

IMPACTO DO LEITO ÓSSEO CIRÚRGICO NA ESTABILIDADE PRIMÁRIA DE IMPLANTES DE DIÂMETRO ESTREITO PRODUZIDOS POR MANUFATURA ADITIVA

LUCAS JARDIM DA SILVA¹; LAURA LOURENÇO MOREL²; ANNA PAULA DA ROSA POSSEBON³; LUCIANA DE REZENDE PINTO⁴; OTACÍLIO LUIZ CHAGAS-JÚNIOR⁵; FERNANDA FAOT⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – lucasjardim179@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – lauramorel1997@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – ap.possebon@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – lucianaderezende@yahoo.com.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – otaciliochagasjr@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – fernanda.faot@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A estabilidade primária é essencial para a osseointegração e depende de fatores como qualidade óssea, macrogeometria do implante e técnica cirúrgica (WAECHTER et al., 2017). Tradicionalmente, densidade óssea tem sido avaliada por métodos subjetivos, como a classificação de LEKHOLM & ZARB (1985), baseiam-se em avaliação subjetiva da densidade óssea (RIBEIRO-ROTTA et al., 2011). No entanto, avanços recentes permitiram o uso de software de imagem que possibilitam uma análise mais precisa da microarquitetura óssea (GILLET et al., 2023). Nesse contexto, observa-se que o osso cortical contribui principalmente para o aumento do torque de inserção (TI), enquanto o osso trabecular exerce maior influência sobre os valores do quociente de estabilidade do implante (ISQ) ao longo do tempo (FEHER et al., 2021).

A macrogeometria do implante também exerce influência sobre o torque de inserção (TI). Implantes cônicos, sobretudo aqueles com roscas de maior agressividade, tendem a promover maior compactação em ossos de baixa densidade, favorecendo a obtenção de estabilidade primária. Em contrapartida, implantes cilíndricos possibilitam uma distribuição mais uniforme das cargas, porém estão associados a valores de torque geralmente mais baixos. (COMUZZI et al., 2023). Com o advento da manufatura aditiva, implantes dentários têm sido produzidos com porosidade controlada e com ajuste da rigidez favorecendo a fixação estável a longo prazo (SHIBLI et al., 2010; PINGUEIRO et al., 2019). Além de reduzir a necessidade de pós-processamento, essas superfícies porosas favorecem adesão celular, remodelação óssea acelerada e resultados clínicos positivos em overdentures (MANGANO et al., 2017).

O TI reflete a densidade óssea no momento da instalação, enquanto o ISQ permite o monitoramento contínuo da rigidez da interface osso-implante, sendo ambos parâmetros complementares na definição do momento ideal para a carga protética (ANITUA et al., 2015). Apesar da relevância clínica dessas medidas, ainda são escassos os estudos que investigam, de forma concomitante, a relação entre TI, ISQ e as características do leito ósseo em implantes estreitos obtidos por manufatura aditiva. Diante dessa lacuna, o presente ensaio clínico controlado, conduzido em centro único, teve como objetivo avaliar a influência de fatores individuais, cirúrgicos e ósseos sobre a estabilidade primária de implantes produzidos por manufatura aditiva instalados na região anterior de mandíbula de pacientes edêntulos totais.

2. METODOLOGIA

Este estudo transversal incluiu 26 pacientes edêntulos totais reabilitados com novas próteses bimaxilares e dois implantes estreitos ($\varnothing 3,5 \times 10$ mm; Plenum Bioengenharia, Brasil), produzidos por manufatura aditiva e instalados na região interforaminal da mandíbula para retenção de overdentures. Todos os participantes foram submetidos previamente a exames de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), realizados com o equipamento Eagle Edge 0.2 FS (Dabi Atlante, Brasil), sob parâmetros de 90 kVp, 4 mA, voxel de 0,12 mm, tempo de exposição de 16,8 s e FOV de 6×9 cm. As imagens obtidas foram exportadas em formato DICOM para análise e planejamento cirúrgico realizado no software Blue Sky Plan (Libertyville, EUA). Os implantes foram posicionados a 5 mm de distância dos forames mentuais e mantendo-se um espaçamento de 20 mm entre eles, tomando como referência a face distal dos incisivos laterais superiores. Quando necessário, foi realizada regularização óssea. As cirurgias foram conduzidas em único estágio por cirurgião experiente (OLCJ) adotando-se uma técnica minimamente invasiva que preconiza a adoção de retalho em “L” de espessura parcial para exposição da crista óssea. Os implantes foram instalados mediante subfresagem, buscando-se TI ≥ 32 Ncm. O posicionamento vertical foi registrado em relação à crista óssea (nível, sub 1 mm ou sub 2 mm) e as suturas simples realizadas com fio de nylon (Procure®). Durante a instalação, o cirurgião classificou os leitos ósseos quanto à qualidade (I–IV) e à morfologia (normal, platô, retentivo, em U ou lâmina de faca), conforme Cawood & Howell (1988) e Lekholm & Zarb (1985). O TI foi registrado no motor cirúrgico (Implantmed Plus SI-1015, W&H) e confirmado por catraca calibrada em 60 Ncm, considerando-se valores inferiores a 30 Ncm como indicativos de baixa estabilidade. A estabilidade primária foi também avaliada pelo quociente de estabilidade do implante (ISQ), medido imediatamente após a instalação com o dispositivo Osstell Beacon (Integration Diagnostics AB, Suécia) por único operador calibrado. Utilizando smartpeg type 45, as medições foram realizadas em triplicata nas quatro faces do implante, classificando-se os valores em baixa (<60), média (60–70) e elevada (>70) estabilidade, conforme Baltayan et al. (2016). Para controle farmacológico, prescreveu-se prednisolona 40 mg uma hora antes da cirurgia. As suturas foram removidas após 10 dias. Após a instalação dos implantes, novas CBCT foram obtidas com os mesmos parâmetros de aquisição, permitindo a sobreposição dos arquivos STL dos modelos pós-operatórios com os DICOM pré-operatórios para determinar a posição real dos implantes. A densidade óssea foi avaliada em unidades Hounsfield (HU) utilizando o software coDiagnostiX® (Dental Wings Inc., Canadá), classificando-se as regiões em D1 (>1250 HU), D2 (850–1250 HU), D3 (350–849 HU), D4 (150–349 HU) e D5 (<150 HU), de acordo com Leles et al. (2023). Além disso, o software ImplantStudio® foi empregado para gerar mapas de densidade ao redor dos implantes. A análise da microarquitetura óssea foi realizada a partir do processamento das CBCT pré e pós-operatórias no software Blue Sky Plan, permitindo a sobreposição dos arquivos STL e DICOM para identificar o corte exato correspondente ao leito ósseo. Nessa região, foram mensurados altura e espessura óssea totais, altura e espessura da cortical (superior, vestibular e lingual) e altura e espessura da medular. A partir desses valores, calcularam-se os percentuais de osso cortical e medular de cada leito, fornecendo informações adicionais sobre as características estruturais da região implantada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo analisou 52 leitos ósseos operados em pacientes com média de idade de $66,8 \pm 9,4$ anos e tempo médio de edentulismo mandibular de $9,1 \pm 11,9$

anos. A maioria dos pacientes (n=22) não apresentava atrofia mandibular. Durante as perfurações, os leitos ósseos foram classificados predominantemente como Tipo II (n=32), seguidos de Tipo I (n=17) e Tipo III (n=3), sem ocorrência de Tipo IV. Regularização óssea foi necessária em 40 leitos. O torque médio de inserção (TI) foi de $49,75 \pm 13,39$ Ncm no motor e de $48,65 \pm 16,36$ Ncm na catraca, enquanto o valor médio do quociente de estabilidade do implante (ISQ) foi de $67,60 \pm 5,29$. Diferenças estatisticamente significativas no TI em relação às variáveis clínicas ou ósseas não foram observadas ($p > 0,05$), embora tenham sido identificadas tendências de maiores valores em pacientes ≥ 65 anos, no sexo feminino, em ossos Tipo III e em regiões com maior altura óssea e menor espessura medular. Resultados semelhantes foram obtidos para o TI registrado pela catraca.

O ISQ apresentou diferenças estatisticamente significativas para idade e tempo de edentulismo, com valores mais altos em pacientes ≥ 65 anos (69,43 vs. 64,68; $p = 0,001$) e naqueles com edentulismo ≥ 10 anos (69,63 vs. 66,54; $p = 0,043$). As demais variáveis não mostraram diferenças relevantes ($p > 0,05$), embora valores discretamente superiores tenham sido observados em mulheres, em pacientes com atrofia mandibular e em ossos Tipo III. Nenhum dos parâmetros ósseos analisados, incluindo altura e espessura totais, corticais vestibular e lingual ou componentes medulares, influenciou significativamente o ISQ ($p > 0,05$). Da mesma forma, o nível ósseo do implante (ao nível, submerso 1 mm ou 2 mm) não impactou nos valores de estabilidade.

Quanto à distribuição dos torques, pelo motor sete implantes apresentaram valores < 32 Ncm, 28 ficaram entre 32–60 Ncm e 17 ultrapassaram 60 Ncm; pela catraca, foram identificados 11 implantes < 32 Ncm, 9 entre 32–60 Ncm e 32 > 60 Ncm. Torques ≥ 32 Ncm estiveram associados a maiores dimensões ósseas (altura total, altura cortical superior, espessura cortical lingual e medular), e o ISQ ≥ 60 não apresentou diferenças relevantes em relação a nenhum parâmetro ósseo. Correlação positiva foi identificada entre TI e ISQ, tanto pelo motor ($p = 0,05$; $r = 0,41$) quanto pela catraca ($p = 0,00$; $r = 0,47$), sendo mais expressiva para esta última. A análise de regressão logística demonstrou que uma altura medular $> 17,30$ mm aumentou em 15,9 vezes a chance de atingir TI > 32 Ncm no motor ($p = 0,02$) e em 6 vezes na catraca ($p = 0,04$). Por outro lado, densidade óssea, idade, sexo, tempo de edentulismo, tipo ósseo, atrofia mandibular, morfologia do rebordo, nível ósseo do implante e necessidade de regularização não impactaram o torque de inserção. Da mesma forma, nenhuma variável óssea influenciou significativamente os valores de ISQ.

4. CONCLUSÕES

A altura medular mostrou-se um fator determinante para o alcance de torques elevados na instalação de implantes estreitos produzidos por manufatura aditiva. Leitos ósseos com altura medular superior a 17,30 mm apresentaram até 15,9 vezes mais chances de atingir TI > 32 N, indicando que maiores profundidades medulares oferecem suporte mecânico adicional e contribuem para uma resistência inicial mais robusta. A incorporação da altura medular como critério de seleção do leito ósseo pode, portanto, aumentar a previsibilidade do sucesso clínico a longo prazo, especialmente em implantes de diâmetro reduzido. Além disso, valores mais altos de ISQ foram observados em pacientes com idade ≥ 65 anos e tempo de edentulismo ≥ 10 anos, sugerindo influência dessas características clínicas na estabilidade primária.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANITUA, E. et al. Efficacy of biologically guided implant site preparation to obtain adequate primary implant stability. *Annals of Anatomy*, v. 199, p. 9–15, 2015.

BALTAYAN, S. et al. The predictive value of resonance frequency analysis measurements in the surgical placement and loading of endosseous implants. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 74, n. 6, p. 1145–1152, 2016.

CAWOOD, J. I.; HOWELL, R. A. A classification of edentulous jaws. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 17, n. 13, p. 232–236, 1988.

COMUZZI, L. et al. Are implant threads important for implant stability? An in vitro study using low-density polyurethane sheets. **Eng**, v. 4, n. 2, p. 1167–1178, 2023.

FEHER, B. et al. Resonance frequency analysis of implants placed in condensed bone. **Clinical Oral Implants Research**, v. 32, n. 10, p. 1200–1208, 2021.

GILLET, R. et al. Computed tomography bone imaging: pushing the boundaries in clinical practice. **Seminars in Musculoskeletal Radiology**, v. 27, n. 4, p. 397–410, 2023.

LEHKOLM, U.; ZARB, G. A. Tissue integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry. Chicago: **Quintessence Publ Co.**, 1985.

LELES, C. R. et al. Mandibular bone characteristics, drilling protocols, and final insertion torque for titanium-zirconium mini-implants for overdentures: a cross-sectional analysis. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v. 25, n. 2, p. 426–434, 2023.

MANGANO, F. et al. Histological evidence of the osseointegration of fractured direct metal laser sintering implants retrieved after 5 years of function. **BioMed Research International**, v. 2017, p. 4–6, 2017.

PINGUEIRO, J. et al. Additive manufacturing of titanium alloy could modify the pathogenic microbial profile: an in vitro study. **Brazilian Oral Research**, v. 33, p. 1–8, 2019.

RIBEIRO-ROTTA, R. F. et al. Ambiguity in bone tissue characteristics as presented in studies on dental implant planning and placement: a systematic review. **Clinical Oral Implants Research**, v. 22, n. 8, p. 789–801, 2011.

SCHIMMEL, M. et al. Loading protocols for implant-supported overdentures in the edentulous jaw: a systematic review and meta-analysis. **International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v. 29, n. Supplement, p. 271–286, 2014.

SHIBLI, J. A. et al. Influence of direct laser fabrication implant topography on type IV bone: a histomorphometric study in humans. **Journal of Biomedical Materials Research - Part A**, v. 93, n. 2, p. 607–614, 2010.

WAECHTER, J. et al. Comparison between tapered and cylindrical implants in the posterior regions of the mandible: a prospective, randomized, split-mouth clinical trial focusing on implant stability changes during early healing. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v. 19, n. 4, p. 733–741, 2017.