مقادیر خاکستری در CBCT و تراکم استخوان: محدودیت‌های کمّی‌سازی و تبدیل به واحد هانسفیلد

مقادیر خاکستری در CBCT با واحد هانسفیلد همبستگی دارند (در فراتحلیل‌ها از ۰٫۶۶۹ تا ۰٫۹۹۸)، اما مرور سیستماتیک نتیجه گرفته که به دلیل نبود مطالعات بالینی با توان تشخیصی، قابل تبدیل به هانسفیلد نیستند. استفاده کمّی از آن‌ها برای قضاوت درباره تراکم استخوان پیش از ایمپلنت، بدون کالیبراسیون اختصاصی، قابل اتکا نیست.

نکات کلیدی این مقاله

- مرور سیستماتیک از ۲۷۱۰ مقاله تنها سه مطالعه را واجد شرایط یافت و نتیجه گرفت مقادیر خاکستری CBCT قابل تبدیل به هانسفیلد نیستند.[۳]
- در فراتحلیل ۲۰۲۲، همبستگی مقادیر خاکستری CBCT با هانسفیلد CT متوسط بود (r برابر ۰٫۶۶۹).[۴]
- فراتحلیل ۲۰۲۶ همبستگی قوی‌تری یافت (r برابر ۰٫۹۰۰ در نمونه‌های ناهمگن و ۰٫۹۹۸ در نمونه‌های همگن) اما با ناهمگنی بالا.[۵]
- FOV محدود، پراکندگی زیاد و محدودیت الگوریتم‌های بازسازی، علت تغییرپذیری مقادیر خاکستری در CBCT است.[۱]
- تراکم استخوان با ثبات اولیه ایمپلنت ارتباط مثبت دارد، اما کیفیت روش‌شناختی مطالعات پایین تا متوسط بود.[۲]

در برنامه‌ریزی ایمپلنت، کیفیت استخوان گیرنده یکی از عوامل مؤثر بر ثبات اولیه است و بسیاری از نرم‌افزارهای CBCT عددی با عنوان «تراکم» یا «HU» نمایش می‌دهند. اما مقادیر خاکستری در CBCT از نظر فیزیکی با واحد هانسفیلد در CT چندآشکارسازی یکسان نیستند. این مقاله شواهد درباره همبستگی، تبدیل‌پذیری و محدودیت‌های این اعداد را برای رادیولوژیست دهان و فک جمع‌بندی می‌کند.[۱، ۲]

فهرست مطالب

1. مقادیر خاکستری در CBCT و تفاوت با واحد هانسفیلد

2. شواهد همبستگی و تبدیل‌پذیری
3. پیامد بالینی برای ارزیابی استخوان پیش از ایمپلنت
4. توصیه‌های گزارش‌نویسی
5. جدول جمع‌بندی نکات
6. پرسش‌های متداول
7. جمع‌بندی
8. مطالعه مرتبط در دانشنامه
9. منابع

مقادیر خاکستری در CBCT و تفاوت با واحد هانسفیلد

واحد هانسفیلد در CT چندآشکارسازی بر پایه ضریب تضعیف نسبت به آب تعریف و با کالیبراسیون دستگاه کنترل می‌شود. در CBCT، مقدار خاکستری هر وکسل علاوه بر ماده، به هندسه پرتو، اندازه FOV، موقعیت در حجم و الگوریتم بازسازی وابسته است.[1]

Pauwels و همکاران توضیح می‌دهند که تغییرپذیری زیاد مقادیر خاکستری در CBCT به دلایلی ذاتی این روش رخ می‌دهد: اندازه محدود میدان، مقدار نسبتاً زیاد پرتو پراکنده و محدودیت‌های الگوریتم‌های بازسازی رایج.[1]



بررسی تصاویر مقطعی در ایستگاه کاری؛ واحد هانسفیلد در CT کالیبره است، اما مقادیر خاکستری CBCT چنین کالیبراسیونی ندارند. عکس: MART PRODUCTION در Pexels؛ مجوز Pexels.

تفاوت مقدار خاکستری CBCT با واحد هانسفیلد CT

ویژگی	واحد هانسفیلد در CT	مقدار خاکستری در CBCT
مبنای تعریف	نسبت ضریب تضعیف به آب با کالیبراسیون	وابسته به دستگاه و بازسازی
پرتو پراکنده	کمتر به دلیل پرتو باریک	نسبتاً زیاد در پرتو مخروطی
اثر FOV و موقعیت	محدود	قابل توجه در FOV محدود
قابلیت مقایسه بین دستگاه‌ها	بالا	پایین بدون کالیبراسیون

منبع: جمع‌بندی تحریریه بر پایه Pauwels 2015 و Eguren 2022.

شواهد همبستگی و تبدیل‌پذیری

مرور سیستماتیک تبدیل به هانسفیلد

Eguren و همکاران به این پرسش پرداختند که آیا مقادیر خاکستری CBCT قابل تبدیل به واحد هانسفیلد CT چندآشکارسازی هستند. از ۲۷۱۰ مقاله اولیه و ۶۲۳ مقاله پس از حذف موارد تکراری، تنها سه مطالعه وارد مرور شد.[۳]

> «این مرور سیستماتیک نشان داد که مقادیر خاکستری CBCT به دلیل نبود مطالعات بالینی با توان تشخیصی که از کاربرد آن پشتیبانی کنند، قابل تبدیل به واحد هانسفیلد نیستند.»
>
> “This systematic review demonstrated that the GVs from CBCT cannot be converted to HUs due to the lack of clinical studies with diagnostic capacity to support its use.”
>
> — Eguren و همکاران، Dentomaxillofac Radiol 2022[۳]

به گفته همین مرور، برای به دست آوردن مقادیر «شبه‌هانسفیلد» سه گام لازم است: کالیبراسیون دستگاه، مدل‌های معادله پیش‌بینی و یک فرمول استاندارد تبدیل؛ نه صرفاً یک رگرسیون یا عددی که مستقیماً از نرم‌افزار خوانده شود.[۳]

فراتحلیل‌های همبستگی

Selvaraj و همکاران از ۵۹۵۵ مطالعه، ۱۴ مطالعه را در تحلیل کیفی و دو مطالعه را در فراتحلیل وارد کردند و همبستگی مثبت متوسطی میان مقادیر خاکستری CBCT و هانسفیلد CT یافتند (r برابر ۰٫۶۶۹؛ فاصله اطمینان ۹۵٪: ۰٫۳۸۸ تا ۰٫۸۳۶).[۴]

Goodarzipour و همکاران با هشت مطالعه در فراتحلیل، همبستگی قوی در نمونه‌های ناهمگن (r برابر ۰٫۹۰۰) و همگن (r برابر ۰٫۹۹۸) گزارش کردند، اما ناهمگنی میان مطالعات بالا بود (I^2 بیش از ۷۰٪). نویسندگان کالیبراسیون مقادیر وکسل در هر اسکن با یک جسم مرجع را برای بهبود دقت پیشنهاد کردند.[۵]

دانشنامه علمی چاوش طب آذین

همبستگی مقادیر خاکستری CBCT با هانسفیلد CT

ضریب همبستگی تجمعی (r) در فراتحلیل‌ها



منبع: Goodarzipour و همکاران 2026؛ Selvaraj و همکاران 2022. همبستگی به معنای قابلیت تبدیل نیست.

همبستگی مقادیر خاکستری CBCT و هانسفیلد؛ نمودار تحریریه بر پایه Goodarzipour (۲۰۲۶) و Selvaraj (۲۰۲۲).

همبستگی بالا به معنای توافق یا قابلیت جایگزینی نیست. دو روش می‌توانند همبستگی قوی داشته باشند و در عین حال اختلاف سیستماتیک و وابسته به دستگاه نشان دهند؛ به همین دلیل یک معادله تبدیل از یک مطالعه به دستگاه یا FOV دیگر قابل انتقال نیست.

پیامد بالینی برای ارزیابی استخوان پیش از ایمپلنت

مرور Marquezan و همکاران هفت مطالعه را وارد کرد که تراکم استخوان را با هانسفیلد در CBCT سنجیده بودند و ارتباط مثبتی میان تراکم معدنی استخوان و ثبات اولیه ایمپلنت یافت. با این حال، کیفیت روش‌شناختی و کنترل سوگیری مطالعات پایین یا متوسط بود.[۲]

> «می‌توان چنین فرض کرد که در حال حاضر باید به‌طور کلی از کاربرد کمّی مقادیر خاکستری در CBCT پرهیز شود.»
>
> “it can be postulated that the quantitative use of GVs in CBCT should be generally avoided at this time.”
>
> — Pauwels و همکاران، Dentomaxillofac Radiol 2015[۱]

از تراکم به ساختار استخوان

Pauwels و همکاران یادآوری می‌کنند که پژوهش‌ها، نگاه به کیفیت استخوان را از تحلیل مبتنی بر تراکم به ارزیابی ساختاری تغییر داده‌اند. بهبود کیفیت تصویر CBCT نمایش الگوی ترابکولار را ممکن کرده و شاید بتوان روش‌های تحلیل ساختاری رایج در میکروCT و بافت‌شناسی را به کار برد.[۱]

شواهد مرورها درباره مقادیر خاکستری و تراکم استخوان

مرور	دامنه	نتیجه
Eguren ۲۰۲۲	سه مطالعه از ۲۷۱۰ مقاله	قابل تبدیل به HU نیست
Selvaraj ۲۰۲۲	۱۴ مطالعه؛ دو مطالعه در فراتحلیل	همبستگی متوسط r برابر ۰٫۶۶۹
Goodarzipour ۲۰۲۶	۱۳ مطالعه؛ هشت در فراتحلیل	همبستگی قوی با ناهمگنی بالا
Marquezan ۲۰۱۲	هفت مطالعه بالینی	ارتباط تراکم با ثبات اولیه

منبع: چکیده‌های منتشرشده مرورها؛ فهرست منابع همین مقاله.

توصیه‌های گزارش‌نویسی

- عدد «HU» نمایش‌داده‌شده در نرم‌افزار CBCT را به‌عنوان واحد هانسفیلد واقعی گزارش نکنید.[۳]
- در صورت مقایسه مقادیر خاکستری، دستگاه، FOV، موقعیت ناحیه و پروتکل را ثابت نگه دارید.[۱]
- برای کاربرد پژوهشی، از کالیبراسیون با جسم مرجع درون اسکن استفاده کنید.[۵]
- در گزارش بالینی، ضخامت کورتکس و الگوی ترابکولار را توصیفی بیان کنید.

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کاربردی مقادیر خاکستری در CBCT

محور	نکته کلیدی

محور	نکته کلیدی
تبدیل به HU	قابل تبدیل مستقیم نیست
همبستگی	از ۰٫۶۶۹ تا ۰٫۹۹۸ در فراتحلیل‌ها
علت تغییرپذیری	پراکندگی، FOV محدود و بازسازی
کاربرد کمّی	فقط با کالیبراسیون و جسم مرجع
گزارش بالینی	ارزیابی توصیفی ساختار استخوان

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

پرسش‌های متداول

آیا مقادیر خاکستری در CBCT همان واحد هانسفیلد است؟

خیر؛ مرور سیستماتیک نتیجه گرفت که این مقادیر به دلیل نبود مطالعات بالینی کافی قابل تبدیل به هانسفیلد نیستند.[۳]

همبستگی مقادیر خاکستری CBCT و هانسفیلد CT چقدر است؟

فراتحلیل‌ها از همبستگی متوسط (r برابر ۰٫۶۶۹) تا قوی (r برابر ۰٫۹۰۰ و ۰٫۹۹۸) گزارش کرده‌اند.[۴، ۵]

چرا مقادیر خاکستری CBCT تغییرپذیرند؟

به دلیل FOV محدود، پرتو پراکنده زیاد و محدودیت‌های الگوریتم‌های بازسازی.[۱]

آیا تراکم استخوان با ثبات اولیه ایمپلنت ارتباط دارد؟

بله، ارتباط مثبت گزارش شده، اما کیفیت مطالعات پایین تا متوسط بوده است.[۲]

برای کاربرد کمّی مقادیر خاکستری چه لازم است؟

کالیبراسیون دستگاه، مدل پیش‌بینی و فرمول استاندارد تبدیل یا جسم مرجع درون اسکن.[۳، ۵]

جایگزین ارزیابی تراکم در CBCT چیست؟

ارزیابی ساختاری الگوی ترابکولار و ضخامت کورتکس که با بهبود کیفیت تصویر امکان‌پذیرتر شده است.[1]

جمع‌بندی

مقادیر خاکستری در CBCT با واحد هانسفیلد همبستگی دارند، اما همبستگی به معنای قابلیت تبدیل نیست. تغییرپذیری ذاتی ناشی از پراکندگی، FOV محدود و بازسازی باعث می‌شود عدد «تراکم» نرم‌افزار، بدون کالیبراسیون اختصاصی، مبنای قابل اتکایی برای تصمیم بالینی نباشد. در گزارش پیش از ایمپلنت، توصیف ساختار کورتکس و ترابکولار و پرهیز از اعلام HU واقعی، رویکرد محتاطانه‌تر و هم‌راستا با شواهد است.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- CBCT برای برنامه‌ریزی ایمپلنت
- فیزیک CBCT و اصول تشکیل تصویر
- آرتیفکت CBCT: طبقه‌بندی و منشأ فیزیکی
- پارامترهای اکسپوژر CBCT: kVp، mA و زمان اسکن
- نرم‌افزارهای مشاهده و تحلیل CBCT
- دقت جراحی ایمپلنت با گاید استاتیک

منابع

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

1. Pauwels R, Jacobs R, Singer SR, Mupparapu M. CBCT-based bone quality assessment: are Hounsfield units applicable? Dentomaxillofac Radiol. 2015;44(1):20140238. DOI PubMed متن کامل PMC

2. Marquezan M, Osório A, Sant'Anna E, Souza MM, Maia L. Does bone mineral density influence the primary stability of dental implants? A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2012;23(7):767-74. DOI PubMed

3. Eguren M, Holguin A, Diaz K, Vidalon J, Linan C, Pacheco-Pereira C, et al. Can gray values be converted to Hounsfield units? A systematic review. Dentomaxillofac Radiol. 2022;51(1):20210140. DOI PubMed متن کامل PMC

4. Selvaraj A, Jain RK, Nagi R, Balasubramaniam A. Correlation between gray values of cone-beam computed tomograms and Hounsfield units of computed tomograms: A systematic review and meta-analysis. Imaging Sci Dent. 2022;52(2):133-140. DOI PubMed متن کامل PMC

5. Goodarzipour D, Shamshiri AR, Khodadadi Z. Relationship between Voxel Value of Cone Beam CT and Hounsfield Unit of CT: Systematic Review and Meta-Analysis. Front Dent. 2026;23:5. 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: ۲۴ آبان ۱۴۰۵.