برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی: شواهد مرورهای سیستماتیک، دقت و محدودیت‌ها

برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی روی تصاویر CBCT در شناسایی ناحیه بی‌دندان به دقت تجمعی ۹۶٪ در مندیبل و ۸۳٪ در ماگزیلا رسیده است، اما از ۲۸ مطالعه یک مرور سیستماتیک، ۲۰ مورد کیفیت پایین داشتند. این ابزارها فعلاً دستیار رادیولوژیست و جراح‌اند، نه جایگزین تفسیر و تأیید انسانی.

نکات کلیدی این مقاله

- در فراتحلیل ۱۲ مطالعه CBCT، دقت تجمعی شناسایی ناحیه بی‌دندان برای ایمپلنت در مندیبل ۹۶٪ و در ماگزیلا ۸۳٪ بود.[۱]
- در ۱۸ مطالعه سگمنتیشن ساختارهای آناتومیک، دقت گزارش‌شده از ۶۶٫۴٪ تا ۹۹٫۱٪ متغیر بود.[۲]
- از ۲۸ مطالعه مرورشده، ۲۰ مطالعه بر پایه مقیاس JBI کیفیت پایین داشتند.[۲]
- در مرور ۱۲۰ مقاله، یادگیری عمیق در ۸۹٫۲٪ مطالعات به کار رفته و ۷۲٪ داده‌ها تصاویر دوبعدی بود.[۳]
- مرور چتری، داده‌های محدود و نبود استانداردسازی را مانع اصلی ورود گسترده به کار بالینی می‌داند.[۵]

در برنامه‌ریزی ایمپلنت، CBCT پایه اندازه‌گیری ارتفاع و پهنای استخوان، موقعیت کانال مندیبولار و کف سینوس است. مدل‌های یادگیری عمیق برای خودکارسازی بخش‌هایی از این مسیر طراحی شده‌اند: شناسایی ناحیه بی‌دندان، سگمنتیشن ساختارهای حساس و پیشنهاد موقعیت فیکسچر. پرسش اصلی برای رادیولوژیست دهان و فک این است که برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی در شواهد فعلی تا کجا قابل اتکاست و کجا هنوز بازبینی انسانی تعیین‌کننده است.[۱، ۲]

فهرست مطالب

1. برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی و جایگاه CBCT
2. دقت در شناسایی ناحیه بی‌دندان و ابعاد استخوان
3. سگمنتیشن ساختارهای آناتومیک و کمک به طراحی جراحی
4. کیفیت شواهد و خطر سوگیری
5. نقش رادیولوژیست در جریان کار مبتنی بر هوش مصنوعی

6. جدول جمع‌بندی نکات
7. پرسش‌های متداول
8. جمع‌بندی
9. مطالعه مرتبط در دانشنامه
10. منابع

برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی و جایگاه CBCT

بیشتر کاربردهای هوش مصنوعی در ایمپلنتولوژی بر داده تصویری بنا شده‌اند. در مرور سیستماتیک Vázquez-Sebrango و همکاران که ۱۲۰ مقاله منتشرشده از ۲۰۱۸ تا اکتبر ۲۰۲۴ را بررسی کرد، الگوریتم‌های یادگیری عمیق در ۸۹٫۲٪ مطالعات استفاده شده بودند؛ ۷۲٪ این مطالعات بر تصاویر دوبعدی و ۲۸٪ بر تصاویر سه‌بعدی تکیه داشتند.[۳]

با این حال، برای خود مرحله برنامه‌ریزی، یعنی تعیین حجم استخوان و فاصله تا ساختارهای حیاتی، داده سه‌بعدی CBCT محور اصلی است. فراتحلیل Alqutaibi و همکاران همه ۱۲ مطالعه واجد شرایط خود را بر پایه تصاویر CBCT یافت.[۱]



پروتز ثابت متکی بر ایمپلنت؛ نتیجه نهایی که برنامه‌ریزی سه‌بعدی ایمپلنت باید از ابتدا آن را در نظر بگیرد. عکس: Zeynep Kahraman در Pexels؛ مجوز Pexels.

وظایفی که الگوریتم‌ها پوشش می‌دهند

مرورهای اخیر کاربردها را در سه گروه دسته‌بندی کرده‌اند: شناسایی و سگمنتیشن ساختارهای آناتومیک، کمک فنی به طراحی جراحی و کاربردهای جانبی مانند پیش‌بینی موفقیت. Macrì و همکاران کاربرد هوش مصنوعی را در شناسایی خودکار استخوان، سینوس ماگزیلا، ساختار عصبی و دندان‌ها گزارش کرده‌اند.[۲، ۴]

وظایف هوش مصنوعی در مسیر برنامه‌ریزی ایمپلنت

مرحله	نمونه وظیفه الگوریتم	وضعیت شواهد
ارزیابی اولیه	شناسایی ناحیه بی‌دندان و ابعاد استخوان روی CBCT	فراتحلیل ۱۲ مطالعه؛ دقت تجمعی بالا در مندیبل
آناتومی حساس	سگمنتیشن کانال مندیبولار، سینوس و دندان‌های مجاور	۱۸ مطالعه با دقت بسیار متغیر

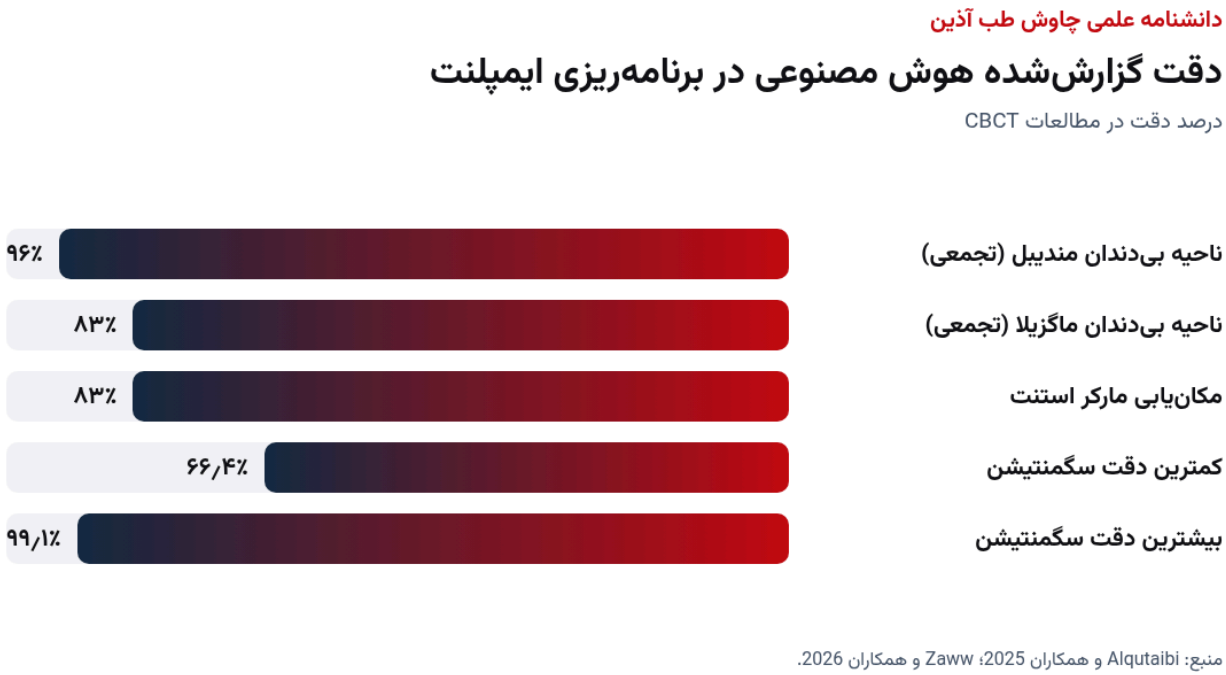
مرحله	نمونه وظیفه الگوریتم	وضعیت شواهد
طراحی جراحی	پیش‌بینی چگالی استخوان، پروتکل دریل، طرح افزایش سینوس	هشت مطالعه، بیشتر آزمایشی
ارزیابی پیامد	پیش‌بینی استئواینتگریشن و موفقیت درمان	پنج مرور؛ شواهد در حال شکل‌گیری

منبع: جمع‌بندی تحریریه از Zaww 2026، Alqutaibi 2025 و Mathur 2026.

دقت در شناسایی ناحیه بی‌دندان و ابعاد استخوان

فراتحلیل Alqutaibi و همکاران که جست‌وجوی آن تا ژانویه ۲۰۲۴ ادامه داشت، دقت تجمعی مدل‌ها را در شناسایی ناحیه بی‌دندان برای ایمپلنت در مندیبل ۹۶٪ (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۹۴ تا ۹۸) و در ماگزیلا ۸۳٪ (۸۲ تا ۸۴) گزارش کرد. از ۱۲ مطالعه، هشت مطالعه خطر سوگیری کم، دو مطالعه نگرانی متوسط و دو مطالعه خطر سوگیری بالا داشتند.[1]

فاصله میان دو فک قابل توجه است. آناتومی پیچیده‌تر ماگزیلای خلفی، نزدیکی به سینوس و کنتراست پایین‌تر استخوان اسفنجی از توضیح‌های محتمل این تفاوت‌اند؛ اما خود مرور علت را آزمون نکرده و این برداشت باید تفسیری تلقی شود.



منبع: Alqutaibi و همکاران 2025؛ Zaww و همکاران 2026.

دقت گزارش‌شده در مرورهای سیستماتیک؛ نمودار تحریریه بر پایه Alqutaibi (۲۰۲۵) و Zaww (۲۰۲۶).

> «مدل‌های هوش مصنوعی این توان را دارند که نواحی بی‌دندان را شناسایی کنند و به‌عنوان بخشی از برنامه‌ریزی ایمپلنت با تصاویر CBCT، اندازه‌گیری‌های استخوان را ارائه دهند.»
>
> "AI models have the potential to identify edentulous areas and provide measurements of bone as part of dental implant planning using CBCT images."
>
> — Alqutaibi و همکاران، J Prosthet Dent 2025[۱]

سگمنتیشن ساختارهای آناتومیک و کمک به طراحی جراحی

مرور سیستماتیک Zaww و همکاران ۲۸ مطالعه را تا ژوئیه ۲۰۲۴ بررسی کرد. در ۱۸ مطالعه سگمنتیشن آناتومیک، دقت مدل‌ها از ۶۶٫۴٪ تا ۹۹٫۱٪ گزارش شد؛ دامنه‌ای که نشان می‌دهد عدد «دقت بالا» بدون دانستن ساختار هدف، دستگاه و معیار مرجع معنای بالینی روشنی ندارد.[۲]

هشت مطالعه به کمک فنی در طراحی جراحی پرداخته بودند، از جمله پیش‌بینی چگالی معدنی استخوان فک، بهینه‌سازی پروتکل دریل و طبقه‌بندی طرح‌های افزایش کف سینوس. در یک مطالعه، دقت مکان‌یابی مارکرهای استنت ۸۳٪ بود و نرخ از دست رفتن ۱۷٪ و مثبت کاذب ۲٫۸٪ گزارش شد.[۲]

منحنی یادگیری و حجم داده آموزشی

همان مرور به مطالعه‌ای اشاره می‌کند که برای رسیدن به دقت پیش‌بینی بیش از ۷۰٪، دست‌کم ۵۰ تصویر را توصیه کرده است. این یافته یادآوری می‌کند که عملکرد هر مدل به کمیت و کیفیت داده آموزشی وابسته است و نتایج یک مرکز به دستگاه، FOV و جمعیت دیگر به‌سادگی تعمیم نمی‌یابد.[۲]

در عمل، مرجع ارزیابی در بسیاری از این مطالعات سگمنتیشن دستی متخصص است؛ بنابراین خطای مرجع نیز در عدد نهایی پنهان می‌ماند. ارتباط این موضوع با کیفیت تصویر ورودی، از جمله آرتیفکت فلز و حرکت بیمار، در مطالعات به‌طور یکنواخت گزارش نشده است.

کیفیت شواهد و خطر سوگیری

مهم‌ترین محدودیت حوزه، کیفیت روش‌شناختی است. در مرور Zaww از ۲۸ مطالعه، چهار مطالعه کیفیت بالا، چهار مطالعه کیفیت متوسط و ۲۰ مطالعه کیفیت پایین داشتند.[۲] در مرور Vázquez-Sebrango نیز ۱۱ مطالعه خطر سوگیری بالا داشتند و نویسندگان این حوزه را با وجود رشد سریع، «نسبتاً توسعه‌نیافته» توصیف کردند.[۳]

مقایسه مرورهای سیستماتیک هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی ایمپلنت

مرور	دامنه شواهد	یافته اصلی
Alqutaibi ۲۰۲۵	۱۲ مطالعه CBCT، فراتحلیل	دقت ۹۶٪ مندیبل و ۸۳٪ ماگزیلا
Zaww ۲۰۲۶	۲۸ مطالعه تا ژوئیه ۲۰۲۴	۲۰ مطالعه کیفیت پایین؛ دقت سگمنتیشن ۶۶٫۴ تا ۹۹٫۱٪
Vázquez-Sebrango ۲۰۲۵	۱۲۰ مقاله ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۴	یادگیری عمیق در ۸۹٫۲٪؛ ۱۱ مطالعه سوگیری بالا
Mathur ۲۰۲۶	مرور چتری ۱۰ مرور	شبکه کانولوشنی با دقت بیش از ۹۰٪

منبع: چکیده‌های منتشرشده مرورها؛ فهرست منابع همین مقاله.

مرور چتری Mathur و همکاران از ۲۶۱ رکورد، تنها ۱۰ مرور را واجد شرایط یافت و گزارش کرد که مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنی دقتی بیش از ۹۰٪ نشان داده‌اند؛ تنها پنج مرور به پیش‌بینی استئواینتگریشن پرداخته بودند.[۵]

> «چالش‌هایی مانند مجموعه‌داده‌های محدود، نبود تحلیل‌هایی که چند ایمپلنت را دربرگیرند و مسائل مربوط به استانداردسازی، همچنان موانع اصلی پذیرش گسترده‌تر بالینی هستند.»
>
> “challenges such as limited data sets, lack of analyses involving multiple implants, and issues related to standardization remain key barriers to broader clinical adoption.”
>
> — Mathur و همکاران، J Prosthet Dent 2026[۵]

نقش رادیولوژیست در جریان کار مبتنی بر هوش مصنوعی

خروجی خودکار، حتی با دقت بالا، جایگزین تفسیر کل حجم CBCT نیست. یافته‌های اتفاقی سینوس، ضایعات فک و واریاسیون‌های آناتومیک خارج از هدف آموزشی مدل قرار دارند و باید در گزارش رادیولوژیک دیده شوند. از سوی دیگر، سگمنتیشن خودکار کانال یا کف سینوس در ناحیه آرتیفکت فلزی یا کورتکس نازک ممکن است گمراه‌کننده باشد.

چک‌لیست بازبینی پیش از تأیید طرح

- بررسی چشمی مرز سگمنتیشن کانال مندیبولار و فورامن منتال در سه صفحه.
- کنترل ضخامت کورتکس و کف سینوس در ناحیه پیشنهادی فیکسچر.
- ثبت نسخه نرم‌افزار، پارامترهای اکتساب و هر اصلاح دستی در پرونده.
- گزارش جداگانه یافته‌های خارج از ناحیه هدف بر پایه کل حجم.

این چک‌لیست برداشت تحریریه از محدودیت‌های گزارش‌شده در مرورهاست و جایگزین پروتکل محلی هر مرکز نیست.

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کاربردی برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی

محور	نکته کلیدی
ناحیه بی‌دندان	دقت تجمعی ۹۶٪ مندیبل و ۸۳٪ ماگزیلا
سگمنتیشن آناتومیک	دقت ۶۶٫۴٪ تا ۹۹٫۱٪ در ۱۸ مطالعه
کیفیت شواهد	۲۰ از ۲۸ مطالعه کیفیت پایین
نوع مدل	برتری شبکه‌های کانولوشنی
کاربرد بالینی	ابزار کمکی با بازبینی متخصص

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

پرسش‌های متداول

برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی چقدر دقیق است؟

در فراتحلیل ۱۲ مطالعه CBCT، دقت تجمعی شناسایی ناحیه بی‌دندان ۹۶٪ در مندیبل و ۸۳٪ در ماگزیلا بود.[1]

چرا دقت در ماگزیلا کمتر گزارش شده است؟

خود مرور علت را آزمون نکرده است؛ آناتومی پیچیده‌تر ماگزیلای خلفی و نزدیکی سینوس از توضیح‌های محتمل‌اند.[۱]

کیفیت مطالعات هوش مصنوعی ایمپلنت چگونه است؟

در یک مرور، ۲۰ مطالعه از ۲۸ مطالعه بر پایه مقیاس JBI کیفیت پایین داشتند.[۲]

آیا هوش مصنوعی جای تفسیر CBCT را می‌گیرد؟

خیر؛ مدل‌ها برای وظایف محدود آموزش دیده‌اند و تفسیر کل حجم و یافته‌های اتفاقی همچنان مسئولیت متخصص است.[۵]

چه نوع مدلی بیشترین عملکرد را نشان داده است؟

در مرور چتری، مدل‌های شبکه عصبی کانولوشنی دقتی بیش از ۹۰٪ داشتند و از مدل‌های یادگیری ماشین سنتی بهتر بودند.[۵]

برای آموزش یک مدل چه حجمی از داده لازم است؟

یک مطالعه دست‌کم ۵۰ تصویر را برای دقت پیش‌بینی بیش از ۷۰٪ توصیه کرده است؛ این عدد به وظیفه و داده بستگی دارد.[۲]

جمع‌بندی

شواهد فعلی نشان می‌دهد برنامه‌ریزی ایمپلنت با هوش مصنوعی در شناسایی ناحیه بی‌دندان و سگمنتیشن ساختارها روی CBCT عملکرد امیدوارکننده‌ای دارد، به‌ویژه در مندیبل. با این حال، کیفیت پایین بخش بزرگی از مطالعات، دامنه گسترده دقت و نبود استاندارد ارزیابی، استفاده از این ابزارها را به نقش کمکی محدود می‌کند. بازبینی سه‌صفحه‌ای، تفسیر کل حجم و مستندسازی اصلاح‌های دستی، شرط استفاده مسئولانه از آن‌هاست.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- سگمنتیشن دندان در CBCT با هوش مصنوعی
- هوش مصنوعی در رادیولوژی دندان و فک
- CBCT برای برنامه‌ریزی ایمپلنت
- دقت جراحی ایمپلنت با گاید استاتیک

- ردیابی کانال مندیبولار در CBCT و پانورامیک
- ادغام CBCT و اسکن داخل دهانی

منابع

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

1. Alqutaibi AY, Algabri R, Ibrahim WI, Alhajj MN, Elawady D. Dental implant planning using artificial intelligence: A systematic review and meta-analysis. J Prosthet Dent. 2025;134(5):1619-1629. DOI PubMed

2. Zaww K, Abbas H, Vanegas Sáenz JR, Hong G. AI-driven innovations for dental implant treatment planning: A systematic review. J Prosthodont Res. 2026;70(2):192-205. DOI PubMed

3. Vázquez-Sebrango G, Anitua E, Macía I, Arganda-Carreras I. The role of artificial intelligence in implant dentistry: a systematic review. Int J Oral Maxillofac Surg. 2025;54(11):1098-1122. DOI PubMed

4. Macrì M, D'Albis V, D'Albis G, Forte M, Capodiferro S, Favia G, et al. The Role and Applications of Artificial Intelligence in Dental Implant Planning: A Systematic Review. Bioengineering (Basel). 2024;11(8):778. DOI PubMed متن کامل PMC

5. Mathur A, Mehta V, Bhadania M, Patil PG. Artificial intelligence in dental implant identifications, planning accuracies, and success predictions: An umbrella review. J Prosthet Dent. 2026;136(2):412-421. 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: ۲۴ آبان ۱۴۰۵.