoide; a parede medial pelos ossos etmoide, esfenoide, lacrimal e maxila; a parede inferior ou assoalho da órbita pela maxila, zigomático e palatino; e a parede lateral por zigomático e esfenoide¹. Este conjunto de paredes delimita o volume orbitário permitindo a correta posição e projeção do globo ocular².

Os traumatismos faciais na região orbitária podem gerar fraturas destas paredes com consequentes defeitos ósseos e alterações clínicas. Em geral, eles são verificados em associação à fratura do complexo zigomático-orbitário, fraturas complexas da face ou, ainda, como fraturas isoladas de blow-out ou blow-in³. Estes defeitos acarretam em alterações do volume do continente orbital devido à expansão da cavidade orbitária ou sua redução⁴. As fraturas orbitárias representam mais de 40% das fraturas de terço médio facial^{5, 6}, e essa alta prevalência está relacionada com as características anatômicas da órbita e a presença de paredes ósseas finas, que aumentam a suscetibilidade aos traumatismos e, consequentemente, às fraturas¹.

O primeiro relato de uma fratura isolada de parede orbitária foi descrito por Smith, Regan⁷, em 1957, no qual foi apresentado um caso de deslocamento do assoalho orbital para o interior do seio maxilar sem a presença de fratura do rebordo infraorbitário, este tipo de fratura foi denominado como blow-out^{4, 7}. Basicamente, existem dois mecanismos que podem explicar esta injúria, primeiramente esta fratura pode ocorrer devido a um impacto direto sobre o rebordo orbitário, o qual é transmitido para a parede orbital adjacente gerando a fratura. Mas também, esta fratura pode ocorrer devido a um mecanismo hidráulico, em que é observado um trauma direto sobre o globo ocular gerando um aumento abrupto da pressão interna da órbita, provocando assim, o contato das estruturas orbitárias com a parede orbital e causando a fratura^{8, 9}.

Ainda, Dingman, Natvig¹⁰ descreveram a fratura conhecida como blow-in. Os autores apresentaram um caso de trauma na região de seio maxilar, que por meio

de um mecanismo de pressão pneumática, gerou aumento da pressão do interior do seio e deslocou superiormente o assoalho orbitário para o interior da órbita, não afetando o rebordo infraorbitário^{4, 10}.

O assoalho orbitário e a parede medial são as regiões mais frequentemente lesadas⁸, sendo que as fraturas combinadas destas regiões ocorrem mais comumente do que a fratura isolada das paredes orbitárias, e causam um comprometimento da estrutura ínfero-medial na junção etmoide-maxilar promovendo um aumento do volume orbitário¹¹. Já a parede lateral é dependente da fratura do complexo zigomático e a sua reconstrução está relacionada ao correto reposicionamento anatômico deste complexo⁹.

As fraturas das paredes orbitais podem apresentar defeitos com uma variedade de morfologias e extensão, que estão relacionados ao mecanismo e à força do traumatismo. Conforme descrito, dois mecanismos clássicos da fisiopatologia do trauma orbitário são reportados na literatura: mecanismo hidráulico e trauma direto ao rebordo orbitário. O primeiro está associado a um traumatismo ao globo ocular e aumento da pressão interna da cavidade orbitária resultando na sua fratura, o segundo está relacionado ao trauma direto sobre o osso e à propagação de forças sobre as paredes orbitárias⁹. Embora estes mecanismos estejam historicamente estabelecidos, eles continuam sendo tópicos de discussão na literatura¹². Estudos em cadáveres descrevem que a força necessária para ocasionar fratura por meio do mecanismo hidráulico é dez vezes maior do que a força necessária pelo mecanismo de trauma direto ao rebordo. Ainda, o padrão de fratura é dependente do tipo da mecânica do trauma, sendo que o trauma direto ao rebordo resulta em fraturas nas regiões anterior e média do assoalho orbitário, sem o envolvimento da parede medial ou herniação de tecidos moles. Enquanto que fraturas decorrentes do mecanismo hidráulico podem se estender para a região posterior e parede medial, e frequentemente estão associadas com herniação de tecido mole para dentro do seio maxilar¹³. Atualmente, para melhor entendimento dos mecanismos de trauma e padrão de fraturas, tem-se lançado mão de simulações de traumatismos em modelos digitais pela análise tridimensional por meio de elementos finitos^{12, 14, 15}.

Nagasao et al.¹⁵ realizaram estudo em elementos finitos sobre o padrão de fraturas de acordo com a localização e distribuição de forças. Os autores confeccionaram dez modelos por CAD a partir do escaneamento de crânios secos e verificaram quatro padrões de trauma: (A) força de 1,2J sobre o globo ocular –

mecanismo hidráulico; (B) força de 0,8J sobre o globo ocular e 0,4J sobre o rebordo infraorbitário; (C) força de 0,8J sobre o rebordo infraorbitário e 0,4J sobre o globo ocular; (D) força de 1,2J sobre o rebordo infraorbitário – mecanismo de trauma direto. Os autores verificaram que os padrões A e B resultaram em regiões de stress menores localizadas na parede medial, e que os padrões C e D resultaram em forças de stress no assoalho orbitário e região ínfero-medial de órbita, sendo que o padrão C apresentou a maior área de stress para fratura.

Schaller et al.¹², a partir dos exames tomográficos de um paciente hígido, segmentaram o esqueleto facial e incluíram um globo ocular artificial (em contato com as paredes orbitárias) para simulação de trauma orbitário. Os autores simularam o impacto de um peso de cobre sobre globo ocular, rebordo infraorbitário e a combinação destes sítios. Foi verificado que o mecanismo hidráulico concentrou forças sobre a região anterior e ínfero-medial da órbita, o trauma ao rebordo orbitário resultou em forças de stress na região posterior do assoalho orbitário, a combinação de traumas na região ínfero-medial de órbita, em terço médio anteroposterior.

Desta forma, o completo entendimento da biomecânica das fraturas orbitárias não está esclarecido, embora, a ação dos mecanismos de pressão hidráulica e trauma direto ao rebordo orbitário sobre o tecido ósseo estejam bem definidos¹²⁻¹⁵. Não há estudos que avaliem a estrutura orbitária como um todo, incluindo os tecidos muscular, adiposo e globo ocular.

A avaliação da severidade de um traumatismo orbitário dependerá dos seguintes fatores: o tamanho do defeito, a sua localização, o número de paredes envolvidas e a dificuldade técnica para a reconstrução. Defeitos pequenos, localizados na região anterior do assoalho orbitário, apresentam pouca influência na posição do globo ocular e na sintomatologia. Porém, defeitos com comprometimento da região póstero-medial, geram um aumento do continente orbitário resultando em enoftalmia e diplopia^{3, 16}. Defeitos ósseos que envolvam todo o assoalho orbitário, compreendendo a fissura orbitária inferior e/ou região posterior de órbita, representam um desafio para o tratamento, pois os acessos cirúrgicos devem expor as margens não envolvidas do defeito ósseo, a fim de estabilizar os materiais de reconstrução³.

O tratamento das fraturas orbitárias envolve o restabelecimento estético e funcional, a reconstrução da cavidade orbitária deve restaurar o volume e a anatomia orbitária^{1, 5, 17, 18}, sendo que a simetria orbitária não deve ser reestruturada

em apenas um plano facial, devendo incluir a posição do globo ocular, a redução das fraturas ósseas e a correção dos tecidos moles, como a musculatura extraocular e o ligamento cantal¹⁹⁻²¹. Outros fatores relacionados às dificuldades técnicas da reconstrução orbitária são a necessidade de acessos cutâneos que podem gerar cicatrizes e a atrofia da gordura e da musculatura orbitária, que podem necessitar de correções secundárias tardiamente^{18, 20, 22}.

É importante observar que mesmo após o tratamento destas lesões, uma alta e variável porcentagem de sequelas e complicações são encontradas, podendo destacar: a diplopia, a enoftalmia persistente e a hipoestesia de nervo infraorbitário²³.

A hipoestesia do nervo infraorbitário está relacionada com a lesão direta ao nervo devido ao traumatismo, ou indiretamente devido ao deslocamento da fratura, estando presente entre 7% e 59% dos casos de fratura orbitária²⁴.

As alterações no volume orbitário e nos tecidos moles, após traumatismo ou correção cirúrgica, podem gerar enoftalmia e diplopia^{2, 18}. Os mecanismos que resultam nestas alterações incluem a perda do suporte dos ligamentos, contratura cicatricial, atrofia de gordura orbitária, herniação dos tecidos moles para o seio maxilar e o aumento do volume orbitário ósseo²⁵.

A diplopia está relacionada com a presença de enoftalmia e ocorre devido a uma posição inadequada do globo ocular, ao volume orbitário alterado ou a um aprisionamento da musculatura ocular. Como consequência, ocorre um distúrbio na mobilidade ocular gerando a visualização de imagens duplicadas^{3, 8, 20}. Ela é observada entre 20% e 42,5% das fraturas isoladas de assoalho orbital e acima de 86% das fraturas complexas envolvendo múltiplas paredes ou o terço posterior do assoalho orbital²⁴.

A enoftalmia ocorre entre 7% e 27,5% das fraturas orbitárias, devido à alteração da relação entre o volume orbitário e o seu conteúdo, ocorrendo o afundamento do globo ocular em sua projeção anteroposterior, por conseguinte a presença de enoftalmia acarretará diplopia^{24, 26}. É verificado que o aumento do volume orbitário apresenta uma maior correlação com a presença de enoftalmia do que as alterações no tecido adiposo orbitário^{5, 25}. Logo, na reconstrução primária, o cirurgião tem o papel de restaurar a forma (volume) e função orbitária adequadamente, caso contrário, o alargamento e a deformação poderão resultar em

enofthalmia e diplopia^{19, 20}. Sabe-se que a cada centímetro cúbico aumentado resulta em 0,89mm de enofthalmia^{8, 27}.

A correção cirúrgica de enofthalmia é um desafio clínico, visto que resultados satisfatórios são encontrados em apenas 50% a 58% dos pacientes^{8, 28}. Além das dificuldades técnicas e de reconstrução dos tecidos ósseo e mole, observa-se que em pacientes não-traumatizados existe uma diferença entre os volumes orbitários entre 7% e 8%^{29, 30}.

Conforme descrito previamente, os defeitos orbitários resultam em alterações volumétricas comumente relacionadas com o aumento da cavidade orbitária^{3, 8, 11, 16, 19, 27, 31, 32}. Devido a importância do volume orbitário no desenvolvimento destas alterações clínicas, as alterações volumétricas são foco de constante análise na literatura. O primeiro estudo que analisou a influência do volume orbitário sobre a severidade do enoftalmo foi realizado por Bite et al.³³ em 1985. Os autores compararam, por meio de tomografia computadorizada, a órbita íntegra e fraturada quanto ao volume dos componentes orbitários e verificaram uma relação positiva entre o aumento do volume orbitário com o enoftalmo, sendo que o volume das demais estruturas orbitárias foi semelhante entre as órbitas³³.

Tahernia et al.⁹ avaliaram os exames tomográficos pré-operatórios de 45 pacientes portadores de fraturas isoladas do assoalho orbitário e verificaram um aumento médio do volume orbitário de 28,3%. Os autores concluíram que um aumento de 20% do volume orbitário é um parâmetro tomográfico que indica a necessidade de intervenção cirúrgica.

Oh et al.¹⁷ verificaram as alterações volumétricas da cavidade orbitária em fraturas isoladas de órbita. Os autores avaliaram três grupos de acordo com a localização das fraturas: (A) assoalho orbitário, (B) assoalho e parede medial e (C) parede medial. Verificaram que o maior aumento volumétrico pré-operatório ocorreu no grupo B, seguido pelo A e C. Após o tratamento cirúrgico todos os grupos apresentaram diminuição do volume orbitário, entretanto a órbita reconstruída permaneceu aumentada em relação à íntegra. Ainda, os autores realizaram avaliação da posição do globo ocular por meio de exoftalmômetro de Hertel, entretanto sem diferenças significativas entre os dois períodos.

Kim et al.³⁴ compararam o volume orbitário em 44 pacientes portadores de fraturas orbitárias tratadas por meio de implantes de polietileno poroso associados

ou não com malhas de titânio. Os autores verificaram que ambos materiais foram efetivos para o reparo dos defeitos ósseos.

Jin et al.³⁵ avaliaram a relação entre a extensão do defeito ósseo e o grau de enoftalmia em pacientes portadores de fraturas de parede medial de órbita. Os autores analisaram os exames tomográficos pré-operatórios de nove pacientes, e verificaram que a cada 0,9 cm³ de tecido herniado resultou em 2 mm de enoftalmia. Concluíram assim, que um aumento do volume orbitário em 0,9 cm³ é um fator indicativo de tratamento cirúrgico.

Han et al.³⁶ analisaram os desfechos de fraturas de assoalho orbitário e/ou parede medial tratadas por acesso subciliar ou pela associação de acesso subciliar e transcaruncular. Os autores não identificaram diferenças entre o tempo cirúrgico, complicações e reestabelecimento do volume orbitário entre os dois acessos. Assim, concluíram que o reestabelecimento do volume orbitário é independente do acesso cirúrgico utilizado, desde que o mesmo tenha indicação.

Zavattero et al.³⁷ compararam 30 fraturas orbitárias tratadas com auxílio de navegação intraoperatória e 25 fraturas tratadas convencionalmente. Como resultado, observaram que a redução do volume orbitário foi alcançada no grupo com auxílio de navegação, enquanto que o grupo tratado pelo método convencional não restabeleceu o volume adequadamente. Os autores concluíram que a navegação transoperatória é um método viável para otimização do tratamento de fraturas orbitárias. Entretanto, a navegação intraoperatória não se encontra difundida globalmente nos centros cirúrgicos, sendo o tratamento convencional o mais utilizado mundialmente para a reconstrução orbitária, em geral por meio do conhecimento anatômico da cavidade orbitária e malhas de titânio^{38, 39}.

Para diagnóstico, avaliação e planejamento cirúrgico das fraturas orbitárias, o exame de escolha é a tomografia computadorizada, pois disponibiliza detalhada informação sobre tamanho, localização e severidade dos defeitos, além de permitir a visualização do aprisionamento de tecidos moles^{8, 20, 23}. Para tratamento, inúmeros materiais e tecnologias podem ser utilizados, incluindo modelos estereolitográficos, implantes pré-fabricados de titânio/biocerâmicas por meio de CAD/CAM, técnica de espelhamento e impressão tridimensional e navegação intraoperatória^{19, 21}. Entretanto, a malha de titânio convencional ainda é o material mais utilizado para a reconstrução orbitária, devido ao seu custo e disponibilidade. Desta forma, necessita-se que o cirurgião tenha a capacidade de reconstruir adequadamente a

anatomia/volume orbitário baseado nos conceitos cirúrgicos já bem descritos na literatura^{38, 39}.

Portanto, devido à complexidade do tratamento de fraturas orbitárias e à alta prevalência de complicações decorrentes da alteração anatômica, este estudo objetivou avaliar o volume orbitário e a posição anteroposterior do globo ocular após o tratamento de fraturas unilaterais por meio de malhas de titânio; validar a fisiopatologia destas lesões em um modelo digital que compreenda todos os tecidos envolvidos; e reportar a otimização do tratamento de fraturas orbitários pela associação de técnicas com endoscopia transantral e biomodelos.

7 CONCLUSÃO

A partir da metodologia aplicada nesta série de estudos foi possível concluir que:

- 1) A reconstrução orbitária por meio de malhas de titânio convencionais reestabeleceu o volume orbitário e a posição tomográfica anteroposterior do globo ocular, independentemente do tipo e da severidade do defeito orbitário presente;
- 2) Ambos os métodos para análise do volume orbitário, segmentação automática e seccionamento de imagens, se apresentaram viáveis;
- 3) A metodologia aplicada para segmentação de estruturas orbitárias por meio de exames tomográficos e de ressonância magnética permitiu a confecção de um modelo digital da completa cavidade orbitária;
- 4) A análise por meio de elementos finitos verificou que o mecanismo hidráulico resulta em uma pequena área de estresse na parede medial, enquanto que o mecanismo de trauma direto ao rebordo resulta em uma grande área de estresse no assoalho orbitário;
- 5) A gordura orbitária e os músculos extraoculares tem um papel importante na absorção das forças e na distribuição para as paredes orbitárias;
- 6) Para a otimização do tratamento de fraturas orbitárias, técnicas adjuntas como endoscopia transantral e modelos tridimensionais podem ser utilizadas;
- 7) A endoscopia permitiu a visualização de todos os bordos do defeito orbitário no assoalho, assim como a verificação do correto posicionamento da malha de titânio;
- 8) O modelo impresso permitiu a melhor conformação e adaptação da malha de titânio.

REFERÊNCIAS ¹

1. Wang S, Xiao J, Liu L, Lin Y, Li X, Tang W, et al. Orbital floor reconstruction: a retrospective study of 21 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008; 106(3): 324-30.
2. Ramieri G, Spada MC, Bianchi SD, Berrone S. Dimensions and volumes of the orbit and orbital fat in posttraumatic enophthalmos. *Dentomaxillofac Radiol.* 2000; 29(5): 302-11.
3. Jaquiere C, Aeppli C, Cornelius P, Palmowsky A, Kunz C, Hammer B. Reconstruction of orbital wall defects: critical review of 72 patients. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007; 36(3): 193-9.
4. Haug RH, Van Sickels JE, Jenkins WS. Demographics and treatment options for orbital roof fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002; 93(3): 238-46.
5. Scolozzi P, Jaques B. Computer-aided volume measurement of posttraumatic orbits reconstructed with AO titanium mesh plates: accuracy and reliability. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg.* 2008; 24(5): 383-9.
6. Schmutz B, Rahmel B, McNamara Z, Coulthard A, Schuetz M, Lynham A. Magnetic resonance imaging: an accurate, radiation-free, alternative to computed tomography for the primary imaging and three-dimensional reconstruction of the bony orbit. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014; 72(3): 611-8.
7. Smith B, Regan WFJ. Blow-out fracture of the orbit; mechanism and correction of internal orbital fracture. *Am J Ophthalmol.* 1957; 44(6): 733-9.
8. Fan X, Li J, Zhu J, Li H, Zhang D. Computer-Assisted Orbital Volume Measurement in the Surgical Correction of Late Enophthalmos Caused by Blowout Fractures. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg.* 2003; 19(3): 207-11.
9. Tahernia A, Erdmann D, Follmar K, Mukundan S, Grimes J, Marcus JR. Clinical implications of orbital volume change in the management of isolated and zygomaticomaxillary complex-associated orbital floor injuries. *Plast Reconstr Surg.* 2009; 123(3): 968-75.

¹ De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca:
<http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-marco-2015.pdf>

10. Dingman RO, Natvig P. Surgery of facial fractures. Philadelphia: WB Saunder; 1964. p. 234-5.
11. Cho RI, Davies BW. Combined orbital floor and medial wall fractures involving the inferomedial strut: repair technique and case series using preshaped porous polyethylene/titanium implants. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2013; 6(3): 161-70.
12. Schaller A, Huempferner-Hierl H, Hemprich A, Hierl T. Biomechanical mechanisms of orbital wall fractures - a transient finite element analysis. *J Craniomaxillofac Surg.* 2013; 41(8): 710-7.
13. Ahmad F, Kirkpatrick NA, Lyne J, Urdang M, Waterhouse N. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: fact or fiction? *J Craniofac Surg.* 2006; 17(3): 438-41.
14. Huempferner-Hierl H, Schaller A, Hierl T. Biomechanical investigation of the supraorbital arch - a transient FEA study on the impact of physical blows. *Head Face Med.* 2014; 10: 13.
15. Nagasao T, Miyamoto J, Shimizu Y, Jiang H, Nakajima T. What happens between pure hydraulic and buckling mechanisms of blowout fractures? *J Craniomaxillofac Surg.* 2010; 38(4): 306-13.
16. Hammer B, Prein J. Correction of post-traumatic orbital deformities: operative techniques and review of 26 patients. *J Craniomaxillofac Surg.* 1995; 23(2): 81-90.
17. Oh SA, Aum JH, Kang DH, Gu JH. Change of the orbital volume ratio in pure blow-out fractures depending on fracture location. *J Craniofac Surg.* 2013; 24(4): 1083-7.
18. Tang W, Guo L, Long J, Wang H, Lin Y, Liu L, et al. Individual design and rapid prototyping in reconstruction of orbital wall defects. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68(3): 562-70.
19. Gellrich NC, Schramm A, Hammer B, Rojas S, Cufi D, Lagreze W, et al. Computer-assisted secondary reconstruction of unilateral posttraumatic orbital deformity. *Plast Reconstr Surg.* 2002; 110(6): 1417-29.
20. Cunningham LL, Peterson GP, Haug RH. The relationship between enophthalmos, linear displacement, and volume change in experimentally recreated orbital fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005; 63(8): 1169-73.

21. Klein M, Glatzer C. Individual CAD/CAM fabricated glass-bioceramic implants in reconstructive surgery of the bony orbital floor. *Plast Reconstr Surg*. 2006; 117(2): 565-70.
22. Liu XZ, Shu DL, Ran W, Guo B, Liao X. Digital surgical templates for managing high-energy zygomaticomaxillary complex injuries associated with orbital volume change: a quantitative assessment. *J Oral Maxillofac Surg*. 2013; 71(10): 1712-23.
23. Ploder O, Klug C, Backfrieder W, Voracek M, Czerny C, Tschabitscher M. 2D- and 3D-based measurements of orbital floor fractures from CT scans. *J Craniomaxillofac Surg*. 2002; 30(3): 153-9.
24. Bly RA, Chang SH, Cudejkova M, Liu JJ, Moe KS. Computer-guided orbital reconstruction to improve outcomes. *JAMA Facial Plast Surg*. 2013; 15(2): 113-20.
25. Clauser L, Galie M, Pagliaro F, Tieghi R. Posttraumatic enophthalmos: etiology, principles of reconstruction, and correction. *J Craniofac Surg*. 2008; 19(2): 351-9.
26. Bell RB, Markiewicz MR. Computer-assisted planning, stereolithographic modeling, and intraoperative navigation for complex orbital reconstruction: a descriptive study in a preliminary cohort. *J Oral Maxillofac Surg*. 2009; 67(12): 2559-70.
27. Chang EL, Bernardino CR. Update on orbital trauma. *Curr Opin Ophthalmol*. 2004; 15(50): 411-5.
28. Piotrowski WP, Beck-Mannagetta J. Surgical techniques in orbital roof fractures: early treatment and results. *J Craniomaxillofac Surg*. 1995; 23(1): 6-11.
29. Forbes G, Gehring DG, Gorman CA, Brennan MD, Jackson IT. Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis. *AJR Am J Roentgenol*. 1985; 145(1): 149-54.
30. Parson GS, Mathog RH. Orbital wall and volume relationships. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1988; 114(7): 743-7.
31. Hammer B, Kunz C, Schramm A, de Roche R, Prein J. Repair of complex orbital fractures: technical problems, state-of-the-art solutions and future and future perspectives. *Ann Acad Med Singapore*. 1999; 28(5): 687-91.

32. Brucoli M, Arcuri F, Cavenaghi R, Benech A. Analysis of complications after surgical repair of orbital fractures. *J Craniofac Surg*. 2011; 22(4): 1387-90.
33. Bite U, Jackson IT, Forbes GS, Gehring DG. Orbital volume measurements in enophthalmos using three-dimensional CT imaging. *Plast Reconstr Surg*. 1985; 75(4): 502-8.
34. Kim CY, Jeong BJ, Lee SY, Yoon JS. Comparison of surgical outcomes of large orbital fractures reconstructed with porous polyethylene channel and porous polyethylene titan barrier implants. *Ophthal Plast Reconstr Surg*. 2012; 28(3): 176-80.
35. Jin H-R, Shin S-O, Choo M-J, Choi Y-S. Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmos in isolated blowout fractures of the medial orbital wall. *J Oral Maxillofac Surg*. 2000; 58(6): 617-20.
36. Han HH, Park SW, Moon SH, Seo BF, Rhie JW, Ahn ST, et al. Comparative orbital volumes between a single incisional approach and a double incisional approach in patients with combined blowout fracture. *Biomed Res Int*. 2015; 2015: 982856.
37. Zattero E, Ramieri G, Rocca F, Gerbino G. Comparison of the outcomes of complex orbital fracture repair with and without a surgical navigation system: a prospective cohort study with historical controls. *Plast Reconstr Surg*. 2017; 139(4): 957-65.
38. Holck DEE, Boyd EM, Ng J, Mauffray RO. Benefits of stereolithography in orbital reconstruction. *Ophthalmology*. 1999; 106(6): 1214-18.
39. Metzger MC, Schon R, Weyer N, Rafii A, Gellrich NC, Schmelzeisen R, et al. Anatomical 3-dimensional pre-bent titanium implant for orbital floor fractures. *Ophthalmology*. 2006; 113(10): 1863-8.