

Precisão da Colagem Ortodôntica Direta e Indireta Digital Utilizando Moldes de Transferência Impressos em 3D: Um Estudo *Ex-Vivo* em Cadáveres Humanos Frescos

Ivanise Cardoso da Silva ¹, Renata de Oliveira Santos ¹, Antônio Luis Neto Custódio ², Bruno Frazão Gribel ³, Luísa Schubach da Costa Barreto ^{1,*}, José Augusto Mendes Miguel ¹

- 1 Departamento de Odontologia Social e Preventiva (PRECOM), Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- 2 Departamento de Morfologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- 3 Clínica privada, Diretor da Compass 3D, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

* Correspondência: luisaschubach@gmail.com.

Citação: Silva IC, Santos RO, Custódio ALN, Gribel BF, Barreto LSC, Miguel JAM. Precisão do Colamento Ortodôntico Direto e Indireto Digital Utilizando Moldes de Transferência Impressos em 3D: Um Estudo *Ex Vivo* em Cadáveres Humanos Recentes. Brazilian Journal of Dentistry and Oral Radiology. 2026 Jan-Dec;5:bjd66.

doi: <https://doi.org/10.52600/2965-8837.bjdor.2026.5.bjd66>

Recebido: 12 Setembro 2025

Aceito: 5 Outubro 2025

Publicado: 7 Outubro 2025

Resumo: Este estudo ex-vivo comparou a precisão das técnicas de colagem direta e indireta utilizando moldes de transferência impressos em 3D em cadáveres humanos frescos. Cinco cadáveres humanos frescos foram selecionados para simular condições clínicas, incluindo a presença de esmalte e tecidos moles adjacentes. Realizaram-se escaneamentos intraorais para gerar modelos digitais, e o posicionamento dos bráquetes foi realizado virtualmente por meio do software OrthoAnalyzer. Bráquetes Roth .022" Mini Master foram posicionados virtualmente nos arcos superior e inferior, seguidos pela confecção de moldes de transferência impressos em 3D para a colagem indireta. Cada cadáver foi submetido a ambas as técnicas de colagem (direta e indireta), seguidas de novo escaneamento intraoral. Os modelos digitais foram sobrepostos para avaliar diferenças no posicionamento dos bráquetes nos planos vertical (ocluso-gengival) e horizontal (mésio-distal). Um total de 58 dentes foi analisado, e o maior desvio entre as técnicas foi observado no plano vertical, particularmente no arco maxilar, com diferença média de $1,03 \pm 0,36$ mm ($p = 0,008$). Os desvios horizontais foram menos acentuados e estatisticamente não significativos ($0,73 \pm 0,43$ mm; $p = 0,14$). As menores diferenças foram de $0,26 \pm 0,11$ mm (vertical) e $0,19 \pm 0,13$ mm (horizontal). A colagem indireta com moldes impressos em 3D demonstrou maior precisão no posicionamento dos bráquetes em comparação com a colagem direta, especialmente no plano horizontal. Essa técnica pode oferecer vantagens clinicamente relevantes ao aprimorar a precisão da colagem em Ortodontia.

Palavras-chave: Bráquetes Ortodônticos; Colagem Dentária; Precisão de Medição Dimensional; Cadáver; Modelos Dentários.



Direitos autorais: Este trabalho está licenciado sob uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 (CC BY 4.0).

1. Introdução

A precisão do posicionamento dos bráquetes durante a colagem ortodôntica é um fator crítico para alcançar uma biomecânica ideal no tratamento ortodôntico fixo. O posicionamento incorreto pode levar a movimentos dentários indesejáveis, aumento do tempo de tratamento, necessidade de reposicionamentos, inserção de dobras compensatórias nos fios e resultados funcionais e estéticos subótimos [1, 2]. A colagem direta continua sendo a técnica mais utilizada devido à sua simplicidade e à redução de etapas clínicas, já que não requer processamento laboratorial. No entanto, é intrinsecamente mais suscetível a erros dependentes do operador [3, 4]. Em

contraste, a colagem indireta foi introduzida para melhorar a precisão do posicionamento dos bráquetes por meio de procedimentos guiados em laboratório, oferecendo maior controle e reprodutibilidade [5, 6]. Versões iniciais dessa técnica, contudo, eram limitadas por fluxos de trabalho complexos e resultados clínicos inconsistentes [7].

O advento da ortodontia digital, particularmente dos sistemas CAD/CAM e das moldeiras de transferência impressas em 3D, melhorou significativamente a viabilidade e a precisão da colagem indireta [8, 9]. Esses sistemas permitem o posicionamento virtual individualizado dos bráquetes, a confecção previsível das moldeiras e a integração com ferramentas diagnósticas, como a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), reduzindo o tempo clínico e aumentando a eficiência [3, 10]. Apesar desses avanços tecnológicos, as evidências clínicas permanecem inconclusivas quanto à superioridade da colagem indireta em relação à direta, especialmente em contextos nos quais fatores como saliva, interferência de tecidos moles e movimentação do paciente podem afetar os resultados [11, 12]. Estudos *in vitro* utilizando “typodonts” ou modelos de resina não replicam completamente a complexidade do ambiente oral humano, enquanto estudos *in vivo* levantam preocupações éticas relacionadas a procedimentos repetidos de colagem e descolagem de bráquetes.

Para contornar essa limitação, modelos *ex-vivo* utilizando cadáveres humanos frescos oferecem uma alternativa biologicamente realista e eticamente viável. Esses modelos fornecem superfícies de esmalte, arquitetura dos tecidos moles e condições de acesso intraoral que reproduzem com maior fidelidade o ambiente clínico [13-15]. No entanto, nenhum estudo *ex-vivo* anterior utilizando cadáveres humanos frescos comparou diretamente as técnicas de colagem direta e indireta digital sob condições clínicas simuladas. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar a precisão das técnicas de colagem direta e indireta digitalmente guiada utilizando moldeiras de transferência impressas em 3D em cadáveres humanos frescos.

2. Materiais e Métodos

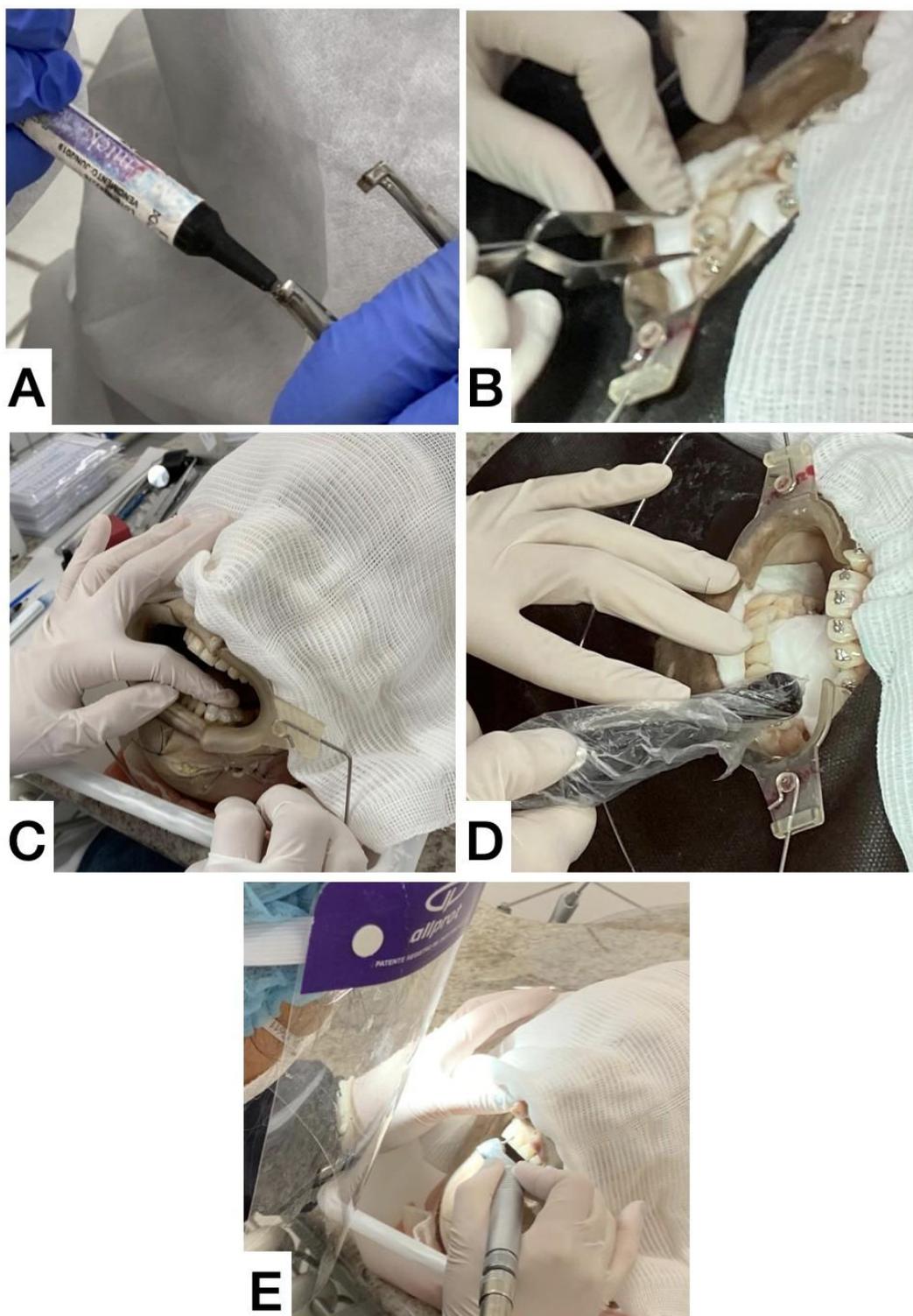
Cinco cadáveres humanos frescos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: presença dos segmentos anteriores superiores e inferiores completos (incisivos centrais e laterais, caninos) e pelo menos um pré-molar por quadrante, com dentes livres de fraturas, cáries extensas ou restaurações que pudessem interferir no posicionamento dos bráquetes. Foram excluídos cadáveres com dentes ausentes, apinhamento severo ou anomalias dentárias. Ao final, a amostra totalizou 58 dentes, distribuídos entre os 5 cadáveres. Foram obtidos escaneamentos intraorais dos arcos dentários dos cadáveres utilizando um scanner Trios (3Shape, Copenhague, Dinamarca). Os escaneamentos foram processados no software OrthoAnalyzer (3Shape, Copenhague, Dinamarca) para gerar modelos digitais tridimensionais (3D). Cada cadáver foi submetido a dois protocolos de colagem: colagem indireta e colagem direta, alternando os quadrantes entre os espécimes para minimizar vieses posicionais.

O posicionamento virtual dos bráquetes foi realizado por um ortodontista calibrado, seguindo o protocolo passo a passo do software, incluindo segmentação dentária, identificação dos pontos de contato e determinação do longo eixo. Bráquetes Roth .022” Mini Master (American Orthodontics, Wisconsin, EUA) foram selecionados na biblioteca do software e posicionados no centro do eixo facial da coroa clínica de cada dente. Após a finalização, os modelos virtuais foram exportados para a fabricação das moldeiras de colagem indireta impressas em 3D pelo laboratório Compass 3D (Belo Horizonte, Brasil).

A colagem direta seguiu o fluxo clínico convencional (Figuras 1A a 1B). Inicialmente, uma resina adesiva (Transbond XT primer; 3M® Unitek, Minnesota, EUA) foi aplicada na base do bráquete, que foi posicionado manualmente no centro do eixo

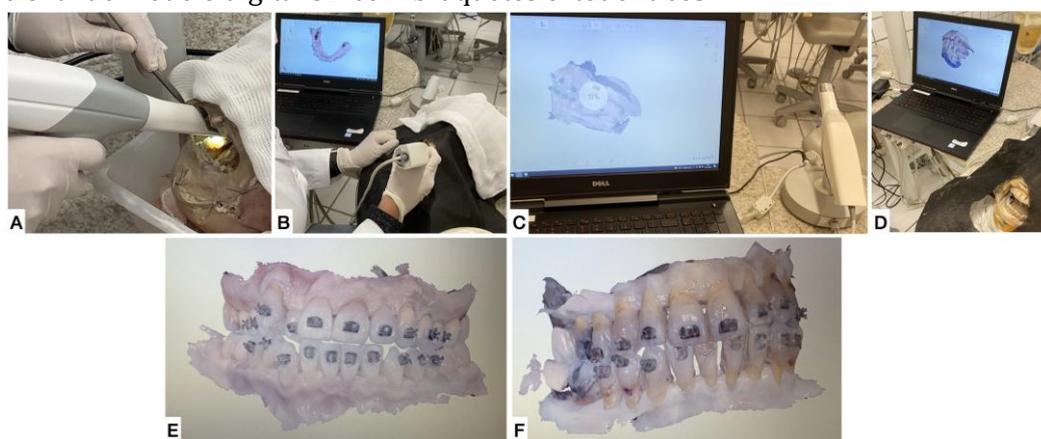
vestibular da coroa clínica de cada dente, com a remoção do excesso de adesivo. A colagem indireta envolveu a adaptação da moldeira de transferência impressa em 3D sobre o arco, com adesivo previamente colocado nos bráquetes (Figura 1C).

Figura 1: Procedimentos ortodônticos clínicos em um cadáver humano fresco. A. Aplicação da resina adesiva na base do bráquete (colagem direta). B. Posicionamento dos bráquetes ortodônticos no dente (colagem direta). C. Inserção da moldeira de transferência impressa em 3D (colagem indireta). D. Fotopolimerização dos bráquetes (colagem direta e indireta). E. Polimento após a remoção dos bráquetes (colagem direta e indireta).



Para ambos os métodos, os bráquetes foram fotopolimerizados por 3 segundos em cada face, vestibular e oclusal, utilizando uma unidade de fotopolimerização LED Valo (Ultradent®, Ribeirão Preto, Brasil) (Figura 1D). Após cada protocolo, os bráquetes foram removidos e o esmalte foi polido (Figura 1E). Após cada protocolo de colagem, os arcos dentários foram novamente escaneados com o scanner intraoral Trios Color (3Shape, Copenhague, Dinamarca) (Figuras 2A a 2D). Os modelos digitais das colagens direta e indireta de cada cadáver foram sobrepostos utilizando o método de registro “Surface 3-point” no software OrthoAnalyzer, selecionando pontos anatômicos idênticos e estáveis como referências (Figuras 3A a 3B).

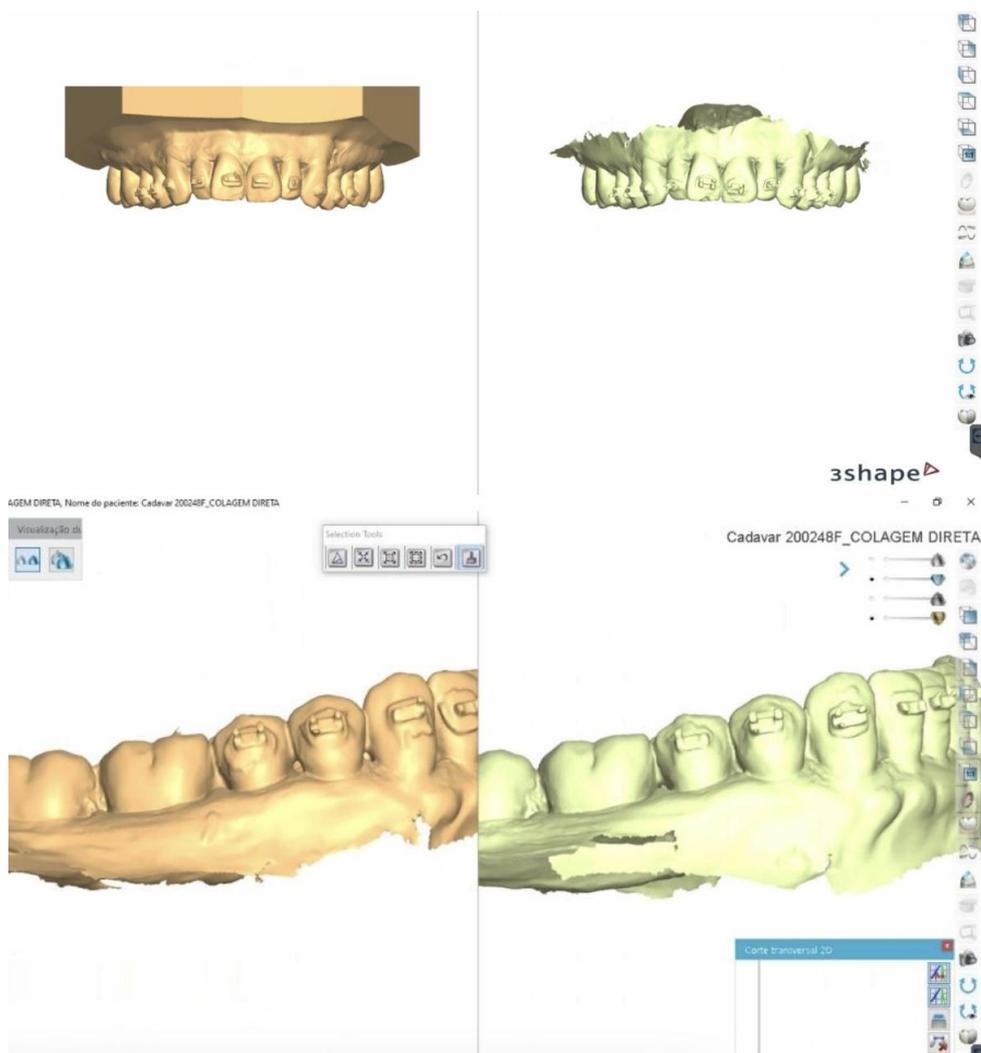
Figura 2: Procedimento de escaneamento intraoral digital. A. Escaneamento intraoral de um cadáver humano fresco. B. Operador capturando o arco dentário utilizando um scanner intraoral 3Shape conectado a um software CAD. C. Tela do computador exibindo o processamento do escaneamento 3D. D. Escaneamento 3D finalizado. E. Exemplo de modelo digital 3D com bráquetes ortodômicos. F. Exemplo adicional de modelo digital 3D com bráquetes ortodômicos.



Como nenhum movimento dentário ocorreu neste experimento ex-vivo, estruturas anatômicas dentárias estáveis foram selecionadas como pontos de referência para a sobreposição dos modelos. Foram escolhidos três pontos para cada arco para realizar o registro de superfície em 3 pontos: no arco superior, um ponto na crista da cúspide vestibular de cada segundo pré-molar e um na borda incisal mesial do incisivo central direito; no arco inferior, um ponto na crista da cúspide vestibular de cada primeiro pré-molar e um na ponta de cúspide do canino direito. Essa abordagem, previamente descrita na literatura [8], garante reprodutibilidade e minimiza a variabilidade potencial relacionada aos tecidos moles ou ao assentamento da moldeira. Além disso, para reduzir artefatos, todos os escaneamentos foram obtidos utilizando o mesmo scanner intraoral e protocolo padronizado, tanto antes quanto depois da colagem. O registro e as medições subsequentes foram restritos às superfícies dentárias e palatinas de tecido duro, eliminando qualquer influência de distorção dos tecidos moles intraorais, que é intrinsecamente menor em modelos cadavéricos ex-vivo em comparação às condições in vivo.

As diferenças no posicionamento dos bráquetes foram avaliadas nos planos vertical (ocluso-gengival) e horizontal (mésio-distal). Os eixos de medição foram definidos de acordo com o esquema da Figura 4, com linhas de referência vertical e horizontal intersectando-se no centro do eixo vestibular da coroa clínica de cada dente. Os modelos sobrepostos foram visualizados no modo de medição do software (Figura 5), permitindo a quantificação precisa dos desvios entre as técnicas de colagem. Todas as medições foram realizadas por um único examinador calibrado, com planos e pontos definidos utilizando a ferramenta “2D Measurements” nas seções sagital, axial e coronal. A base do bráquete serviu como ponto de referência em todas as análises.

Figura 3: Comparação de modelos dentários 3D utilizando o software 3Shape. A. Vista frontal dos modelos do arco maxilar. B. Vista lateral dos modelos do arco mandibular, sendo do lado esquerdo a representação da colagem direta e do lado direito, a representação da colagem indireta, para análise precisa.



A análise estatística foi realizada utilizando o SPSS Statistics, versão 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA, 2021). O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para avaliar a normalidade, e os dados apresentaram distribuição normal. A análise descritiva foi conduzida por meio de média e desvio padrão (DP). Para avaliar as diferenças médias entre os grupos, foi aplicado o teste t de Student para amostras únicas. Adotou-se um nível de significância de 5%, e diferenças clínicas de até 0,5 mm foram consideradas detectáveis [16]. Para uma análise mais abrangente, foram construídos histogramas. Nenhum cálculo de tamanho amostral foi realizado, pois este foi um estudo piloto.

Enquanto a mudança mínima detectável reflete a sensibilidade do nosso sistema de medição, o limite para aceitabilidade clínica baseia-se em padrões ortodônticos estabelecidos. Um desvio de até 0,5 mm foi adotado como limite clinicamente aceitável para erros lineares no posicionamento dos bráquetes, de acordo com o Objective Grading System do American Board of Orthodontics (ABO) e respaldado por estudos recentes que avaliam a precisão da colagem [16].

Figura 4: Representação esquemática das medições horizontal e vertical para o posicionamento do bráquete na superfície do dente. A linha vertical tracejada representa o eixo de medição vertical, e a linha horizontal tracejada representa o eixo de medição horizontal.

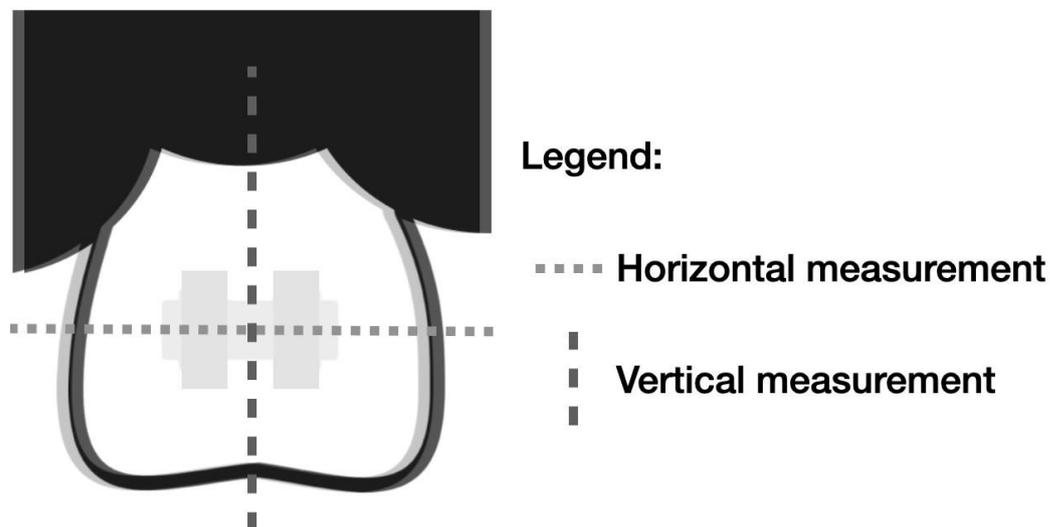
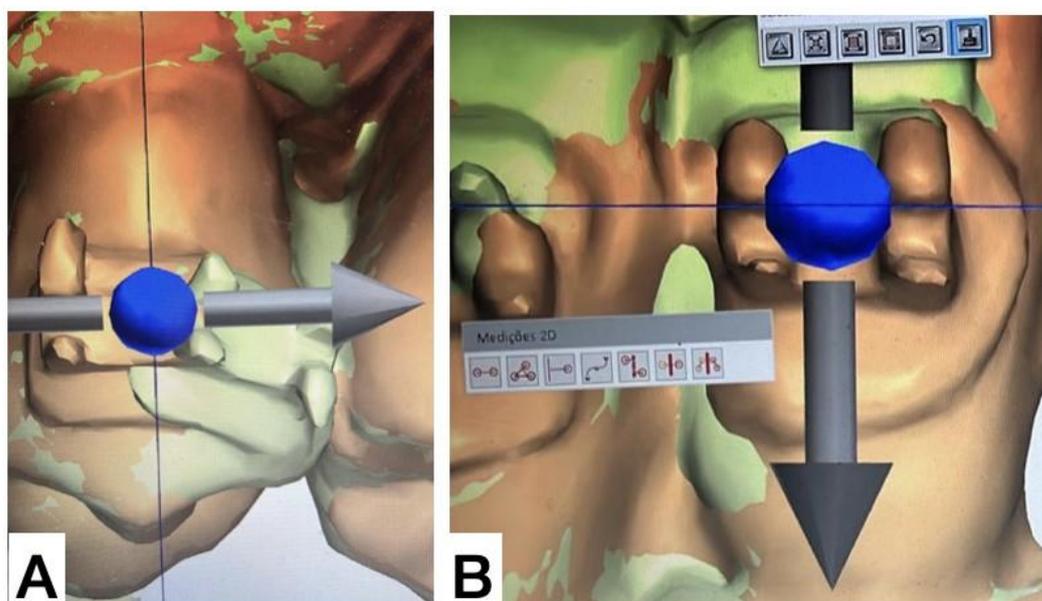


Figura 5: Sobreposição de modelos dentários 3D ilustrando a análise do posicionamento dos bráquetes. As imagens mostram as ferramentas de medição horizontal (esquerda) e vertical (direita) no software 3Shape, usadas para avaliar o alinhamento espacial entre os modelos sobrepostos.



3. Resultados

Um total de 58 dentes, distribuídos entre 5 cadáveres, está detalhado na análise descritiva dos dados. Foram observadas as diferenças médias entre as posições dos bráquetes em colagem direta e indireta, tanto na maxila quanto na mandíbula, nos planos vertical e horizontal. As diferenças médias em milímetros (mm), os desvios padrão e os valores de p estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Média e desvio padrão (em milímetros) das diferenças entre a colagem direta e indireta, e teste t de Student para amostra única na maxila.

Dente	Vertical			Horizontal		
	Média	DP	p valor	Média	DP	p valor
11	1.03	0.36	0.008*	0.38	0.23	0.84
12	0.82	0.32	0.02*	0.25	0.12	0.9
13	0.67	0.3	0.17	0.54	0.68	0.44
14	0.66	0.65	0.28	0.35	0.34	0.82
15	0.79	0.53	0.14	0.4	0.26	0.77
21	0.97	0.29	0.006*	0.19	0.13	0.96
22	0.74	0.73	0.22	0.52	0.29	0.41
23	0.40	0.24	0.81	0.61	0.72	0.35
24	0.93	0.47	0.03*	0.35	0.26	0.88
25	0.26	0.11	0.9	0.31	0.08	0.9

Legenda: DP, desvio padrão. (*): $p \leq 0,05$. Desvios médios de 0,5 mm foram considerados para o teste estatístico.

Tabela 2: Média e desvio padrão (em milímetros) das diferenças entre a colagem direta e indireta, e teste t de Student para amostra única na mandíbula.

Dente	Vertical			Horizontal		
	Média	DP	p valor	Média	DP	p valor
31	0.36	0.2	0.92	0.37	0.15	0.93
32	0.52	0.43	0.45	0.35	0.19	0.9
33	0.55	0.36	0.35	0.57	0.54	0.37
34	0.72	0.72	0.24	0.62	0.52	0.29
35	0.65	0.35	0.19	0.73	0.43	0.14
41	0.54	0.32	0.36	0.19	0.09	0,9
42	0.32	0.19	0.9	0.28	0.07	0,83
43	0.63	0.53	0.27	0.49	0.3	0.5
44	0.72	0.37	0.1	0.31	0.15	0.9
45	0.74	0.3	0.06	0.36	0.15	0.82

Legenda: DP, desvio padrão. (*): $p \leq 0,05$. Desvios médios de 0,5 mm foram considerados para o teste estatístico.

Na maxila, a maior discrepância média no posicionamento dos bráquetes entre colagem direta e indireta foi de $1,03 \pm 0,36$ mm ($p = 0,008$) no plano vertical (ocluso-gengival) do dente #11. Todas as diferenças verticais estatisticamente significativas foram encontradas nos dentes superiores, especificamente no dente #12 ($0,82 \pm 0,32$ mm, $p = 0,02$), dente #21 ($0,97 \pm 0,29$ mm, $p = 0,006$) e dente #24 ($0,93 \pm 0,47$ mm,

$p = 0,03$), cada uma excedendo o limite aceito de desvio médio de 0,5 mm. O menor valor médio vertical na maxila foi de $0,26 \pm 0,11$ mm ($p = 0,90$) no dente #25. Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada no plano horizontal para qualquer dente maxilar, sendo a maior média horizontal de $0,61 \pm 0,72$ mm ($p = 0,35$) encontrada no dente #23 e a menor de $0,19 \pm 0,13$ mm ($p = 0,96$) no dente #21.

Na mandíbula, nenhuma diferença vertical ou horizontal atingiu significância estatística. A maior média vertical foi de $0,74 \pm 0,30$ mm ($p = 0,06$) no dente #45, enquanto a menor foi de $0,32 \pm 0,19$ mm ($p = 0,90$) no dente #42. No plano horizontal, a maior média foi de $0,73 \pm 0,43$ mm ($p = 0,14$) no dente #35, e os menores valores foram de $0,19 \pm 0,09$ mm ($p = 0,90$) para o dente #41 e $0,28 \pm 0,07$ mm ($p = 0,83$) para o dente #42. De forma geral, as diferenças mais significativas concentraram-se no eixo vertical da maxila, particularmente nos incisivos centrais e laterais e nos primeiros pré-molares, como ilustrado nos histogramas das Figuras 6 e 7.

Figura 6: Diferenças entre colagem direta e indireta na maxila ao longo dos eixos vertical e horizontal.

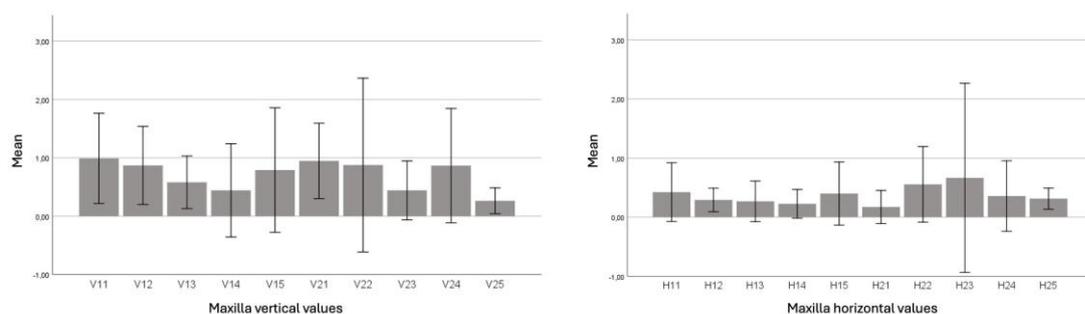
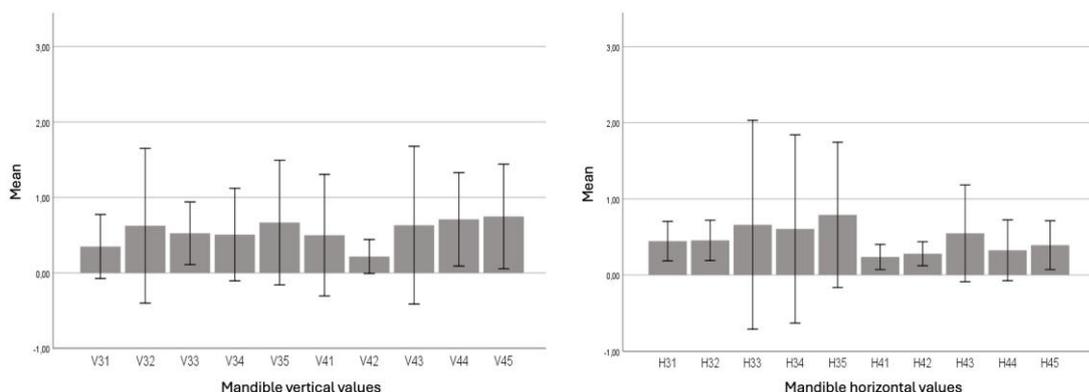


Figura 7: Diferenças entre colagem direta e indireta na mandíbula ao longo dos eixos vertical e horizontal.



4. Discussão

Este estudo ex-vivo demonstrou que a colagem indireta com guias de transferência impressas em 3D alcança maior precisão no posicionamento dos bráquetes em comparação com a colagem direta convencional, especialmente no plano horizontal (mésio-distal). Desvios superiores ao limite clinicamente aceitável de 0,5 mm foram observados principalmente nos incisivos centrais e laterais e nos primeiros pré-molares, enquanto as discrepâncias horizontais foram menores e não estatisticamente significativas. Esses achados indicam que a principal vantagem clínica do fluxo digital indireto está no controle do posicionamento horizontal.

Nossos resultados são consistentes com estudos anteriores que relatam maior precisão com colagem indireta assistida por CAD/CAM [9,16,17]. Assim como von Glasenapp et al. [9], observamos que os desvios foram mais pronunciados verticalmente, provavelmente devido à complexidade anatômica da maxila e à adaptação da guia. Embora desvios abaixo de 0,5 mm possam ter impacto clínico limitado [17,18], os dados da presente pesquisa mostram que a colagem indireta digital se mantém de forma mais consistente dentro ou próxima desse limite, reforçando seu valor em regiões esteticamente críticas e em máis oclusões complexas. Por outro lado, estudos anteriores sobre colagem indireta convencional sem suporte digital descreveram precisão variável e fluxos de trabalho ineficientes [7], destacando o papel da impressão 3D na superação dessas limitações.

Este estudo apresenta limitações, como o tamanho relativamente pequeno da amostra e a ausência de acompanhamento longitudinal, o que impede conclusões sobre desfechos clínicos, como falha do bráquete [20,21] ou eficiência do tratamento a longo prazo [22,23]. Todos os procedimentos foram realizados por um único operador, o que reduz a variabilidade, mas pode introduzir viés. Além disso, embora modelos cadavéricos proporcionem maior realismo clínico do que *typodonts* [24], eles não replicam totalmente condições intraorais, como saliva, ciclos térmicos ou movimento do paciente.

Outros fatores adicionais que influenciam a precisão foram observados por Potier et al. [25] e Jungbauer et al. [26], que enfatizaram a importância do design da guia de transferência e dos materiais de fabricação, enquanto Li et al. [27] sugeriram que a experiência clínica pode ter menor impacto quando dispositivos de transferência digitais são utilizados. Nichols et al. [28] e Sabbagh et al. [29] também confirmaram a reprodutibilidade e confiabilidade dos protocolos de colagem indireta, apoiando sua aplicabilidade clínica. Além disso, Xue et al. [30] e Zhang et al. [31] demonstraram que guias baseadas em CAD/CAM e placas-guia em múltiplas camadas aumentam a precisão do posicionamento dos bráquetes.

Do ponto de vista biomecânico, a maior precisão da colagem indireta pode ser atribuída ao posicionamento guiado fornecido pelas guias de transferência [6,9], que minimiza erros na determinação do eixo vestibular da coroa clínica [1,11,16]. Além disso, o design da guia ajuda a reduzir os efeitos de interferência dos tecidos moles [1] e acesso visual limitado, desafios particularmente relevantes nas regiões posteriores e superiores [24]. Em contraste, a colagem direta permanece vulnerável ao posicionamento vertical incorreto, mesmo nas mãos de clínicos experientes, devido à variabilidade anatômica, ângulos de trabalho e condições de iluminação [27]. Ao utilizar cadáveres frescos, nosso estudo reproduziu esses desafios em condições quase clínicas, oferecendo resultados possivelmente mais representativos do que aqueles obtidos com *typodonts*.

Clinicamente, a maior precisão horizontal com a colagem indireta impressa em 3D pode reduzir a necessidade de reposicionamento dos bráquetes, minimizar dobras compensatórias do arco e encurtar o tempo total de tratamento. Mesmo pequenos desvios podem comprometer a resistência ao cisalhamento [20,32] e a estabilidade a longo prazo [19,21,33], destacando a importância de protocolos de colagem precisos. A precisão aprimorada em regiões esteticamente exigentes também pode otimizar os resultados do sorriso e aumentar a satisfação do paciente, enquanto a reprodutibilidade dos setups digitais facilita a comunicação interdisciplinar e o planejamento do tratamento [22,23,30].

Estudos futuros devem incluir um maior número de espécimes para garantir poder estatístico adequado e validade externa. Estimativas de tamanho de amostra indicaram que apenas 3–7 dentes juntos podem ser suficientes para detectar diferenças clinicamente relevantes de 0,5 mm sob condições ideais. No entanto, como os dentes dentro do mesmo cadáver são agrupados e não totalmente independentes, recomenda-se que futuros ensaios definitivos incluam pelo menos 10–12 cadáveres, cada um contribuindo com múltiplos dentes. Esse desenho permitiria modelagem

robusta da correlação intracadáver, maior generalizabilidade e fortalecimento da evidência sobre a precisão dos protocolos digitais de colagem direta e indireta.

Por fim, o uso de modelos cadavéricos ex-vivo oferece uma plataforma biologicamente realista que aproxima os estudos laboratoriais dos ensaios clínicos in vivo. Como demonstrado na literatura [34], tais modelos permitem testes quase clínicos de dispositivos sem preocupações éticas. Nosso estudo amplia essa justificativa para a precisão no posicionamento dos bráquetes e pode servir como base para futuros ensaios clínicos randomizados.

5. Conclusão

A colagem indireta com guias impressas em 3D apresentou maior precisão no posicionamento dos bráquetes em comparação com a colagem direta, especialmente no plano horizontal. Esta técnica pode oferecer vantagens clinicamente relevantes ao aumentar a precisão da colagem em ortodontia.

Financiamento: Nenhum.

Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa: A coleta de dados deste estudo teve início após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto (CEP/HUPE) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) (Aprovação nº 6.996.981, CAAE: 80185124.2.0000.5259).

Agradecimentos: Os autores agradecem sinceramente à empresa Compass 3D pelo suporte técnico e orientação durante o planejamento digital e o processo de impressão 3D.

Conflitos de Interesse: Nenhum.

Materiais Suplementares: Nenhum.

Referências

1. Panayi NC, Tsolakis AI, Athanasiou AE. Digital assessment of direct and virtual indirect bonding of orthodontic brackets: a clinical prospective cross-sectional comparative investigation. *Int Orthod*. 2020;18(4):714–21. doi:10.1016/j.ortho.2020.09.007.
2. Sabbagh H, Hoffmann L, Wichelhaus A, Kessler A. Einfluss des Designs von 3D-gedruckten Brackettransferschienen und der Berufserfahrung auf die Genauigkeit der indirekten Bracketplatzierung. *J Orofac Orthop*. 2024;27. doi:10.1007/s00056-024-00517-2.
3. El-Timamy AM, El-Sharaby FA, Eid FH, Mostafa YA. Three-dimensional imaging for indirect-direct bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016;149(6):928–31. doi:10.1016/j.ajodo.2015.12.009.
4. Hoffmann L, Sabbagh H, Wichelhaus A, Kessler A. Bracket transfer accuracy with two different three-dimensional printed transfer trays vs silicone transfer trays. *Angle Orthod*. 2022;92(3):364–71. doi:10.2319/040821-283.1.
5. Koo BC, Chung CH, Vanarsdall RL. Comparison of the accuracy of bracket placement between direct and indirect bonding techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1999;116(3):346–51. doi:10.1016/S0889-5406(99)70248-9.
6. Jacobson A. A randomized clinical trial comparing the accuracy of direct versus indirect bracket placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005;127(5):639. doi:10.1016/j.ajodo.2004.11.009.
7. Castilla AE, Crowe JJ, Moses JR, Wang M, Ferracane JL, Covell DA. Measurement and comparison of bracket transfer accuracy of five indirect bonding techniques. *Angle Orthod*. 2014;84(4):607–14. doi:10.2319/070113-484.1.
8. Duarte MEA, Gribel BF, Spitz A, Artese F, Miguel JAM. Reproducibility of digital indirect bonding technique using three-dimensional (3D) models and 3D-printed transfer trays. *Angle Orthod*. 2020;90(1):92–9. doi:10.2319/030919-176.1.

9. von Glasenapp J, Hofmann E, Süpple J, Jost-Brinkmann PG, Koch PJ. Comparison of two 3D-printed indirect bonding (IDB) tray design versions and their influence on the transfer accuracy. *J Clin Med.* 2022;11(5):1295. doi:10.3390/jcm11051295.
10. Czolgosz I, Cattaneo PM, Cornelis MA. Computer-aided indirect bonding versus traditional direct bonding of orthodontic brackets: bonding time, immediate bonding failures, and cost-minimization. A randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2021;43(2):144–51. doi:10.1093/ejo/cjaa045.
11. Nguyen VA, Nguyen TA, Doan HL, Pham TH, Doan BN, Pham TTT, et al. Transfer accuracy of partially enclosed single hard vacuum-formed trays with 3D-printed models for lingual bracket indirect bonding: a prospective in-vivo study. *PLoS One.* 2025;20(1):e0316208.
12. Soares Ueno EP, de Carvalho TCA da SG, Kanashiro LK, Ursi W, Chilvarquer I, Neto JR, et al. Evaluation of the accuracy of digital indirect bonding vs. conventional systems: a randomized clinical trial. *Angle Orthod.* 2025;95(1):3–11. doi:10.2319/030624-179.1.
13. Bezerra PM, Borba MN, Guerriero ICZ, Dallari SG. Ethical and legal analysis of scientific research on corpses in Brazil. *Rev Bioet (Impr).* 2020;28(3):554–64. doi:10.1590/1983-80422020283420.
14. Möhlhenrich SC, Brandt M, Kniha K, Prescher A, Hölzle F, Modabber A, et al. Accuracy of orthodontic mini-implants placed at the anterior palate by tooth-borne or gingiva-borne guide support: a cadaveric study. *Clin Oral Investig.* 2019;23(12):4425–31. doi:10.1007/s00784-019-02885-1.
15. Pliska A, Schiavon L, Brunello G, Wilmes B, Schwarz-Herzke B, Drescher D, et al. Accuracy of two variants of 3D-printed insertion guides for orthodontic mini-implants: an ex vivo study in human cadavers. *Appl Sci.* 2023;13(16):9162. doi:10.3390/app13169162.
16. Aboujaoude R, Kmeid R, Gebrael C, Amm E. Comparison of the accuracy of bracket positioning between direct and digital indirect bonding techniques in the maxillary arch: a three-dimensional study. *Prog Orthod.* 2022;23(1). doi:10.1186/s40510-022-00426-3.
17. Bachour PC, Klabunde R, Grünheid T. Transfer accuracy of 3D-printed trays for indirect bonding of orthodontic brackets. *Angle Orthod.* 2022;92(3):372–9. doi:10.2319/073021-596.1.
18. Bozelli JV, Bigliuzzi R, Barbosa HAM, Ortolani CLF, Bertoz FA, Faltin Junior K. Comparative study on direct and indirect bracket bonding techniques regarding time length and bracket detachment. *Dent Press J Orthod.* 2013;18(6):51–7. doi:10.1590/s2176-94512013000600009.
19. Deahl ST, Salome N, Hatch JP, Rugh JD. Practice-based comparison of direct and indirect bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(6):738–42. doi:10.1016/j.ajodo.2006.01.037.
20. Aguirre MJ, King GJ, Waldron JM. Assessment of bracket placement and bond strength when comparing direct bonding to indirect bonding techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1982;82(4):269–76. doi:10.1016/0002-9416(82)90461-4.
21. Hocevar RA, Vincent HF. Indirect versus direct bonding: bond strength and failure location. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;94(5):367–71. doi:10.1016/0889-5406(88)90125-4.
22. Al-Ubaydi ASH, Al-Groosh D. Do the various indirect bonding techniques provide the same accuracy for orthodontic bracket placement? (Randomized clinical trial). *Int J Dent.* 2024;2024(1). doi:10.1155/2024/5455197.
23. Kalia A, Hegde A, Bobade S, Khan AA. CBCT imaging for bracket positioning with consideration to root axes. *J Indian Orthod Soc.* 2024;58(2):205–8. doi:10.1177/03015742231222684.
24. Israel M, Kusnoto B, Evans CA, BeGole E. A comparison of traditional and computer-aided bracket placement methods. *Angle Orthod.* 2011;81(5):828–35. doi:10.2319/072110-425.1.
25. Pottier T, Briant A, Turpin YL, Chauvel B, Meuric V, Sorel O, et al. Accuracy evaluation of bracket repositioning by indirect bonding: hard acrylic CAD/CAM versus soft one-layer silicone trays, an in vitro study. *Clin Oral Investig.* 2020;24(11):3889–97. doi:10.1007/s00784-020-03256-x.
26. Jungbauer R, Breunig J, Schmid A, Hüfner M, Kerberger R, Rauch N, et al. Transfer accuracy of two 3D-printed trays for indirect bracket bonding—an in vitro pilot study. *Appl Sci.* 2021;11(13):6013. doi:10.3390/app11136013.
27. Li B, Wang P, Zheng Q, Huang L, Hu S, Han X, et al. Does clinical experience affect the bracket bonding accuracy of guided bonding devices in vitro? *Angle Orthod.* 2024;94(1):59–67.

28. Nichols DA, Gardner G, Carballeyra AD. Reproducibility of bracket positioning in the indirect bonding technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(5):770–6.
29. Sabbagh H, Khazaei Y, Baumert U, Hoffmann L, Wichelhaus A, Janjic Rankovic M. Bracket transfer accuracy with the indirect bonding technique—a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med.* 2022;11(9):2568. doi:10.3390/jcm11092568.
30. Xue C, Xu H, Guo Y, Xu L, Dhimi Y, Wang H, et al. Accurate bracket placement using a computer-aided design and computer-aided manufacturing-guided bonding device: an in vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(2):269–77. doi:10.1016/j.ajodo.2019.03.022.
31. Zhang Y, Yang C, Li Y, Xia D, Shi T, Li C. Comparison of three-dimensional printing guides and double-layer guide plates in accurate bracket placement. *BMC Oral Health.* 2020;20(1). doi:10.1186/s12903-020-01110-w.
32. Yi GK, Dunn WJ, Taloumis LJ. Shear bond strength comparison between direct and indirect bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(5):577–81. doi:10.1016/S0889-5406(03)00503-1.
33. Zachrisson BU, Brobakken BO. Clinical comparison of direct versus indirect bonding with different bracket types and adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1978;74(1):62–78.
34. Shavakhi M, Soltani P, Aghababae G, Patini R, Armogida NG, Spagnuolo G, et al. A quantitative evaluation of the effectiveness of the metal artifact reduction algorithm in cone beam computed tomographic images with stainless steel orthodontic brackets and arch wires: an ex vivo study. *Diagnostics.* 2024;14(2):159. doi:10.3390/diagnostics14020159.