دانشنامه علمی چاوش طب آذین · chavoshteb.ir · به‌روزرسانی ۲۵ آبان ۱۴۰۵

یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک: سگمنتیشن ضایعات پری‌اپیکال و کانال‌های ریشه

یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک در فراتحلیل ۲۰۲۶ ضایعات پری‌اپیکال را با حساسیت تجمعی ۹۰٫۹٪ و ویژگی ۸۹٫۷٪ شناسایی کرد، اما ضریب دایس سگمنتیشن ضایعه تنها ۰٫۷۰ بود و قطعیت شواهد بسیار پایین ارزیابی شد. این ابزارها در شرایط پژوهشی امیدوارکننده‌اند، ولی هم‌ارزی با متخصص و اثربخشی بالینی آن‌ها هنوز اثبات نشده است.

نکات کلیدی این مقاله

- فراتحلیل ۱۸ مطالعه CBCT حساسیت تجمعی ۹۰٫۹٪، ویژگی ۸۹٫۷٪ و دقت ۸۶٫۷٪ را برای تشخیص ضایعه پری‌اپیکال گزارش کرد.[۱]
- ضریب دایس تجمعی سگمنتیشن ضایعه ۰٫۷۰ بود که همپوشانی متوسط با مرجع را نشان می‌دهد.[۱]
- در یک مدل سه‌بعدی، کمک الگوریتم زمان تشخیص دندانپزشکان کم‌تجربه را ۶۹٫۳ دقیقه کاهش داد.[۲]
- در شناسایی کانال MB2 روی CBCT، حساسیت مدل‌ها ۸۰ تا ۱۰۰٪ گزارش شد، اما تنها هفت مطالعه وجود داشت.[۶]
- بیشتر مطالعات گذشته‌نگر و با اعتبارسنجی داخلی بودند و ناهمگنی معیارهای تشخیصی بسیار زیاد بود.[۱]

CBCT در اندودانتیکس برای ارزیابی ضایعات پری‌اپیکال کاربرد گسترده‌ای دارد، اما مرور برش‌به‌برش یک حجم کامل و اندازه‌گیری حجم ضایعه زمان‌بر است. مدل‌های یادگیری عمیق برای تشخیص خودکار ضایعه، سگمنتیشن سه‌بعدی آن و شناسایی کانال‌های فرعی مانند MB2 توسعه یافته‌اند. این مقاله شواهد یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک را از منظر دقت، کیفیت مطالعات و جایگاه در گردش کار رادیولوژیست دهان و فک مرور می‌کند.[۱، ۲]

فهرست مطالب

1. یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک: وظایف اصلی
2. دقت تشخیص ضایعات پری‌اپیکال
3. سگمنتیشن سه‌بعدی و اثر بر عملکرد دندانپزشک

4. شناسایی کانال‌های فرعی و MB2
5. جایگاه در گردش کار رادیولوژیست
6. جدول جمع‌بندی نکات
7. پرسش‌های متداول
8. جمع‌بندی
9. مطالعه مرتبط در دانشنامه
10. منابع

یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک: وظایف اصلی

کاربردهای یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک را می‌توان در سه گروه دسته‌بندی کرد: تشخیص یا طبقه‌بندی ضایعه پری‌اپیکال در سطح دندان، سگمنتیشن سه‌بعدی ضایعه برای اندازه‌گیری حجم، و سگمنتیشن چندبرچسبی ساختارها شامل دندان، کانال ریشه و ضایعه. هر وظیفه معیار ارزیابی متفاوتی دارد؛ حساسیت و ویژگی برای تشخیص و ضریب دایس برای همپوشانی سگمنتیشن.[۱، ۳]

این تفاوت در معیارها برای تفسیر ادعاهای تجاری اهمیت دارد. مدلی که ضایعه را با حساسیت بالا تشخیص می‌دهد، لزوماً حجم ضایعه را با دقت کافی برای پیگیری درمان اندازه نمی‌گیرد.[۱]



نمایش تصویر رادیوگرافی در اتاق درمان؛ خروجی الگوریتم‌های هوش مصنوعی باید پیش از تصمیم درمانی توسط متخصص بازبینی شود. عکس: Polina Zimmerman در Pexels؛ مجوز Pexels.

دقت تشخیص ضایعات پری‌اپیکال

Howait و ۱۸ Al-Habib مطالعه را وارد کردند که ۱۶ مطالعه به تشخیص یا طبقه‌بندی و شش مطالعه به سگمنتیشن پرداخته بودند. در مدل دومتغیره هفت مطالعه، حساسیت ۸۸٫۲٪ و ویژگی ۸۵٫۱٪ بود. در تحلیل تک‌متغیره، حساسیت تجمعی ۹۰٫۹٪ (۱۴ مطالعه)، ویژگی ۸۹٫۷٪ (۱۱ مطالعه)، دقت ۸۶٫۷٪ و امتیاز F1 برابر ۸۳٫۷٪ گزارش شد.[1]

با این حال، ناهمگنی معیارهای تشخیص بسیار زیاد بود (I^2 برابر ۹۰ تا ۹۶٪)، بازه پیش‌بینی حساسیت از ۴۸ تا ۹۹٪ گسترده بود و قطعیت شواهد بسیار پایین ارزیابی شد. ۱۵ مطالعه دست‌کم در یک حوزه خطر سوگیری نامشخص داشتند و بیشتر آن‌ها گذشته‌نگر و با اعتبارسنجی داخلی بودند.[1]

> «هم‌ارزی با بالینگران و اثربخشی بالینی ثابت نشده است؛ مطالعات آینده‌نگر با اعتبارسنجی خارجی و استانداردهای مرجع یکسان لازم است.»
>
> “Equivalence to clinicians and clinical effectiveness are not established; prospective, externally validated studies with standardized reference standards are needed.”

— Howait و Al-Habib، Diagnostics 2026[1]

مقایسه با شواهد رادیوگرافی دوبعدی

فراتحلیل Sadr و همکاران که همه روش‌های تصویربرداری دندانی را در بر می‌گرفت، از ۹۳۲ مطالعه غربال‌شده ۱۸ مطالعه را وارد مرور و شش مطالعه را وارد تحلیل کمّی کرد. حساسیت تجمعی ۰٫۹۲۵ و ویژگی ۰٫۸۵۲ بود، اما ۱۲ مطالعه خطر سوگیری داشتند و مطالعه آینده‌نگری وجود نداشت.[۴]

در مطالعه Kirnbauer و همکاران روی CBCT، شبکه مکان‌یابی دندان نرخ موفقیت ۷۲٫۶ تا ۹۷٫۳٪ داشت و حساسیت و ویژگی تشخیص ضایعه ۹۷٫۱٪ و ۸۸٫۰٪ بود. نویسندگان به تنوع ظاهر، اندازه و شکل ضایعات و عدم توازن شدید میان دندان‌های دارای ضایعه و بدون ضایعه اشاره کردند.[۵]

وظایف یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک و معیار ارزیابی

وظیفه	معیار اصلی	وضعیت شواهد
تشخیص ضایعه پری‌اپیکال	حساسیت، ویژگی و سطح زیر منحنی	۱۶ مطالعه؛ عملکرد بالا در شرایط پژوهشی
سگمنتیشن حجم ضایعه	ضریب دایس	شش مطالعه؛ همپوشانی متوسط
سگمنتیشن چندبرچسبی	ضریب دایس هر برچسب	مطالعات تک‌مرکزی با داده کم
شناسایی کانال MB2	حساسیت و دقت	هفت مطالعه؛ شواهد محدود

منبع: جمع‌بندی تحریریه بر پایه Huang 2024، Howait 2026 و Guimarães 2026.

سگمنتیشن سه‌بعدی و اثر بر عملکرد دندانپزشک

Fu و همکاران یک شبکه کانولوشنی سه‌بعدی را برای تشخیص و سگمنتیشن ضایعات پری‌اپیکال توسعه دادند و آن را با داده‌های خارجی از چند منطقه جغرافیایی اعتبارسنجی کردند. سطح زیر منحنی در اعتبارسنجی متقاطع داخلی ۰٫۹۸ و ضریب دایس میانگین بیش از ۰٫۸۷ بود. کمک الگوریتم، سطح زیر منحنی دندانپزشکان کم‌تجربه را از ۰٫۸۹ به ۰٫۹۴ و دندانپزشکان باتجربه را از ۰٫۹۱ به ۰٫۹۳ رساند و زمان تشخیص را به ترتیب ۶۹٫۳ و ۳۲٫۴ دقیقه کاهش داد.[۲]

دانشنامه علمی چاوش طب آذین

عملکرد تجمعی هوش مصنوعی در ضایعات پری‌اپیکال CBCT

درصد (ضریب دایس ضرب در ۱۰۰)



منبع: Howait و Al-Habib، Diagnostics 2026؛ برآوردهای تک‌متغیره.

عملکرد تجمعی هوش مصنوعی در ضایعات پری‌اپیکال؛ نمودار تحریریه بر پایه Howait و Al-Habib (۲۰۲۶).

فاصله ضریب دایس این مدل با میانگین تجمعی ۰٫۷۰ در فراتحلیل، نشان می‌دهد که عملکرد سگمنتیشن به شدت به داده، تعریف مرز ضایعه و مرجع حاشیه‌نویسی وابسته است.[۱،۲]

کاهش نیاز به حاشیه‌نویسی با یادگیری فعال

Huang و همکاران از یادگیری فعال مبتنی بر عدم قطعیت با شبکه U-Net بیزی برای سگمنتیشن چندبرچسبی CBCT استفاده کردند. مجموعه آموزشی نهایی تنها ۲۶ تصویر داشت و پس از هشت تکرار، حساسیت تشخیص ضایعه با راهبرد BALD به ۸۴٫۰٪ رسید، در حالی که این رقم برای U-Net بیزی پایه ۳۲٫۰٪ بود. ضریب دایس برچسب ضایعه با هر دو راهبرد حدود ۰٫۵۰ بود.[۳]

شناسایی کانال‌های فرعی و MB2

مرور Guimarães و Matos هفت مطالعه را شامل شد که بیشتر آن‌ها تشخیص یا سگمنتیشن کانال MB2 روی CBCT را بررسی کرده بودند. برای تشخیص MB2، حساسیت ۸۰ تا ۱۰۰٪، ویژگی ۹۹٫۴ تا ۱۰۰٪ و دقت ۸۴٫۹ تا ۹۷٫۸٪ گزارش شد، اما سطح زیر منحنی از ۰٫۵۷ تا حدود ۰٫۹۰ متغیر بود و نتایج سگمنتیشن ناهمگن بودند.[۶]

> «هوش مصنوعی به‌عنوان ابزار کمکی برای تشخیص کانال‌های فرعی، به‌ویژه MB2 در CBCT، امیدوارکننده است، اما شواهد همچنان محدود است.»

> “AI shows promise as an adjunct for accessory canal detection, particularly MB2 on CBCT, but evidence remains limited.”
>
> — Guimarães و Matos، Eur J Oral Sci 2026[۶]

مطالعات منتخب یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک

مطالعه	طراحی	یافته اصلی
Kirnbauer ۲۰۲۲	تشخیص خودکار ضایعه	حساسیت ۹۷٫۱٪ و ویژگی ۸۸٫۰٪
Fu ۲۰۲۴	شبکه سه‌بعدی با اعتبارسنجی خارجی	سطح زیر منحنی ۰٫۹۸؛ دایس بیش از ۰٫۸۷
Huang ۲۰۲۴	یادگیری فعال با ۲۶ تصویر	حساسیت ۸۴٫۰٪ با راهبرد BALD
Sadr ۲۰۲۳	فراتحلیل همه روش‌های تصویربرداری	حساسیت ۰٫۹۲۵ و ویژگی ۰٫۸۵۲

منبع: چکیده‌های منتشرشده مطالعات؛ فهرست منابع همین مقاله.

جایگاه در گردش کار رادیولوژیست

شواهد فعلی از نقش کمکی این مدل‌ها پشتیبانی می‌کند، نه جایگزینی تفسیر. پیش از استفاده بالینی، رادیولوژیست باید بداند مدل روی چه دستگاه، FOV و جمعیتی آموزش دیده و آیا اعتبارسنجی خارجی دارد.[۱]

- بازبینی همه ضایعات پیشنهادی و جست‌وجوی مستقل ضایعات خارج از ناحیه تمرکز مدل.
- احتیاط در استفاده از حجم سگمنت‌شده برای مقایسه پیگیری، به دلیل همپوشانی متوسط سگمنتیشن.[۱]
- احتیاط در حضور آرتیفکت پرکردگی و پست فلزی که ممکن است در داده آموزشی مدل نمایندگی کافی نداشته باشد.
- تفسیر کل حجم CBCT، فراتر از وظیفه اندودانتیک مدل.

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کاربردی یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک

محور	نکته کلیدی
تشخیص ضایعه	حساسیت ۹۰٫۹٪ و ویژگی ۸۹٫۷٪ تجمعی
سگمنتیشن	ضریب دایس تجمعی ۰٫۷۰
اثر بر کاربر	کاهش زمان تشخیص و بهبود عملکرد
کانال MB2	حساسیت ۸۰ تا ۱۰۰٪ در هفت مطالعه
کیفیت شواهد	بسیار پایین؛ نیاز به اعتبارسنجی خارجی

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

پرسش‌های متداول

یادگیری عمیق ضایعه پری‌اپیکال را در CBCT چقدر دقیق تشخیص می‌دهد؟

فراتحلیل ۲۰۲۶ حساسیت تجمعی ۹۰٫۹٪ و ویژگی ۸۹٫۷٪ را گزارش کرد، اما قطعیت شواهد بسیار پایین بود.[۱]

سگمنتیشن خودکار حجم ضایعه قابل اتکاست؟

ضریب دایس تجمعی ۰٫۷۰ بود که همپوشانی متوسط با مرجع را نشان می‌دهد.[۱]

آیا این ابزارها به دندانپزشک کمک می‌کنند؟

در یک مطالعه، کمک الگوریتم عملکرد دندانپزشکان را بهبود داد و زمان تشخیص را کاهش داد.[۲]

آیا هوش مصنوعی کانال MB2 را پیدا می‌کند؟

حساسیت ۸۰ تا ۱۰۰٪ گزارش شده، اما فقط هفت مطالعه با نتایج ناهمگن وجود دارد.[۶]

مهم‌ترین ضعف مطالعات چیست؟

طراحی گذشته‌نگر، اعتبارسنجی داخلی و ناهمگنی زیاد معیارهای تشخیصی.[۱، ۴]

برای آموزش مدل چه تعداد تصویر لازم است؟

با یادگیری فعال، مجموعه آموزشی ۲۶ تصویری به بهبود سگمنتیشن و تشخیص ضایعه منجر شد.[۳]

جمع‌بندی

یادگیری عمیق در CBCT اندودانتیک در تشخیص ضایعات پری‌اپیکال به حساسیت و ویژگی حدود ۹۰٪ رسیده و می‌تواند زمان تفسیر را کاهش دهد. اما همپوشانی سگمنتیشن متوسط، ناهمگنی شدید مطالعات و نبود شواهد آینده‌نگر با اعتبارسنجی خارجی، کاربرد آن را به ابزاری کمکی زیر نظر متخصص محدود می‌کند. برای رادیولوژیست دهان و فک، شناخت داده آموزشی مدل، بازبینی همه یافته‌ها و تفسیر کل حجم، شرط استفاده ایمن از این فناوری است.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- تصویربرداری اندودانتیکس از پری‌اپیکال تا CBCT
- هوش مصنوعی در رادیولوژی دندان و فک
- سگمنتیشن دندان در CBCT با هوش مصنوعی
- شکستگی عمودی ریشه در CBCT
- نرم‌افزارهای مشاهده و تحلیل CBCT
- اعتبارسنجی هوش مصنوعی پوسیدگی

منابع

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

1. Howait M, Al-Habib MA. Diagnostic Performance of Artificial Intelligence for the Detection and Segmentation of Periapical Lesions on Cone-Beam Computed Tomography: A Systematic Review and Meta-Analysis. Diagnostics (Basel). 2026;16(21):3606. DOI PubMed PMC

2. Fu WT, Zhu QK, Li N, Wang YQ, Deng SL, Chen HP, et al. Clinically Oriented CBCT Periapical Lesion Evaluation via 3D CNN Algorithm. J Dent Res. 2024;103(1):5-12. DOI PubMed

3. Huang J, Farpour N, Yang BJ, Mupparapu M, Lure F, Li J, et al. Uncertainty-based Active Learning by Bayesian U-Net for Multi-label Cone-beam CT Segmentation. J Endod. 2024;50(2):220-228. DOI PubMed PMC

4. Sadr S, Mohammad-Rahimi H, Motamedian SR, Zahedrozegar S, Motie P, Vinayahalingam S, et al. Deep Learning for Detection of Periapical Radiolucent Lesions: A Systematic Review and Meta-analysis of Diagnostic Test Accuracy. J Endod. 2023;49(3):248-261.e3. DOI PubMed

5. Kirnbauer B, Hadzic A, Jakse N, Bischof H, Stern D. Automatic Detection of Periapical Osteolytic Lesions on Cone-beam Computed Tomography Using Deep Convolutional Neuronal Networks. J Endod. 2022;48(11):1434-1440. DOI PubMed

6. Guimarães HHDSD, Matos KN. Artificial intelligence for detection and segmentation of accessory root canals in endodontic imaging: A systematic review. Eur J Oral Sci. 2026. 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: ۲۵ آبان ۱۴۰۵.