دانشنامه علمی چاوش طب آذین · chavoshteb.ir · به‌روزرسانی ۲۸ آبان ۱۴۰۵

ارزیابی بلوغ مهره‌های گردنی با هوش مصنوعی (CVM): مرور شواهد دقت

ارزیابی بلوغ مهره‌های گردنی با هوش مصنوعی در فراتحلیل ۱۲ مطالعه برای مرحله CS1 حساسیت ۰٫۸۷ و ویژگی ۰٫۹۷ داشت، اما در مرحله CS3 حساسیت به ۰٫۶۴ کاهش یافت. دقت کلی مدل‌ها در مرورهای سیستماتیک بین ۵۷٪ تا ۹۵٪ متغیر بود و شواهد فعلی AI را ابزار پشتیبان تشخیص، نه جایگزین متخصص، می‌داند.

نکات کلیدی این مقاله

- در مرور ۱۸ مطالعه، دقت مدل‌های AI برای CVM بین ۵۷٪ تا ۹۵٪ بود.[۳]
- در فراتحلیل ۱۲ مطالعه، CS1 بهترین (حساسیت ۰٫۸۷، ویژگی ۰٫۹۷) و CS3 ضعیف‌ترین (حساسیت ۰٫۶۴) عملکرد را داشت.[۱]
- در مرور ۸ مطالعه شبکه عصبی، در همه مطالعات نگرانی درباره خطر سوگیری آزمون شاخص و استاندارد مرجع وجود داشت.[۴]
- دقت تجمعی مدل‌های CVM در یک فراتحلیل ۲۰۲۶ حدود ۸۰٪ بود.[۵]
- یک شبکه دومرحله‌ای دقت مرحله‌بندی ارتودنتیست‌های کم‌تجربه را ۱۰٫۹۵٪ بهبود داد.[۶]

روش بلوغ مهره‌های گردنی (CVM) برای زمان‌بندی درمان ارتودنسی رشدمحور به کار می‌رود، اما تغییرپذیری بین مشاهده‌گران و پیچیدگی آن محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند.[۱] مدل‌های هوش مصنوعی برای خودکارسازی این ارزیابی توسعه یافته‌اند.[۱] این مقاله شواهد دقت این مدل‌ها را مرور می‌کند؛ مبانی روش CVM و مقایسه آن با روش‌های دیگر در مقاله جداگانه دانشنامه آمده است.

فهرست مطالب

1. چرا بلوغ مهره‌های گردنی با هوش مصنوعی ارزیابی می‌شود؟
2. شواهد مرورهای سیستماتیک
3. رویکرد مبتنی بر لندمارک و تحلیل کمی

4. نکات کاربردی برای رادیولوژیست
5. جدول جمع‌بندی نکات
6. پرسش‌های متداول
7. جمع‌بندی
8. مطالعه مرتبط در دانشنامه
9. منابع

چرا بلوغ مهره‌های گردنی با هوش مصنوعی ارزیابی می‌شود؟

زمان‌بندی دقیق درمان در ارتودنسی رشدمحور اهمیت زیادی دارد و روش CVM به دلیل تغییرپذیری بین مشاهده‌گران و پیچیدگی محدودیت دارد؛ AI می‌تواند این ارزیابی را خودکار و پایاتر کند.[۱] مرور سیستماتیک Inchingolo و همکاران روی ۱۳ مطالعه نشان داد که CVM و روش بند میانی انگشت همبستگی بالایی دارند، تکرارپذیری CVM با افزایش تجربه بالینی بهتر نمی‌شود، اما با پشتیبانی یادگیری عمیق و AI دقت بسیار خوبی به دست می‌آورد.[۲]

همین مرور نتیجه گرفت که با توجه به معادل بودن نتایج و استفاده روزمره از سفالومتری، انجام رادیوگرافی اضافی دست و مچ برای بیمار توجیه ندارد.[۲]

شواهد مرورهای سیستماتیک

دقت کلی

Kazimierczak و همکاران ۱۸ مطالعه را که بیشتر از یادگیری نظارت‌شده و شبکه‌های عصبی کانولوشنی استفاده کرده بودند بررسی کردند. دقت از ۵۷٪ تا ۹۵٪ متغیر بود و نوع مدل، داده آموزشی، روش مطالعه، تمرکز جغرافیایی و تجربه خوانندگان رادیوگرافی بر نتایج اثر داشت.[۳]

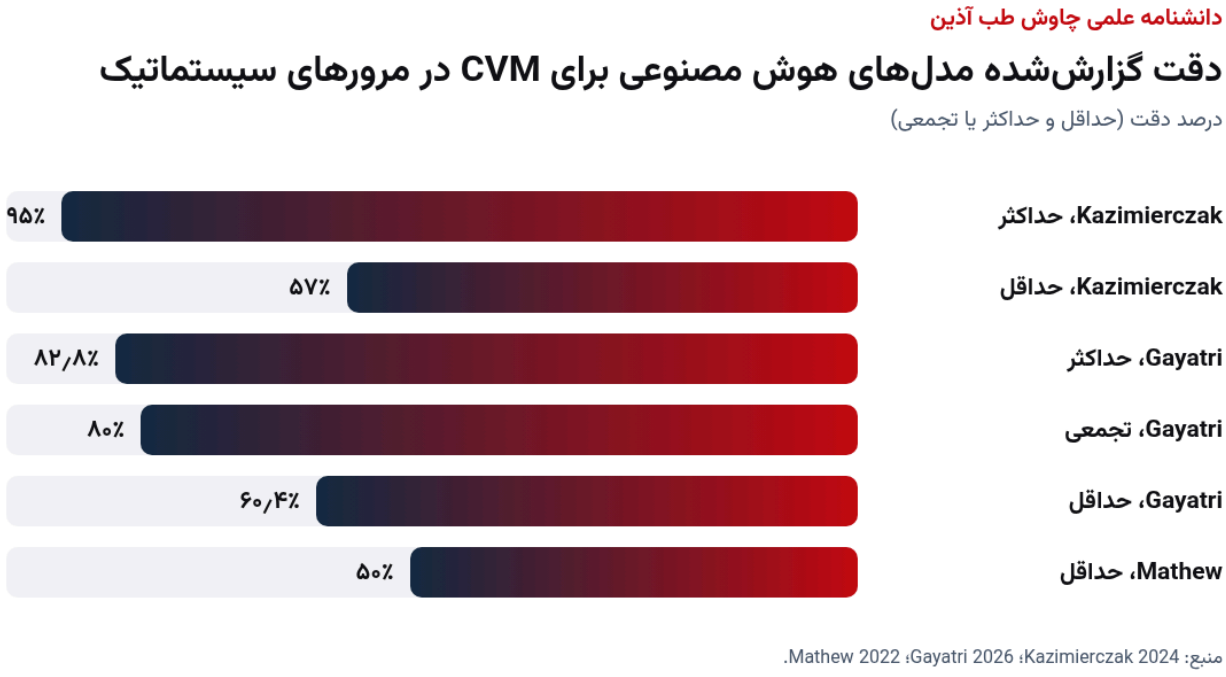
Mathew و همکاران از ۴۲۵ مقاله، ۸ مطالعه را وارد کردند. دقت مدل‌ها روی داده آزمون از ۵۰٪ تا بیش از ۹۰٪ بود و در همه مطالعات نگرانی درباره خطر سوگیری وجود داشت.[۴]

> «با این حال، مطالعات بیشتری لازم است تا مدل‌های مقاومی با استانداردهای مرجع مناسب توسعه یابند که قابل تعمیم به داده‌های خارجی باشند.»

> “However, further studies need to develop robust models using appropriate reference standards that can be generalized to external data.”
>
> — Mathew و همکاران، Angle Orthod 2022[۴]

عملکرد در هر مرحله

Sadeghi و همکاران از ۱۶۰۶ مقاله غربال‌شده، ۲۵ مطالعه را وارد کردند که ۸ مطالعه در همه حوزه‌ها خطر سوگیری پایین داشتند و ۱۲ مطالعه در فراتحلیل وارد شدند. بهترین عملکرد برای CS1 (حساسیت ۰٫۸۷، ویژگی ۰٫۹۷ و نسبت شانس تشخیصی ۲۱۳) و ضعیف‌ترین برای CS3 (حساسیت ۰٫۶۴، ویژگی ۰٫۹۶ و نسبت شانس تشخیصی ۳۲) بود.[۱]



دقت مدل‌های AI برای CVM در مرورهای سیستماتیک؛ نمودار تحریریه بر پایه Kazimierczak، Gayatri و Mathew.

> «هوش مصنوعی در ارزیابی CVM نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده و به دقت قابل توجهی دست یافته است.»
>
> “AI has demonstrated encouraging outcomes in CVM assessment, achieving notable accuracy.”
>
> — Sadeghi و همکاران، BMC Oral Health 2025[۱]

عملکرد AI در مراحل CVM (فراتحلیل)

مرحله	حساسیت	ویژگی	نسبت شانس تشخیصی
CS1	۰٫۸۷	۰٫۹۷	۲۱۳
CS3	۰٫۶۴	۰٫۹۶	۳۲

منبع: Sadeghi و همکاران، BMC Oral Health 2025 (۱۲ مطالعه در فراتحلیل).

فراتحلیل ۲۰۲۶

Gayatri و همکاران ۷ مطالعه (۵ مطالعه CVM روی سفالوگرام جانبی و ۲ مطالعه دست و مچ) را بررسی کردند. دقت یا توافق مدل‌های CVM بین ۶۰٫۴٪ تا ۸۲٫۸٪ و دقت تجمعی ۸۰٪ بود، اما عملکرد در شرایط اعتبارسنجی متفاوت متغیر ماند.[۵]

> «شواهد فعلی از کاربرد AI عمدتاً به‌عنوان ابزار پشتیبان تشخیص حمایت می‌کند و پیش از به‌کارگیری روزمره بالینی، مطالعات آینده‌نگر چندمرکزی بیشتری لازم است.»
>
> "Current evidence supports the use of AI primarily as a diagnostic support tool, with further prospective multicenter studies required before routine clinical implementation."
>
> — Gayatri و همکاران، Eur J Dent 2026[۵]

رویکرد مبتنی بر لندمارک و تحلیل کمی

Jiang و همکاران روی ۲۱۰۰ سفالوگرام، شبکه‌ای دومرحله‌ای برای یافتن ۱۹ لندمارک مهره گردنی و تعیین مرحله CVM کمی طراحی کردند. میانگین خطای لندمارک ۰٫۶۶ میلی‌متر و نرخ موفقیت در محدوده ۲ میلی‌متر ۹۸٫۱۰٪ بود. دقت تعیین مرحله ۶۹٫۵۲٪ بود و دقت شش ارتودنتیست کم‌تجربه را ۱۰٫۹۵٪ بهبود داد.[۶]

مرورهای سیستماتیک AI در ارزیابی CVM

مرور	تعداد مطالعه	یافته اصلی
Mathew ۲۰۲۲	۸	دقت ۵۰٪ تا بیش از ۹۰٪؛ نگرانی سوگیری در همه
Kazimierczak ۲۰۲۴	۱۸	دقت ۵۷٪ تا ۹۵٪

مرور	تعداد مطالعه	یافته اصلی
Sadeghi ۲۰۲۵	۲۵ (۱۲ در فراتحلیل)	CS1 بهترین، CS3 ضعیف‌ترین
Gayatri ۲۰۲۶	۷	دقت تجمعی ۸۰٪

منبع: مرورهای فهرست‌شده در همین مقاله.

نکات کاربردی برای رادیولوژیست

برداشت تحریریه از این شواهد:[۱، ۴، ۵، ۳]

- خروجی AI را به‌عنوان پیشنهاد در نظر بگیرید و مرحله نهایی را خودتان تأیید کنید، به‌ویژه در مراحل میانی نزدیک به جهش رشد.[۱، ۵]
- پیش از خرید یا استفاده از نرم‌افزار، اعتبارسنجی خارجی روی داده‌های مستقل را بخواهید.[۴]
- نوع مدل و داده آموزشی از عوامل مؤثر بر دقت بودند؛ بنابراین عملکرد نرم‌افزار را روی تصاویر دستگاه و جمعیت بیماران خود بسنجید.[۳]
- در گزارش، روش ارزیابی (دستی یا با کمک AI) را ذکر کنید.[۵]

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کاربردی ارزیابی CVM با هوش مصنوعی

محور	نکته کلیدی
دقت کلی	۵۷٪ تا ۹۵٪ در مرورها
بهترین مرحله	CS1 با حساسیت ۰٫۸۷
ضعیف‌ترین مرحله	CS3 با حساسیت ۰٫۶۴
خطر سوگیری	نگرانی در همه مطالعات یک مرور

محور	نکته کلیدی
کاربرد	ابزار پشتیبان تشخیص
آموزش	بهبود ۱۰٫۹۵٪ دقت ارتودنتیست کم‌تجربه

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

پرسش‌های متداول

دقت هوش مصنوعی در ارزیابی CVM چقدر است؟

در مرورهای سیستماتیک بین ۵۷٪ تا ۹۵٪ و دقت تجمعی در یک فراتحلیل حدود ۸۰٪ بود.[۳، ۵]

کدام مرحله برای AI دشوارتر است؟

مرحله CS3 با حساسیت ۰٫۶۴ ضعیف‌ترین عملکرد را داشت.[۱]

آیا AI جایگزین متخصص می‌شود؟

خیر؛ شواهد فعلی AI را عمدتاً ابزار پشتیبان تشخیص می‌داند.[۵]

مهم‌ترین ضعف مطالعات موجود چیست؟

خطر سوگیری در آزمون شاخص و استاندارد مرجع و کمبود اعتبارسنجی خارجی.[۴]

آیا AI به ارتودنتیست کم‌تجربه کمک می‌کند؟

در یک مطالعه دقت مرحله‌بندی آنان ۱۰٫۹۵٪ بهبود یافت.[۶]

آیا برای ارزیابی بلوغ به رادیوگرافی دست و مچ نیاز است؟

یک مرور سیستماتیک رادیوگرافی اضافی دست و مچ را در کنار سفالومتری غیرضروری دانست.[۲]

جمع‌بندی

ارزیابی بلوغ مهره‌های گردنی با هوش مصنوعی به دقت امیدوارکننده‌ای رسیده است، اما دقت میان مطالعات و مراحل رشد بسیار متغیر است و مرحله CS3 همچنان چالش‌برانگیز است. خطر سوگیری و کمبود اعتبارسنجی خارجی، تعمیم نتایج را محدود می‌کند. استفاده از AI به‌عنوان ابزار پشتیبان، با تأیید نهایی متخصص و ذکر روش در گزارش، رویکرد مبتنی بر شواهد فعلی است.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- بلوغ مهره‌های گردنی (CVM) در سفالومتری
- سفالومتری لترال: تکنیک و پایایی لندمارک‌ها
- هوش مصنوعی در رادیولوژی دندان و فک
- بلوغ بخیه میانی کام در CBCT
- تخمین سن دندانی با پانورامیک
- خوانش نقادانه مطالعات دقت تشخیصی

منابع

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

1. Sadeghi TS, Ourang SA, Sohrabniya F, Sadr S, Shobeiri P, Motamedian SR. Performance of artificial intelligence on cervical vertebral maturation assessment: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health. 2025;25(1):187. DOI PubMed PMC

2. Inchingolo AM, Marinelli G, Calò F, Ciocia C, Rizzo A, Inchingolo F, et al. Radiographic choice for skeletal maturation assessment: a systematic review of Cervical Vertebrae Method and Middle Phalanx Method. Oral Radiol. 2026;42(3):491-509. DOI PubMed PMC

3. Kazimierczak W, Jedliński M, Issa J, Kazimierczak N, Janiszewska-Olszowska J, Dyszkiewicz-Konwińska M, et al. Accuracy of Artificial Intelligence for Cervical Vertebral Maturation Assessment-A Systematic Review. J Clin Med. 2024;13(14):4047. DOI PubMed PMC

4. Mathew R, Palatinus S, Padala S, Alshehri A, Awadh W, Bhandi S, et al. Neural networks for classification of cervical vertebrae maturation: a systematic review. Angle Orthod. 2022;92(6):796-804. DOI PubMed PMC

5. Gayatri G, Mardiati E, Melani A, Jauhari S, Cahyanto A, Adiprawita W, et al. Validity of Using Artificial Intelligence to Predict Skeletal Maturation in Orthodontic Treatment: A Systematic Review and Meta-analysis. Eur J Dent. 2026. DOI PubMed

6. Jiang F, Abdulqader AA, Yan Y, Cheng F, Xiang T, Yu J, et al. Deep learning based quantitative cervical vertebral maturation analysis. Head Face Med. 2025;21(1):20. 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: ۲۸ آبان ۱۴۰۵.