DOI: 10.48305/jims.v42.i784.0839

مجله دانشکده پزشکی اصفهان — سال چهل و دوم/شماره‌ی ۷۸٤/هفته‌ی چهارم آبان ۱٤۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

اصول حفاظت در برابر پرتوهای یونساز در جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه: یک مطالعه‌ی مروری

مهدی عسگری[۱]، محمدرضا سلامت[۲]

مقاله مروری

چکیده

مقدمه: جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه یا دگزا با توانایی نمایش تغییرات تراکم استخوانی به عنوان استاندارد طلایی در تشخیص پوکی استخوان و سایر بیماری‌های مرتبط با استخوان تبدیل شده است. این مقاله به بررسی و تشریح اهمیت توجه به رعایت اصول حافظت در برابر پرتوهای یون‌ساز برای گروه‌های مختلف از جمله بیماران، پرتوکاران، کودکان، زنان باردار و جنین در حین اسکن دگزا جهت بررسی وضعیت تراکم استخوان پرداخت.

روش‌ها: با توجه به تعداد محدود مقالات منتشر شده، مقالات بدون محدودیت زمانی تا سال ۲۰۲۴ با جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی ISI Web of Science، Science Direct، Scopus، PubMed و Google Scholar جمع‌آوری و محتوای آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: برای دستگاه‌های پرتو مدادی دگزا دوز مؤثر ناچیز و کمتر از ۱ میکروسیورت است. با این حال، دوزها برای دستگاه‌های پرتو بادبزنی متناسب با مدل و سازنده دستگاه معمولاً بالاتر از ۱۵ میکروسیورت است. برای مواجهه‌های پزشکی، هیچ محدودیتی در تعداد اسکن‌ها وجود ندارد. استفاده از یک پروتکل بالینی استاندارد و ثابت طراحی شده برای بزرگسالان منجر به مواجهه پرتویی بیش از حد در استفاده دگزا برای کودکان و نوجوانان می‌شود.

نتیجه‌گیری: دوزهای تابشی دگزا در قیاس با دیگر روش‌های تصویربرداری بسیار کم است با این حال، قرار گرفتن در معرض تشعشعات یونیزان خطرات بالقوه‌ای به همراه دارد و باید توجه ویژه‌ای به توجیه‌پذیری و بهینه‌سازی با در نظر گرفتن تمام اقدامات حفاظتی در برابر تشعشع برای تمام گروه‌های ذینفع انجام گیرد.

واژگان کلیدی: جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه؛ دگزا؛ دوز؛ پوکی استخوان

ارجاع: عسگری مهدی، سلامت محمدرضا. **اصول حفاظت در برابر پرتوهای یونساز در جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه: یک مطالعه‌ی مروری.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۳؛ ۴۲ (۷۸۴): ۸۳۹-۸۴۹.

مقدمه

پوکی استخوان

استئوپروز یا پوکی استخوان، نوعی اختلال سیستمی در ساختمان اسکلتی است که با کاهش تراکم مواد معدنی همراه و در نهایت منجر به شکستگی استخوان می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی، پوکی استخوان را کاهش تراکم استخوان به میزان معادل ۲/۵ انحراف معیار یا بیشتر از متوسط حداکثر تراکم استخوان در افراد جوان و نرمال جامعه تعریف کرده است (۱). شیوع پوکی استخوان و شکستگی‌های ناشی از آن در زنان بیش از مردان می‌باشد اما اکنون مشخص شده است که با افزایش سن در مردان، تحلیل استخوان قابل توجه است (۲). با کاهش تراکم مواد معدنی استخوان، استخوان نسبت به استخوان‌های طبیعی شکننده‌تر و مستعد شکستگی می‌شود. این شکستگی‌ها می‌تواند منجر به ناتوانی و حتی افزایش خطر مرگ در سال اول پس از آسیب شود. لایه نازک و سطحی هر استخوان از استخوان متراکم و قسمت مرکزی آن از استخوان اسفنجی تشکیل شده است. شکستگی‌های پوکی استخوان معمولاً در مکان‌های اسکلتی وجود دارند که غنی از استخوان اسفنجی هستند. شایع‌ترین شکستگی‌ها عمدتاً در مهره‌ها، مچ دست و مفصل ران اتفاق می‌افتد (۳). مطالعات نشان می‌دهد که تعداد شکستگی‌های پوکی استخوان در سراسر جهان به دلیل افزایش متوسط طول عمر در حال افزایش است. یافته‌های برنامه‌ی ملی پیشگیری، تشخیص و درمان پوکی استخوان در ایران نشان داده است که ۵۰ درصد مردان بالای پنجاه سال و ۷۰

۱- استادیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

۲ – دانشیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: مهدی عسگری: استادیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

Email: m.mahdiasgari@yahoo.com

درصد زنان بالای پنجاه سال مبتلا به استئوپروز یا استئوپنی (توده‌ی استخوانی کم) هستند (٤).

روش‌های سنجش تراکم استخوان

طیف گسترده‌ای از روش‌ها برای ارزیابی وضعیت ساختمان اسکلتی توسعه یافته‌اند که بیشتر آنها مبتنی بر استفاده از اشعه‌ی یونیزان است. استخوان را می‌توان از نظر فیزیکی معاینه و خصوصیات آن را با نمونه‌برداری از استخوان بیمار بدست آورد. بیوپسی تاج ایلیاک روشی نسبتاً ساده اما تهاجمی است و هنوز به عنوان روشی در ارزیابی کیفیت استخوان رایج می‌باشد. از فیلم‌های عادی اشعه‌ی ایکس لگن و ستون فقرات نیز برای ارزیابی پوکی استخوان استفاده شده است (٥). از طریق ارزیابی بصری میزان رادیواپسیته بافت ترابکولار در تصویر رادیوگرافی می‌توان نشان داد که نظم قابل پیش‌بینی در کم شدن بافت ترابکولار استخوان ران پروگزیمال در پوکی استخوان وجود دارد. بر همین اساس، رادیوگرافی استخوان ران را می‌توان از ١ تا ٦ درجه‌بندی کرد که مقادیر کمتر، نشان‌دهنده‌ی از دست دادن بیشتر بافت ترابکولار است. مطالعات ارتباط بین مقادیر ٣ یا کمتر شاخص فوق و وجود شکستگی لگن، ستون فقرات یا مچ دست را نشان می‌دهد (٦).

یکی از دیگر روش‌های کمی مورفومتریک شناخته شده، اندازه‌گیری ضخامت ناحیه‌ی کالکار استخوان ران است. کالکار نواری از استخوان کورتیکال است که بلافاصله بالاتر از تروکانتر کوچک‌تر در استخوان ران پروگزیمال است. در افراد عادی این ضخامت بیشتر از ٥ میلی‌متر می‌باشد. در موارد شکستگی استخوان ران، ضخامت آن معمولاً کمتر از ٥ میلی‌متر است (٧).

در رادیوگرامتری اندازه‌گیری ابعاد استخوان‌ها با استفاده از تصاویر رادیوگراف استخوان‌ها انجام می‌گیرد. رادیوگرامتری متاکارپال یک تکنیک نسبتاً ساده و غیرمخرب است که تقریباً ٥٠ سال است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تکنیک ابعاد متاکارپال با استفاده از رادیوگرافی ساده از دست و کولیس‌های ظریف یا خطکش شفاف اندازه‌گیری می‌شود. اگرچه رادیوگرامتری متاکارپال یک روش قدیمی است، اما همچنان یک روش مناسب برای ارزیابی تراکم استخوان در متاکارپ‌ها است. رادیوگرافی همچنین می‌تواند در مکان‌های دیگری مانند فالانکس، رادیوس دیستال و استخوان ران انجام شود. رادیوگرامتری ارتباط معقول و خوبی با تراکم استخوان در سایر سایت‌های اسکلتی اندازه‌گیری شده با روش‌های جذب‌سنجی نشان می‌دهد (٣).

پس از دیجیتال شدن فیلم‌های رادیوگرافی، تکنیک‌های جذب واقعی یعنی تکنیک‌های جذب‌سنجی رادیوگرافی معرفی شدند. جذب‌سنجی رادیوگرافی، تکنیکی برای اندازه‌گیری میزان توده‌ی استخوانی در رادیوگرافی از ساختمان‌های اسکلتی محیطی یعنی دست‌ها یا پاشنه است. این تکنیک برای اولین بار در سال ١٩٣٩ معرفی شد در دهه ١٩٦٠ به طور گسترده‌ای به عنوان یک روش تحقیقاتی مورد استفاده قرار گرفت. اما تمایل به اندازه‌گیری مکان‌های شکستگی با مرگ و میر بالا و حساس به تغییر با بیماری با روش‌های فوق برآورده نشد.

در دهه‌ی ١٩٧٠، جذب‌سنجی فوتون دوگانه (Dual-photon absorptiometry) و سی‌تی‌اسکن کمی (Quantitative computed tomography) دو روشی بودند که برای اولین بار برای جذب‌سنجی لگن و ستون فقرات مورد استفاده قرار گرفتند. اندازه‌گیری سه بعدی یا حجمی تراکم استخوان و تفکیک فضایی ترابکولار از استخوان کورتیکال از ویژگی منحصر به فرد سی‌تی‌اسکن کمی می‌باشد. از تکنیک‌های سی‌تی‌اسکن کمی برای اندازه‌گیری دانسیته‌ی معدنی استخوان در ستون فقرات کمر و استخوان ران پروگزیمال استفاده می‌شود، در حالی که از سی‌تی‌اسکن کمی محیطی برای اندازه‌گیری دانسیته‌ی معدنی استخوان را در رادیوس دیستال و تیبیا استفاده می‌شود (٣). با این حال، از سی‌تی‌اسکن بیشتر برای بیماران نیازمند به فوریت‌های پزشکی و مراقبت‌های ویژه استفاده می‌شود و استفاده از آن به عنوان یک روش غربالگری بسیار پر هزینه است.

اصل فیزیک اندازه‌گیری در تکنیک جذب‌سنجی فوتون دوگانه، کمی کردن میزان تضعیف انرژی فوتون پس از عبور از استخوان و بافت نرم می‌باشد. در این تکنیک از رادیوایزوتوپ گادولینیوم ١٥٣ برای تولید طبیعی دو انرژی فوتون جداگانه در انرژی‌های ١٠٠ و ٤٤ کیلوالکترون ولت جهت تمایز بین محتوای مواد معدنی استخوان و بافت‌های نرم استفاده می‌شود. کیفیت پایین تصویر و نویز بالا از شار محدود شده‌ی اشعه‌ی گاما از رادیوایزوتوپ گادولینیوم ١٥٣ از محدودیت‌های جذب‌سنجی فوتون دوگانه می‌باشد (٣).

جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه (دگزا) در سال ١٩٨٧ به عنوان جانشین جذب‌سنجی فوتون دوگانه در کاربردهای تجاری معرفی شد. در دگزا از لامپ اشعه‌ی ایکس برای تولید پرتوهای ایکس در دو انرژی متفاوت استفاده می‌شود. مزایای اصلی سیستم با منبع تابش اشعه‌ی ایکس نسبت به سیستم با منبع تابشی رادیوایزوتوپی، کوتاه بودن زمان معاینه به دلیل افزایش شار فوتون اشعه‌ی ایکس و بهبود صحت و دقت حاصل از رزولوشن بالاتر است. از زمان شروع استفاده از دگزا، تقریباً تمام روش‌های دیگر از محبوبیت افتاده است زیرا دگزا ترکیبی بهینه از هزینه، اثربخشی و در دسترس بودن است (٥، ٨).

جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه

همانطور که گفته شد روش جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه فرم ارتقا یافته‌ای از تکنیک جذب‌سنجی فوتون دوگانه است

که برای اندازه‌گیری میزان کاهش توده‌ی استخوانی استفاده می‌شود. در تکنیک جذب‌سنجی فوتون دوگانه از چشمه‌های عناصر رادیواکتیو استفاده می‌شد که با توجه به گران بودن مواد رادیواکتیو، کوتاهی نیمه عمر بعضی از عناصر و پایین بودن شار تابشی بعضی از مواد رادیواکتیو موجب کاهش دقت و صحت اندازه‌گیری‌ها می‌شد. در دگزا مبنای کار دانسیتومتری استفاده از یک منبع اشعه‌ی ایکس با دو پیک انرژی بالا و پایین است که جذب متفاوتی در بافت‌های نرم و استخوان دارد. در دگزا، منبع انرژی اشعه‌ی ایکس است که برخلاف ماده‌ی رادیواکتیو در طول زمان کاهش نمی‌یابد، بنابراین دقت دستگاه به مقدار زیادی (تا ۹۹ درصد) افزایش می‌یابد. اصل فیزیکی مهمی که درسیستم‌های دگزا استفاده شده است، اندازه‌گیری تفاوت میزان پرتوهای ایکس عبوری از داخل بدن با فوتون‌های کم انرژی و پر انرژی است. از آنجا که ضریب تضعیف پرتوهای ایکس به عدد اتمی و انرژی فوتون وابسته است، اندازه‌گیری مقادیر فوتون‌های عبور کرده در دو انرژی مختلف این توان را به‌وجود می‌آورد که چگالی سطحی در دو بافت متفاوت، بافت نرم و مواد معدنی استخوان از یکدیگر مشخص باشند. تصویربرداری به روش دگزا به طور گسترده برای بررسی و آگاهی از میزان درصد توده‌ی استخوانی و ارزیابی پوکی استخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد اما همچنین روش خوب و معتبری برای تجزیه و تحلیل ترکیبات کل بدن می‌باشد (۹).

هنگام استفاده دگزا برای ارزیابی پوکی استخوان، اسکن معمولاً برای ستون فقرات و مناطق لگن انجام می‌شود، این درحالی است که برای دستیابی به ترکیبات کل بدن نیاز به اسکن دگزا از کل بدن خواهیم داشت. در سال‌های اخیر این تکنیک پیشرفت چشمگیری داشته است، بطوری‌که در سیستم‌های کنونی جهت کاهش زمان، بجای استفاده از پرتوی قلمی شکل از پرتوی بادبزنی و پرتوی مخروطی شکل استفاده می‌شود. اگرچه استفاده از پرتوی مخروطی و بادبزنی منجر به کاهش زمان اسکن می‌شود ولیکن دوز دریافتی توسط بیماران نیز افزایش می‌یابد. روش کار در سیستم پرتو قلمی اسکن همزمان و نقطه به نقطه در دو محور مختصات با یک آشکارساز است. از جمله مزایای این روش داشتن قیمت مناسب، دوز اشعه‌ی پایین و نداشتن بزرگنمایی است ولی زمان اسکن طولانی و رزولوشن پایین تصویر و حرکت بیمار حین اسکن از جمله محدودیت‌های این سیستم است. روش کار در سیستم با پرتو بادبزنی شامل اسکن در یک جهت و با یک دتکتور آرایه‌ای است. این دتکتورها به صورت خطی دارای سرعت اسکن بالاتری نسبت به روش پرتوی قلمی است اما دقت تشخیصی پایین، بزرگنمایی، اعوجاج، همپوشانی، تصویر محو در زمان حرکت با سرعت بالاتر از جمله محدودیت‌های آن می‌باشد. در سیستم‌ها با پرتوی مخروطی از مجموعه‌ای از آشکارسازها برای اسکن استفاده می‌شود. اگرچه تصویربرداری با پرتو مخروطی، سریع‌ترین روش برای گرفتن تصویر در یک انرژی می‌باشد، اما زمان بازخوانی بین تصاویرگرفته شده در انرژی‌های کم و زیاد کاربرد آنها در سنجش تراکم استخوان را محدود کرده است. به بیانی اگر بیمار بین تصاویر با انرژی کم و زیاد نفس بکشد، موجب ایجاد آرتیفکت‌های جدی در تصویر شده و نتایج اسکن قابل استفاده نمی‌باشد (۳، ۱۰).

فیزیک اندازه‌گیری دستگاه دگزا

دگزا برای اندازه‌گیری چگالی جرمی دو ماده ناشناخته زمانی که امکان اندازه‌گیری ضخامت آن دو در دسترس یا عملی نیست توسعه یافت. از سه فرض اساسی برای تعیین تراکم استخوان با استفاده از دو انرژی استفاده می‌شود:

۱- تضعیف کلی پرتو ایکس ورودی پس از ورود به بدن از فرمول تضعیف نمایی (فرمول ۱) پیروی می‌کند. که در این فرمول I شدت پرتو عبوری، I_0 شدت پرتو ورودی، t ضخامت و μ ضریب تضعیف خطی می‌باشد.

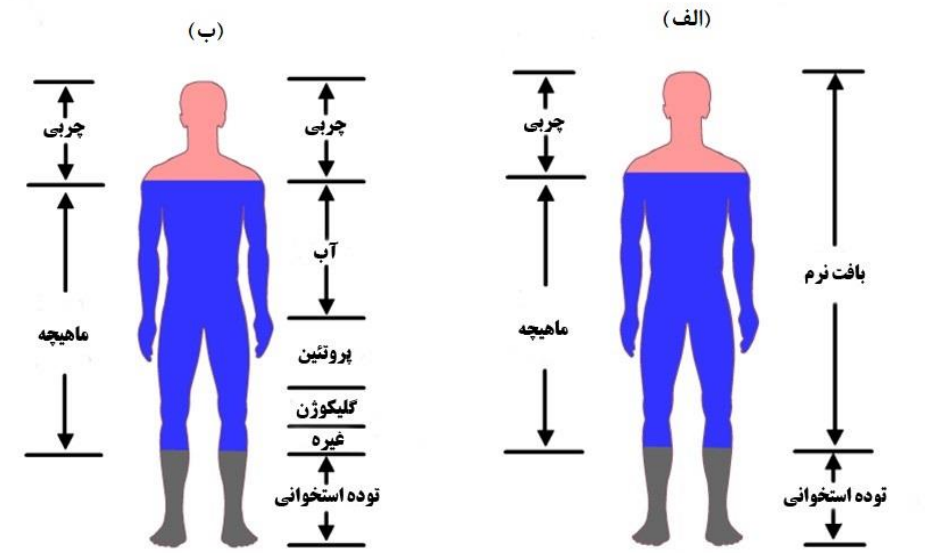
$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad \text{(فرمول ۱)}$$

۲- بدن انسان بافتی هموژن نبوده و عبور تک پرتو ایکس توانایی ایجاد تمایز بین بافت‌ها را نداشته، لذا از دو پرتو با انرژی متفاوت و عمدتاً با انرژی ۴۰ و ۷۰ کیلوالکترون ولت در طراحی دستگاه دگزا استفاده می‌شود. یک اسکن دگزا ترکیبات بدن را بر اساس سه مؤلفه: توده‌های چربی، توده‌های بدون چربی (بافت ماهیچه‌ای) و همچنین مواد معدنی استخوانی، اندازه‌گیری می‌کند. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، آب، پروتئین و گلیکوژن جزء بافت ماهیچه‌ای محسوب می‌شود و بافت نرم شامل مجموع بافت چربی و بافت ماهیچه‌ای می‌باشد. در دگزا پیکسل‌های تصویر به صورت یک سیستم دو مؤلفه محاسبه می‌شوند، یعنی بافت نرم و مواد معدنی استخوان هنگامی که در مسیر اشعه‌ی ایکس استخوانی وجود داشته باشد و بافت چربی و بافت ماهیچه‌ای وقتی که در مسیر اشعه‌ی ایکس استخوانی وجود ندارد.

۳- بافت نرم پوشاننده استخوان در تصویر از نظر ترکیب و خاصیت اشعه‌ی ایکس با ترکیب و خاصیت اشعه‌ی ایکس بافت مجاور قابل پیش‌بینی است.

ارزیابی پوکی استخوان با دگزا

سیستم‌های دگزا دو نوع هستند. نوع مرکزی که از یک میز و تخت بزرگ و بازو تشکیل شده و برای چگالی‌سنجی استخوان‌های لگن و ستون مهره‌ها استفاده می‌شود، در حالیکه نوع جانبی با وزنی کمتر شامل باکسی متحرک برای اندازه‌گیری دانسیته در مچ دست و پاشنه و انگشتان کاربرد دارد. مکان مناسب اسکن بستگی به هدف



شکل ۱: سیستم دو مؤلفه‌ای محاسبات دگزا. بافت نرم و توده‌ی استخوانی هنگام حضور استخوان در مسیر اشعه‌ی ایکس (الف)، و بافت چربی و بافت ماهیچه‌ای وقتی در مسیر اشعه‌ی ایکس استخوان وجود نداشته باشد (ب).

اسکن دارد. برای سنجش تراکم استخوان، مناطق با میزان بیشتری از استخوان‌های اسفنجی (با ریسک تغییرات زیاد) نسبت به تغییرات برای پوکی استخوان و درمان حساس‌تر هستند. پروتکل استاندارد ارزیابی تراکم استخوان با استفاده از دگزا برای تشخیص پوکی استخوان، به طور معمول برای ستون فقرات کمری و لگن است (۱۱). اگر یکی از این مکان‌های اندازه‌گیری در دسترس نباشد، از ساعد استفاده می‌شود. اسکن دگزا از ستون فقرات معمولاً از مهره‌ی L^{5} شروع می‌شود و در مهره‌ی T^{12} پایان می‌یابد. اما اندازه گیری میزان تراکم استخوان برای کل L^{1}-L^{4} گزارش می‌شود. در اسکن استخوان ران، پاها اندکی از بدن فاصله داده می‌شود و با استفاده از یک وسیله‌ی خاص جهت به حداکثر رساندن امکان تصویرسازی گردن استخوان فمور، به سمت داخل چرخانده می‌شوند. کل فمور و گردن فمور معمولاً برای تشخیص استفاده می‌شوند و مناطق دیگر به جز تحقیقات به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند. استانداردهای فعلی برای استفاده از دگزا برای تشخیص پوکی استخوان را می‌توان در بیانیه‌های انجمن بین‌المللی سنجش بالینی تراکم استخوان یافت (۱۲). از اسکن کل بدن نیز برای اندازه‌گیری جرم توده‌ی استخوانی در کودکان و اندازه‌گیری ترکیبات بدن در بزرگسالان استفاده می‌شود.

نمرات T و نمرات Z

از داده‌های مرجع برای مقایسه‌ی فرد با یک جمعیت مشخص استفاده می‌شود. مقادیر متوسط به دست آمده از اسکن دگزا، از نظر سن، جنسیت و قومیت بین گروه‌ها متفاوت است. بنابراین، مطالعات زیادی برای توصیف تأثیر قومیت برای هر دو جنس (مؤنث و مذکر) انجام شده است. داده‌های مرجع برای سیستم‌های دگزا دارای دو هدف عملی شامل تعیین خطر شکستگی (نمرات T) و تعیین نحوه مقایسه فرد با همسالان خود (نمرات Z) می‌باشد. توجه به این نکته مهم است که داده‌های مرجع با استفاده از یک پروتکل موقعیت‌دهی مخصوص شرکت سازنده‌ی دستگاه، روش‌های تجزیه و تحلیل و نسخه‌ی نرم‌افزار مخصوص آن شرکت به دست می‌آیند. فرمول نمرات T و Z به صورت زیر تعریف می‌شوند:

(فرمول ۲)

(میانگین چگالی معدنی بزرگسالان جوان جمعیت مرجع با جنسیت یکسان با بیمار – چگالی معدنی اندازه‌گیری شده بیمار توسط دگزا) ÷ انحراف معیار جمعیت مرجع = نمره‌ی T

(فرمول ۳)

(میانگین چگالی معدنی جمعیت مرجع با جنسیت و سن یکسان با بیمار – چگالی معدنی اندازه‌گیری شده‌ی بیمار توسط دگزا) ÷ انحراف معیار جمعیت مرجع = نمره‌ی Z

نمره‌ی T ارزش تشخیصی اولیه برای تعیین پوکی استخوان در افراد مسن، زنان پس از یائسگی و مردان بالای ۵۰ سال دارد و با خطر شکستگی رابطه‌ی معکوس دارد در حالی که از نمره‌ی Z برای تشخیص میزان توده استخوانی در جوانان و کودکان کم سن استفاده می‌شود (۱۳). معیارهای سازمان جهانی بهداشت طبق جدول ۱ برای

تشخیص استئوپروز بر اساس نمرات T بوده و برای جوانان یا کودکان قابل استفاده نیست.

جدول ۱. معیارهای معیارهای سازمان جهانی بهداشت برای تشخیص استئوپروز بر اساس نمرات T (۵).

وضعیت	معیار
نرمال	نمره‌ی T بیشتر مساوی ۱-
استئوپنی	نمره‌ی T بین ۱- و ۲/۵-
استئوپروز	نمره‌ی T کمتر مساوی از ۲/۵-
استئوپروز پیشرفته	نمره‌ی T کمتر مساوی از ۲/۵- به همراه یک یا چند شکستگی

اطلاعات پایه از ایمنی و ملاحظات اخلاقی در جذب‌سنجی اشعه‌ی ایکس با انرژی دوگانه

کمیت‌ها و واحدهای تابش

هنگامی که تابش یونیزان از یک بیمار یا یک فانتوم عبور می‌کند، مقداری از انرژی آن تابش جذب می‌شود. دوز جذب شده مقدار انرژی در واحد جرم جذب شده توسط بیمار یا فانتوم می‌باشد. برای اهداف محافظت در برابر اشعه از میانگین دوز جذب شده در اندام یا بافت استفاده می‌شود. دوز جذب شده با واحد گری (Gray) اندازه‌گیری می‌شود. دوز ورودی پوست (Entrance skin dose) میزان دوز تابشی است که توسط پوست در ناحیه‌ای که پرتوی ایکس به بدن وارد می‌کند جذب می‌شود و به طور معمول با گری اندازه‌گیری می‌شود. دوز ارگان دوز جذب شده‌ای است که به اندام‌های فرد تحت معاینه با اشعه‌ی ایکس می‌رسد و واحد آن نیز گری است. دوز حاصل از تابش یونیزان همچنین به صورت دوز مؤثر گزارش می‌شود. دوز مؤثر، برحسب سیورت (Sievert)، از اطلاعات مربوط به میزان دوزهای جذب شده در اندام یا بافت در معرض اشعه‌ی ایکس و خطر تابش نسبی اختصاص داده شده به هر یک از این اندام‌ها یا بافت‌ها محاسبه می‌شود. فاکتور وزنی مناسب مربوط به خطر رادیوژنیک برای اندام‌ها و بافت‌های بدن توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژی منتشر شده است. برای گزارش حساسیت پرتویی مختلف در بافت‌ها و اندام‌های بدن، در انتشارات کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیک، به اندام‌ها و بافت‌ها مقادیر فاکتور وزنی اختصاص داده شده است. به عنوان مثال، ریه، روده بزرگ، پستان، معده و مغز استخوان قرمز فاکتور وزن بافتی ۰/۱۲ دارند، در حالی که مقدار مربوط به مثانه، کبد، مری و تیروئید ۰/۰۴ است. دوز مؤثر برای تخمین خطرات رادیوژنیک در هنگام دریافت دوزهای مختلف در اندام‌های مختلف معرفی شد. این امر معمولاً با قرار گرفتن جزئی بدن در معرض تابش اتفاق می‌افتد که همیشه در مورد دگزا وجود دارد. دوز مؤثر مقدار مفیدی برای مقایسه در بین منابع مختلف تابش یونیزان است. میانگین دوز مؤثر در سراسر جهان از تابش زمینه‌ی طبیعی ۲/٤ میلی‌سیورت در سال است.

تابش‌های زمینه

انسان همواره در سراسر حیات خود در معرض پرتوگیری از منابع پرتوزای فرازمینی مانند پرتوهای کیهانی و رادیونوکلیدهای با منشاء کیهانی و چشمه‌های رادیواکتیو موجود در زمین (رادیونوکلیدهای موجود در پوسته‌ی زمین، رادیوم موجود در آب، پتاسیم-٤٠ موجود در خاک و حتی در بدن) قرار داشته است. از سال ۱۸۹۵، چشمه‌های مصنوعی به عنوان منابع جدید پرتوگیری به چشمه‌های پرتوزای طبیعی اضافه شدند. آزمایش‌های جنگ‌افزارهای هسته‌ای که در جو زمین انجام گرفته است و وقوع حوادث در تأسیسات و نیروگاه‌های هسته‌ای نظیر حادثه‌ی چرنوبیل و کاربرد ایزوتوپ‌ها در صنعت و کشاورزی در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند. اما مهم‌تر از همه پرتوگیری جامعه ناشی از کاربرد پرتوهای یون‌ساز در پزشکی برای تشخیص و درمان بیماری‌ها می‌باشد که بخش عمده‌ای از پرتوگیری مصنوعی را شامل می‌شود. آمارهای جهانی نشان می‌دهد که تقریباً در اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، آزمایش‌های پزشکی تشخیصی، بیشترین سهم پرتوگیری انسان را در میان چشمه‌های مصنوعی به خود اختصاص داده است (١٤).

اثرات بیولوژیکی تابش‌های یونیزان

اثرات بیولوژیکی تابش‌های یونیزان چشمه‌های مصنوعی به دو دسته اثرات قطعی و اثرات آماری طبقه‌بندی می‌شوند. اثرات قطعی مثل آسیب‌های پوستی و ایجاد آب مروارید وقتی میزان دوز از حدی بیشتر شود، رخ می‌دهند. ولیکن اثرات آماری از جمله سرطان‌ها و تغییرات سلولی، وابسته به میزان دوز می‌تواند اتفاق بیفتد و البته با افزایش دوز، احتمال وقوع آن بیشتر می‌شود.

حفاظت و ایمنی

الزامات عمومی برای حفاظت و ایمنی در استانداردهای پایه حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز و ایمنی منابع پرتو کشور آورده شده است. جزئیات و راهنمایی‌های خاص‌تر در نشریات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی موجود می‌باشد. اصول حفاظت در برابر اشعه بر پایه توجیه‌پذیری، بهینه‌سازی و محدودیت دوز است. انجام بسیاری از معاینات و تصویربرداری‌ها بر پایه‌ی اشعه‌ی ایکس اجتناب‌ناپذیر است. با این حال، هدف اولیه محافظت در برابر تابش‌گیری‌های پزشکی ممانعت از تابش‌گیری‌های بی‌دلیل است. توجیه‌پذیری فرایندی است که اطمینان می‌دهد هیچ معاینه‌ای با اشعه‌ی ایکس انجام نمی‌شود، مگر اینکه منافع مورد انتظار برای فرد در معرض تابش از خطرات احتمالی بیشتر باشد. توجیه‌پذیری شامل در نظر گرفتن معاینات جایگزین است که از اشعه‌ی غیر یونیزان

استفاده می‌کند. مواجهه‌ی بیماران باردار با اشعه‌ی ایکس تشخیصی و همچنین معاینات رادیولوژیک کودکان نیاز به توجیه‌پذیری سطح بالاتری دارد. برنامه‌های غربالگری پوکی استخوان از نظر مزایا و خطرات کلی باید توجیه‌پذیر باشد. بهینه‌سازی فرایندی است که با در نظر گرفتن عوامل اجتماعی و اقتصادی، با کاهش سطح تابش‌گیری و حفظ اطلاعات تشخیصی کافی را فراهم می‌کند. محدودیت دوز مستلزم آن است که دوزهای تابش به کل بدن یا ارگان از حد مجاز تعیین شده توسط مقامات نظارتی فراتر نرود. رعایت حد دوز برای معاینه‌ی بیمار کاربردی نیست، زیرا تصمیم برای قرار گرفتن در معرض تابش قبلاً برای بیمار توجیه شده است. جدول ۲ حد دوز سالانه توصیه شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژی را نشان می‌دهد. پرتوکاران افرادی هستند که با چشمه‌های تابش در حین انجام شغل خود مواجه هستند.

جدول ۲. مقادیر توصیه شده دوز سالانه بر اساس توصیه‌های کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژی

ارگان یا بافت بدن	پرتوکاران	افراد عادی جامعه
تمام بدن	۲۰ میلی‌سیورت	۱ میلی‌سیورت
عدسی یا لنز چشم	۱۵۰ میلی‌سیورت	۱۵ میلی‌سیورت
پوست	۵۰۰ میلی‌سیورت	۵۰ میلی‌سیورت
دست‌ها	۵۰۰ میلی‌سیورت	–

دوز تابشی در دگزا

اساس عملکرد دگزا مبتنی بر اندازه‌گیری فوتون‌های عبوری از بدن در دو انرژی مختلف اشعه ایکس است. دگزا با استفاده از سوئیچ سریع پتانسیل لامپ اشعه‌ی ایکس از ۷۰ کیلو ولت به ۱۴۰ کیلو ولت و یا با استفاده از فیلترهای لبه‌ی کا با حذف انتخابی فوتون‌ها در طیف اشعه‌ی ایکس، فوتون‌ها با انرژی دوگانه تولید می‌کند. داده‌های دوز برای تجهیزات دگزا محدود است، اما تأیید می‌کند که دوز تشعشع مدل‌های فعلی اسکنرهای دگزا بسیار کم است (۱۵). دوز تشعشع بیمار از معاینه دگزا به تعدادی از پارامترها بستگی دارد. مهم‌ترین آنها تعداد تصاویر، اندازه‌ی بیمار، طراحی خاص دستگاه، فیلتراسیون پرتو، جریان لامپ اشعه‌ی ایکس، اختلاف پتانسیل لامپ اشعه‌ی ایکس، سرعت تصویربرداری و طول و عرض تصویربرداری است که بین مدل‌ها و سازندگان مختلف متفاوت خواهد بود (۱۶–۱۸).

اکثر این پارامترها توسط اپراتور انجام دهنده‌ی معاینه‌ی دگزا قابل کنترل نیستند. با این حال، برای کاربر مهم است که بداند دوز بیمار بسته به حالت تصویربرداری برای یک معاینه‌ی خاص متفاوت است. همانطور که در فصل ۲ گفته شد، تابش می‌تواند توسط یک پرتوی نازک از اشعه‌ی ایکس به صورت یک پرتو مدادی یا یک پرتو بادبزنی انجام شود. برای ارزیابی استاندارد دگزا از ستون فقرات و لگن، دوز مؤثر داده شده توسط سیستم پرتو مدادی معمولاً کمتر از ۱ میکروسیورت است (۱۴، ۱۹) اگرچه سیستم‌های پرتو مدادی در حال حاضر کم استفاده می‌شوند و یا اصلاً استفاده نمی‌شوند. دوزهای مؤثر برای سیستم‌های پرتو بادبزنی می‌تواند بین ۲ تا ۷۵ میکروسیورت متفاوت باشد (جدول ۳).

دوزهای ورودی سطح (Entrance surface doses) اسکنرهای پرتو بادبزنی تا حدود ۹۰۰ میکروگری می‌باشد که البته برای اسکن کل بدن مقادیرکمتر می‌باشد. تنظیم مدهای مختلف برای اسکن ستون فقرات و لگن نیز تأثیر عمده‌ای بر دوز تابش دریافتی دارد. در مطالعه‌ی Blake و همکاران، دوزهای معاینه‌ی ستون فقرات برای مد

جدول ۳. دوز مؤثر و دوز ورودی پوست برای دستگاه‌های دگزا پرتو بادبزنی

ناحیه‌ی اسکن	مدل دستگاه	دوز مؤثر بزرگسالان (میکروسیورت)	دوز مؤثر نوجوان ۱۵ ساله (میکروسیورت)	دوز ورودی پوست (میکروگری)	منابع
کل بدن	Hologic Discovery - A	۴	۴	۱۳	(۲۰)
کل بدن	Hologic Discovery - W	۸	۸	۲۶/۱	(۲۰)
کل بدن	Hologic Discovery - A	۲	۲	۷/۶	(۲۲)
کل بدن	Lunar Expert XL	۷۵			(۲۳)
کل بدن	Hologic QDR ۲۰۰۰	۳		۱۱	(۲۴)
ستون فقرات کمری	Hologic Discovery - A	۱۳	۱۵	۳۵۲	(۲۰)
ستون فقرات کمری	Hologic Discovery - A	۲	۲	۱۳۱	(۲۲)
ستون فقرات کمری	DMS Lexxos	۸/۴		۹۰	(۲۵)
ستون فقرات کمری	Lunar Expert XL	۵۶			(۲۳)
ستون فقرات کمری	Lunar Expert XL	۷۵		۸۹۵	(۱۹)
ستون فقرات کمری	Hologic QDR ۲۰۰۰	۲		۲۷۱	(۲۴)

«آرایه» بالاترین دوز را ارائه می‌کرد، و حالت اسکن «سریع» تقریباً نیمی از دوز حالت آرایه‌ای و حالت «اکسپرس» یک سوم دوز را تحویل می‌دهد (۲۰).

به منظور سنجش تراکم استخوان، اسکن معمولاً از ستون فقرات یا لگن انجام می‌شود، اما همانطور که قبل‌تر به آن اشاره شد، از دگزا برای ارزیابی ترکیبات بدن نیز استفاده می‌شود که در اینصورت اسکن از کل بدن جهت اندازه‌گیری بافت‌های چربی، بافت‌های ماهیچه‌ای و توده‌های استخوانی تمام بدن انجام می‌گیرد (۲۱). در مطالعه‌ی انجام شده بر روی دستگاه دگزا، دوزهای مؤثر برای معاینات دگزا کل بدن به ترتیب برای یک کودک ۵، ۱۰، ۱۵ ساله و بزرگسال ۵/۲، ٤/۸، ٤/۲ و ٤/۲ میکروسیورت بود و مقادیر مربوطه برای دستگاه دیگری شامل ۱۰، ۹/٦، ۸/٤ و ۸/٤ میکروسیورت بود (۲۰). اسکن‌های کل بدن به منظور ارزیابی ترکیبات بدن معمولاً با شرایط تابش‌دهی با دوزهای ورودی سطح پایین‌تر انجام می‌شود. جدول ۳ نتایج حاصل از مطالعات تراکم‌سنجی استخوان انجام شده با سیستم‌های دگزا پرتو فن را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که دوز مؤثر برای اسکن کل بدن بزرگسالان را می‌توان با ضرب دوز سطح ورودی در یک ثابتی برابر بین ۰/۲۵ و ۰/۳۲ به دست آورد.

مقایسه‌ی دوز دگزا

سطوح دوز از اسکن دگزا بسیار کم است (جدول ۳). یک راه مفید برای درک بهتر، مقایسه‌ی دوزهای دگزا با دوز دریافتی یک فرد از تشعشعات پس‌زمینه‌ی طبیعی می‌باشد. میانگین دوز مؤثر تجمعی از همه‌ی منابع طبیعی پرتو (تابش پس‌زمینه داخلی و خارجی) حدود ۲۳۰۰ میکروسیورت در سال، معادل ٦ میکروسیورت در روز است (۲٦). بنابراین دوز از یک اسکن دگزا کل بدن تقریباً معادل دوز دریافتی تشعشعات پس‌زمینه‌ی طبیعی در یک روز خواهد بود. این همچنین مشابه دوز مؤثر ۵ میکروسیورتی است که یک فرد استاندارد در بریتانیا از رادیواکتیویته طبیعی در مواد غذایی مصرف شده هر هفته دریافت می‌کند (۲٦). این دوز را می‌توان با دوز دریافتی از پرتوهای کیهانی در طول پروازهای هواپیما نیز مقایسه کرد. یک پرواز در طول اقیانوس اطلس معمولاً شامل دوز مؤثر ٦۰ میکروسیورت است، در حالی که دامنه‌ی متوسط دوزهای مؤثر دریافتی توسط خدمه‌ی هواپیما ۱۲۰۰ تا ۵۰۰۰ میکروسیورت در سال و با حداکثر مقادیر ٦۰۰۰ تا ۷۰۰۰ میکروسیورت است (۲۷). روش دیگر برای درک بهتر دوزهای اسکن دگزا، مقایسه‌ی آنها با معاینات رادیوگرافی معمولی با اشعه‌ی ایکس است. دوز مؤثر از رادیوگرافی خلفی قفسه سینه در حدود ۱٤ میکروسیورت، رادیوگرافی ستون فقرات کمری در حدود ٤۰۰ میکروسیورت و معاینات سی‌تی تنه دوزهای مؤثر بین ٦۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میکروسیورت است (۲۸).

کودکان و دگزا

در مطالعات دوزهای مربوط به دگزا برای کودکان و بزرگسالان گزارش شده است (۲۰، ۲۲، ۲۹، ۳۰). برای دستگاه‌های پرتو مدادی نسل اول در ستون فقرات و استخوان ران، دوز مؤثر ناچیز است. با این حال، دوزها برای دستگاه‌های پرتو فن، به ویژه برای کودکان و نوجوانان، به میزان قابل توجهی بیشتر است. در مطالعه‌ی انجام شده، دوزهای مؤثر برای بیماران بزرگسال و کودکان از ستون فقرات و مفصل ران با استفاده از طول تصویربرداری پیش فرض بزرگسالان ۲۰ سانتی‌متر برای ستون فقرات و ۱۵ سانتی‌متر برای مفصل ران تخمین زده شد. به طور کلی، دوز مؤثر حاصل از معاینه‌ی دگزا ستون فقرات و مفصل ران که روی کودک ۵ ساله انجام شده، دو تا سه برابر بیشتر از دوز بزرگسالان است (۲۰).

کودکانی که اسکن دگزا را با استفاده از تنظیمات مشابه بزرگسالان دریافت می‌کنند، دوز بالاتری نسبت به بزرگسالان دریافت می‌کنند. زیرا لایه‌های مختلف بافت‌ها در کودکان نازک‌تر بوده و درنتیجه پرتو ایکس مشابه بزرگسالان تضعیف نشده و از اندام‌های داخلی محافظت کمتری خواهند داشت. این تفاوت‌ها برای کودکان ۵ ساله و ۱۰ ساله بیشتر از کودکان ۱۵ ساله است (۲۰). علاوه بر این، برای سیستم‌های پرتو بادبزنی، عرض اسکن توسط عرض کولیماتور ثابت بوده و در کودکان، نسبت بیشتری از بدن در معرض پرتو ایکس قرار می‌گیرد. برای اسکن قسمت‌های موضعی بدن، اندازه‌ی ناحیه‌ی اسکن شده بر دوز مؤثر تأثیر می‌گذارد و باید با توجه به اندازه‌ی فرد و ناحیه‌ی تحت اسکن تنظیم شود. سیستم‌های پرتو بادبزنی معمولاً دارای عرض پرتو ثابتی هستند که توسط کولیماتور تعیین می‌گردد و طول اسکن را می‌توان با طول فردی که اسکن می‌شود تنظیم کرد. با تنظیم طول اسکن بر اساس اندازه‌ی بدن کودک، می‌توان دوزهای کودکان را کاهش داد. زمان‌های اسکن کوتاه‌تر نیز ممکن است بر دوز تابش در کودکان تأثیر بگذارد زیرا کودک مدت زمان کمتری در مواجهه با پرتو ایکس قرار می‌گیرد (۳۱، ۳۲).

جنین و دگزا

اگرچه نادر است، اما بیماران باردار ممکن است نیاز به معاینه‌ی دگزا داشته باشند (۳۳). خطرات معاینه‌ی دگزا برای مادر و جنین کم است، اما صفر نیست. سیاستی با محوریت توجیه اسکن هنگام حضور جنین برای مادر باید دنبال شود. مزایای بالینی اسکن دگزا باید به وضوح بیشتر از خطرات آن باشد. برای تمام افراد پاسخ واحدی وجود ندارد و باید برای هر بیمار فرآیند توجیهی انجام شود. اسکن دگزا معمولا فوری نیست بنابراین ارزش به تعویق انداختن معاینه باید در نظر گرفته شود. روش‌های جایگزین با تشعشعات غیریونیزان باید ارزیابی شوند. بافت جنین با حضور و اثر بر ناحیه تحت اسکن، به

عنوان مثال دگزای ستون فقرات کمری، می‌تواند با ایجاد خطاهایی اندازه‌گیری را دچار اشتباه کند. در این شرایط، اسکن ممکن است سود کمی داشته باشد و توجیه‌پذیر نباشد. در نهایت در بارداری باید گزینه‌ی دگزا پاشنه پا را در نظر گرفت (۳٤، ۳۵).

با هدف تخمین دوز و خطرات تشعشع جنین مربوط به اسکن جذب‌سنجی با اشعه‌ی ایکس دوگانه ستون فقرات و لگن مطالعه‌ای بر روی مادر باردار شبیه‌سازی شده با فانتوم انجام شد. حداکثر دوز از اسکنرهای دگزا با پرتو مدادی به ترتیب ۳/٤ میکروگری و ٤/۹ میکروگری برای اوایل و اواخر بارداری بود (۱٦، ۳٦). تاکنون هیچ گزارشی از دوز دریافتی جنین از نسل‌های جدید سیستم‌های دگزا وجود ندارد. با این حال، مقادیر آنها باید کمتر از دوز ورودی سطح برای مادر باشند که البته به تکنولوژی مورد استفاده و به تکنیک به کار گرفته شده بستگی دارد. اگر رحم در ناحیه‌ی تحت تابش قرار داشته باشد، انتظار می‌رود دوز جنین حدود نیمی از دوز ورودی سطح مادر باشد و اگر رحم خارج از ناحیه‌ی تحت تابش قرار گیرد، دوز جنین کمتر از این خواهد بود. با توجه به استانداردهای بین‌المللی برای مدیریت بیماران باردار که تحت روش‌های رادیولوژیک قرار می‌گیرند، ختم بارداری یا سقط جنین برای دوزهای کمتر از ۱۰۰ میلی‌گری به جنین قابل توجیه نیست (۳۷). اگرچه دوز تشعشع از معاینات دگزا بسیار پایین است، هر روش باید به طور مناسب توجیه شود و تنها زمانی انجام شود که مزایای این روش از خطرات پرتوی بالقوه بیشتر باشد (۱۷).

دوز شغلی اپراتورهای دگزا

دوز شغلی اپراتورهای دگزا از پراکندگی فوتون‌های اشعه‌ی ایکس حین عبور پرتو از بدن فرد اسکن شده ناشی می‌شود. سطوح دوز پایین است، اما میزان آن با تعداد اسکن‌های انجام شده و طراحی اتاق اسکن تعیین می‌شود. اسکنرهای مدادی حتی زمانی که موقعیت اپراتور در حین معاینه تا ۱ متر از بیمار است نیازی به موانع و محافظهای پرتویی اضافی ندارند (۲۹). اسکنرهای دگزا با پرتو فن می‌توانند منجر به افزایش دوز تابش شغلی شوند. مطالعه روی یک اسکنر پرتو فن دگزا گزارش داد که دوز پراکنده تابش در فاصله‌ی ۱ متری از میز، ٤ میکروسیورت در ساعت است (۲۳).

یک مطالعه‌ی جدیدتر ثبت کرد که دوز مؤثر شغلی در فاصله‌ی ۱ متری از یک اسکنر دگزا با پرتو فن ۱/۵ میلی‌سیورت در سال است (۲۹). دوز مؤثر شغلی کارکنان در مجموعه‌ی دگزا بسیار کمتر از حد دوز سالانه ۲۰ میلی‌سیورت در سال توصیه شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیکی است و استفاده از لباس‌های محافظ پرتویی برای اطمینان از مواجهه پرتویی کمتر، قابل توجیه است. طبق گزارش کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژی، در مورد کارمندان باردار، حد دوز ۱ میلی‌گری پس از اعلام بارداری باید اعمال شود. در مطالعه‌ی دیگری نتایج اندازه‌گیری‌ها و محاسبات دوز کارکنان نشان داد که در موقعیت‌های مورد بررسی ۲ تا ۳ متر از دستگاه دگزا اپراتورهای دگزا کمتر از ۱ میلی‌سیورت در سال دوز دریافت می‌کنند (۱۸). اما مهم است که به کارکنان باردار آموزش داده شود که در طول معاینه، نزدیک دستگاه نشوند تا اطمینان حاصل شود که از حد مجاز دوز تجاوز نمی‌شود. با توجه به این واقعیت که تشعشعات پراکنده از اسکنرهای دگزا با پرتو فن ممکن است از حد مجاز دوز برای کارکنان باردار فراتر رود یک دوزیمتر شخصی در سطح کمر برای نظارت توصیه می‌شود. با این حال، محرومیت کارکنان باردار از وظایف خود در مجموعه‌های دگزا، همواره گزینه‌ی پیشنهادی می‌باشد.

نتیجه گیری

با توجه به توسعه‌ی سریع تکنولوژی دگزا و البته تعداد محدود مقالات محاسبات دوز می‌توان نتیجه گرفت که خطرات پرتویی اسکن دگزا بسیار اندک است، اما انجام این اسکن باید تا جای ممکن بهینه و توجیه‌پذیر باشد. محدودیت‌هایی در فاصله‌ی زمانی بین اسکن‌ها و تعداد اسکن‌های انجام شده در هر سال باید در نظر گرفت. یک اسکن معمولی دگزا دوز بسیار کمی به فرد تحت اسکن می‌رساند. این دوز وابسته به پارامترهای متعددی است و بین مدل‌ها و سازندگان مختلف متفاوت خواهد بود. با توجه به تعداد محدود مقالات لازم است محاسبات دوز برای مدل‌ها از سازندگان مختلف بررسی شود. دوز برای پوست به راحتی اندازه‌گیری می‌شود و از طریق تخمین می‌توان دوزهای بافت‌های زیرین و در نتیجه دوز مؤثر را محاسبه کرد. هنگام انجام معاینات دگزا سوابق کافی برای ارزیابی دوزهای دریافتی باید نگهداری شود. برای مواجهه‌های پزشکی، هیچ محدودیتی در تعداد اسکن ها وجود ندارد، اگرچه بدون مدیریت دوز بیمار، چنین مواجهه‌هایی توجیه‌پذیر نمی‌باشد. توجه ویژه به پروتکل‌های تصویربرداری و دوز پرتویی در هنگام تصویربرداری از کودکان و نوجوانان مورد نیاز است. استفاده از یک پروتکل بالینی استاندارد و ثابت طراحی شده برای بزرگسالان منجر به مواجهه پرتویی بیش از حد در استفاده برای کودکان و نوجوانان می شود. بنابراین استفاده از پروتکل‌های بهینه شده برای کودکان و نوجوان در هر بخش دگزا لازم است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از سرکار خانم طلعت پیرنجفی که با مشاوره و همراهی خود ما را در نگارش این مقاله یاری دادند، تشکر می‌کنیم.

References

۱. Shevroja E, Reginster J-Y, Lamy O, Al-Daghri N, Chandran M, Demoux-Baiada A-L, et al. Update on the clinical use of trabecular bone score (TBS) in the management of osteoporosis: results of an expert group meeting organized by the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO), and the International Osteoporosis Foundation (IOF) under the auspices of WHO Collaborating Center for Epidemiology of Musculoskeletal Health and Aging. Osteoporos Int ۲۰۲۳; ۳٤(۹): ۱۵۰۱-۲۹.

۲. Janghorbani M, Salamat M. Does the impact of obesity on bone density differ in men and women? Osteoporosis International ۲۰۱٦; ۲۷: S۷۳٦-S.

۳. Davidsson L. Dual energy X ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; ۲۰۱۰.

٤. Yaghoobi MM, Gholami AS. Association of rs٤٥١٦٠٣٥ Polymorphism with Osteoporosis in the Southeastern Iranian Population: A Case-Control Study. J Res Health Sci ۲۰۲٤; ۲٤(۱): e۰۰٦۰۳.

٥. El Maghraoui A. Dual energy X-ray absorptiometry. Norderstedt, Germany: BoD–Books on Demand; ۲۰۱۲.

٦. Ghalenavi E, Mirfeizi Z, Hashemzadeh K, Sahebari M, Joker MH. Diagnostic value of radiographic singh index compared to dual-energy X-ray absorptiometry scan in diagnosing osteoporosis: a systematic review. Arch Bone Jt Surg ۲۰۲٤; ۱۲(۱): ۱-۱۱.

۷. Guyan F, Gianduzzo E, Waltenspül M, Dietrich M, Kabelitz M. Cortical thickness index and canal calcar ratio: a comparison of proximal femoral fractures and non-fractured femora in octogenarians to centenarians. J Clin Med ۲۰۲٤; ۱۳(٤): ۹۸۱.

۸. Gonera-Furman A, Bolanowski M, Jędrzejuk D. Osteosarcopenia—the role of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in diagnostics. J Clin Med ۲۰۲۲; ۱۱(۹): ۲٥۲۲.

۹. Salamat MR, Shanei A, Khoshhali M, Salamat AH, Siavash M, Asgari M. Use of conventional regional DXA scans for estimating whole body composition. Arch Iran Med ۲۰۱٤; ۱۷(۱۰):٦۷٤-۸.

۱۰. Libouban H, Simon Y, Silve C, Legrand E, Baslé MF, Audran M, et al. Comparison of pencil-, fan-, and cone-beam dual X-ray absorptiometers for evaluation of bone mineral content in excised rat bone. J Clin Densitom ۲۰۰۲; ٥(٤): ۳٥٥-٦۱.

۱۱. Salamat MR, Shanei A, Asgari M, Salamat A, Khoshhali M. Using anthropometric indices predictive equations for estimating whole-body fat mass instead of whole body dual-energy X-ray absorptiometry scan [in Isfahan]. J Isfahan Med Sch ۲۰۱٤; ۳۲(۲۹۲): ۱۰٤٦-٥۳.

۱۲. Krueger D, Tanner SB, Szalat A, Malabanan A, Prout T, Lau A, et al. DXA reporting updates: ۲۰۲۳ Official positions of the international society for clinical densitometry. J Clin Densitom ۲۰۲۳: ۲۷(۱): ۱۰۱٤۳۷.

۱۳. Shanei A, Siavash M, Shakeri Z, Salamat MR. Study of bone mineral density changes in osteoporosis therapy. Advances in Nanobiotechnology ۲۰۱۸; ۱(۱): ۱٦-۲۰.

۱٤. Unscear S. Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York: ۲۰۰۰. ٤٥۳-۸۷.

۱٥. Stuursma A, Stroot IA, Vermeulen KM, Slart RH, Greuter MJ, Mourits MJ, et al. Reliability, costs, and radiation dose of dual-energy X-ray absorptiometry in diagnosis of radiologic sarcopenia in surgically menopausal women. Insights Imaging ۲۰۲٤; ۱٥(۱): ۱۰٤.

۱٦. Damilakis J, Adams JE, Guglielmi G, Link TM. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis. Eur Radiol ۲۰۱۰; ۲۰: ۲۷۰۷-۱٤.

۱۷. Solomou G, Damilakis J. Radiation exposure in bone densitometry. Semin Musculoskelet Radiol ۲۰۱٦; ۲۰(٤): ۳۹۲-۸.

۱۸. Söderholm S. Evaluation of the DXA radiation environment at Sahlgrenska University Hospital. [Online ۲۰۲۲]. Available from: https://gupea.ub.gu.se/handle/۲۰۷۷/۷۱۷۰۲

۱۹. Njeh C, Apple K, Temperton D, Boivin C. Radiological assessment of a new bone densitometer—the Lunar EXPERT. Br J Radiol ۱۹۹٦; ٦۹(۸۲۰): ۳۳٥-٤۰.

۲۰. Blake GM, Naeem M, Boutros M. Comparison of effective dose to children and adults from dual X-ray absorptiometry examinations. Bone ۲۰۰٦; ۳۸(٦): ۹۳٥-٤۲.

۲۱. Salamat MR, Shanei A, Salamat AH, Khoshhali M, Asgari M. Anthropometric predictive equations for estimating body composition. Adv Biomed Res ۲۰۱٥; ٤(۱): ۳٤.

۲۲. Thomas SR, Kalkwarf HJ, Buckley DD, Heubi JE. Effective dose of dual-energy X-ray absorptiometry scans in children as a function of age. J Clin Densitom ۲۰۰٥; ۸(٤): ٤۱٥-۲۲.

۲۳. Steel S, Baker A, Saunderson J. An assessment of the radiation dose to patients and staff from a Lunar Expert-XL fan beam densitometer. Physiol Meas ۱۹۹۸;۱۹(۱): ۱۷-۲٦.

۲٤. Lewis MK, Blake GM, Fogelman I. Patient dose in dual x-ray absorptiometry. Osteoporos Int ۱۹۹٤; ٤(۱): ۱۱-٥.

۲٥. Boudousq V, Kotzki PO, Dinten J, Barrau C, Robert-Coutant C, Thomas E, et al. Total dose incurred by patients and staff from BMD measurement using a new ۲D digital bone densitometer. Osteoporos Int ۲۰۰۳; ۱٤(۳): ۲٦۳-۹.

۲٦. Oatway W, Jones A, Holmes S. Ionising radiation exposure of the UK population, ۲۰۱۰ review: Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Public Health England; [۱۳ April ۲۰۱٦]. Available from: https://www.gov.uk/government/publications/ionising-radiation-exposure-of-the-uk-population-۲۰۱۰-review

۲۷. Lochard J, Bartlett DT, Rühm W, Yasuda H, Bottollier-Depois JF, Authors on behalf of ICRP. Radiological protection from cosmic radiation in aviation. ICRP Publication ۱۳۲. Ann ICRP ۲۰۱٦; ٤٥(۱): ٥-٤۸.

۲۸. Wall B, Haylock R, Jansen J, Hillier M, Hart D, Shrimpton P. Radiation risks from medical X-ray

examinations as a function of the age and sex of the patient: Health Protection Agency Didcot; ۲۰۱۱.
۲۹. Larkin A, Sheahan N, O'connor U, Gray L, Dowling A, Vano E, et al. QA/acceptance testing of DEXA X-ray systems used in bone mineral densitometry. Radiat Prot Dosimetry ۲۰۰۸; ۱۲۹(۱-۳): ۲۷۹-۸۳.
۳۰. Salamat MR, Tvakoli MB, Abedi I. The absorbed dose by postmenopausal women using bone mineral densitometry in dual energy X-ray absorptiometry and its relationship with height, weight and body mass index [in Persian]. J Isfahan Med Sch ۲۰۱۲; ۲۹(۱۶۲): ۱۸۸۳-۹۰.
۳۱. Shalof H, Dimitri P, Shuweihdi F, Offiah AC. Which skeletal imaging modality is best for assessing bone health in children and young adults compared to DXA? A systematic review and meta-analysis. Bone ۲۰۲۱; ۱۵۰: ۱۱۶۰۱۳.
۳۲. Fatima N, Zaman S, Zaman A, Zaman U, Zaman A, uz Zaman M. Dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in pediatric population. PJR ۲۰۲۳; ۳۳(۱): ٤۰-۳.
۳۳. Salamat MR, Entezari R, Salamat A, Dashti G. Evaluating the effects of adolescence pregnancy on bone mineral density in postmenopausal women [in Persian]. J Isfahan Med Sch ۲۰۱٦; ۳٤(۳۹۲): ۸۷۱-۷.
۳٤. Valentin J. Pregnancy and medical radiation. Ann ICRP ۲۰۰۰; ۳۰(۱): iii-viii, ۱-٤۳.
۳۵. Damilakis J. Pregnancy and diagnostic X-rays. Eur Radiol Suppl ۲۰۰٤; ۱٤: ۳۳-۹.
۳٦. Damilakis J, Perisinakis K, Vrahoriti H, Kontakis G, Varveris H, Gourtsoyiannis N. Embryo/fetus radiation dose and risk from dual X-ray absorptiometry examinations. Osteoporos Int ۲۰۰۲; ۱۳(۹): ۷۱٦-۲۲.
۳۷. Ann I. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Pregnancy and medical radiation: ICRP Publication. Ann ICRP ۲۰۰۰; ۸٤(۳۰): ۱-٤۳.

DOI: *10.48305/jims.v42.i784.0839*

Journal of Isfahan Medical School **Vol. ٤٢, No. ٧٨٤, ٤th Week, November ٢٠٢٤**

Received: ٢٤,٠٧,٢٠٢٤ Accepted: ٢٤,١٠,٢٠٢٤ Published: ١٩,١١,٢٠٢٤

Ionizing Radiation Protection Principles in Dual Energy X-ray Absorptiometry- A Review Study

Mahdi Asgari[١], Mohammad Reza Salamat[٢]

Review Article

Abstract

Background: Dual-energy X-ray absorptiometry, or DXA, has become the gold standard for diagnosing osteoporosis and other bone-related diseases due to its ability to show changes in bone density. This article discusses the importance of following ionizing radiation safety principles during DXA scanning for various groups, including patients, radiographers, children, pregnant women, and fetuses.

Methods: Due to the limited number of published articles, data with no time limit until ٢٠٢٤ were collected using the ISI Web of Science, Science Direct, Scopus, PubMed, and Google Scholar databases.

Findings: The effective dose for pencil beam DXA devices is less than ١ µSv. However, doses from fan beam devices can reach up to ١٥ µSv, depending on the device's model and manufacturer. For medical exposures, there is no restriction on the number of scans. The use of a standard DXA clinical technique developed for adults leads to excessive radiation exposure in the use of DXA for children and adolescents.

Conclusion: Radiation doses in DXA are very low compared to other medical imaging methods. However, ionizing radiation carries potential risks, and special attention should be paid to its justification and optimization, considering all radiation protection measures for patients, radiographers, children, pregnant women, and fetuses.

Keywords: Dual-energy X-ray absorptiometry; DXA; Dose; Osteoporosis

Citation: Asgari M, Salamat MR. **Ionizing Radiation Protection Principles in Dual Energy X-ray Absorptiometry- A Review Study.** J Isfahan Med Sch ٢٠٢٤; ٤٢(٧٨٤): ٨٣٩-٤٩.

١- Assistant Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

٢- Associate Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Mahdi Asgari, Assistant Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran; Email: m.mahdiasgari@yahoo.com