

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE TENSÕES GERADO EM UM PROCESSO DE MANDIBULOTOMIA UTILIZANDO O MÉTODO FOTOELÁSTICO

Sonia Aparecida Goulart Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia – João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica
Bloco1M – Uberlândia/MG – sgoulart@mecanica.ufu.br

Cleudmar Amaral de Araújo

Universidade Federal de Uberlândia – João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica
Bloco1M – Uberlândia/MG – cleudmar@mecanica.ufu.br

Thiago Caixeta de Araujo

Universidade Federal de Uberlândia – João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica
Bloco1M – Uberlândia/MG – tcaixeta@mecanica.ufu.br

Ronaldo José de Almeida

Universidade Federal de Uberlândia – Rua Izaú Rangel de Mendonça, 125 – Bairro Jardim Finotti –
Uberlândia/MG – dealmeidarj@bol.com.br

Resumo: *O índice de tumores na cavidade oral aumentou significativamente, principalmente, devido o uso do fumo. Na maioria dos casos, a forma de tratamento destes tumores é a sua ressecção. Este processo é feito através do acesso à cavidade oral utilizando uma técnica denominada de mandibulotomia. Para isto, podem ser feitos diferentes tipos de corte na mandíbula em função da localização do tumor e da condição do paciente. A fixação destes cortes, em geral, é feita através de placas e parafusos de titânio ou fios de aço. Assim, é importante a utilização de um procedimento adequado, uma vez que, a reconstrução da mandíbula visa restaurar não só o seu contorno, mas também a sua função mastigatória. O objetivo deste trabalho é avaliar a técnica de mandibulotomia através da determinação do campo de tensões/deformações em uma mandíbula humana utilizando um modelo fotoelástico simplificado, onde foram analisados dois tipos de cortes: mediano e paramediano. Através dos níveis de tensão gerados em cada tipo de corte foram determinados os pontos críticos dos modelos. Estas análises permitiram ao clínico avaliar, sob o ponto de vista biomecânico, os procedimentos cirúrgicos adotados.*

Palavras-chave: *Mandibulotomia, Análise de tensões, fotoelasticidade.*

1. INTRODUÇÃO

Devido à precocidade do hábito de fumar, o índice de tumores na cavidade oral aumentou, e a forma de tratamento destes tumores continua sendo a sua remoção cirúrgica. Esta é feita através de uma técnica de mandibulotomia, ou seja, corte da mandíbula e posterior fixação. A técnica pode ser dividida em mandibulotomia marginal ou segmentada, podendo ser realizada separadamente em várias posições na mandíbula. Neste caso, é essencial a utilização de um procedimento adequado

em busca de um planejamento apropriado do tratamento cirúrgico, uma vez que, o processo de reconstrução da mandíbula visa restaurar não só o seu contorno, mas também a função mastigatória.

Normalmente, existem procedimentos específicos de corte e fixação dependendo do local onde será feita a separação da mandíbula, e na maioria dos casos, os profissionais da área não conhecem a fundo os aspectos biomecânicos destas soluções. As soluções normalmente utilizadas para a fixação dos cortes ou re-estruturação da mandíbula são placas de titânio ou uso de fios de aço. Neste caso, gradientes severos de tensões podem ser gerados nestes elementos devido ao posicionamento ou esforços incorretos. Isto pode levar a falha precoce destes elementos necessitando de novas cirurgias reparadoras.

O objetivo deste trabalho é determinar a distribuição do campo de tensões/deformações em uma mandíbula humana considerando dois tipos de cortes, mediano e paramediano. O gradiente de tensões será avaliado através do método de fotoelasticidade de transmissão plana utilizando, neste primeiro trabalho, modelos simplificados. Este estudo visa fornecer ao especialista uma comparação das diferentes possibilidades de procedimento cirúrgico com relação ao nível das tensões geradas, indicando pontos críticos e possibilidades de otimização. Neste caso, os pacientes submetidos a tais cirurgias poderão ter uma melhor e/ou mais rápida recuperação.

2. MANDIBULOTOMIA

A mandibulotomia é um procedimento cirúrgico destinado a ganhar acesso na cavidade oral para a retirada de tumores primários, que não são acessíveis diretamente pela boca, como mostra a Fig. (1). Este procedimento cirúrgico envolve o conhecimento e compreensão das forças que agem sobre a mandíbula, Brandão, L. G. et. Ali (1989)

Neste caso, podem ser efetuados diferentes tipos de corte dependendo da região da mandíbula com diferentes soluções de fixação posterior. Por isso, é importante a avaliação destas possíveis soluções, de forma a proporcionar uma melhor recuperação no pós-operatório e na longevidade da fixação, Carvalho, M. B. (2000). Uma forma de se avaliar o estado de tensões nestas técnicas é a utilização do método fotoelástico, Dally J. W. et. Ali (1980), como mostrado na Fig. (2).

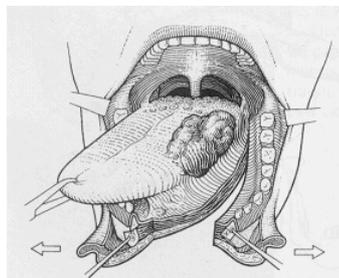


Figura 1. Mandibulotomia segmentada ou osteotomia mandibular.



Figura 2. Corte mediano observado em vista frontal através de modelos fotoelásticos.

O procedimento cirúrgico envolve o conhecimento e compreensão das forças que agem sobre o complexo maxilomandibular, subsidiando assim, a avaliação dos melhores tipos de mandibulotomia

e propiciando uma recuperação melhor no processo pós-operatório. Para realizar estas cirurgias, os especialistas utilizam imagens adquiridas através de raios-x ou de tomografia computadorizada, Cline, H. E. et. Ali (1991) e elegem os procedimentos com base em sua experiência.

2.1. Tipos de Mandibulotomia

Esta abordagem cirúrgica pode ser realizada em três localizações: lateral (através do corpo ou ângulo da mandíbula), linha média e linha paramediana (Shah, 2000).

Do ponto de vista biomédico, a mandibulotomia lateral tem várias desvantagens. Exposição inadequada, tração muscular desigual sobre os dois segmentos mandibulares, transecção do nervo alveolar inferior, deservação e desvascularização dos dentes distais são alguns dos problemas observados. Além disso, se o paciente precisar de radioterapia pós-operatória, o ponto de mandibulotomia estará diretamente dentro do campo lateral de radioterapia, levando a atraso na cicatrização e complicações no local da mandibulotomia. Por estas razões, não se recomenda a mandibulotomia lateral, Parise Jr., O. (2000).

Com a mandibulotomia na linha média anterior são evitadas todas as desvantagens da mandibulotomia lateral. No entanto, separar a mandíbula na linha média requer extração de um dente incisivo central para evitar exposição das raízes de ambos os incisivos centrais, que correm o risco de extrusão. A extração de um incisivo central para evitar o que se explicou, altera o aspecto estético da dentição inferior. Além disso, a mandibulotomia da linha média requer seção de músculos que se originam no tubérculo genial, isto é, o geniioíide e o genioglosso, levando a um retardo da recuperação da função da mastigação e da deglutição. Portanto, a mandibulotomia mediana também não é preferida.

Na mandibulotomia paramediana, mostrada na Fig. (3), não existem as desvantagens da lateral e também se evitam as seqüelas da mandibulotomia na linha média. Oferece vantagens significativas, como ampla exposição, bem como preservação dos músculos geniioíide e genioglosso, levando à preservação do complexo hiomandibular. O único músculo que requer seção é o miloíide, o que leva a mínimas dificuldades na deglutição. A mandibulotomia paramediana não causa desnervação ou desvascularização da pele do mento ou dos dentes e da mandíbula. A fixação no ponto de corte é fácil e o local não cai no campo lateral de radioterapia, se o paciente precisar de radioterapia posteriormente na cavidade oral e a tumores da orofaringe.

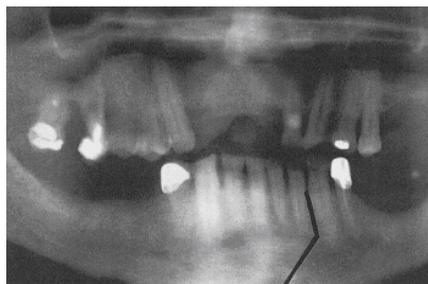


Figura 3 - Radiografia mostrando o local da mandibulotomia paramediana.

Shah (2000), preconiza a mandibulotomia realizada de maneira angulada, secionando o processo alveolar entre o incisivo lateral e o canino em plano vertical por uma distância de aproximadamente 10 mm, ponto em que a incisão da mandibulotomia no osso é angulada mediamente. A angulação na osteotomia fica abaixo do nível das raízes dos dentes adjacentes. O corte angulado proporciona osteotomia mais estável para fixação. No entanto, antes de secionar os ossos, são feitos furos apropriados para a fixação do ponto de corte podendo ser utilizadas miniplacas de titânio, como mostra a Fig. (4).

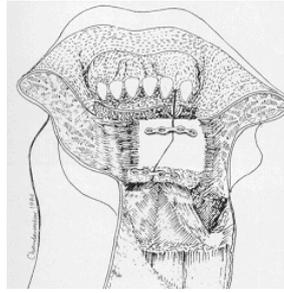


Figura 4 – Fixação da mandibulotomia com miniplacas de titânio e parafusos.

O estudo da distribuição de tensões na mandíbula para a promoção da osteossíntese visa reforçar os conceitos para o planejamento e execução de técnicas cirúrgicas comumente aceitas pela medicina e odontologia. Os casos de ressecções para a remoção de tumores exigem um atendimento altamente especializado e muitas vezes oneroso para o sistema único de saúde, pois o custo cirúrgico muitas vezes não cobre as necessidades dos atendimentos. Para a osteossíntese, são disponibilizados placas e parafusos de titânio ou fios de aço inoxidável. Sendo que o custo das placas é muito maior do que o uso de fios de aço inoxidável, embora ambos sejam igualmente bem aceitos no tratamento. É de conhecimento clínico que a falta de estabilidade dos fragmentos ósseos afeta negativamente no processo de reparação óssea, pois a instabilidade dos fragmentos ou de qualquer corpo estranho metálico promoverá reabsorção óssea, infecção e preenchimento fibroso, aumentando a instabilidade, e retardando ou impossibilitando o processo de cura.

Para a execução da técnica de mandibulotomia é necessária a secção da mandíbula, em uma geometria favorável à estabilidade da osteossíntese. É de conhecimento do cirurgião as vantagens e desvantagens da posição anatômica, muito embora não foi encontrado nenhum estudo sobre a geometria mais favorável para a secção e amarração dos fragmentos ósseos.

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

O objetivo específico deste primeiro trabalho é a avaliação de dois tipos de corte com três tipos de fixação diferentes que podem ser aplicados à técnica de mandibulotomia. Pretende-se conhecer o fenômeno através do gradiente de tensões gerado, para em uma etapa posterior, propor otimizações para a técnica de mandibulotomia, visando fornecer ao especialista, opções de tratamento. É de grande importância que as análises sejam feitas em modelos reais de mandíbulas e em condições de carregamentos similares ao modelo real. Neste primeiro trabalho, estará sendo aplicada apenas uma carga na direção axial ao corte. Por isso, foi utilizado um modelo plano fotoelástico de pequena espessura, de tal forma, que possa ser aplicada a técnica de fotoelasticidade de transmissão plana.

O gradiente de tensões foi observado no modelo fotoelástico após as fixações e também com diferentes níveis de carga aplicada.

Com o intuito de identificar qual o melhor corte, fez-se as seguintes aproximações:

- Para o estudo da distribuição de tensões na interface do corte, simplificou-se o modelo tridimensional de uma mandíbula para um modelo plano, pois o interesse é comparar os dois cortes em questão;
- Utilizou-se um aparato experimental para estimar a constante óptica do material e seu módulo de elasticidade;
- Projetou-se um sistema de carga com o intuito de simular uma força mastigatória qualquer;

A estimativa dos parâmetros físicos, o processo de obtenção dos modelos e de aplicação da carga e de obtenção dos parâmetros fotoelásticos são descritos nos itens abaixo.

3.1. Obtenção dos modelos fotoelásticos

Inicialmente foi feita a construção do molde utilizando um bloco de acrílico com dimensões de 57 x 32 x 7 mm, que foi fixado ao fundo de uma caixa de madeira. O material de moldagem utilizado foi uma borracha de silicone azul com catalisador AZ/BR a uma proporção de 5% em peso. O tempo total de cura foi de 24 h. A Fig. (5) mostra o molde antes de ser retirado das caixas de madeira.



Figura 5 – Moldes em silicone azul.

O material fotoelástico utilizado vêm sendo muito utilizado no Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU, Cleudmar A. A. (2003), pois possui uma excelente resposta ótica a pequenas cargas aplicadas. Portanto, é indicado em muitos modelos dentro da área de biomecânica. Suas limitações são os pequenos valores de carga máxima que pode ser aplicada ao modelo e também um efeito de borda significativo após uma semana de cura.

A resina é preparada utilizando duas partes em peso de resina epóxi do bisfenol A com uma parte em peso de um composto de benzenometanol, isoforonadiamina. Ela é vazada nos moldes de silicone à temperatura ambiente, sendo aguardado um tempo de cura de 24 h. Foram preparados três modelos fotoelásticos visando efetuar dois tipos de corte, mediano e paramediano. No corte paramediano serão feitas duas fixações diferentes.

3.2. Determinação do módulo de elasticidade e constante ótica

A estimativa da constante ótica do material fotoelástico utilizado é uma importante propriedade para a avaliação do nível de tensão gerado nas diferentes configurações, através da análise dos parâmetros óticos. A obtenção do módulo de elasticidade foi obtida visando à utilização dos modelos fotoelásticos para calibrar um modelo de elementos finitos que será apresentado em um outro trabalho. A Fig. (6) mostra o arranjo experimental utilizado para determinar os valores do módulo de elasticidade e da constante ótica do material. O corpo de prova foi submetido a incrementos de forças de tração que foram determinadas através de uma célula de carga de capacidade de 10 Kgf. Os alongamentos do corpo de prova foram obtidos através de um relógio comparador.



(a)



(b)

Figura 6 – Obtenção do módulo de elasticidade e constante ótica - (a): Aparato experimental (b):
Corpo de prova

Através da análise dos dados foram obtidos os seguintes resultados:

- Módulo de elasticidade: 1.3 Mpa
- Constante ótica: 0.3 N/mm

3.3. Cortes e fixações dos modelos fotoelásticos

Os cortes e furos nos modelos foram feitos separadamente. Os cortes simularão a técnica de mandibulotomia mediana e paramediana e foram feitos utilizando uma serra de fita vertical. O primeiro modelo foi segmentado pela base maior, em duas partes iguais. Nos outros dois modelos a secção se deu também pela base maior até o ponto médio e depois com uma inclinação de 45°.

Os furos foram feitos utilizando uma furadeira de bancada com os modelos sendo fixados através de um gabarito de acrílico projetado para garantir uma imobilização, evitando que um eventual deslocamento dos modelos gerasse tensões residuais nos furos. As dimensões de todos os furos utilizados foram de 3mm. A quantidade dos furos e os processos de amarração seguiram um procedimento padrão que, normalmente, seria feito em um eventual procedimento cirúrgico de mandibulotomia mediana ou paramediana. Nas simulações não se obedeceu a distâncias relativas entre os furos e o corte, devido às características do modelo fotoelástico, que é diferente da mandíbula real. Em casos reais esta distância é de aproximadamente 10 mm. Aqui variou entre 3 e 8 mm.

4. RESULTADOS

Após a obtenção dos modelos fotoelásticos cortados e furados procederam-se as fixações. Em casos reais, a estabilidade ou fixação dos cortes no osso é feita com fio de aço inoxidável. Nos modelos fotoelásticos a utilização destes fios não seria adequada, pois poderia rasgar o modelo, uma vez que, as forças máximas que os modelos suportam são pequenas. Por isso, a fixação foi feita com linha de poliéster e os furos foram enrijecidos com tubos de plástico, com o objetivo de se aumentar a sua resistência e evitar o corte dos modelos.

No modelo com corte mediano foi feita uma fixação em X, nos modelos com corte paramediano foi feita uma fixação linear e uma fixação em duplo X. Todas as fixações foram feitas manualmente procurando-se manter uma uniformidade nas forças de amarração. As amarrações foram finalizadas com nós simples.

Os modelos cortados e fixados foram analisados através de um aparato experimental mostrado na Fig. (7). Inicialmente, eles foram posicionados em uma base fixa e foram levados a um polariscópio de transmissão onde foram analisados os pontos críticos e a direção dos esforços, devido ao tracionamento dos fios, através da observação dos efeitos óticos. A Fig. (8) mostra os modelos fotoelásticos sem a aplicação de cargas externas.

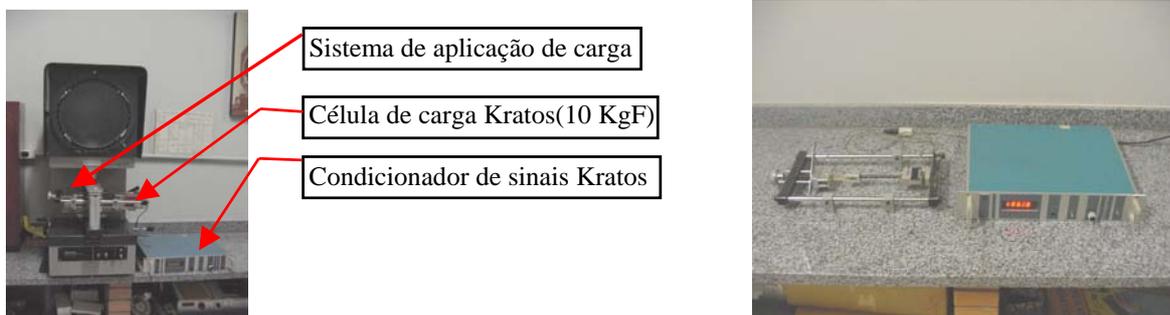
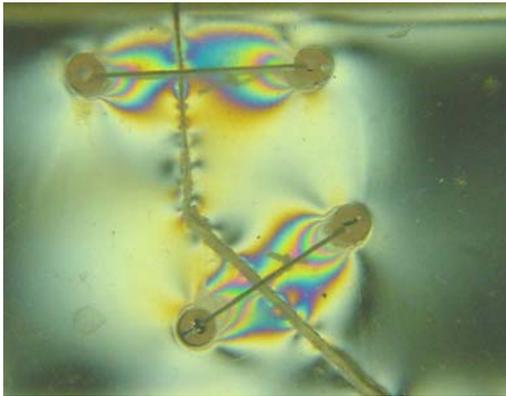
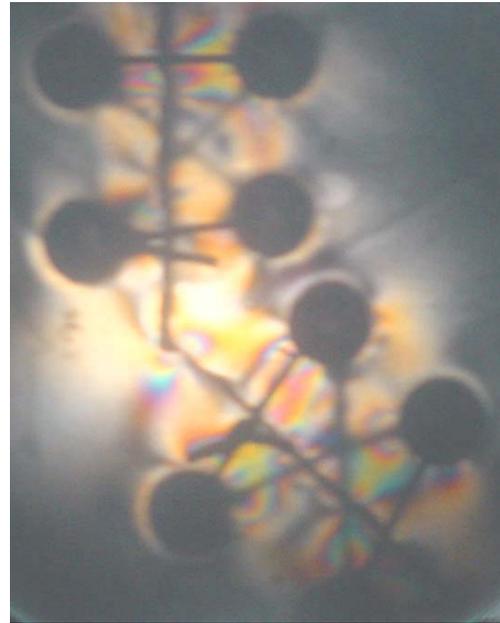


Figura 7. Esquema da montagem experimental.

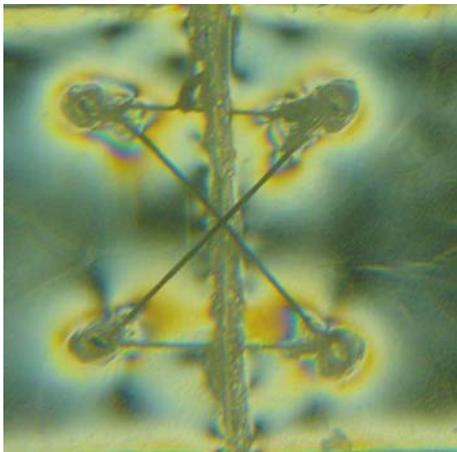
Em uma primeira etapa foram determinados os parâmetros fotoelásticos dos modelos sem a aplicação de carga. As figuras mostram os corte mediano e paramediano com diferentes fixações.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. Modelos fotoelásticos observados no polariscópio de transmissão. (a) Corte paramediano 4 furos com amarração simples. (b) Corte paramediano 8 furos com amarração em x. (c) Corte mediano 4 furos com amarração em X.

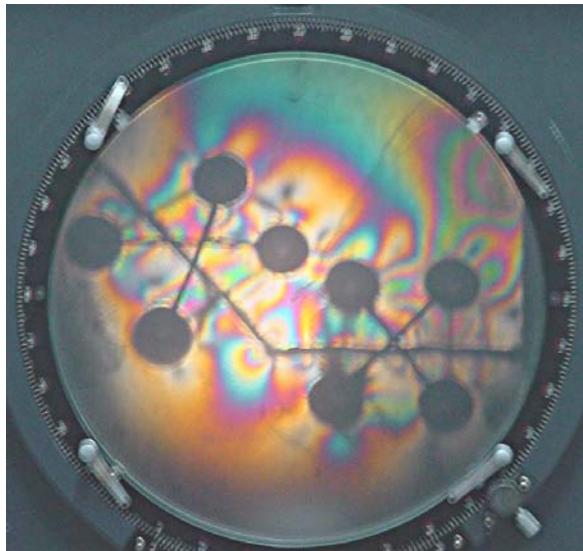
A fig. (9) mostra o comportamento do gradiente de tensões nos modelos para um carregamento de 0.50 Kgf aplicados a aproximadamente 12 mm em relação ao corte. Nesta etapa, não houve preocupação com a aplicação de carregamentos combinados que simulassem as cargas reais em uma mandíbula, uma vez que, os modelos foram simplificados para uma avaliação qualitativa dos cortes e fixações.

Como era esperado, observam-se comportamentos diferentes para os modelos analisados. Em todos os casos o gradiente de tensões foi maior na direção de amarração dos fios. Normalmente, na mandíbula, quando se utiliza fios de aço para a fixação, maiores solicitações poderão ser impostas, porém, avaliando os modelos, pode-se observar que dependendo dos níveis destes esforços, diferentes gradientes de tensões serão gerados ao longo dos cortes. Uma vez que, o processo de osteossíntese seria melhor se um nível de tensões maior e mais uniforme fosse gerado na união dos cortes, percebe-se que este processo, provavelmente, será diferente nos diferentes processos.

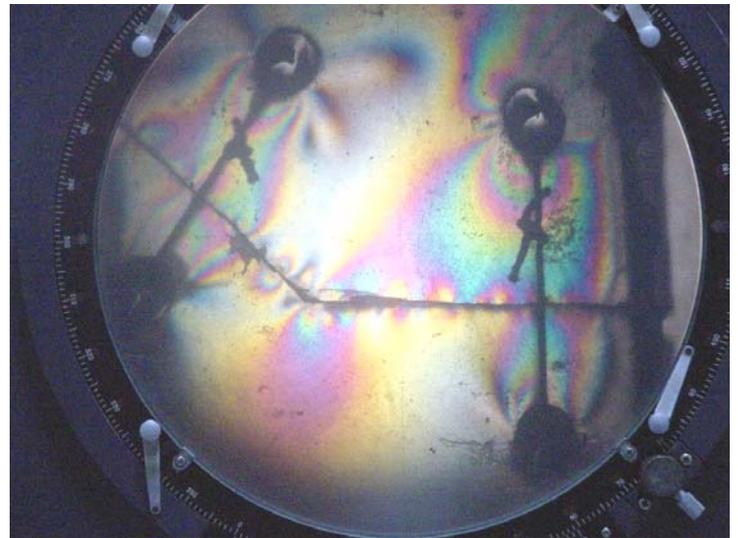
Outra observação interessante é que em todos os modelos, mesmo que se aumente o nível de solicitação, podem ocorrer gradientes de tensão nulos próximos dos cortes (franja zero). Isto não seria muito adequado no processo de osteossíntese.

As ordens de franja máxima observadas foram próximas dos furos ($N=3$), não sendo uniforme entre eles. Este gradiente de tensões não uniforme também ocorreria em casos reais, uma vez que, os processos de amarração também são feitos manualmente pelo cirurgião.

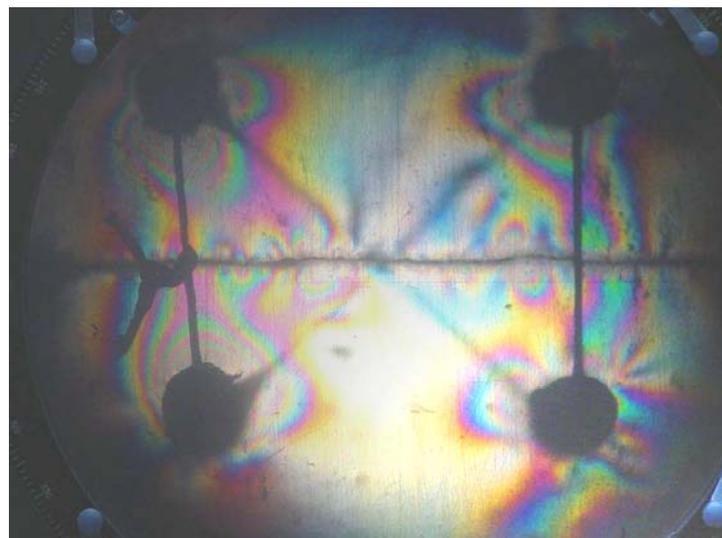
Quanto aos cortes paramedianos analisados, a utilização de oito furos mostrou uma distribuição de tensões bem mais uniforme ao longo do corte do que o paramediano com quatro furos.



(a)



(b)



(c)

Figura 9. Modelos analisados com aplicação de 0.5 Kgf a cerca de 12 mm dos cortes.

Uma vez que a constante ótica do material fotoelástica é baixa (0.4 N/mm), mesmo carga desta magnitude consegue gerar um padrão de franjas considerável, uma vez que a sensibilidade ótica é significativa. Por isso, em todos os modelos com carga externa observou-se um aumento considerável na distribuição de tensões, tanto na região dos furos como ao longo dos cortes. Pode-se observar que o gradiente de tensões, para este tipo de carregamento, aumentou em cerca de 50%. Evidentemente, este é apenas um tipo de carregamento que poderia estar ocorrendo na mandíbula próxima do corte devido ao efeito da mastigação, porém, serve para mostrar que o comportamento tende a ser diferente nos diferentes tipos de corte e pode ter uma influência importante na

osteossíntese. Isto também pode explicar porque alguns pacientes tendem a expulsar, com o tempo, o fio ou as placas utilizadas.

Pode-se observar nos modelos analisados que, para este tipo de carregamento, que as extremidades dos cortes são regiões críticas e que, dependendo da intensidade da força, podem ocorrer gradientes de tensões nulas.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho faz parte de um projeto maior sobre avaliação do processo de mandibulotomia, avaliando os diferentes tipos de corte e fixações. Para isto serão utilizadas técnicas experimental (Fotoelasticidade) e numérica (Elementos finitos) para avaliar o fenômeno. Ele envolve profissionais da Odontologia, Medicina e Engenharia Mecânica e está em sua fase inicial.

Neste trabalho inicial procurou-se avaliar de uma forma qualitativa o comportamento de dois tipos de corte diferentes com três possibilidades de fixação, similares aos casos reais. Paralelamente, aplicou-se um tipo de carregamento externo com o objetivo de se avaliar qual a interferência nos diferentes tipos de corte. Apesar da utilização de modelos simplificados, pode-se observar, qualitativamente, que os tipos de corte analisados possuem gradientes de tensões diferentes e que podem comprometer o processo de osteossíntese, com ou sem carregamento externo.

Evidentemente, para que se possa avaliar de forma precisa os diferentes tipos de corte indicando aquele que seria mais adequado e também propondo otimizações do processo é necessário que modelos mais bem elaborados sejam construídos e analisados, de forma numérica e experimental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANDÃO, L. G., FERRAZ, A. R., 1989, *Cirurgia de Cabeça e Pescoço: Princípios técnicos e terapêuticos*, Roca, v.2, São Paulo.
- CARVALHO, M. B., 2000, *Tratado de Cirurgia de Cabeça e Pescoço e Otorinolaringologia*, Atheneu, v. 1, São Paulo.
- CLEUDMAR, A. A., SÉRGIO, R. B., NEVES, F. D., 2003, Análise do Campo de Tensões em Implantes Dentários do Tipo Hexágono Interno, Hexágono Externo e Cone Morse Usando a Técnica Fotoelástica, POSMEC13, FEMEC/UFU, Uberlândia/MG.
- CLINE, H. E., LORENSEN, W. E., SOUZA S. P., JOLESZ F. A., KIKINIS R., GERIG, G., KENNEDY, T. E., 1991, *3D surface rendered MR images of the brain and its vasculature*. *JCAT*, 15, pp. 344-351.
- DALLY, J. W., RILEY, W. F., 1980, *Experimental Stress Analysis*, 2ª ed., McGraw-Hill Ltda.
- PARISE Jr., O., 2000, *Câncer de boca: Aspectos básicos e terapêuticos*, Sarvier, São Paulo.
- SHAH, J.P., KOWALKI, L.P., 2000, *Cirurgia da Cabeça e Pescoço*, Revinter, Rio de Janeiro. ISBN 85-7309-360-9

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

AVALIATION OF THE STRESS LEVEL IN THE MANDIBULECTOMY PROCESS USING THE PHOTOELASTIC METHOD

Abstract: *The index of tumors in the oral cavity significantly increased, mainly, due the use of the tobacco. In the majority of the cases, the treatment form of these tumors is its resection. This process is made through the access to the oral cavity using the mandibulectomy technique. For this, types of cut in the mandible in function of the tumor position and the condition patient can be different forms. The fixation cuts, in general, is made through plates and titanium screws or steel wires. Thus, the use of an corrected procedure is important, a time that, the reconstruction of the mandible aims at to not only restore its contour, but also its masticating function. The work presents the evaluation of the mandibulectomy technique through the obtained of the stress field using a simplified photoelastic model, where two types of cuts had been analyzed: median and median/oblique mandibular. The models critical points had been obtained through stress levels observed. These analyses had allowed the physician to evaluate, under the biomechanic point of view, the adopted surgical procedures.*

Keywords: *Mandibulectomy, Stress Analysis, photoelasticity.*