دانشنامه علمی چاوش طب آذین · chavoshteb.ir · به‌روزرسانی ۲۳ آبان ۱۴۰۵

MRI دندانی در برنامه‌ریزی ایمپلنت: دقت، محدودیت‌ها و جایگاه در کنار CBCT

MRI دندانی با پروتکل‌ها و کویل‌های اختصاصی، برنامه‌ریزی ایمپلنت بدون پرتو یونیزان را امکان‌پذیر کرده است. در مطالعه آینده‌نگر ۴۵ ایمپلنت، انحراف میانگین گاید مبتنی بر MRI در ورودی ۱٫۱ و در اپکس ۱٫۳ میلی‌متر بود و متاآنالیز ۲۰۲۵ دقت بافت سخت آن را قابل‌مقایسه با CBCT دانست. با این حال، در حدود ۳۰٪ موارد اصلاح موقعیت پس از CBCT لازم شد، دسترسی و زمان اسکن محدودیت دارند و نویسندگان اصلی کاربرد آن را فعلاً به کارآزمایی‌های بالینی محدود می‌دانند.

نکات کلیدی این مقاله

- مرور سیستماتیک ۲۰۲۴ شانزده مطالعه را وارد کرد: ۹ مطالعه برنامه‌ریزی و پیگیری، ۴ مطالعه جراحی هدایت‌شده و ۳ مطالعه کاهش آرتیفکت.[۲]
- در مطالعه آینده‌نگر ۳۰ بیمار و ۴۵ ایمپلنت، انحراف گاید مبتنی بر MRI در ورودی ۱٫۱ و در اپکس ۱٫۳ میلی‌متر و انحراف زاویه‌ای ۲٫۴ درجه بود.[۴]
- در همان مطالعه، اصلاح موقعیت ایمپلنت پس از CBCT در ۲۹٫۵٪ و اصلاح محور در ۶٫۸٪ موارد لازم شد.[۴]
- متاآنالیز ۲۰۲۵: انحراف ورودی ایمپلنت با MRI ۰٫۳۸ میلی‌متر بیشتر از CBCT بود، اما دقت کلی بافت سخت قابل‌مقایسه ارزیابی شد.[۶]
- آرتیفکت براکت‌های فولادی مستند است، اما داده‌ها درباره ایمپلنت و ترمیم‌ها قطعی نیست.[۸]

CBCT روش مرجع تصویربرداری سه‌بعدی پیش از ایمپلنت است، اما با پرتو یونیزان همراه است و کنتراست بافت نرم محدودی دارد.[۱] MRI بدون پرتو یونیزان، کنتراست بافت نرم عالی دارد و پیشرفت در توالی‌ها و کویل‌های اختصاصی دندانی، آن را به گزینه‌ای پژوهشی برای برنامه‌ریزی ایمپلنت تبدیل کرده است.[۲] پرسش اصلی این است که آیا دقت هندسی و بالینی آن برای جایگزینی CBCT کافی است.

فهرست مطالب

1. MRI دندانی: اصول و تفاوت با CBCT

2. دقت برنامه‌ریزی و گاید جراحی مبتنی بر MRI
3. محدودیت‌ها و آرتیفکت مواد دندانی
4. جدول جمع‌بندی نکات
5. پرسش‌های متداول
6. جمع‌بندی
7. مطالعه مرتبط در دانشنامه
8. منابع

MRI دندانی: اصول و تفاوت با CBCT

MRI تصویر را از سیگنال پروتون‌ها در میدان مغناطیسی می‌سازد و برخلاف CBCT از پرتو ایکس استفاده نمی‌کند. استخوان کورتیکال سیگنال کمی دارد و در توالی‌های معمول تیره دیده می‌شود؛ به همین دلیل توالی‌هایی مانند Black Bone و MSVAT-SPACE برای نمایش بهتر بافت سخت و نرم و کاهش آرتیفکت توسعه یافته‌اند.[۲]

Flügge و همکاران در پنج بیمار با MRI سه تسلا و کویل‌های اختصاصی نشان دادند که همه ساختارهای مهم برای برنامه‌ریزی، شامل استخوان کورتیکال و اسفنجی، کف بینی و سینوس ماگزیلا، عصب آلوئولار تحتانی و دندان‌های مجاور قابل مشاهده‌اند و برنامه‌ریزی مجازی، ساخت گاید و جراحی کاملاً هدایت‌شده بدون پرتو یونیزان امکان‌پذیر است.[۳]



دستگاه MRI بالینی؛ MRI دندانی معمولاً با کویل‌ها و توالی‌های اختصاصی انجام می‌شود. تصویر: Jan Ainali، Wikimedia Commons؛ مجوز CC BY 3.0، با تغییر اندازه.

مقایسه CBCT و MRI دندانی در برنامه‌ریزی ایمپلنت

ویژگی	CBCT	MRI دندانی
پرتو یونیزان	دارد	ندارد
کنتراست بافت نرم	محدود	عالی
نمایش استخوان کورتیکال	مستقیم	نیازمند توالی‌های اختصاصی

ویژگی	CBCT	MRI دندانی
دقت گاید جراحی	روش مرجع	قابل‌مقایسه در متاآنالیز، با انحراف ورودی کمی بیشتر
آرتیفکت مواد دندانی	آرتیفکت فلز و زیرکونیا	آرتیفکت براکت فولادی مستند؛ داده ایمپلنت قطعی نیست
وضعیت بالینی	استاندارد روزمره	عمدتاً در مطالعات پژوهشی

منبع: جمع‌بندی تحریریه بر پایه Hilgenfeld ۲۰۲۰، Zhang ۲۰۲۵، Al-Haj Husain ۲۰۲۴ و Bohner ۲۰۲۲.

دقت برنامه‌ریزی و گاید جراحی مبتنی بر MRI

Hilgenfeld و همکاران در مطالعه‌ای آینده‌نگر، پروتکل MRI سه تسلای ایزوتروپیک ۰٫۴ میلی‌متری با سرکوب آرتیفکت را برای برنامه‌ریزی و ساخت گاید جراحی در ۳۰ بیمار و ۴۵ ایمپلنت به کار بردند. توافق میان ارزیابان (کاپای میانگین ۰٫۸۱۴) و توافق میان MRI و CBCT (کاپای میانگین ۰٫۸۷۹) عالی بود. انحراف سه‌بعدی میانگین در ورودی ۱٫۱ و در اپکس ۱٫۳ میلی‌متر و انحراف زاویه‌ای ۲٫۴ درجه بود و به جز یک مورد، همه گایدها برای کاربرد بالینی مناسب بودند.[۴]

> «این مطالعه امکان‌سنجی نشان می‌دهد که MRI دندانی برای ساخت گاید جراحی قابل‌اعتماد و به‌اندازه کافی دقیق است. با این حال، پیش از آنکه بتوان از آن برای برنامه‌ریزی ایمپلنت خارج از کارآزمایی‌های بالینی استفاده کرد، مطالعات بیشتری برای افزایش دقت آن لازم است.»
>
> “This feasibility study indicates that dental MRI is reliable and sufficiently accurate for surgical guide production. Nevertheless, more studies are needed to increase its accuracy before it can be used for implant planning outside clinical trials.”
>
> — Hilgenfeld و همکاران، Eur Radiol 2020[۴]

در همان مطالعه، پس از CBCT مرجع، موقعیت ایمپلنت در ۲۹٫۵٪ و محور آن در ۶٫۸٪ موارد اصلاح شد و تغییرات در قوس‌های دندانی کوتاه‌شده بیشتر از فضاهای بی‌دندانی منفرد بود.[۴] Schwindling و همکاران در جراحی نیمه‌هدایت‌شده مبتنی بر MRI در ۳۴ بیمار، انحراف ۱٫۷ میلی‌متر در ورودی، ۲٫۳ میلی‌متر در اپکس و ۷٫۱ درجه در محور گزارش کردند و دقت را کمتر از مقادیر گزارش‌شده پیشین برای CBCT دانستند.[۵]

دانشنامه علمی چاوش طب آذین

انحراف ایمپلنت در جراحی مبتنی بر MRI دندانی

میانگین انحراف سه‌بعدی بر حسب میلی‌متر



منبع: Hilgenfeld T و همکاران Eur Radiol 2020؛ Schwindling FS و همکاران Clin Oral Implants Res 2021.

انحراف ایمپلنت نسبت به برنامه مبتنی بر MRI؛ نمودار تحریریه بر پایه Hilgenfeld (۲۰۲۰) و Schwindling (۲۰۲۱).

میدان ۱٫۵ تسلا و کویل اختصاصی

Grandoch و همکاران در ۱۶ بیمار، MRI یک‌ونیم تسلا با کویل تقویت سیگنال دندانی را با CBCT مقایسه کردند. CBCT در همه موارد امکان موقعیت «ایده‌آل» را فراهم کرد، در حالی که برای توالی 3D HR T1w TSE، ۸۱٫۹٪ برنامه‌ها ایده‌آل و ۱۸٫۱٪ قابل بهبود ارزیابی شدند و هیچ برنامه‌ای غیرقابل‌قبول نبود.[۱]

شواهد تجمیعی و دقت هندسی

در متاآنالیز Zhang و همکاران با ۱۲ مطالعه، انحراف ورودی ایمپلنت با MRI به‌طور میانگین ۰٫۳۸ میلی‌متر بیشتر از CBCT بود (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۰٫۰۴ تا ۰٫۷۱). اختلاف در اپکس (۰٫۳ میلی‌متر) و در زاویه (۰٫۸۱ درجه) بیشتر بود اما فاصله اطمینان آن‌ها صفر را در بر می‌گرفت؛ نویسندگان دقت کلی MRI در بافت سخت را قابل‌مقایسه با CBCT دانستند.[۶] در مطالعه کاداوری Probst و همکاران روی مندیبل خوک، انحراف هندسی سطح استخوان در MRI ۰٫۲۸۰ میلی‌متر، در CT ۰٫۲۲۵ و در CBCT ۰٫۳۵۲ میلی‌متر بود و هر سه روش در حاشیه ±۰٫۳ میلی‌متر هم‌ارز بودند.[۷]

دقت گاید و برنامه‌ریزی مبتنی بر MRI در مطالعات منتخب

مطالعه	طراحی	یافته اصلی

مطالعه	طراحی	یافته اصلی
Hilgenfeld ۲۰۲۰	۳۰ بیمار، ۴۵ ایمپلنت، MRI سه تسلا	ورودی ۱٫۱ و اپکس ۱٫۳ میلی‌متر؛ زاویه ۲٫۴ درجه
Schwindling ۲۰۲۱	۳۴ بیمار، جراحی نیمه‌هدایت‌شده	ورودی ۱٫۷ و اپکس ۲٫۳ میلی‌متر؛ محور ۷٫۱ درجه
Grandoch ۲۰۲۱	۱۶ بیمار، MRI یک‌ونیم تسلا	۸۱٫۹٪ برنامه ایده‌آل با T1w TSE
Zhang ۲۰۲۵	متاآنالیز ۱۲ مطالعه	دقت بافت سخت قابل‌مقایسه با CBCT
Probst ۲۰۲۱	کاداور مندیبل خوک	هم‌ارزی MRI، CT و CBCT در حاشیه ±۰٫۳ میلی‌متر

منبع: Hilgenfeld و همکاران Eur Radiol 2020؛ Schwindling و همکاران COIR 2021؛ Grandoch و همکاران IJOMI 2021؛ Zhang و همکاران Int J Implant Dent 2025؛ Probst و همکاران CIDRR 2021.

محدودیت‌ها و آرتیفکت مواد دندانی

مرور سیستماتیک Bohner و همکاران نشان داد که آرتیفکت ناشی از دستگاه‌های ارتودنسی، به‌ویژه براکت‌های فولاد ضدزنگ، به‌خوبی مستند است و می‌تواند تشخیص در حفره دهان و ساختارهای جمجمه‌ای-صورتی را مختل کند. شدت آرتیفکت به ویژگی ماده، محل آن در دهان و پارامترهای MRI بستگی دارد.[۸]

> «داده‌ها درباره ایمپلنت‌های دندانی و ترمیم‌های پروتزی قطعی نبودند.»
>
> “Data regarding dental implants and prosthodontics restorations were inconclusive.”
>
> — Bohner و همکاران، Dentomaxillofac Radiol 2022[۸]

برداشت تحریریه: افزون بر آرتیفکت، دسترسی محدود به دستگاه و کویل اختصاصی، زمان اسکن طولانی‌تر و منع‌های عمومی MRI از موانع عملی این روش‌اند. شواهد فعلی MRI دندانی را گزینه‌ای امیدوارکننده در موارد منتخب و در چارچوب پژوهش معرفی می‌کند، نه جایگزین روزمره CBCT.[۲، ۴]

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کلیدی MRI دندانی در ایمپلنتولوژی

محور	نکته کلیدی
مزیت اصلی	بدون پرتو یونیزان و با کنتراست بافت نرم عالی
دقت گاید	ورودی ۱٫۱ و اپکس ۱٫۳ میلی‌متر در مطالعه آینده‌نگر
شواهد تجمیعی	دقت بافت سخت قابل‌مقایسه با CBCT
محدودیت	اصلاح برنامه در حدود ۳۰٪ موارد، آرتیفکت و دسترسی
جایگاه فعلی	مکمل و پژوهشی؛ CBCT روش مرجع

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

پرسش‌های متداول

آیا MRI دندانی می‌تواند جایگزین CBCT در ایمپلنت شود؟

شواهد امیدوارکننده است، اما نویسندگان اصلی کاربرد آن را فعلاً به کارآزمایی‌های بالینی محدود می‌دانند.[۴]

دقت گاید جراحی مبتنی بر MRI چقدر است؟

در یک مطالعه آینده‌نگر، انحراف ورودی ۱٫۱ و اپکس ۱٫۳ میلی‌متر و زاویه ۲٫۴ درجه بود.[۴]

متاآنالیزها درباره دقت MRI چه می‌گویند؟

انحراف ورودی کمی بیشتر از CBCT است، اما دقت کلی بافت سخت قابل‌مقایسه است.[۶]

MRI استخوان را چگونه نشان می‌دهد؟

با توالی‌های اختصاصی مانند Black Bone و MSVAT-SPACE که وضوح بافت سخت و نرم را بهبود می‌دهند.[۲]

آیا ایمپلنت‌ها و ترمیم‌ها در MRI آرتیفکت ایجاد می‌کنند؟

آرتیفکت براکت فولادی مستند است، اما داده‌ها درباره ایمپلنت و ترمیم‌ها قطعی نیست.[۸]

آیا MRI یک‌ونیم تسلا برای برنامه‌ریزی کافی است؟

در یک مطالعه پایلوت با کویل اختصاصی، ۸۱٫۹٪ برنامه‌ها با توالی T1w TSE ایده‌آل بودند.[۱]

جمع‌بندی

MRI دندانی در سال‌های اخیر از یک ایده پژوهشی به روشی با شواهد دقت قابل‌قبول برای برنامه‌ریزی و ساخت گاید ایمپلنت رسیده است و مزیت اصلی آن حذف پرتو یونیزان و کنتراست بالای بافت نرم است. با این حال، نیاز به اصلاح برنامه در بخشی از موارد، دقت کمتر در برخی مطالعات، آرتیفکت مواد دندانی و محدودیت دسترسی نشان می‌دهد که CBCT همچنان روش مرجع است و MRI دندانی فعلاً گزینه‌ای مکمل و پژوهشی به شمار می‌رود.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- CBCT برای برنامه‌ریزی ایمپلنت
- دقت جراحی ایمپلنت با گاید استاتیک
- گزارش اجماع ITI درباره فناوری‌های دیجیتال
- ردیابی کانال مندیبولار در CBCT
- ارزیابی استخوان پیوندی پس از سینوس لیفت با CBCT
- توجیه تصویربرداری در 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.

Grandoch A, Peterke N, Hokamp NG, Zöller JE, Lichenstein T, Neugebauer J. 1.5 T MRI with a Dedicated Dental Signal-Amplification Coil as Noninvasive, Radiation-Free Alternative to CBCT in Presurgical Implant Planning Procedures. Int J Oral Maxillofac Implants. 2021;36(6):1211-1218. DOI PubMed

Al-Haj Husain A, Zollinger M, Stadlinger B, Özcan M, Winklhofer S, Al-Haj Husain N, et al. Magnetic resonance imaging in dental implant surgery: a systematic review. Int J Implant Dent. 2024;10(1):14. DOI

PubMed متن کامل PMC

Flügge T, Ludwig U, Hövener JB, Kohal R, Wismeijer D, Nelson K. Virtual implant planning and fully guided implant surgery using magnetic resonance imaging-Proof of principle. Clin Oral Implants Res. 2020;31(6):575-583. DOI PubMed

Hilgenfeld T, Juerchott A, Jende JME, Rammelsberg P, Heiland S, Bendszus M, et al. Use of dental MRI for radiation-free guided dental implant planning: a prospective, in vivo study of accuracy and reliability. Eur Radiol. 2020;30(12):6392-6401. DOI PubMed متن کامل PMC

Schwindling FS, Juerchott A, Boehm S, Rues S, Kronsteiner D, Heiland S, et al. Three-dimensional accuracy of partially guided implant surgery based on dental magnetic resonance imaging. Clin Oral Implants Res. 2021;32(10):1218-1227. DOI PubMed

Zhang H, Donaldson J, Neves VCM, Scott J. Are dental magnetic resonance imaging and ultrasonography techniques reliable alternatives for treatment planning dental implants? A systematic review and meta-analysis. Int J Implant Dent. 2025;11(1):52. DOI PubMed متن کامل PMC

Probst FA, Burian E, Malenova Y, Lyutskanova P, Stumbaum MJ, Ritschl LM, et al. Geometric accuracy of magnetic resonance imaging-derived virtual 3-dimensional bone surface models of the mandible in comparison to computed tomography and cone beam computed tomography: A porcine cadaver study. Clin Implant Dent Relat Res. 2021;23(5):779-788. DOI PubMed

Bohner L, Hanisch M, Sesma N, Blanck-Lubarsch M, Kleinheinz J. Artifacts in magnetic resonance imaging caused by dental materials: a systematic review. Dentomaxillofac Radiol. 2022;51(6):20210450. DOI PubMed متن کامل 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: ۲۳ آبان ۱۴۰۵.