

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 11/03/2021.



UNESP - Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Odontologia de Araraquara



Diogo de Vasconcelos Macêdo

**Análise por meio de elementos finitos de placas de reconstrução em
defeitos mandibulares**

Araraquara

2019



UNESP - Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Odontologia de Araraquara



Diogo de Vasconcelos Macêdo

**Análise por meio de elementos finitos de placas de reconstrução em
defeitos mandibulares**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Área de Diagnóstico e Cirurgia, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho para obtenção do título de mestre na área de Cirurgia e Diagnóstico.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Silva Monnazzi

Araraquara

2019

Diogo de Vasconcelos

Análise por meio de elementos finitos de placas de reconstrução em defeitos mandibulares / Diogo de Vasconcelos.-- Araraquara: [s.n.], 2019 69 f.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monnazzi

1. Processamento de imagem assistida por computador
2. Mandíbula 3. Neoplasias maxilomandibulares I. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Marley C. Chiusoli Montagnoli, CRB-8/5646

Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Diogo de Vasconcelos Macêdo

**Análise por meio de elementos finitos de placas de reconstrução em
defeitos mandibulares**

Comissão Julgadora

Tese para obtenção do grau de Mestre em Cirurgia e Diagnóstico

Prof. Dr. Marcelo Silva Monnazzi

Prof. Dr. Valfrido Antônio Pereira Filho

Prof. Dr. Liogi Iwaki Filho

Araraquara, 11 de março de 2019

DADOS CURRICULARES

Diogo de Vasconcelos Macêdo

Nascimento: 31 de março de 1990, Belém do Pará, Pará, Brasil

Filiação: Ubiraelson da Silva Macêdo e Aymêe de Vasconcelos Macêdo

2007/2019: Graduado em Odontologia pela Universidade Federal do Pará no ano de 2012, Aperfeiçoamento em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo, Residência em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Universidade Estadual de Maringá.

Macedo DV. Análise por meio de elementos finitos de placas de reconstrução em defeitos mandibulares. [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2019.

RESUMO

Defeitos segmentares no osso mandibular podem ocorrer após traumatismo local, infecção ou ressecção cirúrgica. Não realizar reconstrução nesses pacientes pode acarretar em prejuízo estético grave, dificuldades na mastigação, fala e consequente diminuição de qualidade de vida. Várias possibilidades reconstrutivas estão disponíveis atualmente, e a estabilização temporária dos segmentos ósseos com placas de reconstrução é comumente utilizada quando a reconstrução óssea imediata não é possível. No entanto, pouca atenção tem sido dada aos aspectos biomecânicos envolvidos neste tipo de abordagem e estudos realizados com biomodelos esbarram na dificuldade de simular as forças musculares envolvidas. A utilização da Análise de Elementos Finitos permite avaliar matematicamente estruturas em um ambiente controlado, e a aplicação de forças em qualquer ponto e/ou direção, aferindo a deformação dos materiais, bem como a tensão aplicada aos mesmos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar placas de reconstrução utilizadas sobre defeitos segmentares, por meio de análise matemática por meio de elementos finitos. Após simulação, foram encontrados menores valores de estresse nas placas de maior espessura, sugerindo maior resistência destas à fratura. Em contrapartida, valores significativamente aumentados de estresse sobre os parafusos estavam presentes nas placas mais espessas.

PALAVRAS-CHAVE: Processamento de imagem assistida por computador. Mandíbula. Neoplasias maxilomandibulares.

Macedo DV. Finite element analysis of reconstruction plates in mandibular defects. [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2019.

ABSTRACT

Segmental defects in the mandibular bone may occur after local trauma, infection or surgical resection. Failure to perform reconstruction in these patients can lead to severe aesthetic impairment, difficulties in chewing, speech, and subsequent decrease in quality of life. Numerous reconstructive possibilities are currently available, and the temporary stabilization of bone segments with reconstruction plates is commonly used when immediate bone reconstruction is not possible. However, little attention has been given to the biomechanical aspects involved in this kind of approach and studies carried out with plastic models can not properly reproduce the muscular forces involved. The use of finite element analysis allows to mathematically evaluate structures in a controlled environment and the application of forces at any point and / or direction, assessing the deformation of the materials, as well as the stress applied to them. Thus, the objective of this study is to evaluate reconstruction plates used on segmental defects through mathematical analysis using finite elements. After simulation, lower stress values were found in the thicker plates, suggesting greater resistance to fracture. In contrast, significantly increased stress values on the screws were present on the thicker plates.

KEYWORDS: Image Processing Computer-Assisted. Mandible. Jaw Neoplasms.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Análise de Elementos Finitos.....	11
2.2 Estabilização Mandibular com Placas de Reconstrução.....	15
3 OBJETIVO.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1 Confeção de Modelos Tridimensionais.....	21
4.2 Simulação Cirúrgica e Distribuição dos Grupos	22
4.3 Modelagem das Placas	25
4.4 Análise de Elementos Finitos.....	31
5 RESULTADOS	36
5.1 Defeito Segmentar Anterior (Grupo 1)	36
5.2 Defeito Segmentar em Corpo Mandibular (Grupo 2)	43
5.3 Defeito Segmentar em Ângulo Mandibular (Grupo 3)	50
6 DISCUSSÃO	57
7 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
ANEXO A	67

1 INTRODUÇÃO

Defeitos segmentares da mandíbula estão presentes na rotina do Cirurgião Buco-Maxilo-Facial e podem ser resultantes de lesões ósseas (malignas ou benignas), trauma ou infecção. Dependendo da localização e extensão do defeito, sequelas funcionais e/ou estéticas são esperadas, podendo incluir dificuldade de fala, mastigação, deglutição e respiração. Além de prejuízos anatômicos e funcionais, o dano psicossocial pode afetar negativamente a qualidade de vida dos pacientes, de modo, que a abordagem cirúrgica deve considerar a reabilitação precoce do doente¹.

O desafio nestes casos reside em definir a melhor forma de tratamento. Diversos métodos de reconstrução estão descritos, mas nenhum deles apresenta aceitação unânime. A utilização de enxerto microvascularizado e placas de reconstrução exhibe as melhores taxas de sucesso e representa atualmente o tratamento de escolha. No entanto, pacientes com comprometimento sistêmico podem não estar aptos a serem submetidos a uma cirurgia de grandes proporções, de maior duração e com necessidade de um segundo sítio cirúrgico (doador), o que acarreta em maior morbidade do procedimento²⁻⁴.

Ainda, altas taxas de recidiva podem advogar contra a reconstrução óssea em um primeiro momento, especialmente se a possibilidade de verificação das margens da peça não estiver disponível de forma imediata. Assim, alguns autores preferem acompanhar as margens da lesão durante algum tempo, antes de reestabelecer a continuidade óssea da mandíbula, uma vez que a presença de um enxerto poderia dificultar a visualização de uma lesão recorrente nos cotos ósseos^{5,6}.

Nestes casos, os segmentos ósseos são estabilizados temporariamente com auxílio de placas e parafusos de titânio em um sistema de carga suportada, preservando o contorno mandibular até que o enxerto ósseo possa ser realizado, embora a utilização destes materiais não substitua o procedimento de enxertia futuro. Assim, vários sistemas foram desenvolvidos, passando por placas customizadas de corpo maciço de titânio a placas de estoque, sem personalização, e dependentes de modelagem manual pelo cirurgião, com ou sem travamento dos parafusos.

Um problema quando é realizada a estabilização do defeito ósseo apenas com placas e parafusos de titânio é a alta taxa de falha associada a esta abordagem, incluindo exposição do material de fixação, parafusos soltos e fratura da placa⁷⁻⁹. Diversos fatores influenciam nestas taxas de complicação, incluindo a localização e extensão do defeito, distribuição dos parafusos e qualidade do tecido mole circunjacente, o que justifica mudanças no desenho das placas utilizadas^{6,8,10-12}.

Desta forma, parece lógico que evitar forças de tensão e estresse ao redor de componentes específicos da placa e dos parafusos pode alterar a estabilidade e integridade do material de fixação a longo prazo. Ainda, a distribuição dos componentes deve ser avaliada e modificada a depender do tipo e tamanho de defeito a ser tratado, mantendo um desenho que atenda ao maior número possível de situações clínicas sem que haja necessidade de customização. No entanto, poucos trabalhos avaliaram a distribuição de forças em diferentes distribuições de parafusos e desenhos de placas de reconstrução.

Estudos *in vitro* utilizando mandíbulas sintéticas ou peças anatômicas permitem que sejam avaliadas a estabilidade mecânica de diversas fixações, mas requerem amostras grandes e no caso de mandíbulas de cadáver, a obtenção dessas amostras é inviável. Também, estudos com biomodelos por vezes mostraram resultados conflitantes^{13,14}. Ainda, estudos biomecânicos encontram dificuldades em replicar as forças musculares que atuam sobre o osso mandibular.

Alternativamente ao estudo com biomodelos, a Análise de Elementos Finitos (AEF) utiliza dados computacionais para gerar simulações. Assim, por meio de dados matemáticos, é possível avaliar a distribuição de carga, tensão e estresse sobre uma determinada superfície e/ou objeto com quantidade de detalhes satisfatória. Ainda, o programa permite diversos cenários de simulação, permitindo o controle da complexidade dos objetos estudados. A precisão da AEF em análise de modelos ósseos em associação ou não com fixação interna rígida de ligas de titânio já foi estabelecida na literatura por diversos autores¹⁵⁻¹⁹ e permite uma análise mecânica aprofundada, que seria difícil de ser alcançada por outros meios.

Assim, embora técnicas que permitam a enxertia de áreas ressecadas sejam consideradas o tratamento de escolha, existem complicações e limitações inerentes à técnica e morbidade pós-operatória quando associado um enxerto autógeno. A utilização de placas de reconstrução isoladamente representa ainda uma alternativa quando existem condições locais ou sistêmicas que contraindiquem a reconstrução primária.

Entretanto, esta abordagem está associada a um número relativamente alto de complicações. A manipulação do material pode ser difícil, aumentando o tempo clínico da intervenção cirúrgica e dificultando a adaptação adequada. Procurando lidar com estas complicações, diversas placas têm sido disponibilizadas no mercado, com espessuras variadas; mas poucos trabalhos relataram a influência destas alterações sobre o estresse exercido na interface placa-parafuso-osso. Desta forma, se faz necessária a comparação de diferentes configurações de fixação óssea em áreas com perda de continuidade, no intuito de orientar a conduta do cirurgião em busca de melhores resultados.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição de tensão nas placas e parafusos de sistemas 2,4mm (com travamento) de placas de reconstrução, quando utilizadas para estabilizar defeitos segmentares em mandíbula.

Sob as condições deste experimento, foi possível concluir:

- Valores diminuídos de tensão se concentraram sobre as placas conforme o aumento da espessura das mesmas, o que sugere maior resistência destas.
- O aumento da espessura das placas se traduz em um aumento significativo das forças distribuídas sobre os parafusos.
- Defeitos segmentares na porção sinfisária da mandíbula se apresentaram como aqueles mais deletérios no que tange à distribuição de forças sobre os materiais simulados.

Para trabalhos futuros, seria interessante analisar os resultados obtidos neste estudo com dados colhidos por meio de outras análises (ensaios mecânicos e fotoelásticos, por exemplo), avaliando a distribuição da tensão, bem como distribuições alternativas dos parafusos e desenhos de placas que busquem melhor distribuição das forças nas áreas críticas, considerando a utilização do material no campo cirúrgico.

REFERÊNCIAS*

1. Urken ML, Buchbinder D, Weinberg H, Vickery C, Sheiner A, Parker R, et al. Functional evaluation following microvascular oromandibular reconstruction of the oral cancer patient. *Laryngoscope*. 1991; 101(9): 935-50.
2. Bak M, Jacobson AS, Buchbinder D, Urken ML. Contemporary reconstruction of the mandible. *Oral Oncol*. 2010; 46(2): 71–6.
3. Goh BT, Lee S, Tideman H, Stoelinga PJW. Mandibular reconstruction in adults: a review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2008; 37(7): 597–605.
4. Hidalgo D a, Pusic AL. Free-flap mandibular reconstruction: a 10-year follow-up study. *Plast Reconstr Surg*. 2002; 110(2): 438-51.
5. Lindqvist C, Söderholm A-L, Laine P, Paatsama J. Rigid reconstruction plates for immediate reconstruction following mandibular resection for malignant tumors. *J Oral Maxillofac Surg*. 1992; 50(11): 1158–63.
6. Irish JC, Gullane PJ, Gilbert RW, Brown DH, Birt BD, Boyd JB. Primary Mandibular reconstruction with the titanium hollow screw reconstruction plate: evaluation of 51 cases. *Plast Reconstr Surg*. 1995; 96(1).
7. Onoda S, Kimata Y, Yamada K, Sugiyama N, Onoda T, Eguchi M, et al.. Prevention points for plate exposure in the mandibular reconstruction. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2012; 40: 310–4.
8. Spencer KR, Sizeland A, Taylor GI, Wiesenfeld D. The use of titanium mandibular reconstruction plates in patients with oral cancer. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1999; 28(4): 288–90.
9. Markwardt J, Pfeifer G, Eckelt U, Reitemeier B. Analysis of complications after reconstruction of bone defects involving complete mandibular resection using finite element modelling. *Onkologie*. 2007; 30(3).
10. Wong RCW, Tideman H, Kin L, Merckx MAW. Biomechanics of mandibular reconstruction: a review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2010; 39(4): 313–9.
11. Arden RL, Rachel JD, Marks SC, Dang K. Volume-Length Impact of Lateral Jaw Resections on Complication Rates. *Arch Otolaryngol Neck Surg*. 1999; 125(1): 68.
12. Disher MJ, Esclamado RM, Sullivan MJ. Indications for the AO Plate With a Myocutaneous Flap Instead of Revascularized Tissue Transfer for Mandibular Reconstruction. *Laryngoscope*. 1993; 103(11): 1264-1268.

* 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-normalizacaoatualizado.pdf>.

13. Haug RH, Fattahi TT, Goltz M. A Biomechanical Evaluation of Mandibular Angle Fracture Plating Techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* 2001; 59: 1199–210.
14. Alexander RE. A three-dimensional study of bending and torsion moments for different fracture sites in the mandible: An in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1997; 26: 383.
15. Kimura A, Nagasao T, Kaneko T, Tamaki T, Miyamoto J, Nakajima T. Adequate fixation of plates for stability during mandibular reconstruction. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2006; 34(4): 193-200.
16. Gutwald R, Jaeger R, Lambers FM. Customized mandibular reconstruction plates improve mechanical performance in a mandibular reconstruction model. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2017; 20(4): 426-35.
17. Torreira MG, Ndez JF. A three-dimensional computer model of the human mandible in two simulated standard trauma situations. *J Cranio-Maxillofacial Surg Eur Assoc Cranio-Maxillofacial Surg.* 2004; 32: 303–7.
18. Nagasao T, Kobayashi M, Tsuchiya Y, Kaneko T, Nakajima T. Finite element analysis of the stresses around endosseous implants in various reconstructed mandibular models. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2002; 30(3): 170-7.
19. Ji B, Wang C, Liu L, Long J, Tian W, Wang H. A biomechanical analysis of titanium miniplates used for treatment of mandibular symphyseal fractures with the finite element method. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2010; 109(3): 21–7.
20. Knoll W-D, Gaida A, Maurer P. Analysis of mechanical stress in reconstruction plates for bridging mandibular angle defects. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2006; 34(4): 201-9.
21. Nagasao T, Miyamoto J, Tamaki T, Kawana H. A comparison of stresses in implantation for grafted and plate-and-screw mandible reconstruction. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2010; 109(3): 346-56.
22. Wu W, Zhang L, Zhao J, Qu X, Zhao D, Zhang Y, et al.. The fatigue simulation analysis of customized implanted titanium plate for human mandible bone reconstruction. Vols. 300–301, *Applied Mechanics and Materials.* 2013; 1: 300-1.
23. Vajgel A, Camargo IB, Willmersdorf RB, De Melo TM, Filho JRL, De Holanda Vasconcellos RJ. Comparative finite element analysis of the biomechanical stability of 2,0 fixation plates in atrophic mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013; 71(2): 335-42.
24. Li P, Tang Y, Li J, Shen L, Tian W, Tang W. Establishment of sequential software processing for a biomechanical model of mandibular reconstruction with custom-made plate. *Comput Methods Programs Biomed.* 2013; 111(3): 642-9.

25. Jedrusik-Pawłowska M, Kromka-Szydek M, Katra M, Niedzielska I. Mandibular reconstruction - Biomechanical strength analysis (FEM) based on a retrospective clinical analysis of selected patients. *Acta Bioeng Biomech.* 2013; 15(2): 23-31.
26. Li P, Shen L, Li J, Liang R, Tian W, Tang W. Optimal design of an individual endoprosthesis for the reconstruction of extensive mandibular defects with finite element analysis. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2014; 42(1): 73-8.
27. Narra N, Valášek J, Hannula M, Marcián P, Sándor GK, Hyttinen J, et al.. Finite element analysis of customized reconstruction plates for mandibular continuity defect therapy. *J Biomech.* 2014; 47(1): 1-5.
28. Bujtár P, Simonovics J, Váradi K, Sándor GKB, Avery CME. The biomechanical aspects of reconstruction for segmental defects of the mandible: A finite element study to assess the optimisation of plate and screw factors. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2014; 42(6): 855-62.
29. Al-Ahmari A, Nasr EA, Moiduddin K, Anwar S, Kindi MA, Kamrani A. A comparative study on the customized design of mandibular reconstruction plates using finite element method. *Adv Mech Eng.* 2015; 7(7): 1-11.
30. Park S-M, Lee D, Lee J-W, Kim Y, Kim L, Noh G. Stability of the permanently bent plates used in mandibular reconstructive surgery. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS.* 2016; (1): 2198-201.
31. Jahadakbar A, Shayesteh Moghaddam N, Amerinatanzi A, Dean D, Karaca H, Elahinia M. Finite Element Simulation and Additive Manufacturing of Stiffness-Matched NiTi Fixation Hardware for Mandibular Reconstruction Surgery. *Bioengineering.* 2016; 3(4): 36.
32. Şanal KO, Özden B, Baş B, Sanal KO, Ozden B, Bas B, et al.. Finite Element Evaluation of Different Osteosynthesis Variations That Used After Segmental Mandibular Resection. *J Craniofac Surg.* 2017; 28(1): 61–5.
33. Gutwald R, Jaeger R, Lambers FM. Customized mandibular reconstruction plates improve mechanical performance in a mandibular reconstruction model. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2017; 20(4): 426–35.
34. Kim MR, Donoff RB. Critical analysis of mandibular reconstruction using AO reconstruction plates. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992; 50(11): 1152–7.
35. Yi Z, Jian-Guo Z, Guang-Yan Y, Ling L, Fu-Yun Z, Guo-Cheng Z. Reconstruction plates to bridge mandibular defects: a clinical and experimental investigation in biomechanical aspects. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1999; 28(6): 445–50.
36. Shibahara T, Noma H, Furuya Y, Takaki R. Fracture of mandibular reconstruction plates used after tumor resection. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002; 60(2): 182–5.

37. Martola M, Lindqvist C, Hänninen H, Al-Sukhun J. Fracture of titanium plates used for mandibular reconstruction following ablative tumor surgery. *J Biomed Mater Res Part B Appl Biomater*. 2007; 80(2): 345–52.
38. Koriath TWP, Hannam AG. Deformation of the Human Mandible During Simulated Tooth Clenching. *J Dent Res*. 1994; 73(1): 56–66.
39. Archangelo CM, Rocha EP, Pereira JA, Junior MM, Anchieta RB, Chagas A, et al.. Periodontal ligament influence on the stress distribution in a removable partial denture supported by implant : a finite element analysis. *J Appl Oral Sci*. 2012; 20(3): 362–8.
40. Curtis DA, Plesh O, Miller AJ, Curtis TA, Sharma A, Schweitzer R, et al.. A comparison of masticatory function in patients with or without reconstruction of the mandible. *Head Neck*. 1997; 73: 287–96.
41. Sommerfeld R. Análise por Elementos Finitos das Forças Mastigatórias em uma Placa de Reconstrução Mandibular. *Rev Cir Traumatol Buco-Maxilo-Fac* 2016; (1): 13–7.
42. Stringhini DJ, Sommerfeld R, Uetanabaro LC, Leonardi DP, Araújo MR, Rebollato NLB, et al.. Resistance and stress finite element analysis of different types of fixation for mandibular orthognathic surgery. *Braz Dent J*. 2016; 27(3): 284–91.
43. Choi AH, Conway RC. Three-dimensional modelling and finite element analysis of the human mandible during clenching. *Aust Dent J*. 2005; 50(1): 42–8.
44. Kimura A, Nagasao T, Kaneko T, Tamaki T, Miyamoto J, Nakajima T. Adequate fixation of plates for stability during mandibular reconstruction. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2006; 34(4): 193–200.
45. Lin T-S, Tsai F-D, Chen C-Y, Lin L-W. Factorial analysis of variables affecting bone stress adjacent to the orthodontic anchorage mini-implant with finite element analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2013; 143(2): 182–9.
46. Bidez MW, Misch CE. Force transfer in implant dentistry: basic concepts and principles. *J Oral Implantol*. 1992; 18(3): 264–74.
47. Tang C-B, Liu S-Y, Zhou G-X, Yu J-H, Zhang G-D, Bao Y-D, et al.. Nonlinear finite element analysis of three implant–abutment interface designs. *Int J Oral Sci*. 2012; 4(2): 101–8.
48. Brunski JB. Biomechanical factors affecting the bone-dental implant interface. *Clin Mater*. 1992; 10(3): 153–201.
49. Geng J-P, Tan KBC, Liu G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: A review of the literature. *J Prosthet Dent*. 2001; 85(6): 585–98.

50. Baggi L, Pastore S, Di Girolamo M, Vairo G. Implant-bone load transfer mechanisms in complete-arch prostheses supported by four implants: A three-dimensional finite element approach. *J Prosthet Dent*. 2013; 109(1): 9–21.
51. Winter W, Krafft T, Steinmann P, Karl M. Quality of alveolar bone — Structure-dependent material properties and design of a novel measurement technique. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2011; 4(4): 541–8.
52. Hoard MA, Bill TJ, Campbell RL. Reduction in morbidity after iliac crest bone harvesting: the concept of preemptive analgesia. *J Craniofac Surg*. 1998; 9(5): 448–51.
53. Foster RD, Anthony JP, Sharma A, Pogrel MA. Vascularized bone flaps versus nonvascularized bone grafts for mandibular reconstruction: an outcome analysis of primary bony union and endosseous implant success. *Head Neck*. 1999; 21(1): 66–71.
54. Horiuchi K, Hattori A, Inada I, Kamibayashi T, Sugimura M, Yajima H, et al.. Mandibular reconstruction using the double barrel fibular graft. *Microsurgery*. 1995; 16(7): 450–4.
55. Rogers SN, Lowe D, Fisher SE, Brown JS, Vaughan ED. Health-related quality of life and clinical function after primary surgery for oral cancer. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2002; 40(1): 11–8.
56. Vaughan ED, Bainton R, Martin IC. Improvements in morbidity of mouth cancer using microvascular free flap reconstructions. *J Craniomaxillofac Surg*. 1992; 20(3): 132–4.
57. Doty JM, Pienkowski D, Goltz M, Haug RH, Valentino J, Arosarena O a. Biomechanical evaluation of fixation techniques for bridging segmental mandibular defects. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2004; 130(12): 1388–92.