دانشنامه علمی چاوش طب آذین · chavoshteb.ir · به‌روزرسانی ۲۶ آبان ۱۴۰۵

بهبود کیفیت تصویر CBCT با یادگیری عمیق: کاهش نویز، آرتیفکت فلزی و افزایش وضوح

بهبود کیفیت تصویر CBCT با یادگیری عمیق در فراتحلیل ۳۷ مطالعه معنادار بود: PSNR به‌طور میانگین ۳٫۶ دسی‌بل افزایش و خطای مطلق میانگین کاهش یافت. بیشتر مطالعات به تبدیل CBCT به CT پرداخته‌اند و تنها ۴ مطالعه کاهش آرتیفکت فلزی و ۳ مطالعه کاهش نویز را بررسی کرده‌اند. ناهمگنی بیش از ۹۹٪ و اعتبارسنجی بالینی محدود، کاربرد روزمره را هنوز نیازمند شواهد بیشتر می‌کند.

نکات کلیدی این مقاله

- در فراتحلیل ۳۷ مطالعه، ۲۷ مطالعه به تبدیل CBCT به CT و تنها ۴ مطالعه به کاهش آرتیفکت فلزی پرداخته بودند.[۱]
- یادگیری عمیق PSNR را ۳٫۶۰ دسی‌بل و SSIM را ۰٫۰۷۲ افزایش داد.[۱]
- ناهمگنی مطالعات بیش از ۹۹٪ بود و مقایسه مستقیم را محدود کرد.[۱]
- در یک مطالعه سوپررزولوشن با ۶۹۶۱ برش، PSNR بالای ۳۵ دسی‌بل و SSIM بالای ۰٫۸۵ به دست آمد.[۵]
- توافق دو رادیولوژیست در ارزیابی کیفی تصاویر بهبودیافته در حد «fair» یا نسبتاً ضعیف (کاپا ۰٫۳۳۵) بود.[۵]

CBCT در تصویربرداری دهان، فک و صورت پرکاربرد است، اما نویز و وضوح کنتراست پایین آن را محدود می‌کند.[۱] در CBCT کم‌دوز، اجزای فلزی مانند ایمپلنت، روکش و ترمیم نیز آرتیفکت شدید ایجاد می‌کنند.[۲] این مقاله شواهد روش‌های یادگیری عمیق برای ارتقای کیفیت تصویر CBCT را از دید رادیولوژیست دهان و فک مرور می‌کند.

فهرست مطالب

1. چرا بهبود کیفیت تصویر CBCT اهمیت دارد؟
2. فراتحلیل روش‌های یادگیری عمیق
3. کاهش آرتیفکت فلزی با یادگیری عمیق
4. سوپررزولوشن و کاهش نویز

5. پیامد برای رادیولوژیست دهان و فک
6. جدول جمع‌بندی نکات
7. پرسش‌های متداول
8. جمع‌بندی
9. مطالعه مرتبط در دانشنامه
10. منابع

چرا بهبود کیفیت تصویر CBCT اهمیت دارد؟

به گفته Sadr و همکاران، نویز و وضوح کنتراست پایین از محدودیت‌های اصلی CBCT هستند و یادگیری عمیق به عنوان ابزاری امیدوارکننده برای ارتقای کیفیت تصویر و دقت تشخیص مطرح شده است.[۱] Park و همکاران نیز توضیح دادند که هزینه پایین‌تر CBCT دندانی نسبت به CT پزشکی، با چالش‌های افت کیفیت تصویر همراه است و وجود ایمپلنت‌های فلزی، که در بیماران مسن شایع‌تر است، این چالش را پیچیده‌تر می‌کند.[۳]

فراتحلیل روش‌های یادگیری عمیق

Sadr و همکاران در جست‌وجوی شش پایگاه داده، ۳۷ مطالعه را وارد کردند که کاربردهای آن‌ها در نمودار زیر آمده است.[۱]

دانشنامه علمی چاوش طب آذین

کاربرد مطالعات یادگیری عمیق برای ارتقای CBCT دندانی

تعداد مطالعات در فراتحلیل



منبع: Sadr و همکاران، Phys Med 2026 (۳۷ مطالعه).

توزیع کاربرد مطالعات یادگیری عمیق برای CBCT؛ نمودار تحریریه بر پایه Sadr و همکاران (۲۰۲۶).

یادگیری عمیق خطای مطلق میانگین (SMD برابر ۴٫۲۴-) و ریشه میانگین مربعات خطا (SMD برابر ۱٫۲۱-) را به‌طور معنادار کاهش داد و PSNR را ۳٫۶۰ دسی‌بل و SSIM را ۰٫۰۷۲ افزایش داد. با این حال، ناهمگنی بیش از ۹۹٪ مقایسه مستقیم را محدود کرد.[1]

> «یادگیری عمیق کیفیت تصویر CBCT را بهبود می‌دهد، اما تنوع روش‌شناختی و اعتبارسنجی بالینی محدود، پژوهش بیشتر را ضروری می‌کند.»
>
> “DL improves CBCT image quality, but methodological variability and limited clinical validation necessitate further research.”
>
> — Sadr و همکاران، Phys Med 2026[1]

نتایج فراتحلیل یادگیری عمیق بر معیارهای عینی کیفیت CBCT

معیار	مفهوم	اثر یادگیری عمیق
MAE	خطای مطلق میانگین	کاهش (SMD برابر ۴٫۲۴-)

معیار	مفهوم	اثر یادگیری عمیق
RMSE	ریشه میانگین مربعات خطا	کاهش (SMD برابر ۱٫۲۱-)
PSNR	نسبت سیگنال به نویز اوج	افزایش ۳٫۶۰ دسی‌بل
SSIM	شاخص شباهت ساختاری	افزایش ۰٫۰۷۲

منبع: Sadr و همکاران، Phys Med 2026؛ ستون مفهوم توضیح تحریریه است.

معیارهای عینی کیفیت چه می‌گویند؟

PSNR و SSIM شباهت تصویر بهبودیافته را به تصویر مرجع می‌سنجند و MAE و RMSE خطای عددی را نشان می‌دهند.[۱] این معیارها کیفیت تشخیصی را مستقیماً اندازه نمی‌گیرند؛ به همین دلیل نویسندگان فراتحلیل بر کمبود اعتبارسنجی بالینی تأکید کردند.[۱]

کاهش آرتیفکت فلزی با یادگیری عمیق

Oliveira و همکاران مدل انتشار احتمالاتی شرطی (conditional denoising diffusion probabilistic model) را برای کاهش آرتیفکت فلزی ناشی از ایمپلنت‌های واقع در بیرون میدان دید (exomass) توسعه دادند. پنج مندیبل خوک با چهار دستگاه CBCT و تا سه ایمپلنت تیتانیوم، تیتانیوم-زیرکونیوم یا زیرکونیا اسکن شدند. تصاویر تولیدشده با یادگیری عمیق نسبت کنتراست به نویز بیشتری از تصاویر اصلی و حتی تصاویر مرجع بدون ایمپلنت داشتند.[۴]

> «مدل یادگیری عمیق توسعه‌یافته با مندیبل خوک، عملکرد امیدوارکننده‌ای در اصلاح آرتیفکت‌های فلزی ناشی از exomass در CBCT نشان داد.»
>
> “The developed DL model using porcine mandibles demonstrated promising performance in correcting exomass-related metal artefacts in CBCT”
>
> — Oliveira و همکاران، Dentomaxillofac Radiol 2025[۴]

نکته قابل توجه این است که بیشتر بودن نسبت کنتراست به نویز از تصویر مرجع، لزوماً به معنای وفاداری بیشتر به آناتومی نیست؛ این مطالعه آزمایشگاهی و اثبات مفهوم بوده است.[۴]

استفاده از اسکن داخل دهانی

Hyun و همکاران روشی دو مرحله‌ای پیشنهاد کردند که داده اسکن داخل دهانی بدون پرتو را به عنوان ورودی کمکی به شبکه می‌دهد تا ساختار دندان‌ها در حضور آرتیفکت فلزی بهتر بازسازی شود. امکان‌پذیری روش با شبیه‌سازی عددی و آزمایش‌های بالینی نشان داده شد.[۲]

Park و همکاران از دیدگاه ریاضی توضیح دادند که آرتیفکت فلزی از ناهمخوانی مدل پیشرو در روش‌های بازسازی متعارف ناشی می‌شود و هم توان و هم محدودیت‌های روش‌های یادگیری عمیق را در این زمینه بررسی کردند.[۳]

سوپررزولوشن و کاهش نویز

Nazari و همکاران مدل MIRNet-v2 را روی ۶۹۶۱ برش آگزیال از ۱۵ اسکن CBCT آموزش دادند؛ تصاویر کم‌کیفیت با کاهش ابعاد، تاری و افزودن نویز به‌طور مصنوعی ساخته شدند. تصاویر بهبودیافته PSNR بالای ۳۵ دسی‌بل و SSIM بالای ۰٫۸۵ داشتند و بهترین نتیجه در تصاویر تار به دست آمد (PSNR ۴۳٫۸۶ و SSIM ۰٫۹۸).[۵]

> «سوپررزولوشن مبتنی بر یادگیری عمیق توان قابل توجهی برای بهبود کیفیت تصویر CBCT، به‌ویژه در سناریوهای تاری و کاهش ابعاد، نشان می‌دهد.»
>
> “Deep learning-based super-resolution demonstrates considerable potential for enhancing CBCT image quality, especially in scenarios involving blur and downscaling.”
>
> — Nazari و همکاران، [۵] Imaging Sci Dent 2025

توافق دو رادیولوژیست در ارزیابی کیفی در حد «fair» یا نسبتاً ضعیف (کاپا ۰٫۳۳۵) بود.[۵] همچنین چون تخریب تصویر به‌طور مصنوعی ایجاد شده بود، نتایج را نمی‌توان مستقیماً به تصاویر کم‌دوز واقعی تعمیم داد.[۵، ۱]

مقایسه مطالعات منتخب یادگیری عمیق برای CBCT

مطالعه	هدف	نوع داده	یافته اصلی
Nazari ۲۰۲۵	سوپررزولوشن	۶۹۶۱ برش از ۱۵ اسکن، تخریب مصنوعی	PSNR بالای ۳۵ دسی‌بل

مطالعه	هدف	نوع داده	یافته اصلی
Oliveira ۲۰۲۵	آرتیفکت فلزی exomass	۵ مندیبل خوک، ۴ دستگاه	نسبت کنتراست به نویز بیشتر
Hyun ۲۰۲۲	آرتیفکت فلزی با اسکن داخل دهانی	شبیه‌سازی و داده بالینی	امکان‌پذیری روش
Park ۲۰۲۵	آرتیفکت در CBCT کم‌دوز	تحلیل ریاضی و مروری	توان و محدودیت روش‌ها

منبع: مطالعات فهرست‌شده در همین مقاله.

پیامد برای رادیولوژیست دهان و فک

برداشت تحریریه از این شواهد:[۱، ۴، ۵]

- بهبود معیارهای عینی مانند PSNR و SSIM با بهبود دقت تشخیص یکسان نیست و اعتبارسنجی بالینی محدود است.[۱]
- بیشتر شواهد کاهش آرتیفکت فلزی آزمایشگاهی یا اثبات مفهوم است.[۲، ۴]
- تصاویر پردازش‌شده ممکن است ظاهری تمیزتر از واقعیت آناتومیک داشته باشند؛ در تصمیم‌های تشخیصی، داده خام نیز باید در دسترس باشد (برداشت تحریریه).
- کاربرد در پروتکل‌های کم‌دوز امیدبخش است، اما هنوز نیازمند ارزیابی بالینی است.[۵]

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کاربردی یادگیری عمیق برای کیفیت تصویر CBCT

محور	نکته کلیدی
حجم شواهد	۳۷ مطالعه؛ بیشتر تبدیل CBCT به CT
معیارهای عینی	PSNR ۳٫۶۰ دسی‌بل افزایش

محور	نکته کلیدی
آرتیفکت فلزی	نتایج امیدوارکننده آزمایشگاهی
محدودیت	ناهمگنی بیش از ۹۹٪ و اعتبارسنجی بالینی محدود
کاربرد	در کنار داده خام و با احتیاط

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

پرسش‌های متداول

یادگیری عمیق چگونه کیفیت تصویر CBCT را بهبود می‌دهد؟

با کاهش نویز و آرتیفکت، افزایش وضوح (سوپررزولوشن) و تبدیل CBCT به تصاویری شبیه CT.[۱]

این بهبود چقدر است؟

در فراتحلیل ۳۷ مطالعه، PSNR به‌طور میانگین ۳٫۶۰ دسی‌بل و SSIM ۰٫۰۷۲ افزایش یافت.[۱]

آیا آرتیفکت فلزی با یادگیری عمیق حذف می‌شود؟

مطالعات آزمایشگاهی نتایج امیدوارکننده نشان داده‌اند، اما تنها ۴ مطالعه در فراتحلیل به این موضوع پرداخته بودند.[۱، ۴]

آیا این روش‌ها برای CBCT کم‌دوز مفیدند؟

یک مطالعه سوپررزولوشن کاربرد احتمالی در پروتکل‌های کم‌دوز را مطرح کرد، اما تخریب تصویر در آن مصنوعی بود.[۵]

مهم‌ترین محدودیت شواهد چیست؟

ناهمگنی بیش از ۹۹٪، تنوع روش‌شناختی و اعتبارسنجی بالینی محدود.[۱]

آیا اسکن داخل دهانی به کاهش آرتیفکت کمک می‌کند؟

روشی که داده اسکن داخل دهانی را به عنوان ورودی کمکی به کار می‌برد، در شبیه‌سازی و آزمایش‌های بالینی امکان‌پذیر بود.[۲]

جمع‌بندی

یادگیری عمیق در فراتحلیل‌ها معیارهای عینی کیفیت تصویر CBCT را به‌طور معنادار بهبود داده است و در کاهش آرتیفکت فلزی و افزایش وضوح نتایج امیدوارکننده‌ای دارد. با این حال، بیشتر شواهد آزمایشگاهی است، ناهمگنی بسیار بالاست و اثر بر دقت تشخیص هنوز به‌خوبی اثبات نشده است. رادیولوژیست باید این ابزارها را با آگاهی از محدودیت‌هایشان و در کنار داده خام به کار گیرد.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- آرتیفکت CBCT: طبقه‌بندی و منشأ فیزیکی
- فناوری کم‌دوز CBCT
- نسبت کنتراست به نویز (CNR) در CBCT
- هوش مصنوعی در رادیولوژی دندان و فک
- شکستگی عمودی ریشه در دندان دارای پست فلزی
- فیزیک CBCT و اصول تشکیل تصویر

منابع

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

1. Sadr S, Mohammad-Rahimi H, Hemmati G, Taheri A, Najafi A, Rokhshad R, et al. Deep learning for dentomaxillofacial cone-beam computed tomography enhancement: A systematic review and meta-analysis. Phys Med. 2026;145:105797. DOI PubMed

2. Hyun CM, Bayaraa T, Yun HS, Jang TJ, Park HS, Seo JK. Deep learning method for reducing metal artifacts in dental cone-beam CT using supplementary information from intra-oral scan. Phys Med Biol. 2022;67(17). DOI PubMed

3. Park HS, Jeon K, Seo JK. Deep learning-based artefact reduction in low-dose dental cone beam computed tomography with high-attenuation materials. Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2025;383(2305):20240045. DOI PubMed PMC

4. Oliveira ML, Schaub S, Dagassan-Berndt D, Bieder F, Cattin PC, Bornstein MM. Development and evaluation of a deep learning model to reduce exomass-related metal artefacts in cone-beam CT: an ex vivo study using porcine mandibles. Dentomaxillofac Radiol. 2025;54(2):109-117. DOI PubMed PMC

5. Nazari A, Najafi SMY, Abbasi R, Mohammad-Rahimi H, Motie P, Alamdari MI, et al. Deep learning for dentomaxillofacial cone-beam computed tomography image quality enhancement: A pilot study. Imaging Sci Dent. 2025;55(3):271-279. DOI PubMed PMC

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: ۲۶ آبان ۱۴۰۵.