

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 08/03/2025.



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Renato Torres Augusto Neto

Avaliação da osseointegração e da resistência biomecânica de um novo desenho de implante dentário

Araraquara

2023



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Renato Torres Augusto Neto

Avaliação da osseointegração e da resistência biomecânica de um novo desenho de implante dentário

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

Orientador: Valfrido Antonio Pereira Filho

Coorientadora: Ana Paula Farnezi Bassi

Araraquara

2023

A923a

Augusto Neto, Renato Torres

Avaliação da osseointegração e da resistência biomecânica de um novo desenho de implante dentário / Renato Torres Augusto Neto. -- Araraquara, 2023

93 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara

Orientador: Valfrido Antonio Pereira Filho

Coorientadora: Ana Paula Farnezi Bassi

1. Implantes dentários. 2. Osseointegração. 3. Interface osso-implante. 4. Estresse mecânico. 5. Fraturas de estresse. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Renato Torres Augusto Neto

Avaliação da osseointegração e da resistência biomecânica de um novo desenho de implante dentário

Comissão julgadora

Tese para obtenção do grau de Doutora em Ciências Odontológicas

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

2º Examinador: Prof. Dr. Marcelo Gonçalves

3º Examinador: Profª. Dra. Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli

4º Examinador: Profª. Dra. Ana Paula Farnezi Bassi

5º Examinador: Prof. Dr. Guilherme José Pimentel Lopes de Oliveira

Araraquara, 08 de março de 2023

DADOS CURRICULARES

Renato Torres Augusto Neto

Nascimento	09/01/1990 – Araraquara, São Paulo, Brasil
Filiação	Maria Cristina de Pauli Torres Renato Torres Augusto Junior
2009-2014	Graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - FOAr/Unesp, São Paulo.
2014	Estágio em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - FOAr/Unesp, Araraquara, São Paulo, Brasil.
2015 – 2018	Residência em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial Universidade de São Paulo - USP, Ribeirão Preto, Brasil. Bolsista do Ministério da Saúde – Residência Multiprofissional.
2019- 2023	Doutorado em andamento em Ciências Odontológicas, área de Diagnóstico e Cirurgia (Conceito CAPES 5) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Brasil. Orientador: Valfrido Antonio Pereira Filho. Bolsista: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil. Grande área: Ciências da Saúde.

Dedico este trabalho a **Deus**; à minha família, que é minha base, **Maria Cristina de Pauli Torres, Renato Torres Augusto Junior, Rodrigo Torres Augusto e Lilia Denize Souza da Silva**, e, à minha noiva e amiga, **Deborah Laurindo Pereira Santos**.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais essa etapa cumprida na minha vida, por me guardar, proteger em tudo o que fiz durante esta jornada, por me dar sabedoria, calma, força e, principalmente, paciência.

Aos meus pais, Maria Cristina de Pauli Torres e Renato Torres Augusto Junior, por todo amor, zelo, dedicação, apoio incondicional, e, sempre acreditarem e incentivarem os meus estudos, não medindo esforços para que meus sonhos se realizassem, e, por todos os sacrifícios feitos para alcançar mais este objetivo.

Ao meu irmão, Rodrigo Torres Augusto, colega de profissão e parceiro de vida; a minha “irmã” de coração Lilia Denize de Souza Silva, que ajudou meus pais, cuidando de mim e meu irmão, quando eles não estavam presentes fisicamente.

À minha noiva e amiga, Deborah Laurindo Pereira Santos, por todo o amor, incentivo, apoio durante o período de pós-graduação, não deixando desistir ou titubear. Não teria conseguido sem você.

Ao meu orientador desde a graduação, Prof. Dr. Valfrido Antonio Pereira Filho, pela amizade, consideração, conselhos, broncas e risadas. Agradeço por toda atenção e carinho durante a graduação, estágio, residência e doutorado. Sempre presente!

À querida Profa Dra. Ana Paula Farnezi Bassi, por todo apoio, amizade, ajuda, paciência, compreensão, dedicação e sempre acessível e com clareza nas explicações, e, sem a qual dificultaria a realização deste trabalho. Eterna gratidão a senhora e seus.

Aos Professores Mario Real Gabrielli, Marisa Aparecida Cabrini Gabrielli, Eduardo Hochuli Vieira, Roberto Henrique Barbeiro, José Scarso Filho, Marcelo Silva Monnazzi, por me ensinarem a buscar a excelência na profissão.

Ao Cristiano Afonso Lamounier por todas as orientações, incansável na ajuda, desde o processo seletivo até a fase final. Ser humano ímpar e espetacular.

À Thelma Aparecida Gonçalves e ao Antônio Medeiros Filho, pelas conversas, conselhos e amizade, além do suporte técnico.

À Suleima Ferreira, pela paciência nas instruções de funcionamento do laboratório e orientações no processamento das amostras, bem como, as conversas, ajudando a tornar tudo possível.

À Priscila Gabriela Gentile Consolaro e Isabela Manzolli, por toda ajuda, bons papos e risadas para aliviar a dificuldade do dia a dia.

Aos meus queridos amigos de pós-graduação, Guilherme dos Santos Trento, Pedro Henrique Azambuja Carvalho, Lilian Caldas Quirino de Almeida, Luiz Henrique Torres, Luiz

Henrique Marola, Nathalia Marques, que sempre estiveram dispostos a ajudar como fosse. Vocês foram vitais, na execução para tornar mais leve todo esse trabalho, obrigado por tudo.

Aos meus queridos amigos da Unesp de Araçatuba, Vinicius Ferreira Bizelli, Ana Maira Baggio, Stéfani Ferriolli, Guilherme Prado e Izabela Fornazari Delamura, que quando eu estava distante, se colocavam à disposição para socorrer de diversas formas, principalmente, ajudando com os animais quando houvesse necessidade.

Ao Sr. João, bioterista da Unesp Araçatuba, que foi importante durante todo o processo experimental com os animais.

A Heddie Ricci, diretor executivo da empresa Bionnovation®, pela confiança e apoio na execução deste trabalho, provendo todo o material e insumos necessários, além, de todo o apoio técnico e científico.

Aos residentes do Serviço de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial do Departamento de Diagnóstico e Cirurgia da Unesp de Araraquara pela amizade, presteza e colaboração.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), em especial à Faculdade de Odontologia de Araraquara, minha alma mater, a qual devo boa parte da minha formação como homem e, principalmente, como profissional. Imensurável gratidão.

Aos animais utilizados nos experimentos desta tese de doutorado, sempre tratados com muito respeito e carinho.

A CAPES: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

“Combati o bom combate, terminei a corrida, guardei a fé.”

2 Timóteo 4:7*

* Bíblia, N. T. 2ª Carta de São Paulo a Timóteo. In BÍBLIA. Português. Sagrada Bíblia Católica: Antigo e novo Testamentos. Tradução de José Simão. São Paulo: Sociedade Bíblica de Aparecida; 2008.

Augusto Neto RT. Avaliação da osseointegração e da resistência mecânica de um novo desenho de implante dentário [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

RESUMO

As reabilitações de áreas desdentadas com implantes ósseointegráveis, em regiões de baixa quantidade e qualidade óssea, são desafios que estimulam as pesquisas para o desenvolvimento de modificações nos implantes dentários a fim de melhorar seu desempenho nestas condições. Algumas das principais modificações são alterações na macro e microgeometria. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em modelo animal, o reparo ósseo periimplantar de uma nova geometria de implante, de ápice oco e perfurações na superfície (SWE), em relação a um implante convencional (controle). Para tanto, foram utilizados 30 coelhos da espécie *Oryctolagus cuniculus* (New Zealand), divididos em dois grupos de acordo com o tipo de implante utilizado, sendo os tempos de avaliação 15, 30 e 60 dias. Foram realizadas as análises de frequência de ressonância, contra torque, uCT, histologia e histomorfometria. Os resultados foram formatados em 3 artigos científicos. O primeiro artigo é relacionado à estabilidade primária, o segundo a osseointegração e estabilidade secundária, e, o terceiro à qualidade e quantidade do reparo ósseo periimplantar. Não houve diferenças estatisticamente significativas na avaliação do ISQ, porém foi encontrada diferença no teste de torque reverso, no qual os grupos de 15 dias apresentaram diferenças estatisticamente inferiores (controle $26,06 \pm 7,31$; teste $24,88 \pm 4,80$), em relação aos grupos de 30 (controle $44,3 \pm 7,42$; teste $53,2 \pm 10,12$) e 60 dias (controle $44,28 \pm 12,93$; teste $49,2 \pm 7,97$). As comparações microtomográficas foram realizadas nos grupos controle e SWE, como também entre Roscas x Câmara de reparo no implante SWE; houve diferença estatística no período de 15 dias para as análises BV (controle 3181347 ± 228760 ; teste 4123507 ± 158372) e BV/TV (controle $29,93 \pm 2,108$; teste $38,95 \pm 1,528$); quando comparamos Roscas x Câmara, tivemos diferença estatísticas em todas as análises ($P > 0,05$; IC 95%). A avaliação histológica mostrou processo de reparo normal entre os dois grupos na porção coronal, enquanto na parte apical houve um retardo na parte interna da câmara. Nas análises de BIC e BAFO as comparações foram realizadas nos grupos controle e SWE, como também entre Roscas x Câmara de reparo no implante SWE. Houve diferença estatística entre os grupos apenas na porção medular, sendo para BIC: 15 dias (controle $25,88 \pm 10,45$; teste $51,56 \pm 8,712$); 30 dias (controle $30,02 \pm 4,594$; teste $35,17 \pm 1,926$); 60 dias (controle $25,67 \pm 5,254$; teste $31,26 \pm 2,507$), e, para BAFO: 30 dias (controle $16,59 \pm 3,595$; teste $22,01 \pm 3,218$). Assim, é possível afirmar que o implante SWE passa pelo mesmo processo de osseointegração que o implante controle, e a câmara apical auxilia na osseointegração na região medular.

Palavras chave: Implantes dentários. Osseointegração. Interface osso-implante. Estresse mecânico. Fraturas de estresse.

Augusto Neto RT Osseointegration and biomechanical evaluation of a new dental implant design [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

ABSTRACT

Rehabilitation of edentulous areas with osseointegrated implants in regions of low bone quantity and quality can be challenging. In order to improve their performance in these conditions, researches for the development of modifications in dental implants are needed. Some of the main modifications are changes in macro and microgeometry. Using animal model, the objective of this study was to evaluate the periimplant bone repair of a new implant geometry, with a hollow apex and surface perforations (SWE) when compared to conventional implant (control group). For this purpose, 30 rabbits of the species *Oryctolagus cuniculus* (New Zealand) were used divided into two groups according to the type of implant used, considering the evaluation times being 15, 30 and 60 days. Analyzes of resonance frequency, counter torque, uCT, histology and histomorphometry were performed. The results were formatted in 3 scientific articles. The first article is related to primary stability. The second article is about osseointegration and secondary stability. The third aims on quality and quantity of periimplant bone repair. There were no statistically significant differences in the ISQ assessment, but difference was found in the reverse torque test, in which the 15-day groups showed statistically lower differences (control 26.06 ± 7.31 ; test 24.88 ± 4.80), in relation to the groups of 30 (control 44.3 ± 7.42 ; test 53.2 ± 10.12) and 60 days (control 44.28 ± 12.93 ; test 49.2 ± 7.97). Microtomographic comparisons were performed in the control and SWE groups, as well as between Threads x Repair chamber in the SWE implant; there was a statistical difference in the 15-day period for the BV (control 3181347 ± 228760 ; test 4123507 ± 158372) and BV/TV (control 29.93 ± 2.108 ; test 38.95 ± 1.528) analyses. When comparing Threads x Chamber, we had statistical differences in all analyzes ($P > 0.05$; 95%CI). The histological evaluation showed a normal repair process between the two groups in the coronal portion, while in the apical part there was a delay in the inner part of the chamber. In the bone to implant contact (BIC) and bone area fraction occupancy (BAFO) analyses, comparisons were made in the control and SWE groups, as well as between Threads x Repair chamber in the SWE implant. There was statistical difference between the groups only in the medullary portion, for BIC: 15 days (control 25.88 ± 10.45 ; test 51.56 ± 8.712); 30 days (control 30.02 ± 4.594 ; test 35.17 ± 1.926); 60 days (control 25.67 ± 5.254 ; test 31.26 ± 2.507), and for BAFO: 30 days (control 16.59 ± 3.595 ; test 22.01 ± 3.218). Thus, it is possible to state that the SWE implant undergoes the same osseointegration process as the control implant, and the apical chamber assists in osseointegration in the medullary region.

Keywords: Dental implants. Osseointegration. Bone-implant interface. Mechanical, stress. Fractures, stress.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROPOSIÇÃO	13
3 PUBLICAÇÕES	14
3.1 Publicação 1	14
3.2 Publicação 2	33
3.3 Publicação 3	58
4 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A	80
ANEXO A	93

1 INTRODUÇÃO

Os implantes dentários modificaram a forma como a odontologia realiza a reabilitação de pacientes com perda parcial ou total de elementos dentários, muitas vezes apresentando-se como a principal alternativa nestas situações¹⁻³. Desde a verificação do processo de osseointegração por Brånemark, o foco das pesquisas em implantodontia tem sido melhorar a qualidade, previsibilidade e taxas de sucesso deste tratamento^{2,4}.

Neste processo a implantodontia vem passando por melhorias nas técnicas de reabilitação e na tecnologia para produção dos implantes, com destaque na melhoria das superfícies como na geometria dos implantes^{2,5}.

A avaliação da geometria dos implantes pode-se subdividir em dois grandes grupos: micro e macrogeometria. Ao avaliar a microgeometria, faz-se referência aos tratamentos de superfície dos implantes, como: adição, ataques ácidos, microabrasões e jateamentos abrasivos, que criam rugosidades no implante gerando uma maior superfície de contato e retenção do coágulo sanguíneo, estimulando o reparo ósseo^{6,7}. A finalidade do processo é de auxiliar na diferenciação e proliferação de osteoblastos, promovendo a osseointegração precoce^{8,9}.

Por sua vez, a macrogeometria trata das alterações visíveis dos implantes, e sendo a área com maior quantidade possibilidades de pesquisas, como formatos do corpo, o tipo de conexão protética, alteração das roscas, formato do ápice¹⁰⁻¹².

Como parte mais significativa do desenho tridimensional podemos citar os formatos de corpo do implante: cônico ou cilíndrico, tendo cada um indicação específica, como: quantidade óssea, condição de reparo do alvéolo, região anatômica e exigência estética^{2,5,13}. O *desenho* e os tipos de roscas foram amplamente estudados, sendo suas recomendações baseadas na quantidade e qualidade do leito de instalação do implante^{2,5,7,13}.

O formato do ápice, rombo ou aplainado, foi muito testado nos primórdios da implantodontia. No início dos anos 2000, uma série de testes demonstraram problemas nos implantes ocos: ausência de formação óssea interna, fraturas durante remoção ou instalação, e, uma menor resistência mecânica, levando ao seu desuso e ficando à margem de novas pesquisas¹⁴. Entretanto, com algumas modificações no

desenho e do protocolo de instalação, um estudo de 2015 demonstrou bom resultado, comprovando assim a eficácia deste tipo de implante¹⁵.

Diversas modificações foram feitas na macrogeometria dos implantes dentários ao longo do tempo, principalmente na tentativa de favorecer a osseointegração, ampliar a área de contato osso-implante, diminuir o torque de inserção mantendo alta estabilidade inicial, e, primordialmente distribuir melhor as forças quando em função².

Segundo Bencharit et al.¹⁶ (2014) o desenho de estruturas tridimensionais capazes de aumentar a superfície de contato osso implante é determinante para melhorar a osseointegração precoce, bem como a estabilidade a longo prazo. Esse aumento de superfície de contato torna – se mais relevante quando da instalação de implantes em áreas ósseas de baixa qualidade, ou mesmo, em alvéolos pós extração³. Steigenga et al.¹³ (2003) sugeriram que o desenho das roscas e a capacidade de compressão do implante com o osso poderia influenciar na taxa de sucesso, a longo prazo, evidenciando a importância da macrogeometria.

Além das propriedades advindas do próprio implante dentário, a adequada vascularização local, a morfologia do leito receptor, a qualidade e quantidade óssea, também são fundamentais para o sucesso do tratamento ^{3,5,17}. Estas condições desfavoráveis justificam a necessidade do desenvolvimento de novas pesquisas, a fim de melhorar as características e assim oferecer uma melhor performance em áreas com menor potencial biológico, como é o caso das variações no desenho de implantes dentários, visando o aumento da área de contato.

4 CONCLUSÃO

Por meio da metodologia empregada neste estudo, foi possível concluir que:

- O implante SWE é capaz de promover boa estabilidade primária e secundária. Não diferindo dos implantes sem ápice oco. Sendo uma opção viável em áreas de menor quantidade ou qualidade óssea.
- Dentro das limitações do estudo e dos períodos avaliados ficou evidente que a alteração macrogeométrica do implante melhora a estabilidade secundária. Entretanto, a qualidade de formação óssea na porção medular, em especial dentro da câmara de reparo apical, ocorre de forma lenta.
- A adição da câmara apical, proporciona uma maior interface de osseointegração nos períodos iniciais do reparo, que pode ser fundamental em casos de baixa qualidade óssea.

REFERÊNCIAS*

1. Albrektsson TO, Johansson CB, Sennerby L. Biological aspects of implant dentistry: osseointegration. *Periodontol* 2000. 1994 Feb; 4: 58–73.
2. Ogle OE. Implant surface material, design, and osseointegration. *Dent Clin North Am*. 2015; 59(2): 505–20.
3. Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Bone Quality and Quantity and dental implant failure: a systematic review and meta-analysis. *Int J Prosthodont*. 2017; 30(3): 219–37.
4. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone augmentation procedures in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009; 24 Suppl: 237-59.
5. Triplett RG, Froberg U, Sykaras N, Woody RD. Implant materials, design, and surface topographies: their influence on osseointegration of dental implants. *J Long Term Eff Med Implants*. 2003; 13(6): 485–501.
6. Dos Santos MV, Elias CN, Cavalcanti Lima JH. The effects of superficial roughness and design on the primary stability of dental implants. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2011; 13(3): 215–23.
7. Le Guehennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dent Mater*. 2007; 23(7): 844–54.
8. Pachauri P, Bathala LR, Sangur R. Techniques for dental implant nanosurface modifications. *J Adv Prosthodont*. 2014; 6(6): 498–504.
9. Zhao J, Hwang KH, Choi WS, Shin SJ, Lee JK. Biological behavior of osteoblast cell and apatite forming ability of the surface modified ti alloys. *J Nanosci Nanotechnol*. 2016; 16(2): 1541–4.
10. Gil FJ, Manzanares N, Badet A, Aparicio C, Ginebra M-P. Biomimetic treatment on dental implants for short-term bone regeneration. *Clin Oral Investig*. 2014;18(1): 59–66.
11. Molly L. Bone density and primary stability in implant therapy. *Clin Oral Implants Res*. 2006; 17 Suppl 2: 124–35.
12. Tete S, Mastrangelo F, Traini T, Vinci R, Sammartino G, Marenzi G et al. A macro- and nanostructure evaluation of a novel dental implant. *Implant Dent*. 2008; 17(3): 309–20.

* 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-atualizado.pdf>

13. Steigenga JT, al-Shammari KF, Nociti FH, Misch CE, Wang H-L. Dental implant design and its relationship to long-term implant success. *Implant Dent.* 2003; 12(4): 306–17.
14. Schwarz MS. Mechanical complications of dental implants. *Clin Oral Implants Res.* 2000; 11 Suppl 1: 156–8.
15. Meirelles L, Brånemark PI, Albrektsson T, Feng C, Johansson C. Histological evaluation of bone formation adjacent to dental implants with a novel apical chamber design: preliminary data in the rabbit model. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17(3): 453–60.
16. Bencharit S, Byrd WC, Altarawneh S, Hosseini B, Leong A, Reside G et al. Development and applications of porous tantalum trabecular metal-enhanced titanium dental implants. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2014; 16(6): 817–26.
17. Goiato MC, dos Santos DM, Santiago JFJ, Moreno A, Pellizzer EP. Longevity of dental implants in type IV bone: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014; 43(9): 1108–16.