دانشنامه علمی چاوش طب آذین · chavoshteb.ir · به‌روزرسانی ۳ آذر ۱۴۰۵

مدل‌های چاپ سه‌بعدی از داده CBCT: دقت ابعادی و عوامل مؤثر

مدل‌های چاپ سه‌بعدی ساخته‌شده از CBCT در مندیبل‌های خشک، خطای عرض دندان ۰٫۲۸ و ضخامت ۰٫۳۷ میلی‌متر داشتند که از مدل‌های اسکنر داخل دهانی بیشتر بود، ولی از نظر بالینی مهم ارزیابی نشد.[۱] چاپگرهای استریولیتوگرافی و جت مواد دقیق‌تر از چاپگر کم‌هزینه FFF بودند[۲] و وکسل ۰٫۲ و ۰٫۳ میلی‌متر دقت خطی مشابهی داشتند.[۳]

نکات کلیدی این مقاله

- خطای عرض و ضخامت دندان در مدل‌های CBCT به ترتیب ۰٫۲۸ و ۰٫۳۷ میلی‌متر و در مدل‌های اسکنر داخل دهانی ۰٫۱۸ و ۰٫۱۶ میلی‌متر بود.[۱]
- عرض بین کانین‌ها و بین مولرها در دو روش تفاوت معنادار نداشت.[۱]
- چاپگرهای استریولیتوگرافی و جت مواد خطای کمتری از چاپگر کم‌هزینه FFF داشتند.[۲]
- دقت خطی مدل‌های مندیبل با وکسل ۰٫۲ و ۰٫۳ میلی‌متر قابل مقایسه بود، اما عمق ساکت دندان در مدل چاپی با استاندارد طلایی همبستگی نداشت.[۳]
- رپلیکای دندان چاپ‌شده از CBCT به‌طور میانگین ۰٫۳۶ میلی‌متر اختلاف طول داشت و معمولاً بزرگ‌تر از دندان واقعی بود.[۴]

چاپ سه‌بعدی مدل آناتومیک از داده CBCT در برنامه‌ریزی جراحی فک و صورت، ارتودنسی، آموزش بیمار و ساخت رپلیکای دندان کاربرد دارد. دقت مدل نهایی به زنجیره‌ای از مراحل وابسته است: تصویربرداری، سگمنتیشن، تبدیل به فایل STL و فناوری چاپ.[۲، ۳] این مقاله شواهد آزمایشگاهی درباره دقت ابعادی این مدل‌ها و عوامل مؤثر بر آن را برای رادیولوژیست دهان، فک و صورت مرور می‌کند.

فهرست مطالب

1. دقت مدل چاپ سه‌بعدی از CBCT در برابر اسکنر داخل دهانی
2. اثر فناوری چاپگر بر دقت مدل جمجمه

3. اندازه وکسل و ساختارهای ظریف
4. نکات کاربردی برای رادیولوژیست
5. جدول جمع‌بندی نکات
6. پرسش‌های متداول
7. جمع‌بندی
8. مطالعه مرتبط در دانشنامه
9. منابع

دقت مدل چاپ سه‌بعدی از CBCT در برابر اسکنر داخل دهانی

Ferraro و همکاران شش مندیبل خشک انسان را با اسکنر داخل دهانی و CBCT اسکن و مدل‌های دیجیتال هر دو روش را با چاپگر سه‌بعدی ساختند. ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای همه اندازه‌گیری‌ها بیش از ۰٫۹ بود.[1] اختلاف مدل‌های CBCT با واقعیت در عرض و ضخامت دندان‌ها به‌طور معنادار بیشتر از مدل‌های اسکنر بود، اما عرض بین کانین‌ها و بین مولرها تفاوت معنادار نداشت.[1]

اختلاف ابعادی مدل‌های چاپی از CBCT و اسکنر داخل دهانی

اندازه‌گیری	اسکنر داخل دهانی (میلی‌متر)	CBCT (میلی‌متر)
عرض دندان	۰٫۱۸ ± ۰٫۰۸	۰٫۲۸ ± ۰٫۰۷
ضخامت دندان	۰٫۱۶ ± ۰٫۱۲	۰٫۳۷ ± ۰٫۲
عرض بین کانین‌ها	بدون تفاوت معنادار (P = ۰٫۳۸)	بدون تفاوت معنادار
عرض بین مولرها	بدون تفاوت معنادار (P = ۰٫۴۱)	بدون تفاوت معنادار

منبع: Ferraro و همکاران، Angle Orthod 2022.

دانشنامه علمی چاوش طب آذین

اختلاف ابعادی مدل‌های چاپی با دندان واقعی

میانگین اختلاف به میلی‌متر



منبع: Ferraro و همکاران (۲۰۲۲)

اختلاف ابعادی مدل‌های چاپی از CBCT و اسکنر داخل دهانی در شش مندیبل خشک؛ نمودار تحریریه بر پایه Ferraro و همکاران.

> «تفاوت آماری معناداری در دقت مدل‌های دیجیتال حاصل از CBCT و اسکنر داخل دهانی وجود داشت؛ با این حال، به نظر نمی‌رسید این تفاوت به اختلاف بالینی مهمی منجر شود.»
>
> “There was a statistically significant difference in the accuracy of DMs obtained from CBCT and IOS; however, this did not seem to result in any important clinical difference.”
>
> — Ferraro و همکاران، Angle Orthod 2022[۱]

اثر فناوری چاپگر بر دقت مدل جمجمه

Wang و همکاران جمجمه یک بیمار را پس از سگمنتیشن CBCT با سه چاپگر چاپ کردند: چاپگر کم‌هزینه FFF، چاپگر میان‌رده استریولیتوگرافی (SLA) و چاپگر گران‌قیمت جت مواد. مدل‌ها با CT صنعتی اسکن و با مدل مرجع مجازی سوپرایمپوز شدند. مدل FFF بیشترین خطای مطلق میانگین را داشت و مدل‌های SLA و جت مواد خطای کلی مشابه و به‌طور معنادار کمتری داشتند.[۲]

مقایسه فناوری‌های چاپ در مدل‌های حاصل از CBCT

فناوری	یافته دقت	کاربرد پیشنهادی در مطالعه

فناوری	یافته دقت	کاربرد پیشنهادی در مطالعه
FFF (کم‌هزینه)	بیشترین خطای مطلق میانگین	آموزش آناتومی و ارتباط با بیمار
استریولیتوگرافی SLA (میان‌رده)	دقت مطلوب، مشابه جت مواد	برنامه‌ریزی درمان اختصاصی بیمار
جت مواد (گران‌قیمت)	دقت مطلوب، مشابه SLA	برنامه‌ریزی درمان اختصاصی بیمار
Polyjet در رپلیکای دندان	دقیق‌تر از SLA و DLP	رپلیکای دندان برای پیوند خودی

منبع: Wang و همکاران، BMC Oral Health 2023؛ Lee و همکاران، J Dent 2022.

> «در مقابل، چاپگر کم‌هزینه FFF می‌تواند جایگزینی مقرون‌به‌صرفه برای آموزش آناتومی و/یا ارتباط با بیمار باشد.»
>
> “In contrast, the low-cost fused filament fabrication printer could serve as a cost-effective alternative for anatomical education, and/or patient communication.”
>
> — Wang و همکاران، BMC Oral Health 2023[۲]

اندازه وکسل و ساختارهای ظریف

Mahdizadeh و همکاران پنج مندیبل خشک را با وکسل ۰٫۲ و ۰٫۳ میلی‌متر اسکن و فاصله‌های سوراخ منتال تا ستیغ آلوئولار و لبه تحتانی مندیبل، عمق ساکت انسیزور و عرض باکولینگوال ساکت‌ها را روی CBCT، مدل چاپی و مندیبل خشک اندازه گرفتند. دقت خطی دو اندازه وکسل قابل مقایسه بود و فاصله‌های بزرگ و عرض ساکت‌ها دقت بالایی داشتند؛ اما عمق ساکت انسیزور مرکزی در مدل چاپی با اندازه استاندارد طلایی همبستگی معنادار نداشت.[۳]

> «مدل‌های چاپ سه‌بعدی در همه پارامترهای اندازه‌گیری‌شده به‌جز عمق ساکت، دقت بالایی نشان دادند.»
>
> “3D-printed models demonstrated high precision in all measured parameters except socket depth.”
>
> — Mahdizadeh و همکاران، Dent Res J 2025[۳]

رپلیکای دندان: دقت و اثر استریلیزاسیون

Lee و همکاران ۱۶ دندان را از داده CBCT سگمنت و با سه چاپگر SLA، Polyjet و DLP چاپ کردند. میانگین اختلاف طول ۰٫۳۶ میلی‌متر و اختلاف هندسی (RMS) ۰٫۵۶ میلی‌متر بود و رپلیکاها معمولاً بزرگ‌تر از دندان واقعی بودند. پس از استریلیزاسیون حرارتی، تغییر طول ۰٫۱۰ میلی‌متر و انحراف RMS ۰٫۰۲ میلی‌متر بود.[۴] کاربرد این رپلیکاها در پیوند خودی دندان در مقاله جداگانه دانشنامه بررسی شده است.

نکات کاربردی برای رادیولوژیست

- در درخواست CBCT برای چاپ مدل، هدف بالینی را مشخص کنید؛ برای ساختارهای بزرگ استخوانی، وکسل ۰٫۳ میلی‌متر در مطالعه آزمایشگاهی دقتی مشابه ۰٫۲ داشت.[۳]
- برای ساختارهای ظریف مانند عمق ساکت، به دقت مدل چاپی تکیه نکنید و اندازه را روی خود حجم CBCT بسنجید.[۳]
- اگر جزئیات تاج و سطح اکلوزال اهمیت دارد، ترکیب با داده اسکنر داخل دهانی دقیق‌تر است.[۱]
- برای برنامه‌ریزی جراحی، چاپگرهای SLA یا جت مواد را ترجیح دهید و مدل FFF را برای آموزش و توضیح به بیمار نگه دارید.[۲]
- همه شواهد این مقاله آزمایشگاهی و با نمونه کوچک است؛ در شرایط بالینی، حرکت بیمار و آرتیفکت فلزی می‌تواند دقت را کاهش دهد (برداشت تحریریه).

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کلیدی چاپ سه‌بعدی از CBCT

محور	نکته کلیدی
دقت کلی	خطای چند دهم میلی‌متر در مندیبل خشک
CBCT در برابر اسکنر	اسکنر داخل دهانی در جزئیات دندان دقیق‌تر
فناوری چاپ	SLA و جت مواد دقیق‌تر از FFF
اندازه وکسل	۰٫۲ و ۰٫۳ میلی‌متر قابل مقایسه

محور	نکته کلیدی
نقطه ضعف	عمق ساکت دندان
رپلیکای دندان	حدود ۰٫۳۶ میلی‌متر اختلاف طول؛ معمولاً بزرگ‌تر

منبع: جمع‌بندی تحریریه بر پایه منابع فهرست‌شده در همین مقاله.

پرسش‌های متداول

مدل چاپ سه‌بعدی از CBCT چقدر دقیق است؟

در مندیبل‌های خشک، خطای عرض دندان ۰٫۲۸ و ضخامت ۰٫۳۷ میلی‌متر بود که از نظر بالینی مهم ارزیابی نشد.[۱]

آیا مدل اسکنر داخل دهانی دقیق‌تر است؟

بله؛ خطای عرض و ضخامت دندان در مدل‌های اسکنر ۰٫۱۸ و ۰٫۱۶ میلی‌متر بود.[۱]

کدام فناوری چاپ برای برنامه‌ریزی جراحی مناسب‌تر است؟

چاپگرهای استریولیتوگرافی و جت مواد دقت مطلوب و مشابهی داشتند و برای برنامه‌ریزی درمان اختصاصی بیمار مناسب دانسته شدند.[۲]

آیا وکسل کوچک‌تر مدل دقیق‌تری می‌دهد؟

در یک مطالعه آزمایشگاهی، دقت خطی مدل‌های مندیبل با وکسل ۰٫۲ و ۰٫۳ میلی‌متر قابل مقایسه بود.[۳]

کدام اندازه‌گیری در مدل چاپی قابل اعتماد نبود؟

عمق ساکت انسیزور مرکزی؛ مقدار آن در مدل چاپی با استاندارد طلایی همبستگی معنادار نداشت.[۳]

آیا استریلیزاسیون ابعاد رپلیکای دندان را تغییر می‌دهد؟

تغییرات پس از استریلیزاسیون حرارتی از نظر بالینی ناچیز بود (تغییر طول ۰٫۱۰ میلی‌متر).[۴]

جمع‌بندی

مدل‌های چاپ سه‌بعدی حاصل از CBCT در مطالعات آزمایشگاهی دقتی در حد چند دهم میلی‌متر دارند که برای بسیاری از کاربردهای برنامه‌ریزی کافی است. فناوری چاپگر بیش از اندازه وکسل در محدوده ۰٫۲ تا ۰٫۳ میلی‌متر بر دقت اثر داشت و ساختارهای ظریف مانند عمق ساکت همچنان نقطه ضعف این مدل‌ها هستند. رادیولوژیست با انتخاب پروتکل متناسب با هدف و یادآوری محدودیت‌ها، به استفاده درست از مدل چاپی کمک می‌کند.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- پیوند خودی دندان با هدایت دیجیتال و رپلیکای چاپی
- دقت جراحی ایمپلنت با گاید استاتیک
- سگمنتیشن دندان در CBCT با هوش مصنوعی
- اندازه وکسل CBCT و دقت تشخیصی
- ثبت CBCT و اسکن داخل دهانی
- استاندارد DICOM در رادیولوژی دهان و فک

منابع

شماره‌های بالانویس در متن به همین فهرست پیوند دارند؛ هر منبع با شناسه DOI یا نشانی رسمی ناشر قابل بررسی است.

1. Ferraro JM, Falter J, Lee S, Watanabe K, Wu TH, Kim DG, et al. Accuracy of three-dimensional printed models derived from cone-beam computed tomography. Angle Orthod. 2022;92(6):722-727. DOI PubMed PMC

2. Wang X, Shujaat S, Shaheen E, Ferraris E, Jacobs R. Trueness of cone-beam computed tomography-derived skull models fabricated by different technology-based three-dimensional printers. BMC Oral Health. 2023;23(1):397. DOI PubMed PMC

3. Mahdizadeh M, Mirmiran A, Soltani P, Azimipour MM. Linear accuracy of 3D-printed mandibular models fabricated from cone-beam computed tomography scans with two different voxel sizes. Dent Res J (Isfahan). 2025;22:45. DOI PubMed PMC

4. Lee CKJ, Foong KWC, Sim YF, Chew MT. Evaluation of the accuracy of cone beam computed tomography (CBCT) generated tooth replicas with application in autotransplantation. J Dent. 2022;117:103908. DOI PubMed

درباره نویسنده: تیم تحریریه علمی چاوش طب آذین

این مقاله را تیم تحریریه علمی چاوش طب آذین بر پایه منابع داوری‌شده و بیانیه‌های رسمی فهرست‌شده تهیه کرده است؛ ادعای بازبینی بالینی مستقل ندارد و جایگزین قضاوت متخصص نیست. آخرین به‌روزرسانی: ۳ آذر ۱۴۰۵.