



راهنمای آموزشی



اسرامنصوری

مبارکه نظری

مهسا خسرو نیا

مینا عطا زاده



اجزای اصلی x-ray: ۱. کاتد ۲. آند ۳. glass envelope.

برای تولید اشعه ی ایکس با ایجاد جریان، کاتد را گرم می کنیم. این گرم شدن باعث می شود یک ابر الکترونی اطراف کاتد ساطع شود. سپس یک Δv بسیار بالا به نام kvp بین کاتد و آند برقرار می کنیم. kvp بالا، به الکترون ها انرژی جنبشی بالا می دهد و باعث پرت شدن الکترون ها به سمت آند می شود. در مولکول های آند اشعه X تولید می شود. سپس اشعه X به بدن برخورد کرده و از بدن عبور می کند و به فیلم برخورد می کند.

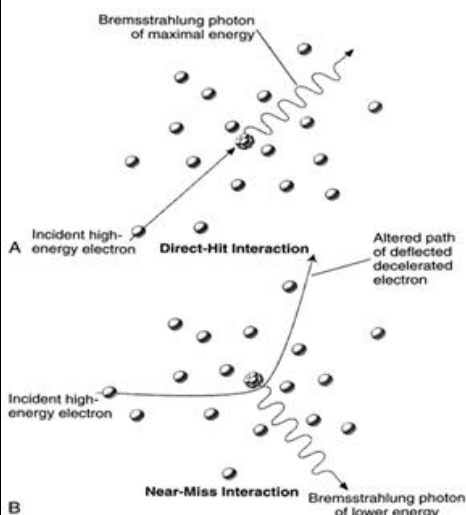
سوال: انرژی الکترون هایی که به آند رسیده اند، چگونه به اشعه X تبدیل می شود؟

اشعه X به دو صورت تولید می شود: ۱- ترمزی ۲- bremsstrahlung - اختصاصی characteristic

بخش اعظم اشعه X تولیدی دستگاه از نوع **ترمزی** است؛ در این نوع اشعه، بعد از برخورد الکترون ها به اتم تنگستن (در آند)، اشعه X ترمزی به دو صورت تولید می شود:

۱- برخورد الکترونی که از کاتد به هسته می آید: کل انرژی الکترون به اشعه X تبدیل می شود.

۲- الکترونی که از کاتد بیاید ولی مستقیماً به هسته ی اتم تنگستن در آند برخورد نکند و از نزدیکی هسته بگذرد؛ در این حالت چون الکترون بار منفی و هسته بار مثبت دارد، الکترون کمی به سمت هسته منحرف یا کشیده می شود و این انحراف به صورت ترمز گرفتن است. بخشی از انرژی جنبشی الکترون در نتیجه ی این ترمز گیری از دست می رود و به اشعه ی X تبدیل می شود.



اینکه الکترون چه قدر تحت تاثیر جاذبه هسته قرار گیرد بستگی به آن دارد که در چه فاصله ای از هسته حرکت می کند؛ هرچه الکترون به هسته نزدیک تر باشد، بیشتر به طرف هسته کشیده می شود و ترمز شدید تری می گیرد و تغییر مسیر بیشتری دارد و اشعه X تولیدی هم انرژی بیشتری خواهد داشت. پس بسته به فاصله حرکت الکترون از هسته و پرتاب به سمت تنگستن، اشعه X با انرژی متفاوت تولید می شود.

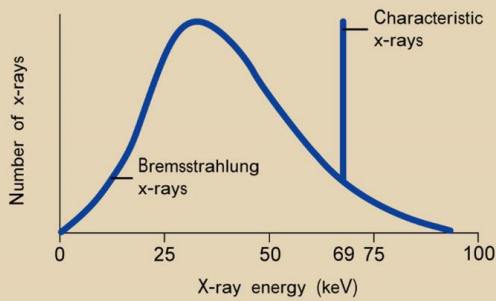
نمودار تولید اشعه X ترمزی در دستگاه:

انرژی اشعه X از ۰ تا max kvp تغییر می کند و یک طیف پیوسته دارد. این انرژی بستگی دارد به:

۱- فاصله الکترون از هسته

۲- برق شهر حالت متناوب دارد و به صورت مثبت منفی تغییر می کند؛ در حالت منفی تولید اشعه X نداریم. در بخش مثبت هم اول انرژی پرتو ۰ بعد 1kvp بعد 2kvp و ... می شود؛ پس ولتاژ بین کاتد و آند مرتباً تغییر می کند و باعث می شود انرژی الکترون های پرتابی متفاوت باشد.

نکته: max مقدار انرژی زمانی است که اولاً مقدار kvp، max باشد و ثانياً الکترون مستقیماً به هسته برخورد کند و کل انرژی به اشعه X تبدیل شود.



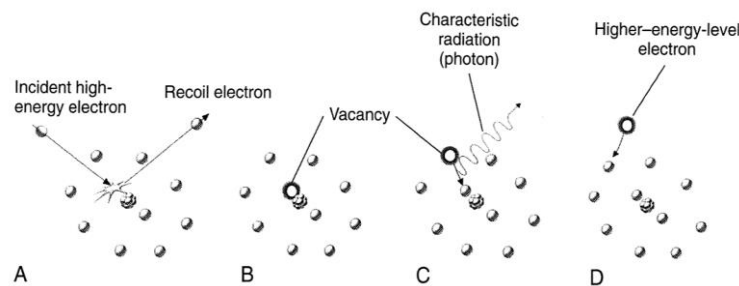
در این دستگاه max تعداد اشعه های X تولیدی ، انرژی ای به اندازه ی 1/3 kvp دارند.
اختصاصی:

در این روش، الکترون پرتاب شده به یکی از الکترون های مدارهای داخلی اتم تنگستن برخورد کرده و به آن انرژی می دهد و آن الکترون را برمی دارد؛ بنابراین در مدار یک جای خالی ایجاد می شود و سپس توسط الکترون های مدارهای بالاتر اشغال می شود. هنگام انتقال الکترون از مدار بالاتر به مدار پایین تر، به اندازه ی تفاوت انرژی دو مدار، اشعه X اختصاصی ساطع می شود.

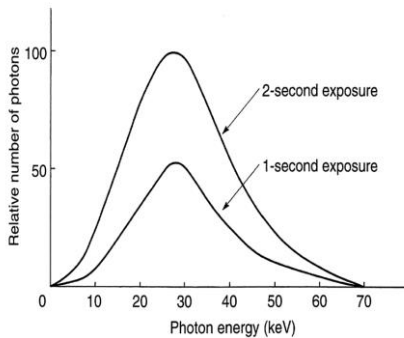
یعنی انرژی ساطع شده به فاصله بین دولایه بستگی دارد. برای تغییر این انرژی که طیفی گسسته دارد باید جنس عنصر آند را عوض کنیم، مثلاً اگر جنس آند تنگستن باشد، طیف تولیدی، اختصاصی برای تنگستن است. این انرژی گسسته را روی نمودار، به صورت چند خط مجزا نشان می دهیم. این خطوط بستگی دارند به:

۱- مداری که الکترون از آن کنده شده

۲- اینکه الکترون جایگزین، از کدام مدار می آید که این فضا را پر کند.



عوامل مؤثر بر تولید اشعه X دستگاه :

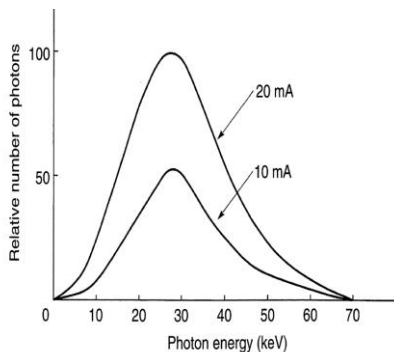


۱- مدت زمان exposure (s) : هرچه مدت زمان گرم کردن آند افزایش می یابد، تعداد الکترون های ساطع شده و تعداد اشعه های X ساطع شده هم افزایش می یابد؛ مثلاً با دوبرابر شدن مدت زمان exposure، تعداد الکترون ها و تعداد اشعه های X هم دوبرابر می شود. در این حالت، نمودار به سمت بالا حرکت می کند و سطح زیر نمودار دوبرابر می شود.

نکته: در این حالت نمودار به سمت چپ و راست نمی رود و انرژی پرتو عوض نمی شود.

۲- tube current (mA) : تعداد الکترون هایی که از کاتد به سمت آند پرتاب می شود.

مثال: اگر تعداد الکترون های پرتابی دوبرابر شود، تعداد پرتوهای تولیدی با همان انرژی، دوبرابر می شود. در این حالت نمودار فقط



به سمت بالا می رود و به سمت چپ و راست نمی رود.

نکته: لازمه ی افزایش mA ، بیشتر گرم کردن filament است که الکترون های بیشتری ساطع کند.

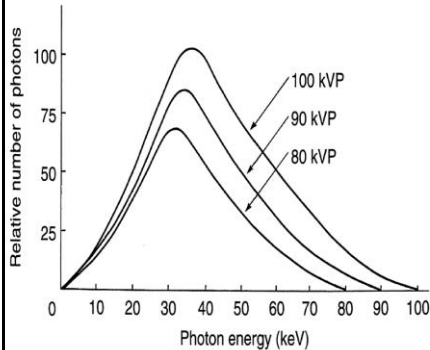
۳- tube voltage (kvp دستگاه) : اگر اختلاف ولتاژ بین کاتد و آند را افزایش دهیم،

الکترون ها بیشتر شتاب می گیرند و با انرژی بیشتری به آند برخورد می کنند. در این حالت :

۱- تعداد اشعه ی X بیشتری تولید می شود؛ چون الکترون ها انرژی بیشتری دارند؛ یعنی

الکترون هایی با انرژی بالا، چندین xray تولید می کنند چون هر الکترون پراثری در چندین واکنش شرکت می کند. بعد به چند اتم تنگستن برخورد می کند و چندین xray تولید می کند. در حالی که الکترون کم انرژی، فقط یک اشعه X تولید می کند، چون فقط به یک اتم برخورد می کند.

۲- اشعه های X تولیدی انرژی بیشتری دارند.



در این حالت ها، نمودار به سمت بالا و راست جابه جا می شود. متوسط انرژی پرتو افزایش می یابد و قله ی نمودار به سمت راست و بالا جابه جا می شود.

کمیت (Quantity) و کیفیت (x ray quality = intensity)

تعداد پرتو بیشتر وابسته است به «-» ثانیه $\times$ میلی آمپر

کیفیت = انرژی = نفوذپذیری پرتو بیشتر وابسته است به «-» kvp

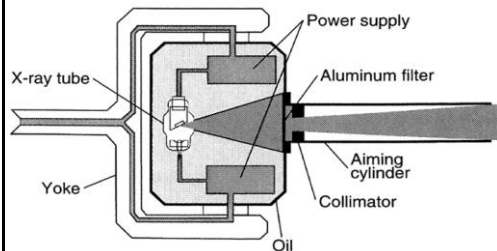
مثال: اگر m A دستگاه را دوبرابر و زمان روشن بودن دستگاه را نصف کنیم، در مجموع

اشعه های x تولیدی تغییری نمی کند و میزان exposure مریض ثابت است.

در بخش های درمانی، معمولاً kvp را مساوی ۶۰ ثابت نگه می داریم چون تغییر kvp روی کنتراست تصویر اثر می گذارد و فیلم را خراب می کند. Kvp و m A معمولاً ثابت است.

m A دستگاه را معمولاً روی max تنظیم می کنیم که باعث می شود زمان exposure، min شود و احتمال حرکت کردن بیمار کاهش یابد.

نکته: فاکتوری که بین بیمارهای مختلف، سنین متفاوت، محل های مختلف بدن و ... در حین عکس برداری تغییر می کند، exposure time است؛ مثلاً برای دندان های ant فرضاً زمان را ۲۵۰ ms می گذاریم و برای دندان های posterior ۳۲۰ ms.



۴- filtration: نوعی صافی است.

یک سری پرتوهای x تولیدی، انرژی خیلی پایینی دارند. این نوع پرتوها فقط جذب بدن می شوند و قدرت رسیدن به فیلم را ندارند. پس برای تولید تصویر به کار نمی روند و فقط دوز جذبی بیمار را بالا می برند؛ پس باید با یک فیلتر این

پرتوها را از بین ببریم یا انرژی آن ها را بگیریم؛ پس در مسیر اشعه ی x یک فیلتر اضافه می کنیم که از جنس آلومینیوم (با عدد اتمی بالا) است و پرتوهای کم انرژی را کاهش می دهد و متوسط انرژی پرتو را افزایش می دهد (چون انرژی دسته پرتو افزایش می یابد). فیلتر، بیشتر، تعداد پرتوهای کم انرژی را کاهش می دهد اما تعداد پرتوهای کم انرژی صفر نمی شود.

در این حالت متوسط نمودار به سمت پایین و راست می رود.

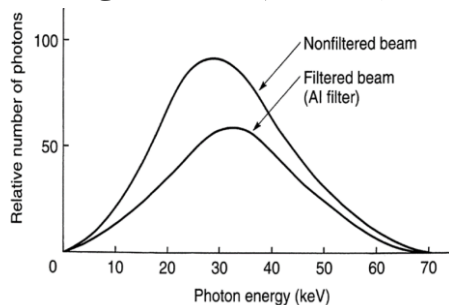
فیلتر باعث کاهش تعداد کل پرتوها می شود و نمودار را به سمت پایین حرکت می دهد.

Total filtration: دو دسته فیلتر داریم:

۱- Added filter: مثل لایه ی آلومینیوم که خودمان به دستگاه اضافه می کنیم

و ممکن است در برخی دستگاه ها نباشد.

۲- Inherent filter: یعنی خود دستگاه ذاتاً این فیلتراسیون را انجام می دهد.



Glass envelope: در اطراف تیوب وظیفه ی حفظ خلأ را دارد. این glass یا روغن دور تیوب تا حدودی اشعه x را فیلتر می کند.

collimator:

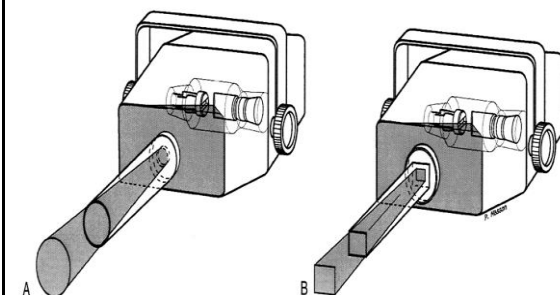
از آنجایی که اشعه ایکس به صورت واگرا منتشر می شود پس اگر بخواهیم قسمت محدودی از بدن بیمار را رادیوگرافی کنیم نیاز به collimator داریم تا به این صورت exposure بیمار را کاهش دهیم.

مزیت های collimator:

۱. کاهش dosage بیمار

۲. افزایش وضوح و کیفیت تصویر با کاهش اشعه پراکنده (scattering)

سطح مقطع کولیماتورها می توانند گرد یا مستطیلی باشند که نوع گرد آن سطح مقطع بزرگتری دارد، بنابراین محدوده expose شده ی وسیعتری دارد و در نتیجه کیفیت تصویر آن پایین تر است (به دلیل اشعه ی پراکنده ی بیشتر) اما استفاده از نوع گرد آن



در هر حال رایج تر است. عیب نوع مستطیلی آن این است که تنظیم آن به دقت بالاتری نیاز دارد به طوری که باید همه ناحیه موردنظر expose شده باشد.

جنس collimator ها از سرب است.

Inverse Square Law (قانون عکس مجذور):

این قانون مربوط به quantity می باشد (نه quality). این قانون بیان می کند که اگر $I \propto \frac{1}{D^2}$ (I=intensity & D=distance) در واقع داریم:

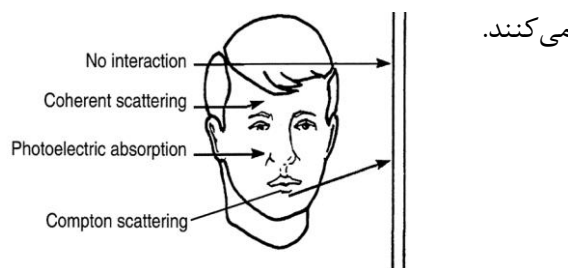
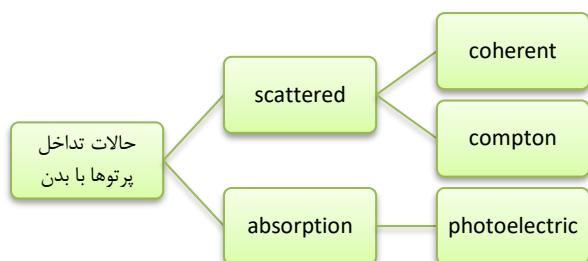
$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

پس از برخورد الکترون ها به بدن و تولید اشعه ایکس ۳ حالت برای پرتوها قابل تصور است:

۱. ۹ درصد از پرتوها بدون واکنش با بدن به فیلم برخورد می کنند. (no interaction)

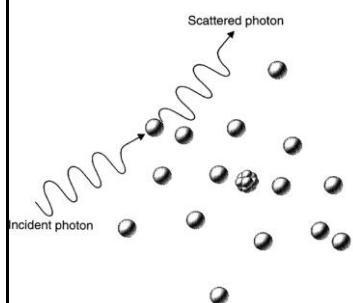
۲. تعدادی از پرتوها کاملاً جذب بدن شده و هیچ پرتویی به آن ناحیه از فیلم برخورد نمی کند.

۳. تعدادی از پرتوها نیز scatter و پراکنده می شوند و جهت آن ها تغییر می کند که این پرتوها برای تشکیل تصویر مناسب نیستند چون این پرتوها باعث کاهش **contrast** بین بافت های نرم و سخت می شوند و حالت foggy یا مه آلود در فیلم ایجاد می کنند.



در حالت طبیعی انتظار داریم در استخوان به دلیل تراکم بافت، بیشتر اشعه X جذب شود و به فیلم اشعه برخورد نکند (حالت radiopaque به رنگ سفید در فیلم) و در بافت نرم تقریباً اکثر اشعه ها رد شوند (حالت سیاه در فیلم) اما در حالت scattering به دلیل پراکنده شدن پرتوها ممکن است قسمتی از محل استخوان در فیلم سیاه شود و به این ترتیب کانتراست کم شود.

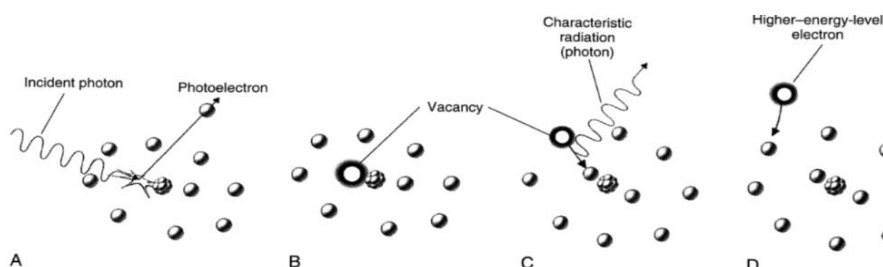
Coherent scattering



۷ درصد را به خود اختصاص می دهد. در این حالت اشعه ایکس به الکترون اتم برخورد می کند ولی چون انرژی آن به اندازه کافی نیست جذب اتم شده، اتم برانگیخته (excited) می شود و بعد از مدتی همان اشعه ایکس با جهت متفاوت را ساطع می کند. پس انرژی اشعه ایکس در این حالت تغییر نمی کند و فقط جهت آن تغییر می کند که همان scattering هست و همانطور که پیش تر گفته شد برای تشکیل تصویر مناسب نیستند اما چون تصاویر این پرتوها خیلی کم است (۰.۷٪) و

چون انرژی این پرتوها آنقدر زیاد نیست که خود را به فیلم برسانند و کانتراست را کاهش دهند، پس این نوع پرتوها آنچنان هم در خراب کردن تصویر نقش ندارند. در این حالت اتم هم تغییری نمی کند و به حالت اولیه ی خود برمی گردد.

Photoelectric absorption

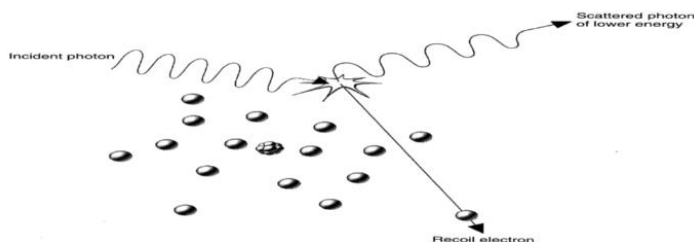


۲۳ درصد پرتوها از این نوع هستند و چون جذب بدن می شوند برای تشکیل تصویر مناسب هستند. در پدیده فوتوالکتریک تمام انرژی اشعه ایکس به یکی از الکترون های لایه داخلی اتم منتقل شده

و صرف کردن آن الکترون می شود. در نتیجه اتم یونیزه شده و الکترون های تولید شده با شتاب در بدن حرکت می کنند. اشعه ی X هم کاملاً از بین می رود. این پدیده با Z^3 (عدد اتمی به توان ۳) ارتباط مستقیم دارد. پس مثلاً در بافت های سخت به دلیل عدد اتمی بالاتر بر خلاف بافت های نرم، این پدیده بیشتر اتفاق می افتد و اشعه ایکس جذب شده و تصویر را تشکیل می دهد.

- هنگامی که در فوتوالکتریک الکترون‌های لایه داخلی برانگیخته می‌شوند در نتیجه ی انتقال الکترون‌های لایه خارجی به داخل، اشعه ایکس اختصاصی تولید می‌شود که به دلیل انرژی پایین در سطح بدن رسوب می‌کند و به فیلم نمی‌رسند.

Compton Scattering



۷۰ درصد انواع پرتوها (بیشترین درصد) را شامل می‌شود. در این حالت اشعه ایکس به الکترون‌های لایه خارجی مولکول‌های بدن برخورد می‌کند و آن‌ها را از جای خود کنده و به آنها انرژی جنبشی می‌دهد و نهایتاً خود پرتو ایکس هم که مقداری انرژی

باقی مانده دارد، در جهتی دیگر پراکنده می‌شود. در این حالت هم اتم یونیزه می‌شود. پس مهم ترین عاملی که اشعه ی پراکنده ایجاد می‌کند و در نتیجه باعث کاهش کنتراست فیلم و ایجاد تصویر نامناسب می‌شود، همین پرتوها هستند.

Dosimetry

Exposure: اشعه ایکس قبل از برخورد به بدن با مولکول‌های هوا برخورد می‌کند و طبق پدیده های فوتوالکتریک و کمپتون مولکول‌های هوا را یونیزه می‌کند که مقدار این یونیزاسیون با مقدار پرتوی برخورد کرده نسبت مستقیم دارد. بنابراین exposure، میزان یونیزاسیون ایجاد شده در مولکول‌های هوا در اثر پدیده های فوتوالکتریک و کمپتون است. واحد قدیمی آن رونتگن بود اما واحد SI آن KERMA (kinetic energy released in matter) است. (مقدار انرژی جنبشی آزاد شده در مولکول‌های هوا در اثر exposure) واحد دیگر آن $\text{Gray} (\frac{\text{J}}{\text{kg}})$ است.

دوز جذبی: مقدار انرژی جنبشی که جذب واحد جرم بدن می‌شود. واحد SI آن gray و واحد قدیمی آن rad (radiation absorbed dose) است.

$$1\text{gray} = 100\text{ rad}$$

- نوع بافت و نوع اشعه در موارد ۱ و ۲ اهمیتی ندارد اما برای موارد ۳ و ۴ مهم است.

دوز معادل: اثر تخریبی جذب 1 Gray پرتو ایکس با 1Gray پرتو آلفا متفاوت است. در واقع اثر تخریبی جذب 1Gray پرتو آلفا بیشتر است چون LET آن بیشتر است و به دلیل داشتن دو بار مثبت، میزان یونیزاسیونی که در مولکول‌ها ایجاد می‌کند، بیشتر است (چون می‌خواهد سریع به پایداری برسد). پس برای مقایسه به مفهوم دوز معادل (H_T) نیاز است که برابر است با:

$$H_T = W_R \times D_T$$

D_T = دوز جذبی ایکس

W_R = radiation weighting factor

W_R برای اشعه ایکس مبنا و برابر ۱ است ولی برای اشعه آلفا ۲۰ است؛ پس اثر مخرب پرتو آلفا ۲۰ برابر بیشتر از پرتو ایکس است یا مثلاً برای نوترون ۵ است.

واحد SI دوز معادل sievert و واحد قدیمی آن rem است که داریم: $1\text{sievert} = 100\text{ rem}$

دوز موثر: در دوز معادل عامل تاثیرگذار از نوع اشعه بود اما در دوز موثر هم نوع اشعه و هم نوع بافت اهمیت دارد. مثلاً برخورد یک سیورت پرتو ایکس به مغز استخوان خطرناک‌تر از برخورد یک سیورت پرتو ایکس به پوست است. در دوز موثر فاکتور (W_T tissue weighting factor) مطرح می‌شود که برای هر بافتی متفاوت است مثلاً برای پوست ۰,۰۱ و برای مغز استخوان ۰,۱۲ می‌باشد؛ یعنی اثرات مخرب اشعه در مغز استخوان نسبت به پوست تقریباً ۱۲ برابر است. واحد دوز موثر هم همان Sievert است.

$$E = \sum W_T \times H_T$$