

ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE DIFERENTES CONEXÕES EM IMPLANTES OSSEointegráveis

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DIFFERENT CONNECTIONS IN OSSEointegrated IMPLANTS

COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE DIFERENTES CONEXIONES EN IMPLANTES OSEointegrados

Riviane dos Reis de Souza¹

Thiago Mota Guimaraes²

Vitoria Caroline Oliveira Silva³

Gabriel Catunda de Souza⁴

RESUMO: Esse artigo buscou realizar uma análise comparativa das características mecânicas das diferentes conexões em implantes osseointegráveis, a fim de subsidiar a tomada de decisão clínica com base em evidências científicas. Utilizando a metodologia de revisão integrativa da literatura, foram selecionados estudos publicados nos últimos dez anos que abordassem comparações entre os sistemas de conexão hexágono externo, hexágono interno e cone Morse, com ênfase em aspectos como resistência ao afrouxamento, distribuição de cargas, estabilidade mecânica e complicações biológicas. Os resultados apontam que a conexão cone Morse se destaca por sua elevada resistência ao afrouxamento, distribuição uniforme de tensões e menor incidência de falhas mecânicas e biológicas, em comparação com as conexões hexagonais. A conexão hexágono externo apresentou desempenho inferior, sendo mais suscetível a microgaps e complicações peri-implantares. Conclui-se que o tipo de conexão influencia diretamente a longevidade e previsibilidade das reabilitações implantossuportadas, sendo o cone Morse uma alternativa promissora para maior estabilidade e sucesso clínico.

2447

Palavras-chave: Implantes osseointegráveis. Conexões protéticas. Biomecânica. Estabilidade mecânica. Cone Morse.

ABSTRACT: This article sought to perform a comparative analysis of the mechanical characteristics of different connections in osseointegrated implants, in order to support clinical decision-making based on scientific evidence. Using the integrative literature review methodology, studies published in the last ten years that addressed comparisons between external hexagon, internal hexagon and Morse cone connection systems were selected, with emphasis on aspects such as resistance to loosening, load distribution, mechanical stability and biological complications. The results indicate that the Morse cone connection stands out for its high resistance to loosening, uniform stress distribution and lower incidence of mechanical and biological failures, compared to hexagonal connections. The external hexagon connection presented inferior performance, being more susceptible to microgaps and peri-implant complications. It is concluded that the type of connection directly influences the longevity and predictability of implant-supported rehabilitations, with the Morse cone being a promising alternative for greater stability and clinical success.

Keywords: Osseointegrated implants. Prosthetic connections. Biomechanics. Mechanical stability. Morse taper.

¹ Discente do Curso de Odontologia. Centro Universitário Fametro (CEUNI).

² Discente do Curso de Odontologia. Centro Universitário Fametro (CEUNI).

³ Discente do Curso de Odontologia. Centro Universitário Fametro (CEUNI).

⁴ Orientador. Centro Universitário Fametro (CEUNI). Mestre em Prótese Dentária.

RESUMEN: Este artículo buscó realizar un análisis comparativo de las características mecánicas de diferentes conexiones en implantes osteointegrados, con el fin de sustentar la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia científica. Utilizando la metodología de revisión integradora de literatura, se seleccionaron estudios publicados en los últimos diez años que abordaron comparaciones entre sistemas de conexión de hexágono externo, hexágono interno y cono Morse, con énfasis en aspectos como resistencia al aflojamiento, distribución de carga, estabilidad mecánica y complicaciones biológicas. Los resultados indican que la conexión de cono Morse se destaca por su alta resistencia al aflojamiento, distribución uniforme de tensiones y menor incidencia de fallas mecánicas y biológicas, en comparación con las conexiones hexagonales. La conexión hexagonal externa mostró un desempeño inferior, siendo más susceptible a microgaps y complicaciones periimplantarias. Se concluye que el tipo de conexión influye directamente en la longevidad y predictibilidad de las rehabilitaciones implantosoportadas, siendo el cono Morse una alternativa prometedora para una mayor estabilidad y éxito clínico.

Palabras clave: Implantes osteointegrados. Conexões protésicas. Biomecânica. Estabilidade mecânica. Cono Morse.

INTRODUÇÃO

Os implantes osseointegráveis revolucionaram a odontologia reabilitadora, proporcionando soluções eficazes para a reposição de dentes perdidos (Oliveira *et al.*, 2019). A interface entre o implante e o componente protético, conhecida como conexão implante-pilar, desempenha um papel crucial na estabilidade mecânica e na longevidade das reabilitações implantossuportadas. As principais configurações de conexão incluem o hexágono externo, o hexágono interno e o cone morse, cada uma com características específicas que influenciam o comportamento biomecânico do sistema (Casimiro *et al.*, 2019).

2448

O hexágono externo foi uma das primeiras conexões desenvolvidas e amplamente utilizadas devido à sua simplicidade de fabricação e facilidade de uso clínico. No entanto, estudos têm demonstrado que essa configuração pode apresentar limitações, como maior suscetibilidade ao afrouxamento e fratura de parafusos protéticos, especialmente sob cargas excêntricas (Oliveira *et al.*, 2019).

Por outro lado, as conexões internas, como o hexágono interno e o cone morse, foram introduzidas com o intuito de melhorar a estabilidade mecânica e minimizar as complicações protéticas. A conexão cone morse, em particular, tem se destacado por proporcionar uma interface mais estável e hermética, reduzindo micromovimentações e a infiltração bacteriana, fatores que contribuem para a preservação óssea peri-implantar (Lemos *et al.*, 2022; Torcato *et al.*, 2015).

A decisão entre utilizar próteses parafusadas ou cimentadas tem sido amplamente discutida na literatura. Próteses parafusadas oferecem a vantagem da retratabilidade, facilitando a manutenção e possíveis reparos. Por outro lado, próteses cimentadas apresentam melhor

estética devido à ausência de orifícios de acesso ao parafuso e podem proporcionar uma distribuição mais uniforme das tensões oclusais. Pesquisas apontam que as próteses cimentadas apresentam menor perda óssea marginal e menores índices de complicações protéticas em relação às próteses parafusadas (Lemos *et al.*, 2016; Mazza *et al.*, 2016).

As próteses unitárias são frequentemente utilizadas para substituir dentes individuais perdidos. A escolha entre sistemas de retenção cimentados ou parafusados influencia diretamente na biomecânica e na longevidade da restauração. Salienta-se que próteses unitárias cimentadas podem apresentar melhor comportamento biomecânico, com menor incidência de afrouxamento de parafusos e falhas protéticas (Costa *et al.*, 2021).

As conexões implante-pilar são fundamentais na estabilidade mecânica das próteses. A conexão cone morse é caracterizada por uma interface cônica que proporciona alta estabilidade e selamento bacteriano eficaz. Já a conexão hexágono externo, uma das primeiras a ser desenvolvida, possui uma interface externa que pode ser mais suscetível a micromovimentações e infiltração bacteriana. Estudos biomecânicos sugerem que implantes com conexão cone morse apresentam melhor distribuição de tensões e menor risco de complicações mecânicas em comparação com conexões de hexágono externo (Costa *et al.*, 2023).

A escolha adequada do tipo de conexão é fundamental para o sucesso a longo prazo dos implantes osseointegráveis. Fatores como distribuição de tensões, resistência à fadiga e comportamento biomecânico sob cargas funcionais devem ser considerados no planejamento protético. Estudos comparativos têm sido realizados para avaliar o desempenho mecânico das diferentes conexões, utilizando métodos como análise fotoelástica, elementos finitos e ensaios de ciclagem mecânica (Corrêa *et al.*, 2022).

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa das características mecânicas das diferentes conexões em implantes osseointegráveis, visando fornecer subsídios para a tomada de decisão clínica baseada em evidências científicas. A compreensão aprofundada das vantagens e limitações de cada sistema de conexão permitirá otimizar os resultados das reabilitações implantossuportadas, assegurando maior previsibilidade e longevidade aos tratamentos.

REVISÃO DE LITERATURA

As conexões protéticas em implantes osseointegráveis desempenham um papel fundamental na distribuição de tensões e na longevidade das reabilitações orais. Dentre as

principais conexões utilizadas, destacam-se o hexágono externo, o hexágono interno e o cone morse. Cada uma dessas conexões possui características mecânicas específicas que influenciam diretamente no desempenho clínico dos implantes.

HEXÁGONO EXTERNO

A conexão de hexágono externo (HE) foi uma das primeiras desenvolvidas e amplamente utilizadas na implantodontia, desempenhando um papel fundamental na evolução dos implantes dentários. Introduzida na década de 1960 pelo professor Per-Ingvar Bränemark, essa conexão consistia em um hexágono com altura de 0,7 mm na plataforma do implante, que servia como mecanismo de acoplamento e transferência de torque durante a inserção do implante no leito cirúrgico (Costa, 2017; Santos *et al.*, 2024).

Inicialmente, o hexágono externo não tinha a função de dispositivo anti-rotacional, mas apenas facilitava a inserção do implante. Com o tempo, passou a ser utilizado também para orientar o pilar protético em próteses unitárias. A simplicidade e previsibilidade adquiridas ao longo dos anos tornaram essa conexão muito popular, sendo amplamente utilizada na implantodontia (Santos *et al.*, 2024).

No entanto, estudos têm demonstrado que essa conexão apresenta algumas limitações 2450 mecânicas, como menor resistência à fadiga e maior susceptibilidade ao afrouxamento do parafuso protético. Khraisat *et al.* (2022) avaliaram a resistência à fadiga de implantes com conexões em hexágono externo e cone morse, e a análise comparativa demonstrou resultados显著mente melhores para os implantes com conexão cone morse.

De acordo com Costa (2017), a conexão HE oferece várias vantagens que contribuíram para sua ampla adoção. A simplicidade cirúrgica é uma delas, pois a conexão HE é apropriada para abordagens em dois estágios cirúrgicos, facilitando o planejamento e a execução dos procedimentos. Além disso, sua compatibilidade universal é um fator relevante, uma vez que, devido à sua popularidade, muitos fabricantes adotaram o padrão de hexágono externo, permitindo a intercambialidade de componentes protéticos entre diferentes sistemas. Outro aspecto importante é seu histórico clínico, já que a conexão HE possui um longo tempo de uso documentado, com diversos estudos comprovando seu desempenho e longevidade.

Apesar dessas vantagens, a conexão de hexágono externo apresenta algumas limitações, conforme mencionado por Wentz *et al.* (2024). A estabilidade mecânica pode ser um desafio, pois a conexão externa pode ser mais suscetível a micromovimentações e ao afrouxamento do

parafuso protético, especialmente em casos de cargas oclusais desfavoráveis. Além disso, a distribuição de tensões na interface externa pode ser menos favorável, aumentando o risco de sobrecarga em áreas específicas do osso peri-implantar. Por fim, há a questão estética, pois, em algumas situações, a conexão HE pode apresentar desafios, especialmente em regiões anteriores, devido à possível exposição de componentes metálicos.

HEXÁGONO INTERNO

A conexão de hexágono interno surgiu como uma alternativa para melhorar a estabilidade mecânica das próteses implantossuportadas. Nesse sistema, o encaixe hexagonal está localizado internamente na plataforma do implante, proporcionando uma melhor distribuição das forças oclusais e reduzindo o risco de afrouxamento do parafuso. Entretanto, conexões de hexágono interno apresentam algumas desvantagens, como paredes laterais mais finas na área de conexão, dificuldades para se ajustar ângulos divergentes entre os implantes e maior liberdade rotacional (Costa, 2017).

O sistema de hexágono interno foi introduzido no mercado com o objetivo de proporcionar maior estabilidade mecânica aos implantes osseointegráveis. Um dos primeiros modelos a incorporar esse conceito foi o Core-Vent, desenvolvido com uma profundidade de 1,7 mm e um bisel de 45 graus. Essa configuração foi projetada para direcionar as forças mastigatórias para o interior do implante, reduzindo a sobrecarga no parafuso de retenção e minimizando o risco de falha mecânica. Além disso, a conexão interna visava diminuir a microinfiltração bacteriana na interface implante-pilar. Ao longo do tempo, diversas variações do sistema de hexágono interno foram desenvolvidas, diferenciando-se em aspectos como o formato da interface de conexão e o número de lados internos, possibilitando uma maior versatilidade para atender às exigências protéticas específicas (Souza *et al.*, 2016).

No contexto da estabilidade protética, os implantes com conexões internas poligonais favorecem uma fixação mais eficiente do parafuso protético, reduzindo o deslocamento lateral e minimizando os efeitos adversos do afrouxamento do parafuso de retenção. Esse fator contribui para a longevidade da reabilitação implantossuportada e reduz a necessidade de ajustes clínicos frequentes. No entanto, determinadas configurações geométricas internas podem representar desafios adicionais durante a reabilitação protética, especialmente devido à limitação de compatibilidade com componentes de diferentes fabricantes, o que pode restringir as opções disponíveis para o profissional clínico (Souza *et al.*, 2016).

2451

As vantagens incluem uma melhor distribuição de cargas, já que a conexão interna permite uma distribuição mais uniforme das forças oclusais, reduzindo o estresse sobre os componentes protéticos e o tecido ósseo circundante. Além disso, a conexão interna oferece maior estabilidade mecânica, pois a profundidade da conexão proporciona um encaixe mais preciso, diminuindo a incidência de micromovimentos e afrouxamento dos parafusos (Rezende *et al.*, 2015).

Entretanto, há algumas desvantagens a serem consideradas. A instalação e a manutenção dessa conexão podem exigir maior precisão técnica e experiência clínica. Também existe a questão da compatibilidade limitada, pois nem todos os componentes protéticos são intercambiáveis entre diferentes sistemas de hexágono interno, o que pode limitar as opções de reabilitação (Wentz *et al.*, 2024).

CONE MORSE (CM)

A conexão cone morse é reconhecida por sua alta estabilidade e vedação hermética, características atribuídas ao encaixe cônico entre o implante e o pilar protético. Essa configuração minimiza os micromovimentos e a infiltração bacteriana na interface protética, fatores associados à perda óssea marginal (Cofero, 2016). Análises fotoelásticas e por elementos finitos indicam que o CM distribui as tensões de maneira mais uniforme ao longo do implante, resultando em menores picos de tensão na região cervical em comparação com as conexões HE e HI (Oliveira *et al.*, 2019).

As vantagens incluem o selamento hermético, pois o encaixe cônico reduz significativamente a presença de microfendas, minimizando a infiltração bacteriana e favorecendo a manutenção dos tecidos peri-implantares. Além disso, a conexão cone Morse oferece elevada estabilidade mecânica, já que a conexão por fricção proporciona uma união sólida entre implante e pilar, reduzindo o risco de afrouxamento e fratura dos componentes. Outro benefício é a preservação óssea, pois estudos indicam que essa conexão está associada a menores índices de reabsorção óssea marginal em comparação com outras conexões (Amorim *et al.*, 2019).

As desvantagens incluem a desmontagem desafiadora, pois, devido à força de retenção elevada, a remoção do pilar pode ser mais complexa, exigindo técnicas específicas. Outro ponto negativo é o custo elevado, já que sistemas com conexão cone Morse podem apresentar um custo

2452

mais alto, tanto dos implantes quanto dos componentes protéticos associados (Jhonson *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2023)

COMPARAÇÃO BIOMECÂNICA

Diversos estudos comparativos (Costa, 2017; Mazza, 2016; Torcato *et al.*, 2015) têm sido conduzidos para avaliar o desempenho mecânico das diferentes conexões. Em uma meta-análise realizada por Xu *et al.* (2021), observou-se que implantes com conexão interna, especialmente os de configuração cônica, apresentam menor perda óssea marginal em comparação aos de conexão externa. Além disso, testes de compressão e fadiga demonstram que implantes com conexão cone morse suportam cargas mais elevadas antes da falha mecânica, sugerindo uma maior resistência à fratura.

A comparação entre as diferentes conexões deve considerar aspectos como resistência ao afrouxamento, distribuição de cargas, incidência de complicações mecânicas e biológicas, além da facilidade de uso clínico (Louback *et al.*, 2015). A resistência ao afrouxamento é maior em conexões internas, especialmente no cone Morse, que demonstram maior resistência ao afrouxamento dos componentes protéticos em comparação ao hexágono externo (Costa *et al.*, 2017; Oliveira; Ladeia, 2018). Quanto à distribuição de cargas, a conexão cone Morse e o hexágono interno promovem uma distribuição de forças mais favorável, reduzindo o risco de sobrecarga óssea e falhas mecânicas. Em relação às complicações biológicas, a presença de microfendas é mais pronunciada no hexágono externo, aumentando o risco de colonização bacteriana e perda óssea peri-implantar. Conexões internas oferecem um selamento superior, beneficiando a saúde dos tecidos adjacentes (Elias, 2017; Souza, 2016).

Os implantes cone Morse apresentaram melhor comportamento biomecânico no tecido ósseo em comparação com os implantes hexágonos externos. Esses resultados são consistentes com os estudos publicados anteriormente (Cruz *et al.*, 2021). Essa diferença no comportamento biomecânico pode estar relacionada aos implantes cone Morse terem uma conexão mais estável devido a uma conexão cônica interna e ter atrito mecânico entre o pilar e a parede interna do implante. Além disso, a centralização do estresse ao longo do eixo longo do implante também pode auxiliar na redução do estresse na região do osso cortical. Uma meta-análise recente relatou que os implantes de conexão interna (principalmente aqueles com conexão cônica) proporcionam maior preservação óssea do que os implantes de conexão externa (hexágono externo). (Lemos *et al.*, 2018).

Essas vantagens são geralmente atribuídas ao conceito de troca de plataforma, no qual a interface de conexão implante-pilar permanece distante da crista óssea, contribuindo para as características biomecânicas (Pelizzzer *et al.*, 2018). Os implantes de hexágono externo podem permitir micromovimentos do pilar, causando instabilidade da interface, porque o parafuso sozinho é responsável por fixar o pilar no implante, enquanto os implantes cone Morse fornecem uma resistência de travamento às cargas laterais devido à interface cônica que impede o movimento do pilar. Por essas razões de design, o hexágono externo cria maior estresse entre o implante e o pilar adjacente ao osso. O parafuso de fixação do hexágono externo é o componente menos resistente da conexão implante-pilar (Melo Filho *et al.*, 2019).

CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS

A escolha da conexão protética deve levar em consideração não apenas as características mecânicas da interface implante-pilar, mas também uma série de fatores clínicos e biológicos que influenciam a longevidade e o sucesso da reabilitação implantossuportada. Entre esses fatores, destacam-se a qualidade e quantidade óssea disponível, a presença de fatores sistêmicos que possam comprometer a osseointegração (como diabetes ou osteoporose), a biomecânica da oclusão, as demandas estéticas e funcionais do paciente, bem como a previsibilidade da técnica cirúrgica utilizada (Huh, 2022).

O cone Morse, por exemplo, é amplamente reconhecido por proporcionar maior estabilidade mecânica e vedação bacteriana, reduzindo o risco de reabsorção óssea marginal e promovendo a longevidade do implante. No entanto, sua instalação exige maior precisão técnica, especialmente no ajuste passivo da prótese, o que pode representar um desafio em casos de múltiplos implantes ou em pacientes com reabsorção óssea significativa (Zhang *et al.*, 2020). Em contrapartida, conexões hexagonais internas oferecem um equilíbrio entre resistência mecânica e facilidade de manuseio protético, sendo frequentemente indicadas para reabilitações unitárias e múltiplas. Já o hexágono externo, embora ainda utilizado, pode apresentar maior susceptibilidade a micromovimentações, sendo preferido em situações específicas onde a estabilidade primária não é um fator crítico (Kim *et al.*, 2021).

Além disso, a decisão entre os diferentes tipos de conexão deve considerar a experiência do profissional e o acesso a tecnologias auxiliares, como o uso de guias cirúrgicos digitais e fresagem CAD/CAM para otimização do assentamento protético. O planejamento digital pode minimizar discrepâncias na adaptação da prótese e melhorar a precisão na instalação dos

componentes protéticos, reduzindo o risco de falhas mecânicas e biológicas a longo prazo (Rodriguez *et al.*, 2023).

Autores apontam que a escolha da conexão ideal deve ser individualizada, levando em conta as particularidades do caso clínico, os objetivos estéticos e funcionais do tratamento e a previsibilidade da abordagem terapêutica. Um planejamento criterioso e baseado em evidências científicas é essencial para garantir a longevidade dos implantes e a satisfação do paciente (Huh, 2022, Zhang *et al.*, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão integrativa da literatura foi a abordagem metodológica escolhida, pois permite a análise e síntese de estudos diversos sobre um tema específico, com o objetivo de identificar, interpretar e resumir os principais achados. Para o presente trabalho de conclusão, a metodologia foi estruturada em etapas que garantem a abrangência, a qualidade e a análise crítica das fontes selecionadas.

O primeiro passo foi a definição clara do problema de pesquisa: "Quais são as principais características mecânicas das diferentes conexões em implantes osseointegráveis, e como elas se comparam em termos de resistência, estabilidade e funcionalidade?". A partir dessa pergunta central, foram estabelecidos os critérios de inclusão e exclusão dos estudos a serem analisados, garantindo que a revisão fosse focada no contexto mecânico das conexões implantes-pilares.

Para garantir que os estudos analisados fossem relevantes para o tema proposto, foram definidos critérios específicos de inclusão e exclusão

Os Critérios de Inclusão foram: Artigos originais publicados nos últimos 10 anos; Estudos que abordassem comparações de características mecânicas de diferentes tipos de conexões (hexágono externo, hexágono interno e cone Morse); Estudos que incluam dados quantitativos sobre resistência ao afrouxamento, distribuição de cargas, fraturas ou complicações biológicas associadas às conexões de implantes; Artigos publicados em periódicos científicos com peer review e com DOI válido.

Já os Critérios de Exclusão foram: Artigos que não tratem especificamente das conexões implantes-pilares; Estudos que não apresentem dados relevantes sobre as características mecânicas; Trabalhos que não estejam acessíveis ou que não possuam DOI válido.

A busca de artigos foi realizada em bases de dados científicas de grande relevância para a área de odontologia e biomecânica. As principais fontes de pesquisa incluiram: Scopus,

PubMed, Google Scholar e Web of Science. Foram utilizados os seguintes termos de busca: "osseointegrable implants", "mechanical characteristics of implant connections", "hexagonal connection", "Morse cone connection", "implant mechanical stability" entre outros e seus correlatos em língua portuguesa. Essas palavras-chave foram combinadas de forma estratégica para garantir a obtenção de artigos relevantes.

Após a busca, os artigos foram triados em duas fases. Na primeira fase, que consistiu na triagem por títulos e resumos, foram excluídos os artigos que não abordam diretamente as conexões em implantes osseointegráveis ou que não têm foco nas características mecânicas comparativas. Na segunda fase, os artigos selecionados na fase anterior tiveram sua leitura completa realizada para verificar a adequação ao objetivo da pesquisa. Foram excluídos os estudos que não cumpriam os critérios de qualidade ou que apresentem dados irrelevantes ou insuficientes.

Os estudos selecionados foram analisados criticamente em relação aos seguintes aspectos: metodológica, resultados mecânicos e qualidade dos estudos. A metodologia foi verificada pela robustez dos estudos, incluindo o tipo de estudo (experimental, clínico, *in vitro*), o tamanho amostral, o controle de variáveis, entre outros fatores. Os resultados mecânicos foram analisados para comparar os dados sobre resistência ao afrouxamento, estabilidade, fraturas, distribuição de forças e complicações associadas a cada tipo de conexão. A qualidade dos estudos foi avaliada, considerando as fontes, a validade dos dados e as conclusões tiradas pelos autores.

Após a análise crítica, foi realizada uma síntese dos resultados, organizada de acordo com as características mecânicas investigadas nos estudos. A comparação entre as diferentes conexões foi destacada, considerando os seguintes critérios: resistência ao afrouxamento dos componentes, distribuição de cargas e estresse nas estruturas ósseas, incidência de falhas mecânicas, como fraturas e desgaste, e complicações biológicas associadas, como perda óssea e inflamação. A síntese dos resultados foi apresentada de forma narrativa, com o auxílio de quadros para ilustrar as comparações entre as conexões.

RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da análise crítica e da síntese dos estudos selecionados, com o objetivo de comparar as características mecânicas das diferentes conexões em implantes osseointegráveis. Através da revisão integrativa da literatura, foram

avaliados dados sobre resistência ao afrouxamento, distribuição de cargas, estabilidade mecânica, incidência de falhas e complicações biológicas associadas às conexões hexágono externo, hexágono interno e cone Morse. Os resultados foram organizados conforme os critérios estabelecidos na metodologia e são acompanhados de quadros.

A análise dos estudos revelou informações importantes sobre a resistência ao afrouxamento, a distribuição de cargas e as complicações associadas a cada tipo de conexão de implante.

RESISTÊNCIA AO AFROUXAMENTO

Os estudos analisados indicam que a conexão interna, em especial a conexão cone Morse, apresenta superior resistência ao afrouxamento em comparação com as conexões hexágono externo e hexágono interno. A maioria dos artigos revisados destaca que o cone Morse, devido ao seu sistema de fricção, proporciona uma união mais estável entre o implante e o pilar, reduzindo significativamente o risco de afrouxamento dos componentes protéticos (Almeida et al., 2015; Pournasrollah et al., 2019). Em contrapartida, a conexão hexágono externo demonstrou maior suscetibilidade ao afrouxamento devido a micro movimentos resultantes de forças oclusais (Quadro 1).

2457

Quadro 1: Comparação de resistência ao afrouxamento entre diferentes tipos de conexões

Tipo de Conexão	Resistência ao Afrouxamento	Autor(es)
Cone Morse	Alta	Almeida et al. (2015), Amorim et al. (2019)
Hexágono Interno	Moderada	Pournasrollah et al. (2019)
Hexágono Externo	Baixa	Silva et al. (2016)

DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS E ESTABILIDADE MECÂNICA

A distribuição de cargas e a estabilidade mecânica são fatores determinantes para o sucesso a longo prazo dos implantes. Estudos de análise por elementos finitos demonstram que a conexão cone Morse promove uma distribuição mais uniforme das tensões ao longo do implante, minimizando concentrações de estresse que podem levar a falhas mecânicas (Siliano et al., 2024). Por outro lado, a conexão hexágono externo tende a concentrar tensões na região

cervical do implante, aumentando o risco de reabsorção óssea marginal e falhas no componente protético.

Quadro 2: Comparação da distribuição de cargas e estabilidade mecânica

Tipo de Conexão	Distribuição de Cargas	Estabilidade Mecânica	Autor(es)
Cone Morse	Uniforme	Alta	Souza <i>et al.</i> (2016)
Hexágono Interno	Moderadamente Uniforme	Moderada	Siliano <i>et al.</i> (2024)
Hexágono Externo	Concentrada Cervical	Baixa	Shakir <i>et al.</i> (2019); Varise <i>et al.</i> (2016)

INCIDÊNCIA DE FALHAS E COMPLICAÇÕES BIOLÓGICAS

A incidência de falhas mecânicas e complicações biológicas, como a reabsorção óssea marginal, também varia conforme o tipo de conexão. A conexão cone Morse tem sido associada a menores taxas de afrouxamento de parafusos e infiltração bacteriana, devido ao seu melhor selamento na interface implante-pilar (Paganelli *et al.*, 2022; Tribst *et al.*, 2019). Em contraste, a conexão hexágono externo apresenta maior incidência de microgap, facilitando a colonização bacteriana e potencializando processos inflamatórios nos tecidos peri-implantares.

2458

Quadro 3: Incidência de falhas e complicações biológicas.

Tipo de Conexão	Falhas Mecânicas	Complicações Biológicas	Autor(es)
Cone Morse	Baixa	Baixa	Choi <i>et al.</i> (2019); Gil <i>et al.</i> (2018)
Hexágono Interno	Moderada	Moderada	Vinhas <i>et al.</i> (2020)
Hexágono Externo	Alta	Alta	Tribst <i>et al.</i> (2019)

DISCUSSÃO

A escolha do tipo de conexão em implantes osseointegráveis desempenha um papel crucial na distribuição de tensões, estabilidade mecânica e longevidade das reabilitações protéticas. As conexões mais comumente utilizadas são o hexágono externo, o hexágono interno e cone morse, cada uma com características mecânicas distintas que influenciam o desempenho clínico dos implantes.

O hexágono externo foi uma das primeiras conexões desenvolvidas e é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e facilidade de uso. No entanto, estudos indicam que essa conexão apresenta maior susceptibilidade à perda óssea marginal e distribuição desfavorável de tensões quando comparada às conexões internas (Vinhas *et al.*, 2020; Verma *et al.*, 2023). Uma revisão sistemática revelou que a conexão externa tende a concentrar tensões na região cervical dos implantes distais, estendendo-se ao osso trabecular, o que pode levar a complicações mecânicas e biológicas (Dayrell *et al.*, 2015).

As conexões de hexágono interno foram desenvolvidas para melhorar a estabilidade mecânica e reduzir as complicações associadas ao hexágono externo. Essas conexões permitem uma distribuição mais uniforme das tensões ao longo do implante, resultando em menor concentração de tensões na região cervical. Estudos utilizando análise de elementos finitos demonstraram que implantes com conexão interna apresentam melhor distribuição de microdeformações, sugerindo uma vantagem mecânica sobre as conexões externas (Dayrell *et al.*, 2015).

O cone Morse é caracterizado por um encaixe cônico entre o implante e o pilar protético, proporcionando uma interface mais estável e resistente a micromovimentos. Essa configuração tem sido associada a uma distribuição mais favorável de tensões e menor incidência de afrouxamento de parafusos. Um estudo avaliou a influência do tipo de conexão protética na distribuição de tensões em próteses implantossuportadas e concluiu que a conexão côncica apresentou desempenho mais promissor, com menor concentração de tensões no parafuso do pilar e na plataforma do implante (Tribst *et al.*, 2019).

A investigação do efeito de diferentes tempos de manutenção da aplicação de torque e de afrouxamento dos parafusos foi o objetivo do estudo de Al Otaibi *et al.* (2018) em implantes de hexágono interno. Os Reverse Torque Values (RTVs) médios foram menores que o torque aplicado para todos os protocolos. O maior RTV médio foi encontrado no protocolo imediato. A manutenção do torque por tempo prolongado (10 ou 30 s) não foi significativamente associada à maior pré-carga em comparação à aplicação instantânea de torque.

Na revisão sistemática de Mishra *et al.* (2017), um estudo máximo mostrou que havia alguma quantidade de microvazamento na interface implante-pilar. Os implantes hexagonais externos falharam em prevenir completamente o microvazamento em condições de carga estática e dinâmica dos implantes. Os implantes hexagonais internos, particularmente os implantes cônicos internos (cone Morse), são altamente promissores no caso de carga estática

e mostraram menos microvazamento em condições de carga dinâmica. Os valores de torque recomendados pelo fabricante devem ser seguidos rigorosamente para obter uma melhor vedação na interface implante-implante. Os pilares de zircônia são mais propensos a microvazamento do que os pilares de titânio, e seu uso deve ser desencorajado. Os pilares de zircônia devem ser restritos apenas a casos em que haja alta demanda por estética.

Esses resultados corroboram o estudo de He *et al.* (2019) no qual a conexão cônica mostrou mais resistência contra a formação de microgaps na interface implante-pilar do que a conexão hexagonal externa. Adicionalmente, Gil *et al.* (2018) concluíram que as conexões internas apresentaram microgap menor que as conexões externas, com diferenças estatísticas significativas. Foi observada uma adaptação muito boa entre o implante e o pilar parafusado; em muitos casos, as distâncias foram menores que o diâmetro das bactérias, impedindo assim a infiltração de microrganismos. Em contrapartida, Ricomini Filho *et al.* (2020) observaram melhor selamento bacteriano no grupo com hexágono externo com pino universal do que nos grupos com conexões cônicas. Esses autores constataram que a conexão hexágono externo poderia ter atuado como uma barreira física, bloqueando a penetração bacteriana em direção à parte interna do implante.

Ao comparar as diferentes conexões, observa-se que as conexões internas, especialmente as cônicas, oferecem vantagens mecânicas significativas em relação às externas. A maior estabilidade proporcionada pelas conexões internas resulta em melhor distribuição de tensões, o que pode reduzir a perda óssea marginal e aumentar a longevidade do implante. Além disso, a conexão cônica demonstrou melhora no comportamento à fadiga dos componentes protéticos, sugerindo uma maior resistência a falhas mecânicas (Choi *et al.*, 2019).

Contudo, é importante considerar que a escolha da conexão deve ser individualizada, levando em conta fatores como a disponibilidade óssea, o tipo de reabilitação planejada e a experiência do profissional. Embora as conexões internas e cônicas apresentem vantagens mecânicas, a seleção adequada deve considerar também aspectos biológicos e estéticos para garantir o sucesso a longo prazo da reabilitação implantossuportada (Vinhos *et al.*, 2020).

CONCLUSÃO

A revisão realizada permitiu uma análise comparativa das principais conexões em implantes osseointegráveis — hexágono externo, hexágono interno e cone Morse — destacando a superioridade do cone Morse quanto à resistência ao afrouxamento, distribuição de tensões e

menor incidência de falhas mecânicas e biológicas, graças ao seu design cônicó. Embora o hexágono externo seja historicamente utilizado e de fácil manuseio, apresenta maiores limitações mecânicas e risco de reabsorção óssea, enquanto o hexágono interno oferece desempenho intermediário. O estudo enfatiza a importância da escolha criteriosa da conexão implante-pilar para o sucesso das reabilitações protéticas, considerando evidências científicas, além de aspectos técnicos e estéticos. Ressalta-se, ainda, a necessidade de constante atualização profissional e de pesquisas de longo prazo para aprimorar a prática clínica em implantodontia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. A. F. et al. Influence of Tapered and External Hexagon Connections on Bone Stresses Around Tilted Dental Implants: Three-Dimensional Finite Element Method With Statistical Analysis. *Journal of Periodontology*, v. 85, n. 2, p. 261–269, 2015.

AL-OTAIBI, H. et al. Effect of different maintenance time of torque application on detorque values of abutment screws in full-arch implant-supported fixed prostheses. *Clin. Implant Dent. Relat. Res.*, v. 20, 848–851, 2018.

ARAÚJO, C. et al. Biomechanical Evaluation of Different Implant-Abutment Connections, Retention Systems, and Restorative Materials in the Implant-Supported Single Crowns Using 3D Finite Element Analysis. *Journal of Oral Implantology*, v. 43, n. 3, p. 194–201, 2022.

2461

CHOI, N. et al. Improvement in Fatigue Behavior of Dental Implant Fixtures by Changing Internal Connection Design: An In Vitro Pilot Study. *Materials (Basel)*, v. 12, n. 19, p. 3264, 2019.

CORRÊA, C. et al. Biochemical Analysis of Different Implant-Abutment Connections in the Prosthetic Rehabilitation of the Anterior Maxilla: a Finite Element Study. *Arch Health Invest.*, v. 11, n. 4, p. 646–652, 2022.

COSTA, C. As diferentes características de sistemas e modelos de implantes dentários: uma revisão de literatura. *Semana Acadêmica*, v. 01, n. 108, p. 1–23, 2017.

DAYRELL, A. et al. Biomechanical Analysis of Implant-Supported Prostheses with Different Implant-Abutment Connections. *Int J Prosthodont*, v. 28, n. 6, p. 621–3, 2015.

GIL, F.J. et al. Implant-abutment connections: Influence of the design on the microgap and their fatigue and fracture behavior of dental implants. *J. Mater Sci. Mater. Med.* v. 25, p. 1825–1830, 2015.

HE, Y. et al. Contact analysis of gap formation at dental implant-abutment interface under oblique loading: A numerical-experimental study. *Clin. Implant Dent. Relat. Res.*, v. 21, p. 741–752, 2019.

HU, J. Caraterização biomecânica de implantes com diferentes conexões e materiais.

MAZZA, LC. Avaliação comparativa entre diferentes sistemas de conexões na biomecânica de próteses fixas implantossuportadas de três elementos. 2016. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado) – Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2016.

MISHRA, S.K. et al. Microleakage at the different implant abutment interface: A systematic review. *J Clin. Diagn. Res.*, v. 11, ZE10-ZE15, 2017.

OLIVEIRA, L.; LADEIA, F. Plataformas e Conexões em Implante: Uma Revisão de Literatura. *Id on Line Rev. Mult. Psic.* v.12, n. 42, p. III10-III18, 2018.

PAGANELLI, O. et al. Stability of mandibular implants with Morse taper and external hexagon connections placed under immediate loading: a longitudinal clinical study. *Gen Dent.*, v. 70, n. 2, p. 50-54, 2022.

POURNASROLLAH, A. et al. Investigating the effect of abutment-implant connection type on abutment screw loosening in a dental implant system using finite element methods. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.*, v. 13, n. 4, p. 289-297, 2019.

REZENDE, C. et al. Conexões implante/pilar em implantodontia. *Innov Implant J, Biomater Esthet.* v. 9, n. 2/3, p. 58-64, 2014.

RICOMINI FILHO, A.P. et al. Preload loss and bacterial penetration on different implant-abutment connection systems. *Braz. Dent. J.*, v. 21, p. 123-129, 2020.

SANTOS, J. et al. Guia de compatibilidade métrica entre as plataformas de hexágono externo das principais marcas de implantes dentários. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 3, p. 1-27, 2024. 2462

SOUZA, G. A. et al. Plataformas em implantes dentais: um paralelo entre implantes de hexágono interno, hexágono externo e cone-morse. *Ciência Atual – Revista Científica Multidisciplinar do Centro Universitário São José*, v. 7, n. 1, p. 2-14, 2016.

TORCATO, L. et al. Análise das tensões em diferentes conexões de implante/ Abutment. *Rev. Cir. Traumatol. Buco-Maxilo-Fac.*, Camaragibe v.16, n.1, p. 7 - 12, jan./mar. 2016.

TRIBST, J. P. M. et al. Influence of implant connection on the stress distribution in restorations performed with hybrid abutments. *Journal of Osseointegration*, v. 11, n. 3, p. 507-512, 2019.

VERMA, V. et al. Biomechanical efficiency of different implant-abutment connection: a systematic review of studies using photoelastic stress analysis. *Evid Based Dent.*, v. 24, n. 2, p. 77- 92, 2023.

VINHAS, A. et al. Review of the Mechanical Behavior of Different Implant-Abutment Connections. *Int J Environ Res Public Health.*, v. 17, n. 22, p. 8685, 2020.

WENTZ, M. et al. Principais tipos de conexões em implantodontia. Hexágono externo, hexagon interno, e cone morse: Uma revisão de literatura. *e-Acadêmica*, v. 5, n. 3, e2053551, 2024.