

The future of orthodontic treatment for children: intraoral scanners and 3D printers

Masa depan perawatan ortodontik pada pasien anak: *intraoral scanner* dan printer 3D

¹Giska Anandita Cahyani, ²Syakriani Syahrir

¹Recidency Program of Pediatric Dentistry Faculty of Dentistry, Hasanuddin University

²Department of Pediatric Dentistry Faculty of Dentistry, Hasanuddin University

Makassar, Indonesia

Corresponding author: Giska Anandita Cahyani, e-mail: giskanandita@gmail.com

ABSTRACT

The use of intraoral scanners and 3D printers is currently being considered as an alternative to conventional printing in paediatric dentistry. It also has many benefits, such as improved hygiene and patient comfort, efficient data transfer, analysis of diagnostic models, and improved accuracy and reproducibility of orthodontic treatment. This article examines the effectiveness and practicality of intraoral scanners and 3D printers in paediatric orthodontic treatment, focusing on patient perception, reliability, and treatment time, as criteria that are important in the field. It is concluded that intraoral scanners and 3D printers represent a significant change in the advancement of digital dentistry, serving as highly efficient tools for orthodontic diagnosis and treatment planning.

Key words: intraoral scanners, 3D printers, children, pediatric orthodontic, dental impression

ABSTRAK

Penggunaan *intraoral scanner* dan printer 3D saat ini sedang dipertimbangkan sebagai alternatif dari pencetakan konvensional dalam kedokteran gigi anak. Hal ini juga memiliki banyak manfaat, seperti kebersihan dan kenyamanan pasien, transfer data yang efisien, analisis model diagnostik, dan peningkatan akurasi dan reproduktivitas perawatan ortodontik. Artikel ini mengkaji keefektifan dan kepraktisan *intraoral scanner* dan printer 3D dalam perawatan ortodonti anak, dengan berfokus pada persepsi pasien, reliabilitas, dan waktu perawatan, sebagai kriteria yang sangat penting di lapangan. Disimpulkan bahwa *intraoral scanner* dan printer 3D merupakan sebuah perubahan yang signifikan dalam kemajuan kedokteran gigi digital, yang berfungsi sebagai alat yang sangat efisien untuk diagnosis ortodontik dan perencanaan perawatan.

Kata kunci: intraoral scanners, printer 3D, anak-anak, ortodontik pediatrik, cetakan gigi

Received: 10 December 2023

Accepted: 1 April 2024

Published: 1 August 2024

PENDAHULUAN

Maloklusi, menurut WHO adalah prioritas ketiga untuk penyakit kesehatan mulut, yang berdampak pada beberapa fungsi mulut seperti mengunyah, menelan, dan keterampilan berbicara, tampilan, harga diri, dan kualitas hidup.^{1,2} Maloklusi memiliki angka kejadian tertinggi di seluruh dunia pada anak usia dini selama fase gigi sulung, dan tetap konstan pada gigi permanen (54%).^{1,3}

Pilihan perawatan yang tepat, ditentukan oleh usia anak, tingkat maloklusi, dan kesehatan secara umum. Melakukan konsultasi ke dokter gigi sangatlah penting untuk menentukan tindakan terbaik untuk kebutuhan spesifik anak.⁴

Kunjungan ke dokter gigi bisa menjadi hal yang menakutkan bagi orang dewasa, sehingga dapat dimengerti jika anak-anak merasa lebih cemas. Terdapat banyak alasan untuk ketakutan ini, mulai dari ketakutan akan hal yang tidak diketahui hingga ketidaknyamanan yang terkait dengan cetakan gigi tradisional. Dokter gigi anak selalu mencari cara untuk membuat pasien anak merasa lebih nyaman dan menikmati kunjungan mereka. Adanya teknologi *intraoral scanner* (IOS) telah memberikan dokter gigi anak suatu alat baru untuk membuat janji lebih menyenangkan dan bebas stres bagi anak.^{5,6}

Perkembangan teknologi modern dengan cepat memengaruhi dunia kedokteran gigi dan, lebih khusus lagi, ortodonti.⁷ Diperkenalkannya IOS dan printer 3D pada ortodonti telah memberi dampak yang besar pada bidang perawatan ortodonti anak. Teknologi modern ini telah mengubah cara dokter gigi melakukan diagnosis, perencanaan perawatan, dan fabrikasi alat.⁸

Intraoral scanner memungkinkan pemetaan dilakukan berkualitas tinggi pada jaringan keras dan lunak, sehingga menghasilkan visualisasi yang lebih tepat dan

akurat pada struktur mulut anak.⁸ Pencetakan 3D merupakan salah satu teknologi mutakhir dalam industri manufaktur. Salah satu penggunaan utama dari printer 3D dalam ortodonti adalah untuk membuat cetakan gigi.⁷ Hal ini telah meningkatkan kerja sama pasien dan meredakan pencetakan gigi secara tradisional, yang dapat menyulitkan anak-anak.⁹

Intraoral scanner dan printer 3D telah merevolusi perawatan ortodontik untuk anak, menawarkan pilihan perawatan yang lebih efisien, tepat, dan nyaman. Pengenalan perangkat *intraoral scanner* dalam praktik kedokteran gigi dianggap sebagai sebuah langkah terobosan menuju alur kerja digital dalam kedokteran gigi anak. Artikel ini mengkaji keefektifan dan kepraktisan *intraoral scanner* dan printer 3D dalam perawatan ortodonti anak, dengan berfokus pada persepsi pasien, reliabilitas, dan waktu perawatan

TINJAUAN PUSTAKA

Intraoral scanner

Dalam bidang ortodonti, cetakan lengkung penuh digunakan untuk diagnosis, pengembangan rencana perawatan, dan fabrikasi alat. Prosedur pencetakan tradisional sangat sensitif terhadap teknik ini, dan ketepatan model dapat dipengaruhi oleh bahan yang digunakan, kompresi bahan, durasi pencetakan, dan suhu ruangan.^{10,11}

Konsep IOS diperkenalkan pada bidang dental di tahun 1970.¹⁰ Dentsply Sirona (Charlotte, NC, USA) memperkenalkan IOS pertama, yang dikenal dengan nama CEREC, yang mulai diproduksi pada tahun 1985, untuk mengambil cetakan untuk mendesain restorasi gigi tiruan cekat.^{8,12} Pada tahun 1999, Cadent Technologies Inc (OrthoCAD) mengembangkan sistem pemindai ortodonti. Pengambilan model digital dengan IOS semakin

populer selama beberapa tahun terakhir karena banyak kelebihannya.¹⁰

Teknik IOS adalah perangkat yang menghasilkan cetakan optik langsung dalam bidang kedokteran gigi. Seperti halnya pemindai 3D lainnya, IOS memproyeksikan sumber cahaya, laser atau cahaya terstruktur, ke objek yang akan dipindai, yaitu lengkung gigi.^{11,13–15} Kemudian, model 3D yang diproses oleh perangkat lunak pemindaian akan ditampilkan secara *real-time* pada layar sentuh. Teknologi ini menghasilkan gambar berkualitas tinggi untuk memberikan detail yang akurat dari jaringan keras dan lunak mulut. IOS menghasilkan gambar yang lebih presisi, membuat perencanaan perawatan lebih mudah, memfasilitasi komunikasi dengan laboratorium, dan menghemat waktu operasi dan perawatan.¹⁶



Gambar 1A K Scan oleh K Line Eropa, **B** bagian-bagian IOS-monitor komputer, wand

Peranti yang dibutuhkan untuk IOS adalah tongkat kamera genggam, serta komputer dan perangkat lunak.⁵ IOS menggunakan wand/tongkat untuk mengambil stream gambar seperti video yang secara otomatis dikonversi oleh perangkat lunak yang mutakhir menjadi model 3D anatomi oral yang terperinci. Cetakan digital ini kemudian dapat digunakan untuk berbagai macam perawatan dan perangkat dental. IOS telah menggantikan cetakan gigi tradisional, membuat prosesnya lebih nyaman dan tidak terlalu invasif untuk anak-anak.^{17,18}

Saat ini, anak-anak menyumbang persentase yang signifikan terhadap jumlah pasien ortodontik, dan ciri-ciri perilaku mereka, serta adanya struktur mulut yang lebih kecil, dapat menimbulkan risiko pada teknik cetakan gigi intraoral.¹⁹ Pemindai digital memiliki beberapa keunggulan dibandingkan cetakan tradisional.²⁰ IOS memberikan hasil yang lebih akurat, serta lebih sedikit tahapan klinis dan laboratorium tanpa pemrosesan manual; penyusutan dan distorsi dapat dihindari.^{16,21,22}

Tidak seperti cetakan gigi tradisional yang menggunakan bahan cetak yang cenderung kotor dan tidak nyaman, IOS adalah sebuah terobosan baru. Alih-alih mengutak-atik benda tersebut, dokter gigi cukup meletakkan pemindai di mulut anak, dan gambar 3D digital yang detail dari gigi dan gingiva ditangkap hanya dalam hitungan detik, semuanya tanpa rasa sakit atau invasif,⁶ tidak ada refleks muntah yang muncul, tidak ada risiko aspirasi benda asing, dan tidak ada bahan cetakan yang keluar. Proses pemindaian digital untuk cetakan intraoral telah dilaporkan memberikan persepsi yang lebih baik, lebih nyaman dan diterima dengan baik oleh pasien anak dan orang tua/pengasuh mereka.^{5,20,23} Karena kurangnya cetakan gigi konvensional yang bersifat analog, dokter gigi dapat secara langsung mentransfer file STL digital ke

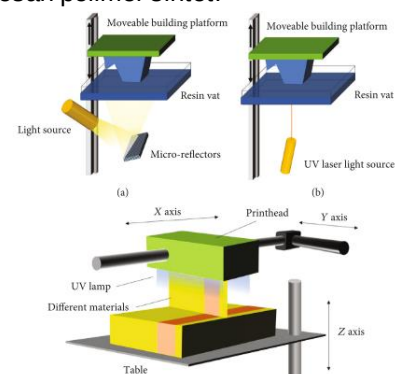
laboratorium gigi digital untuk proses tambahan, sehingga menghasilkan alur kerja digital yang cepat.^{5,23}

Teknik IOS memiliki beberapa keterbatasan, seperti biaya yang lebih tinggi untuk perangkat dan mesin digital dibandingkan dengan cetakan gigi tradisional. Adanya kurva pembelajaran yang lebih tinggi, pengetahuan dan pelatihan yang spesifik dan mendalam diperlukan bagi dokter gigi untuk menggunakan IOS dan menjalankan alur kerja digital. Ketidakmampuan untuk menyesuaikan oklusi, urutan pemindaian yang kaku, printer 3D menghasilkan produk melalui teknologi lapis demi lapis, sehingga dalam kondisi tertentu dapat mengalami penurunan kualitas di bawah tekanan atau orientasi tertentu.^{5,14,24}

Printer 3D

Menurut *American Society for Testing and Materials*, printer 3D adalah *penciptaan objek* dari data model 3D dengan menambahkan lapis demi lapis, tidak seperti teknik manufaktur subtraktif.^{25,26} Charles Hull yang dikenal sebagai bapak printer 3D, membuat dasar untuk sistem 3D pada tahun 1986, dengan memperkenalkan printer 3D stereolitografi.^{25,27} Proses ini melibatkan penyimpanan data dalam CAD telah siap, format dan objek dalam bentuk STL kemudian dicetak. Pada tahun 1988, Hall membentuk 3D systems dan memperkenalkan SLA-250, printer 3D pertama yang dapat diakses secara komersial.^{28,29} Scott Crump mengembangkan *fused deposition modeling* (FDM) beberapa tahun setelah printer 3D pertama dirilis.^{25,30}

Dalam ortodontik tradisional, model rencana perawatan ortodontik berbentuk model gips fisik yang mudah hilang, patah, dan rusak.³¹ Printer 3D sebagian besar digunakan pada ortodontik digital dengan menggunakan pemindai oral untuk menghasilkan lengkung gigi, kamera portabel, komputer, dan perangkat lunak ortodontik. Lima teknologi pencetakan yang paling umum adalah FDM, *printer polijet* (PJ), *stereolitografi* (SLA), *selective laser sintering* (SLS), dan *digital light processing* (DLP).¹⁶ Penyempurnaan bahan dental yang dapat dicetak sebagian besar didorong oleh penciptaan parameter manufaktur aditif yang meningkatkan kualitas mekanik bahan tradisional. Biokompatibilitas sangat penting untuk bahan cetak 3D, dan resin cetak 3D memiliki biokompatibilitas yang sebanding dengan resin gigi tradisional. Biokompatibilitas dapat ditingkatkan lebih jauh lagi melalui post-pemrosesan polimer sintetik.^{26,28,32–36}



Gambar 2 Diagram skematik teknologi 3D; **a** DLP, **b** SLA, **c** FDM¹⁶

Printer 3D telah merevolusi era kedokteran presisi dengan menyediakan fasilitas yang dapat disesuaikan, efisien, sangat presisi, dan dapat direproduksi yang memiliki dampak substansi pada bidang kedokteran gigi, khususnya kedokteran pediatrik ortodonsia.^{34,37} Ke depannya, teknologi printer 3D menjadi sebuah perubahan besar dalam diagnosis, perencanaan perawatan, dan yang terpenting, motivasi pasien. Dengan teknologi printer 3D dan perangkat lunak kecerdasan buatan, pasien dapat melihat dan merasakan model 3D dari lengkungan yang diperbaiki dan perubahan yang presisi di tangan mereka.^{28,37} SLA dapat mencetak cetakan 3D braces yang disesuaikan dengan tip dan torsi tertentu atau aligner bening yang dirancang khusus untuk pasien.³⁸

Teknologi printer 3D seperti SLA atau FDM dulunya pernah digunakan untuk mencetak cetakan model dan aligner, tetapi sifat-sifatnya dapat diubah oleh proses *thermoforming* dan lingkungan intraoral.³⁸ Aligner yang dicetak langsung menggunakan printer 3D menjadi populer karena kesesuaiannya yang lebih baik, efektivitas yang lebih tinggi, dan reproduktivitas tanpa mengubah sifat bahan.³⁹ Aligner ini menawarkan akurasi yang lebih tinggi, ketahanan terhadap beban, dan deformasi yang lebih rendah dibandingkan aligner yang diproduksi dengan *thermoformed*. Printer 3D juga digunakan dalam gnatologi untuk menangani gangguan sendi temporo-mandibula, dengan posisi terapeutik yang terencana secara digital dan *customized intraoral appliances* yang dicetak menggunakan printer 3D.^{32,40}

Penggunaan kombinasi IOS dan printer 3D dalam ortodontik pada anak

Penggunaan printer 3D dalam kedokteran gigi modern telah mempermudah alur kerja perawatan, meningkatkan efisiensi dan menyingkat waktu penyelesaian dengan meniadakan kebutuhan akan cetakan fisik tradisional dan memfasilitasi komunikasi di antara para praktisi gigi, menawarkan peningkatan akurasi, presisi, kenyamanan pasien, dan efisiensi. Taneva dkk menggunakan metode 3D untuk mengevaluasi pola rugae untuk identifikasi manusia, membuktikan bahwa metode ini lebih dapat diandalkan daripada metode 2D, dengan menggunakan jejak digital, model plester, dan IOS.⁴¹

Grunheid dkk.⁴² dan Sfondrini dkk.⁴³ membenarkan bahwa IOS dapat menghasilkan data seakurat cetakan alginat untuk aplikasi ortodontik, sedangkan penelitian lain menemukan bahwa bahan cetak tradisional memberikan presisi yang jauh lebih tinggi daripada sistem cetakan digital.⁴⁴⁻⁴⁶ Secara umum, pemindaian pada maksila tampaknya kurang akurat dibandingkan dengan pemindaian pada mandibula.⁴⁷ Rhee dkk mencoba untuk lebih spesifik, dengan menyatakan bahwa kesalahan dua dimensi pada cetakan tradisional lebih sedikit dibandingkan dengan yang diukur dengan IOS.⁴⁸

PEMBAHASAN

Integrasi IOS dan printer 3D dalam perawatan ortodontik anak telah memberikan hasil yang baik dalam hal efektivitas dan kepuasan pasien. Hal ini memungkinkan

pengembangan peranti ortodontik yang sangat akurat dan individual, seperti *aligner*, *retainer*, *space maintainer*.

IOS telah menggeser pencetakan gigi tradisional, karena prosedur ini lebih nyaman dan tidak terlalu invasif, dan memudahkan pasien anak untuk bekerja sama selama perawatan ortodontik.¹⁰

Dokter gigi dapat dengan mudah menghubungkan model digital dengan printer 3D untuk membuat model fisik dan perangkat ortodontik yang tepat. Penggunaan printer 3D dalam ortodontik menawarkan banyak manfaat bagi anak, termasuk kemampuan untuk membuat perangkat ortodontik yang dapat meningkatkan hasil perawatan, pengurangan yang signifikan dalam waktu penyelesaian pembuatan peranti ortodontik, peningkatan akurasi, meminimalkan ketidaknyamanan dan memastikan keoptimalan hasil yang tepat untuk struktur gigi anak, mengurangi ketidaknyamanan dan meningkatkan hasil perawatan. Selain itu, penggunaan printer 3D sangat mengurangi waktu pembuatan peranti ortodontik, sehingga anak dapat memulai perawatan dengan segera.¹⁰

Ketika membandingkan model 3D yang diperoleh dengan CBCT dengan model 3D yang diperoleh dengan IOS, terlihat bahwa metode IOS memberikan akurasi yang dapat diterima secara statistik dan klinis untuk semua pengukuran gigi langsung dan tidak langsung, sedangkan model CBCT menunjukkan kecenderungan untuk menyepelkan pengukuran gigi pada lengkung bawah, meskipun masih dalam batas yang dapat diterima secara klinis.⁴⁹

Dalam penelitian terbaru, Kirschneck dkk. menyarankan bahwa, meskipun cetakan alginat tidak langsung menunjukkan reproduktivitas yang lebih tinggi secara statistik dibandingkan dengan cetakan digital langsung, secara klinis kedua prosedur setara untuk keperluan diagnostik ketika membandingkan model yang diperoleh dengan IOS Lythos, alginat, dan polieter.⁵⁰

Teknik digital hemat waktu karena pemindaian lengkung penuh dalam waktu kurang dari 3 menit, sehingga tidak memerlukan gips. Namun, kemungkinan variasi anatomi dan bukaan mulut yang terbatas dapat memperumit prosedur dan menambah waktu.⁴⁶ Burdarht dkk, menemukan bahwa meskipun refleks muntah, sesak napas, dan persepsi waktu serupa antara pemindaian digital dan cetakan tradisional, anak secara signifikan lebih mual dan kurang nyaman dengan cetakan alginat dibandingkan dengan cetakan digital pada maksila.¹⁹ Dalam sebuah penelitian dengan TRIOS Classic, Glisic dkk menemukan bahwa IOS lebih nyaman daripada cetakan alginat, dengan pengecualian persepsi waktu dan suhu, yang serupa untuk kedua prosedur tersebut.⁵¹ Riset Yilmaz dan Aydin, mengamati ketidaknyamanan yang substansi dengan pencetakan secara tradisional dibandingkan dengan pencetakan digital menggunakan TRIOS 3-Card baik untuk dokter maupun anak-anak.²²

Teknologi printer 3D menawarkan berbagai keuntungan dibandingkan model gips tradisional, seperti bobot yang lebih ringan, kemungkinan kerusakan yang lebih rendah, daya tahan yang lebih baik, ketahanan aus yang lebih tinggi, dan digital data sharing. Model-model

ini juga memiliki bahan yang ramah lingkungan untuk dicetak.⁵² Jeong dkk membuktikan bahwa model cetak 3D memiliki akurasi dan reproduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan model gips tradisional, meskipun akurasinya sedikit lebih rendah.⁵³ Hazeveld dkk menemukan bahwa model gips lebih akurat untuk protesis dibandingkan dengan cetakan printer 3D, tetapi perbedaannya tidak signifikan. Keakuratan model kerja bervariasi dengan printer 3D yang digunakan, dengan DLP lebih akurat daripada jenis lainnya.⁵⁴

Metode registrasi digital pada awalnya lebih mahal dibandingkan dengan metode tradisional, tetapi pada akhirnya biaya akan setara setelah berjalan selama tiga tahun.⁵¹ Hal ini disebabkan oleh tidak diperlukan pencetakan yang berulang-ulang, serta biaya staf tambahan dan ruang laboratorium.⁵⁵ Dan juga, terlepas dari kemajuan yang dibawa oleh IOS dan printer 3D ke dalam praktik ortodontik, masih ada beberapa kendala dan batasan dalam penggunaannya. Sebagian besar kendala saat ini dapat diatasi dengan pengalaman dan keterampilan medis yang kompeten.⁴⁶

Dokter gigi membutuhkan pelatihan dan pengetahuan khusus untuk menggunakan IOS dan printer 3D secara efektif, yang mungkin memerlukan kurva pembelajaran yang lebih lama daripada metode tradisional. Investasi tahap awal yang tinggi dapat membatasi aksesibilitas untuk populasi berpenghasilan rendah atau kurang mampu. Perawatan dan kalibrasi rutin diperlukan untuk performa yang akurat, sehingga akan menambah biaya dan kerumitan teknologi. Peranti yang dicetak dengan

teknologi 3D dapat mengalami delaminasi di bawah tekanan tertentu, yang memengaruhi daya tahan dan kinerja jangka panjangnya. Meskipun teknologi ini telah terbukti cukup menjanjikan dalam bidang ortodonti, masih diperlukan lebih banyak uji klinis dan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas jangka panjang, keamanan, dan dampaknya terhadap hasil akhir pasien. Teknologi digital dalam ortodonti dapat menimbulkan kesalahan dalam transfer data, pemrosesan, dan fabrikasi, yang berdampak pada akurasi perawatan.^{56,57}

Seiring dengan kemajuan teknologi, keakuratan IOS dan printer 3D akan terus ditingkatkan untuk memastikan hasil perawatan yang lebih baik pada anak. Pengembangan bahan gigi baru yang dirancang khusus sebagai cetakan 3D akan memberikan kekuatan, daya tahan, dan estetika yang lebih baik, yang akan meningkatkan kualitas peranti ortodontik. Integrasi IOS dan printer 3D akan terus memudahkan alur kerja ortodontik, perawatan menjadi lebih efisien dan mengurangi waktu kerja.

Disimpulkan bahwa kombinasi IOS-printer 3D pada ortodonti anak telah menghasilkan perawatan yang lebih nyaman, tepat, dan efisien. Teknologi modern ini tidak hanya meningkatkan hasil perawatan tetapi juga pengalaman perawatan secara menyeluruh pada anak. Seiring dengan teknologi yang terus berkembang, diharapkan dapat berperan penting dalam bidang ini. Untuk itu, suatu penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memberi pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran teknologi ini dalam ortodonti pediatrik dan untuk memberikan panduan penggunaannya dalam praktik klinis.

REFERENSI

1. Lombardo G, Vena F, Negri P. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent* 21.
2. Maciej S, Becker FG, Cleary M. Early treatment of Class III malocclusion with RME and facial mask: evaluation of dentoalveolar effects on digital dental casts. *Eur J Paediatr Dent* 2020;7(1):343-54.
3. Merlo GHS, Piardi CC, Gabrielli E. Association between history of orthodontic treatment and sociodemographic factors in adolescents. *Acta Odontol Latinoam* 2018;31(1):3-10.
4. Cianetti S, Lombardo G, Lupatelli E. Dental fear/anxiety among children and adolescents. A systematic review. *Eur J Paediatr Dent* 2017;18(2):121-30.
5. Panwar M, Gupta S, Singh U, Das A, Isha S. Role of intraoral scanners in pediatric dentistry. *Int J Med Dent Sci* 2023;12(1).
6. Intraoral scanners in pediatric dentistry: making dental visits fun and easy. Published 2023.
7. Tsolakis IA, Gizani S, Panayi N, Antonopoulos G, Tsolakis AI. Three-dimensional printing technology in orthodontics for dental models: a systematic review. *Child* 2022; 9:1106.
8. Jedliński M, Mazur M, Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J. 3D scanners in orthodontics—current knowledge and future perspectives—a systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(3):1-14.
9. Harikrishnan S, Subramanian A. 3D printing in orthodontics: A narrative review. *J Int Oral Heal* 2023;15:15-27. doi:10.4103/jioh.jioh_83_22
10. Serrano-Velasco D, Martín-Vacas A, Paz-Cortés MM, Giovannini G, Cintora-López P, Aragonese JM. Intraoral scanners in children: evaluation of the patient perception, reliability and reproducibility, and chairside time—A systematic review. *Front Pediatr*. 2023;11. doi:10.3389/fped.2023.1213072
11. Martin CB, Chalmers EV, McIntyre GT, Cochrane H, Mossey PA. Orthodontic scanners: what's available? <https://doi.org/10.1179/1465313315Y0000000001>. 2015;42(2):136-143. doi:10.1179/1465313315Y0000000001
12. Sannino G, Germano F, Arcuri L, Bigelli E, Arcuri C, Barlattani A. CEREC CAD/CAM chairside system. *Oral implantol (Rome)*. 2014;7(3):57-70.
13. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Heal* 2017;17(1):1-11.
14. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems—a current overview. *Int J Comput Dent* 2015; 18(2):101-29.
15. Ting-Shu S, Jian S. Intraoral digital impression technique: a review. *J Prosthodont* 2015;24(4):313-21.
16. Tian Y, Chen CX, Xu X. A review of 3D printing in dentistry: technologies, affecting factors, and applications. *Scanning* 2021;
17. Braian M, Wennerberg A. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2019;122(2):129-36.e2.
18. How intraoral scanners work—read full guide here [2024]. Accessed April 8, 2024. <https://dental-rotors.com/how-intraoral-scanners-work/>
19. Burhardt L, Livas C, Kerdijk W, van der Meer WJ, Ren Y. Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2016;150:261-

7. doi:10.1016/J.AJODO.2015.12.027
20. Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, Fields HWJ, Deguchi T. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: time and patient satisfaction. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2018;153:534-41. doi:10.1016/j.ajodo.2017.08.017
21. James SL, Abate D, Abate KH. Global, regional and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: A systematic analysis for the global burden of disease study 2017. *Lancet*.
22. Yilmaz H, Aydın MN. Digital versus conventional impression method in children: Comfort, preference and time. *Int J Paediatr Dent* 2019;29(6):728-35.
23. Vij AA, Reddy A. Using digital impressions to fabricate space maintainers: A case report. *Clin Case Rep* 2020;8(7):1274-6. doi:10.1002/ccr3.2848
24. Scribante A, Gallo S, Pascadopoli M. Properties of CAD/CAM 3D printing dental materials and their clinical applications in orthodontics: where are we now? *Appl Sci* 2022;12:551;12(2):551.
25. Ergül T, Güleç A, Göymen M. The use of 3D printers in orthodontics-a narrative review. *Turkish J Orthod* 2023;36(2):134.
26. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28(1):3-12.
27. Groth C, Kravitz ND, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. 3D printing technology *J Clin Orthod* 2014;48(8):475-85.
28. Sikdar R, Bag A, Shirolkar S, Gayen K, Sarkar S, Roychowdhury S. 3D Printing: its application in pediatric dental practice. *Acta Sci Dent Sci* 2022;103:111. doi:10.31080/asds.2022.06.1306
29. Lee Ventola C. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *Pharm Ther* 2014;39(10):704.
30. Dodziuk H. Applications of 3D printing in healthcare. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2016; 13:283-93.
31. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 2011;14(1):1-16. doi:10.1111/j.1601-6343.2010.01503.x
32. Jeong M, Radomski K, Lopez D, Liu JT, Lee JD, Lee SJ. Materials and applications of 3D printing technology in dentistry: An Overview. *Dent J* 2024;12(1):1-15. doi:10.3390/dj12010001
33. Wuerschling SN, Hickel R, Edelhoff D, Kollmuss M. Initial biocompatibility of novel resins for 3D printed fixed dental prostheses. *Dent Mater* 2022;38(10):1587-1597. doi:10.1016/j.dental.2022.08.001
34. Oberoi G, Nitsch S, Edelmayer M, Janjic K, Müller AS, Agis H. 3D printing-ncompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng Biotechnol* 2018;6:1-13.
35. Jain R, Bindra S, Gupta K, Student P. Recent trends of 3D printing in dentistry. *Ann Prosthodont Restor Dent* 2(4):101-4.
36. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: A review. *Rapid Prototyp J*. 2009;15(3):216-25.
37. Jheon AH, Oberoi S, Solem RC, Kapila S. Moving towards precision orthodontics: An evolving paradigm shift in the planning and delivery of customized orthodontic therapy. *Orthod Craniofac Res* 2017;20 Suppl 1:106-13. doi:10.1111/ocr.12171
38. Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. *Dent Mater* 2013;29(2):e1-10.
39. Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C. Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: current state and future possibilities. *Mater (Basel, Switzerland)*. 2021;14(7). doi:10.3390/ma14071799
40. Tecco S, Nota A, Pittari L, Clerici C, Mangano F, Gherlone EF. Full-digital workflow for TMDs management: a case series. *Health (Basel, Switzerland)*. 2023;11(6). doi:10.3390/healthcare11060790
41. Taneva ED, Johnson A, Viana G, Evans CA. 3D evaluation of palatal rugae for human identification using digital study models. *J Forens Dent Sci* 2015;7(3):244. doi:10.4103/0975-1475.172451
42. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2014;146:673-82. doi:10.1016/J.AJODO.2014.07.023
43. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized casts for orthodontic purpose using powder-free intraoral scanners: accuracy, execution time, and patient feedback. *Biomed Res Int* 2018. doi:10.1155/2018/4103232
44. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 2016;115:313-20. doi:10.1016/J.PROSDENT.2015.09.011
45. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent* 2016;55:68-74.
46. Christopoulou I, Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Bitsanis I, Perlea P, Tsolakis AI. Intraoral scanners in orthodontics: a critical review. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(3). doi:10.3390/IJERPH19031407/S1
47. Flügge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2013;144:471-8.
48. Rhee YK, Huh YH, Cho LR, Park CJ. Comparison of intraoral scanning and conventional impression techniques using 3-dimensional superimposition. *J Adv Prosthodont* 2015;7:460-7. doi:10.4047/jap.2015.7.6.460
49. José VS, Bellot-Arcis C, Tarazona B, Zamora N, Lagravère MO, Paredes-Gallardo V. Dental measurements and Bolton index reliability and accuracy obtained from 2D digital, 3D segmented CBCT, and 3d intraoral laser scanner. *J Clin Exp Dent* 2017;9(12):e1466-e1473. doi:10.4317/JCED.54428
50. Kirschneck C, Kamuf B, Putsch C, Chhatwani S, Bizhang M, Danesh G. Conformity, reliability and validity of digital dental models created by clinical intraoral scanning and extraoral plaster model digitization workflows. *Comput Biol Med*. 2018;100:114-22. doi:10.1016/J.COMPBIOMED.2018.06.035
51. Glisic O, Hoejbjerre L, Sonnesen L. A comparison of patient experience, chair-side time, accuracy of dental arch measurements and costs of acquisition of dental models. *Angle Orthod* 2019;89:868-75. doi:10.2319/020619-84.1
52. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online* 2013;12:49.
53. Jeong YG, Lee WS, Lee KB. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *J Adv Prosthodont* 2018;10:245-51. doi:10.4047/jap.2018.10.3.245
54. Hazeveld A, Huddleston SJJR, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2014;145:108-15.
55. Resnick CM, Doyle M, Calabrese CE, Sanchez K, Padwa BL. Is it cost effective to add an intraoral scanner to an oral and maxillofacial surgery practice? *J Am Assoc Oral Maxillofac Surg* 2019;77:1687-94. doi:10.1016/j.joms.2019.03.011
56. Khan MK. Modern digital pediatric dentistry with the advent of intraoral. *J Dent Res Rev* 2022;9(3):195-201.
57. Tsoukala E, Lyros I, Tsolakis AI, Maroulakos MP, Tsolakis IA. Direct 3D-printed orthodontic retainers. a systematic review. *Children* 2023;10(4).