فیلتراسیون پرتو در CBCT دندانی: کیفیت پرتو، دوز و کیفیت تصویر

فیلتراسیون پرتو با حذف فوتون‌های کم‌انرژی که بیشتر جذب بافت سطحی می‌شوند و سهم کمی در تشکیل تصویر دارند، دوز بیمار را کاهش می‌دهد. شواهد CBCT دندانی نشان می‌دهد فیلتر مس افزوده همراه با تنظیم kVp دوز مؤثر را به‌طور میانگین ۴۳٪ کاهش داده است، اما افزودن فیلتر بدون جبران پارامترها کنتراست به نویز را پایین می‌آورد؛ پس فیلتراسیون باید در کنار kVp و mA بهینه شود.

نکات کلیدی این مقاله

- افزودن ۰٫۴ میلی‌متر فیلتر و افزایش kVp در یک دستگاه CBCT دوز مؤثر را به‌طور میانگین ۴۳٪ کاهش داد.[۴]
- در مطالعه فانتومی، با ثابت نگه داشتن CNR، فیلتر مس در ۹۰ کیلوولت CTDIvol را ۸٫۷٪ کاهش داد.[۵]
- افزودن فیلتر مس بدون جبران kV یا CNR، mA را با افزایش ضخامت فیلتر کاهش داد.[۵]
- راهنمای انگلستان حداقل فیلتراسیون کل را ۱٫۵ میلی‌متر Al تا ۷۰ کیلوولت و ۲٫۵ میلی‌متر Al بالاتر از آن تعیین می‌کند.[۲]
- از ۱۳ عامل مؤثر بر دوز مؤثر CBCT، فیلتر مس افزوده فقط در یک مطالعه بررسی شده بود.[۱]

در مرور سیستماتیک عوامل مؤثر بر دوز مؤثر CBCT، از ۲۳ مطالعه واردشده فقط یک مطالعه فیلتر مس افزوده را بررسی کرده بود؛ در حالی که FOV و mA و kV در بیش از ۱۵ مطالعه ارزیابی شده بودند.[۱] همین کمبود شواهد باعث می‌شود فیلتراسیون پرتو اغلب به‌عنوان «مشخصه فنی دستگاه» دیده شود، نه یک ابزار بهینه‌سازی. این مقاله فیزیک، الزامات و شواهد بالینی فیلتراسیون در CBCT دندانی را مرور می‌کند.

فهرست مطالب

1. فیلتراسیون پرتو و کیفیت پرتو
2. شواهد اثر فیلتراسیون پرتو بر دوز CBCT
3. فیلتر بدون جبران پارامترها

4. پیامد عملی برای بخش رادیولوژی
5. جدول جمع‌بندی نکات
6. پرسش‌های متداول
7. جمع‌بندی
8. مطالعه مرتبط در دانشنامه
9. منابع

فیلتراسیون پرتو و کیفیت پرتو

طیف پرتو ایکس خروجی از تیوب پیوسته است و بخشی از فوتون‌های آن انرژی پایینی دارند. این فوتون‌ها بیشتر در پوست و بافت سطحی جذب می‌شوند و به آشکارساز نمی‌رسند؛ یعنی دوز می‌دهند ولی سهمی در تصویر ندارند. فیلتر فلزی سر راه پرتو، این بخش را ترجیحاً حذف می‌کند و انرژی میانگین پرتو بالا می‌رود؛ پدیده‌ای که «سخت‌شدن پرتو» نامیده می‌شود.

فیلتراسیون کل از دو بخش تشکیل می‌شود: فیلتراسیون ذاتی (پنجره تیوب و اجزای مسیر) و فیلتراسیون افزوده. راهنمای PHE و FGDP انگلستان مقرر می‌کند مقدار فیلتراسیون ذاتی و افزوده بر حسب معادل میلی‌متر آلومینیوم روی محفظه تیوب درج شود و اگر از ماده‌ای جز آلومینیوم استفاده شده، نماد شیمیایی و ضخامت آن مشخص باشد.[۲]

حداقل فیلتراسیون الزامی

> «فیلتراسیون کل پرتو (شامل فیلتراسیون ذاتی و افزوده) باید برای ولتاژ اسمی تیوب تا ۷۰ کیلوولت دست‌کم معادل ۱٫۵ میلی‌متر آلومینیوم، و برای ولتاژ بالاتر از ۷۰ کیلوولت دست‌کم ۲٫۵ میلی‌متر آلومینیوم باشد (که ۱٫۵ میلی‌متر آن دائمی است).»
>
> “The total filtration of the beam (made up of the inherent filtration and any added filtration) should be equivalent to not less than 1.5 mm Al for nominal X-ray tube voltages up to and including 70 kV, and not less than 2.5 mm Al (of which 1.5 mm Al should be permanent) for nominal X-ray tube voltages above 70 kV”
>
> — راهنمای ایمنی تجهیزات اشعه ایکس دندانی، PHE و FGDP(UK)، ویرایش دوم (۲۰۲۰)[۲]

گزارش ایمنی شماره ۱۰۸ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای واحدهای داخل دهانی معیار را بر حسب لایه نیم‌مقدار بیان می‌کند: دست‌کم ۱٫۵ میلی‌متر Al برای ۷۰ کیلوولت یا کمتر و ۲٫۱ میلی‌متر Al برای ۷۱ کیلوولت یا بیشتر، و یادآوری می‌کند فیلتراسیون ناکافی دوز پوست را نسبتاً بالا می‌برد.[۳] این دو عدد یکی نیستند: یکی فیلتراسیون کل است و دیگری لایه

نیم‌مقدار اندازه‌گیری‌شده.

الزامات و آزمون فیلتراسیون در منابع رسمی

منبع	معیار	زمان یا روش کنترل
PHE و FGDP(UK) ۲۰۲۰	فیلتراسیون کل ≥ ۱٫۵ mm Al تا ۷۰ kV و ≤ ۲٫۵ mm Al بالاتر از ۷۰ kV	هنگام راه‌اندازی و پس از هر تغییر تیوب؛ با سنجشگر فیلتراسیون کل یا HVL
IAEA SRS 108 (۲۰۲۲)	HVL ≥ ۱٫۵ mm Al تا ۷۰ kV و ≤ ۲٫۱ mm Al از ۷۱ kV (داخل دهانی)	بخشی از آزمون‌های پذیرش و کنترل کیفی
نکته اندازه‌گیری	سنجشگر kV دندانی استاندارد برای فیلتراسیون بالا (مثلاً فیلتر مس) ممکن است مناسب نباشد	استفاده از سنجشگر kV پزشکی طبق همان راهنما

منبع: راهنمای PHE و (۲۰۲۰) FGDP(UK) و (۲۰۲۲) IAEA Safety Reports Series No. 108.

شواهد اثر فیلتراسیون پرتو بر دوز CBCT

لادلو دوزیمتری یک دستگاه CBCT را پیش و پس از نصب فیلتر مس سنجید. نسخه تولیدی با ۰٫۴ میلی‌متر فیلتراسیون افزوده و kVp بالاتر با نسخه پیش‌تولید مقایسه شد و دوز با دوزیمترهای TLD در ۲۴ نقطه فانتوم RANDO اندازه‌گیری شد.[۴] دوز مؤثر در آزمون‌هایی که با فیلتراسیون بیشتر و kVp تنظیم‌شده انجام شدند، به‌طور میانگین ۴۳٪ کمتر بود.[۴]

> «نصب فیلتراسیون اضافی همراه با تنظیم kVp توسط سازنده، در همه تنظیمات پیش‌فرض بزرگسال به کاهش معنادار دوز بیمار انجامید.»
>
> “The manufacturer's installation of additional filtration with the adjustment of kVp in the Kodak 9500 CBCT unit resulted in significant patient dose reductions for examinations at all adult default settings.”
>
> — لادلو، جمله نتیجه‌گیری چکیده (۲۰۱۱)[۴]

نکته مهم این است که مطالعه لادلو دوز را سنجید و کیفیت تصویر را به‌طور جداگانه ارزیابی نکرد؛ بنابراین عبارت «بدون افت کیفیت تصویر» از چکیده آن قابل استنتاج نیست.[۴] همین مطالعه نشان داد محاسبه ریسک با ضرایب وزنی ICRP 2007 در مقایسه با ضرایب ۱۹۹۰ به‌طور میانگین ۷۷٪ برای FOV بزرگ و ۱۲۵٪ برای FOV متوسط بیشتر بود.[۴]

دانشنامه علمی چاوش طب آذین

کاهش دوز با فیلتراسیون افزوده در CBCT دندانی

درصد کاهش گزارش‌شده (کمیت دوز در هر مطالعه متفاوت است)



منابع: Ludlow JB. DMFR 2011؛ Kuramoto T و همکاران. Phys Med 2021.

کاهش دوز گزارش‌شده با فیلتراسیون افزوده در دو طراحی متفاوت؛ دو کمیت متفاوت دوز مستقیماً قابل مقایسه نیستند. نمودار اختصاصی تحریریه بر پایه داده‌های منتشرشده.

فیلتر مس و نسبت کنتراست به نویز

کوراموتو و همکاران ضخامت فیلتر مس را از ۰ تا ۰٫۲۰ میلی‌متر و ولتاژ را از ۷۰ تا ۹۰ کیلوولت تغییر دادند و CNR و CTDIvol را در فانتوم سنجیدند.[۵] با افزایش ضخامت فیلتر، CNR کاهش یافت؛ اما وقتی CNR ماده معادل استخوان روی مقدار ثابت ۹٫۲۳ نگه داشته شد، CTDIvol در ۹۰ کیلوولت با فیلتر مس ۸٫۷٪ کمتر از حالت بدون فیلتر بود.[۵]

این یافته منطق بهینه‌سازی را روشن می‌کند: فیلتر به‌تنهایی کیفیت تصویر را پایین می‌آورد و سود دوزی واقعی زمانی به دست می‌آید که فیلتراسیون با kV و mA مناسب برای رسیدن به کیفیت تشخیصی هدف ترکیب شود.

خلاصه شواهد فیلتراسیون در CBCT دندانی

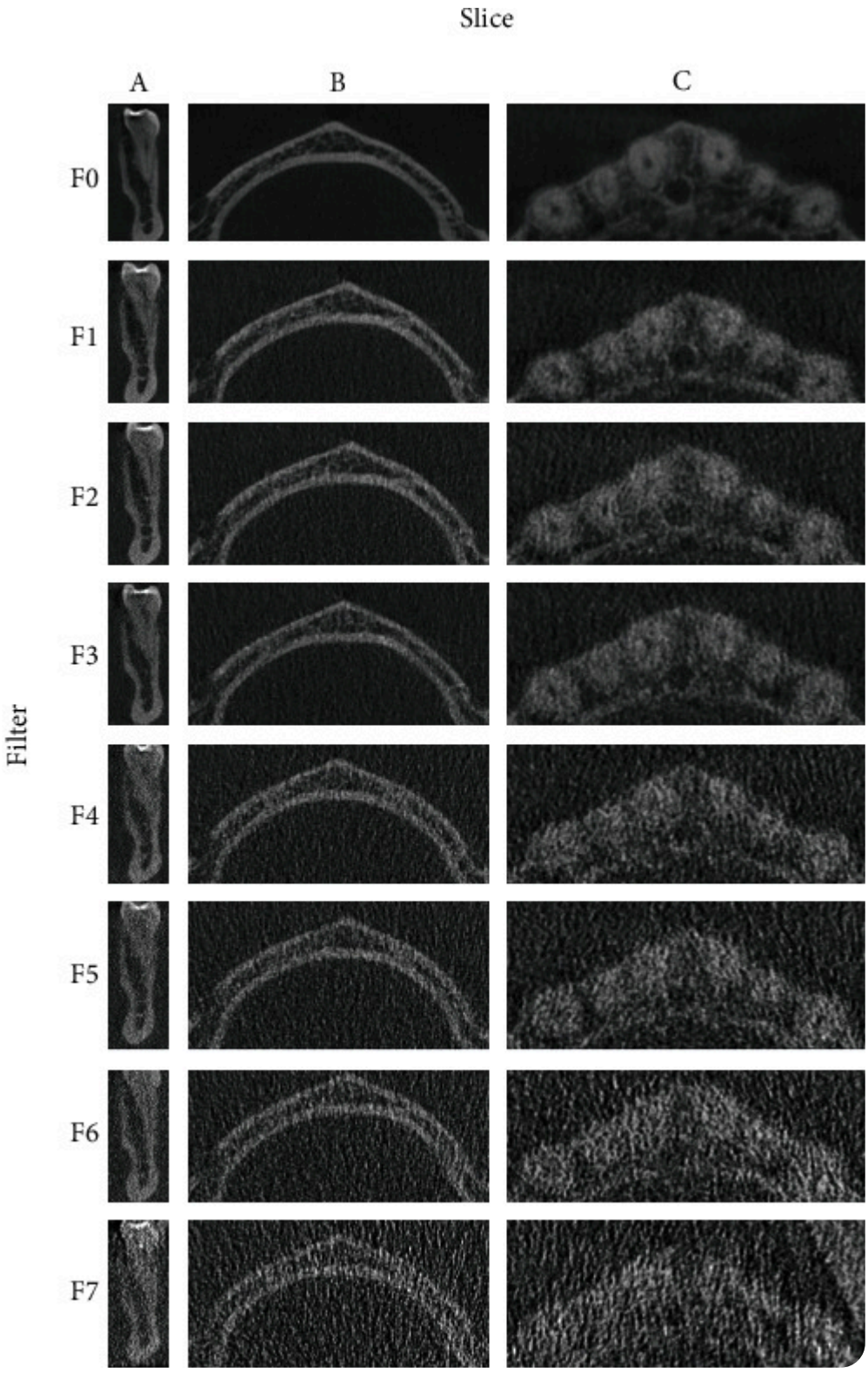
مطالعه	طرح	یافته کمّی

مطالعه	طرح	یافته کمّی
لادلو (۲۰۱۱)	فانتوم RANDO و TLD؛ ۰٫۴ mm فیلتر افزوده و kVp بالاتر	کاهش میانگین ۴۳٪ دوز مؤثر
کوراموتو و همکاران (۲۰۲۱)	فانتوم؛ مس ۰ تا ۰٫۲۰ mm و ۷۰ تا ۹۰ kV	در CNR ثابت، CTDIvol با فیلتر مس ۸٫۷٪ کمتر
هوفرار و همکاران (۲۰۲۲)	یک بیمار زنده؛ هفت فیلتر مس در ۸۵ kV و ۷ mA	دوز مؤثر از ۲۲٫۴ تا ۱٫۸ میکروسیورت؛ کیفیت تصویر با ضخامت فیلتر افت کرد
دا سیلوا مورا و همکاران (۲۰۱۹)	مرور سیستماتیک ۲۳ مطالعه	۱۳ عامل مؤثر بر دوز؛ فیلتر مس فقط در یک مطالعه

منبع: چکیده و متن مقالات ذکرشده؛ اعداد عیناً از منابع نقل شده‌اند.

فیلتر بدون جبران پارامترها

هوفرار و همکاران روی دستگاه CBCT تجاری هفت فیلتر مس با ضخامت فزاینده نزدیک منبع نصب کردند و همه اسکن‌ها را با پارامترهای ثابت ۸۵ کیلوولت و ۷ میلی‌آمپر انجام دادند؛ دوز مؤثر برآوردی از ۲۲٫۴ به ۱٫۸ میکروسیورت رسید.[۶] در این طراحی، فیلتر عملاً شدت پرتو را کم کرد و نویز را بالا برد، همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود.[۶]



سه مقطع CBCT با فیلترهای F0 (بدون فیلتر) تا F7؛ مقطع A کرونال مولر اول پایین، B آگزیال فک پایین و C آگزیال فک بالا.
منبع: Houfrar J و همکاران، Biomed Res Int 2022، شکل ۱؛ با مجوز CC BY 4.0، بدون تغییر.

نویسندگان نتیجه گرفتند کاهش خطی دوز اثری غیرخطی بر کیفیت تصویر دارد و دوز مطلوب باید متناسب با پرسش تشخیصی، بیمار و رشته تخصصی تعیین شود.[۶] این مطالعه تنها روی یک بیمار انجام شده و نتایج آن مقدماتی است.

پیامد عملی برای بخش رادیولوژی

برای کاربر، فیلتراسیون معمولاً تنظیم روزانه نیست؛ اما در خرید، پذیرش و کنترل کیفی اهمیت دارد. راهنمای انگلستان آزمون فیلتراسیون کل را در راه‌اندازی و پس از هر تغییر تیوب الزامی می‌داند و سطح اقدام را فیلتراسیون کمتر از حد مجاز یا عدم انطباق با مشخصات سازنده تعیین می‌کند.[۲]

برداشت تحریریه: هنگام مقایسه دستگاه‌ها، مقدار فیلتراسیون کل و جنس فیلتر را در کنار kV، mA، FOV و دوز گزارش‌شده بخواهید؛ عدد دوز بدون دانستن کیفیت پرتو و پروتکل، مقایسه‌پذیر نیست. افزودن فیلتر به دستگاه موجود فقط با مشارکت سازنده و کارشناس فیزیک پزشکی معنا دارد.



مسیر بهینه‌سازی فیلتراسیون پرتو در CBCT؛ طراحی اختصاصی تحریریه چاوش طب آذین.

جدول جمع‌بندی نکات

نکات کاربردی فیلتراسیون پرتو در CBCT

محور	نکته کلیدی
سازوکار	حذف فوتون‌های کم‌انرژی و سخت‌شدن پرتو

محور	نکته کلیدی
حداقل الزام	۱٫۵ mm Al تا ۷۰ kV؛ ۲٫۵ mm Al بالاتر از آن
شاهد اصلی	کاهش میانگین ۴۳٪ دوز با فیلتر و تنظیم kVp
هزینه تصویری	کاهش CNR اگر kV و mA جبران نشوند
کنترل کیفی	آزمون در راه‌اندازی و پس از تغییر تیوب

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

پرسش‌های متداول

فیلتراسیون پرتو در CBCT چه کاری انجام می‌دهد؟

فوتون‌های کم‌انرژی را که بیشتر جذب بافت سطحی می‌شوند حذف می‌کند و پرتو را سخت‌تر می‌سازد؛ راهنمای IAEA یادآوری می‌کند فیلتراسیون ناکافی دوز پوست را بالا می‌برد.[۳]

حداقل فیلتراسیون کل در تجهیزات دندانی چقدر است؟

طبق راهنمای انگلستان، ۱٫۵ میلی‌متر Al برای ولتاژ تا ۷۰ کیلوولت و ۲٫۵ میلی‌متر Al برای بالاتر از ۷۰ کیلوولت.[۲]

فیلتر مس چقدر دوز CBCT را کاهش می‌دهد؟

در مطالعه لادلو، فیلتر افزوده همراه با تنظیم kVp دوز مؤثر را به‌طور میانگین ۴۳٪ کاهش داد؛ این مطالعه کیفیت تصویر را جداگانه نسنجید.[۴]

آیا فیلتر بیشتر همیشه بهتر است؟

خیر. با افزایش ضخامت فیلتر مس CNR کاهش یافت و سود دوزی فقط با تنظیم هم‌زمان kV و mA در کیفیت ثابت به دست آمد.[۵]

چرا شواهد فیلتراسیون در CBCT محدود است؟

در مرور سیستماتیک ۲۳ مطالعه، فیلتر مس افزوده فقط در یک مطالعه بررسی شده بود.[۱]

فیلتراسیون دستگاه چه زمانی باید آزمون شود؟

راهنمای انگلستان آزمون فیلتراسیون کل را هنگام راه‌اندازی و پس از هر تغییر تیوب توصیه می‌کند.[۲]

جمع‌بندی

فیلتراسیون پرتو ابزار طراحی مؤثری برای کاهش دوز CBCT دندانی است، اما سود آن به ترکیب درست با kV و mA بستگی دارد. شواهد موجود کاهش قابل‌توجه دوز را با فیلتر مس و تنظیم kVp نشان می‌دهد و هم‌زمان هشدار می‌دهد که فیلتر بدون جبران پارامترها کیفیت تصویر را پایین می‌آورد. رعایت حداقل فیلتراسیون، آزمون پذیرش و گزارش شفاف کیفیت پرتو، پایه مقایسه منصفانه دستگاه‌ها و پروتکل‌هاست.

مطالعه مرتبط در دانشنامه

- فیزیک CBCT و اصول تشکیل تصویر
- پارامترهای اکسپوژر CBCT: kVp، mA و زمان اسکن
- مشخصات فنی CBCT و تفسیر علمی آن
- آرتیفکت CBCT و سخت‌شدگی پرتو
- کنترل کیفی CBCT بر پایه پروتکل EFOMP-ESTRO-IAEA
- دوزیمتری رادیولوژی دندان و فک

منابع

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

da Silva Moura W, Chiqueto K, Pithon GM, Neves LS, Castro R, Henriques JFC. Factors influencing the effective dose associated with CBCT: a systematic review. Clin Oral Investig. 2019;23(3):1319-1330. DOI PubMed

Public Health England, Faculty of General Dental Practice (UK). Guidance Notes for Dental Practitioners on the Safe Use of X-ray Equipment. 2nd ed. London: PHE and FGDP(UK); 2020. PDF رسمی UKHSA

International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in Dental Radiology. Safety Reports Series No. 108. Vienna: IAEA; 2022. PDF رسمی IAEA

Ludlow JB. A manufacturer's role in reducing the dose of cone beam computed tomography examinations: effect of beam filtration. Dentomaxillofac Radiol. 2011;40(2):115-122. DOI PubMed

Kuramoto T, Takarabe S, Shiotsuki K, et al. X-ray dose reduction using additional copper filtration for dental cone beam CT. Phys Med. 2021;81:302-307. DOI PubMed

Houfrar J, Ludwig B, Bister D, Nienkemper M, Abkai C, Venugopal A. The effects of additional filtration on image quality and radiation dose in cone beam CT: an in vivo preliminary investigation. Biomed Res Int. 2022;2022:7031269. 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: ۱۹ آبان ۱۴۰۵.