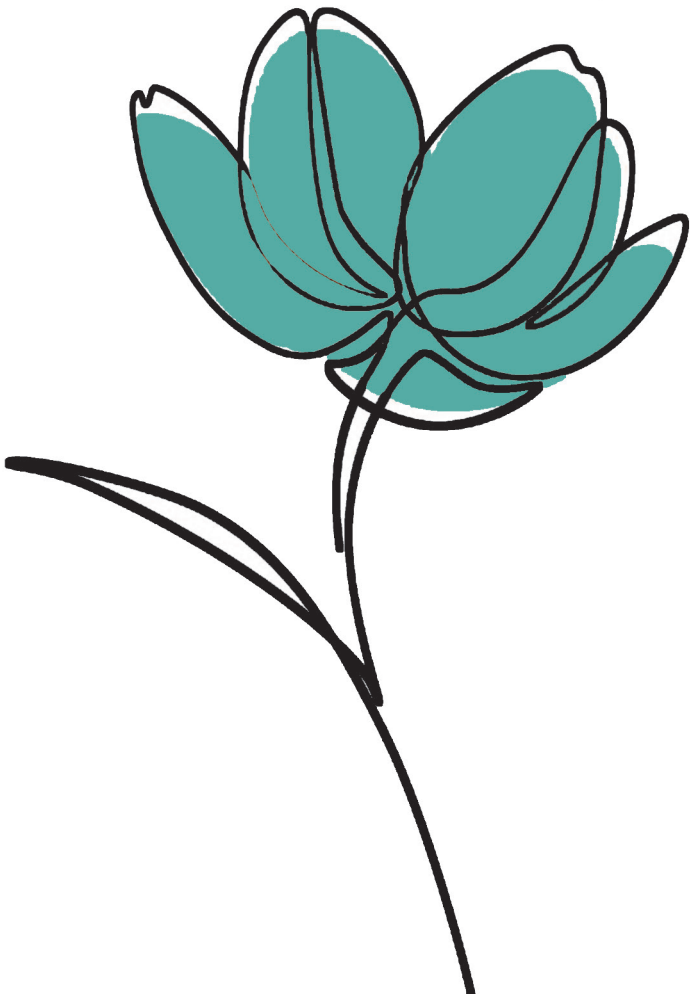
# بسم الله الرحمن الرحیم

## اعظم اسمآ علیم حکیم

علم و دانش نوری است که خداوند آن راد دل هر کس که هدایتش را بخواهد قرار می دهد.

اگر طالب علم هستی، اول در وجود خود به دنبال حقیقت عبودیت باش.

با به کاربستن علم، آن را بجوی و از خدا طلب فهم کن تا تو را بفهماند.



# مروری جامع بر رادیولوژی دهان و فک و صورت

## (وایت و فارو ۲۰۱۹)


تدوین و گردآوری

دکتر نیلوفر قدیمی

دکتر مریم فروزنده

دکتر محمود افصحی

با همکاری

دکتر آزاده رحمتی

دکتر سید ساسان آریا نژاد



موسسه انتشاراتی پیشگامان پارسه

سرشناسه :قدیمی، نیلوفر، -۱۳۶۳، گردآورنده
عنوان و نام پدیدآور : مروری جامع بر رادیولوژی دهان و فک و صورت (وایت و فارو ۲۰۱۹)/ تدوین و گردآوری دکتر نیلوفر قدیمی، دکتر مریم فروزنده، دکتر محمود افصحی، با همکاری دکتر آزاده رحمتی ،دکترسید ساسان آریا نژاد.
مشخصات نشر : تهران: پیشگامان پارسه.
مشخصات ظاهری : ۳۴۲ ص. ص؛ ۲۲×۲۹ س‌م.
شابک : ۶-۹۵-۶۱۰۹-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتاب حاضر برگرفته از کتاب "White and pharoah's oral radiology : principles and interpretation, 8th. ed 2019" اثر سانجای‌ام. مالایا، ارنست‌دبلیو ان. لم است.
موضوع دندان -- پرتونگاری
موضوع : Teeth -- Radiography
موضوع : فک -- پرتونگاری
موضوع : Jaws -- Radiography
موضوع : دهان -- پرتونگاری
موضوع : Mouth -- Radiography
شناسه افزوده : افصحی، محمود، -۱۳۵۶، گردآورنده
شناسه افزوده : رحمتی، آزاده، ۱۳۶۱ -، گردآورنده
شناسه افزوده : مالایا، سانجای ام.
شناسه افزوده : Mallya, Sanjay M.
شناسه افزوده : لم، ارنست دبلیو. ان.
شناسه افزوده : Lam, Ernest W. N.
شناسه افزوده : وایت، استوارت. رادیولوژی دهان
شناسه افزوده : فیرو. رادیولوژی دهان
شناسه افزوده : انتشارات پیشگامان پارسه
رده‌بندی کنگره : RK۳۰۹
رده‌بندی دیویی : ۶۱۷/۶۰۷۵۷۲

موسسه انتشاراتی
پیشگامان پارسه

# مروری جامع بر رادیولوژی دهان و فک و صورت (وایت و فارو ۲۰۱۹)

**ناشر** پیشگامان پارسه
**تدوین و گردآوری** دکتر نیلوفر قدیمی، دکتر مریم فروزنده، دکتر محمود افصحی
**با همکاری** دکتر آزاده رحمتی، دکتر سید ساسان آریانژاد
**طراح جلد** آیدا نجاری
**صفحه‌آرایی** مائده صبری – مریم محمدی – نگار سادات معارفی
**لیتوگرافی** مهرسان نقش بهار
**نوبت و سال چاپ** اول– ۱۴۰۰
**چاپ و صحافی** آفرنگ نوین
**تیراژ** ۱۰۰۰ جلد
**شابک** ۶-۹۵-۶۱۰۹-۶۲۲-۹۷۸

تهران - میدان ونک - ابتدای ملاصدرا - پلاک ۳ - طبقه سوم - واحد ۱۵
انتشارات پیشگامان پارسه
۸۸۸۷۸۶۵۷-۶۲ / ۸۸۸۸۴۸۰۲-۳
www.dparseh.ir

این کتاب فقط در انتشارات پیشگامان پارسه قابل فروش و عرضه می‌باشد.
انتشارات پیشگامان پارسه در هیچ نقطه‌ای از تهران و ایران نمایندگی ندارد.
کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب منحصرا متعلق به پیشگامان پارسه است ؛ لذا هرگونه تولید مجدد ازجمله چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیک، فیلم و صدا پیگرد قانونی داشته و از نظر شرعی نیز با عدم رضایت ناشر همراه می‌باشد.

# فهرست مطالب


**فصل ۱: فیزیک** ۹

ترکیب ماده ۹
ساختار اتمی ۹
اوربیتال‌های الکترونی ۹
یونیزاسیون ۱۰
ماهیت اشعه ۱۰
دستگاه اشعه ایکس ۱۲
توان تیوب ( Tube Rating )و چرخه کار( Duty Cycle) ۱۷
تولید اشعه ایکس ۱۷
فاکتورهای کنترل کننده پرتو اشعه ایکس ۱۸
تداخلات (Interactions)اشعه ایکس با ماده ۲۰
تضعیف پرتو (Beam Attenuation) ۲۳
سؤالات مهم فصل ۲۵

**فصل ۲: اثرات بیولوژیک پرتوهای یونیزان** ۲۸

اثرات شیمیایی و بیوشیمیایی جذب پرتوها ۲۸
دئوکسی ریبونوکلئیک اسید ( DNA ) و آسیب‌های کروموزومی و پاسخ به آسیب ۲۸
سؤالات مهم فصل ۳۷

**فصل ۳: حفاظت و ایمنی** ۳۹

منابع تابش اشعه ۳۹
حفاظت و ایمنی ۳۹
رادیولوژی دندان، فک و صورت ۴۰
حفاظت از پرسنل ۴۶
محدودیت‌های دوز ۴۸
تضمین کیفیت ۴۹
سؤالات مهم فصل ۴۹

**فصل ۴:تصویربرداری دیجیتال** ۵۱

آنالوگ در برابر دیجیتال ۵۱
گیرنده‌های تصویر دیجیتال ۵۲
Flat Panel detectors( آشکارسازهای صفحه مسطح) ۵۴
صفحات فسفر حساس به نور (PSP): ۵۵
ویژگی‌های گیرنده دیجیتال ۵۶
سؤالات مهم فصل ۶۸

**فصل ۵: تصویربرداری با فیلم** ۷۲

فیلم اشعه ایکس(X-Ray Film) ۷۲
فیلم اشعه ایکس داخل دهانی(Intraoral X-Ray Film) ۷۳
فیلم اسکرین(Screen Film): ۷۴
صفحات تشدیدکننده(Intensifying Screens): ۷۴
تنظیم صحیح زمان اکسپوژر (Establishing Correct Exposure Times) ۸۲
مشخصات تصویر(Image Characteristics) ۸۲
سؤالات مهم فصل ۹۱

**فصل ۶: اصول هندسی تابش** ۹۴

سه روش برای به حداکثر رساندن شارپنس تصویر ۹۴
راه‌کارهای کاهش دیستورشن شکل ۹۵
تکنیک موازی ۹۶
تکنیک نیمساز ۹۶
تعیین موقعیت جسم ۹۶
اثر Egg Shell (پوسته تخم مرغی) ۹۷
سؤالات مهم فصل ۹۸

**فصل ۷: پروجکشن‌های داخل دهانی** ۱۰۰

معیار های کیفیت ۱۰۰
رادیوگرافی اکلوزال ۱۱۰
تصویربرداری از کودکان ۱۱۳
ملاحظات خاص ۱۱۵
سؤالات مهم فصل ۱۱۷

**فصل ۸: تصویربرداری خارج دهانی و آناتومی** ۱۱۸

ارزیابی تصویر ۱۱۸
تفسیر در پنج گام ۱۱۸
تصویربرداری سفالومتری ۱۱۸
Lateral skull (Lateral cephalometry) ۱۱۹
PA Skull ۱۲۱
Submentovertex (base) (SMV) (بازال) ۱۲۳
Waters (occipitomental) ۱۲۴
Reverse Towne (با دهان باز) (فرونتواکسی پیتال) ۱۲۵
سؤالات مهم فصل ۱۲۷

**فصل ۹: تصویربرداری پانورامیک** ۱۳۰

اصول تشکیل تصویر پانورامیک ۱۳۱
لایه تصویر ( Focal Trough) ۱۳۲
تصاویر حقیقی(Real)، دوتایی(Double)، شبحی(Ghost) ۱۳۵
سؤالات مهم فصل ۱۴۰

**فصل ۱۰: آناتومی رادیوگرافی** ۱۴۲

اصول کلی ارزیابی رادیولوژیک ۱۴۲
ساختارهای دنتو آلوئولار حمایت‌کننده ۱۴۴
مندیبل ۱۵۶
سؤالات مهم فصل ۱۶۵

**فصل ۱۱: ایمپلنت دندانی** ۱۶۷

تکنیک‌های تصویربرداری ۱۶۷
توموگرافی کامپیوتری = CBCT , MDCT ۱۶۸
تکنیک‌های بازسازی (Reconstruction) تصویر ۱۷۰
سایر تکنیک‌ها ۱۷۰
ارزیابی و طرح درمان پیش از جراحی ۱۷۰
ارزیابی رادیولوژیک کمیت استخوان ۱۷۰
ارزیابی رادیولوژیک کیفیت استخوان ۱۷۳
تصویربرداری در حین کار = intraoperative ۱۷۴
Image - guided Applications ۱۷۵
تصویربرداری پس از جراحی=Postoperative Imaging and Monitoring ۱۷۵
سؤالات مهم فصل ۱۷۶

**فصل ۱۲: تضمین کیفیت و کنترل عفونت** ۱۷۸

تضمین کیفیت رادیوگرافی ۱۷۸
رادیوگرافی بر پایه فیلم ۱۸۰
رادیوگرافی دیجیتال ۱۸۱
توموگرافی کامپیوتری با اشعه مخروطی (CBCT) ۱۸۲
کنترل عفونت ۱۸۵
سؤالات مهم فصل ۱۸۶

**فصل ۱۳: تجویز تصویربرداری‌های تشخیصی** ۱۸۸

عوامل مؤثر در انتخاب نوع و محدوده (scope) تصویربرداری عبارتند از: ۱۸۸
تصاویر داخل دهانی ۱۸۸
تصاویر خارج دهانی ۱۸۸
تصویربرداری پیشرفته یا Advanced ۱۸۹
Guide line هایی برای تجویز معاینات رادیوگرافی دندانی ۱۸۹
ویزیت اول ۱۹۳

ویزیت مجدد: Recall Visit ۱۹۳
تجویز CBCT ۱۹۴
ملاحظات مربوط به تجویز تصویربرداری در غیاب یافته مثبت ۱۹۵
ملاحظات خاص ۱۹۵

**فصل ۱۴: اصول تفسیر رادیوگرافی ۱۹۷**

دو روش مطرح برای فرآیند تشخیص در رادیولوژی ۱۹۷
سؤالات مهم فصل ۲۰۵
پوسیدگی‌های دندانی ۲۰۷

**فصل ۱۵:مکانیسم بیماری ۲۰۷**

نقش تصویربرداری در شناسایی ضایعات پوسیدگی ۲۰۷
تصویربرداری با سنسورهای دیجیتال داخل دهانی ۲۰۸
تصویربرداری با فیلم‌های رادیوگرافی داخل دهانی معمولی ۲۰۸
کشف ضایعات پوسیدگی ۲۰۹
رستوریشن‌های دندانی ۲۱۳
ابزارهای تشخیصی جایگزین در کشف پوسیدگی‌های دندانی ۲۱۴
سؤالات مهم فصل ۲۱۴

**فصل ۱۶:بیماری‌های پریودنتال ۲۱۶**

مدالیته‌های تصویربرداری جهت ارزیابی بیماری پریودنتال ۲۱۶
سؤالات مهم فصل ۲۲۴

**فصل ۱۷: ناهنجاری‌های دندانی ۲۲۶**

ناهنجاری تکاملی ۲۲۶
ماکرودنشیا ۲۲۷
رویش دندان‌ها ۲۲۸
مورفولوژی تغییر یافته دندان‌ها ۲۲۸
کانکرسنس ۲۲۹
(twining) Gemination ۲۲۹
تارودنتیسم ۲۳۰
دیلاسریشن ۲۳۰
(Dens in Dente) (Dilated Odontome) Dens invagination ۲۳۱
Dens evaginatus ۲۳۳
بدشکلی مولر انسیزور (Molar-Incisor Malformation) (MIM) ۲۳۳
Amelogenesis Imperfecta ۲۳۴
نماهای بالینی و رادیوگرافی ۲۳۴
Dentiogenesis Imperfecta ۲۳۶
Dentin Dysplasia ۲۳۷
(ghost teeth) Regional odontodysplasia (دندان شبحی) ۲۳۸
Enamel Pearl (انامِلوما) ۲۳۹
Talon cusp ۲۴۰
هیپوپلازی ترنر ۲۴۰
Cangenital syphilis ۲۴۱
ناهنجاری‌های اکتسابی ۲۴۱
ابریژن(Abrasion) ۲۴۲
اروژن(Erosion) ۲۴۳
تحلیل داخل ریشه ۲۴۳
تحلیل خارجی ریشه ۲۴۴
عاج ثانویه ۲۴۵
سنگ پالپی (Pulp Stones) ۲۴۵
اسکلروز پالپی(Pulpal Sclerosis) ۲۴۶
هایپرسمنتوز ۲۴۶
سؤالات مهم فصل ۲۴۷

**فصل ۱۸: شرایط التهابی فک‌ها ۲۴۹**

بیماری التهابی پری‌اپیکال ۲۴۹
استئومیلیت ۲۵۰
تغییرات ناشی از رادیاسیون به فک‌ها ۲۵۲
استئونکروز فک‌ها در ارتباط با دارو ۲۵۳
تصویربرداری تشخیصی درگیری نسج نرم دربیماری‌های التهابی ۲۵۳
پری‌کرونیت ۲۵۳

**فصل ۱۹:سیست‌ها ۲۵۵**

سیست‌های ادنتوژنیک ۲۵۵
سیست‌های غیرادنتوژنیک ۲۵۸
سیست‌های کاذب ۲۵۹
سیست‌های با منشأ نسج نرم ۲۶۰

**فصل ۲۰: تومورها و نئوپلاسم‌های خوش‌خیم ۲۶۲**

نئوپلاسم‌های ادنتوژنیک با منشأ اپی‌تلیالی ۲۶۲
نئوپلاسم‌ها و تومورهای ادنتوژنیک با منشاء میکس مزانشیمی و اپی‌تلیالی ۲۶۳
تومورهای ادنتوژنیک مزانشیمال ۲۶۶
نئوپلاسم‌ها و تومورهای غیرادنتوژنیک ۲۶۷
نئوپلاسم‌ها و تومورهای مزانشیمال ۲۶۹
سؤالات آزمون ۲۷۷

**فصل۲۱: بیماری‌های تأثیرگذار بر ساختارهای استخوان ۲۷۹**

A. ابنورمالیتی متابولیک استخوان ۲۷۹
B. اختلالات اندوکرینی ۲۸۱
C. دیسپلازی استخوانی ۲۸۵
سؤالات آزمون ۲۹۰

**فصل۲۲: نئوپلاسم‌های بدخیم ۲۹۳**

تصویربرداری تشخیصی ۲۹۳
کارسینوماها ۲۹۴
اسکواموس سل کارسینومای منشأ گرفته در استخوان ۲۹۵
اسکواموس سل کارسینومای منشأ گرفته در سینوس ماگزیلا ۲۹۵
اسکواموس سل کارسینومای منشأ گرفته در یک سیست ۲۹۶
موکواپیدرموئید کارسینومای مرکزی ۲۹۶
آملوبلاستومای بدخیم و کارسینومای آملوبلاستیک ۲۹۷
بیماری متاستاتیک ۲۹۷
سارکوماها ۲۹۸
بدخیمی‌های سیستم هماتوپویتیک ۳۰۱
لنفوم ۳۰۲
لوسمی ۳۰۳
هیستوسیتوز سلول لانگرهانس ۳۰۴
تصویربرداری از دهان و صورت و فک برای نجات‌یافتگان از سرطان ۳۰۵
سؤالات آزمون ۳۰۵

**فصل ۲۳: تروما ۳۰۸**

معاینه رادیولوژیک تروما ۳۰۸
علایم رادیولوژیک شکستگی ۳۰۸
ترومای دنتوآلوئولار ۳۰۹
شکستگی‌های دندانی ۳۰۹
آسیب بافت پریودنتال ۳۱۲
آسیب‌های تروماتیک به استخوان‌های صورت ۳۱۶
شکستگی‌های ناحیه میانی صورت ۳۱۹
فالوآپ شکستگی‌ها ۳۲۳
سؤالات مهم فصل ۳۲۴

**فصل۲۴: بیماری‌های سینوس پارانازال ۳۲۶**

تکامل طبیعی و تنوع ساختارها ۳۲۶
بیماری‌های سینوس‌های پارانازال با منشأ داخلی ۳۲۸
کیست کاذب احتباسی(Retention Pseudocyst) ۳۳۰
نئوپلاسم‌ها ۳۳۴
سؤالات مهم فصل ۳۴۰

# پیش گفتار

تالیف و تدوین کتب مرجع، محقق نمی‌گردید مگر به توفیقات الهی و یاری و کوشش خالصانه اساتید متخصص و دلسوز که همواره ما را در این راه همراهی نمودند.

کتاب پیش رو تدوین شده بر اساس آخرین رفرنس اعلامی از سوی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی می‌باشد که علاوه بر پوشش مباحث و مطالب آموزشی با قرار دادن سوالات آزمون‌های ورودی، بورد و ارتقا در انتهای هر فصل، داوطلبین را در راستای تاکید بر نکات مهم سوق می‌دهد.

شایان ذکر است استفاده از تصاویر، کادرهای رنگی و همچنین هایلایت مطالب علاوه بر به حداقل رساندن رخوت و خستگی در مطالعه، کمک شایانی در یادگیری هر چه بهتر مطالب و همچنین خلاصه برداری نکات می‌نماید.

امید است زحمات مجدانه و خالصانه اساتید و همکاران، مرضی درگاه خداوند متعال قرار گیرد و زاده و توشه راهمان باشد.

علاقه‌مندان به تحصیلات تخصصی تکمیلی می‌توانند آخرین اخبار و فیلم‌های آموزشی کلینیکال را از صفحه اینستاگرام و کانال تلگرامی زیر پیگیری و دنبال نمایند.

***Telegram.me/dparseh86***

***Instagram: dparseh***

در راستای ارتقا سطح کیفی آموزش و خدمات ارائه شده از سوی موسسه انتشاراتی پیشگامان پارسه، خواهشمندیم نظرات و پیشنهادات سازنده خود را از طریق ایمیل زیر با ما در میان بگذارید.

***Info.dparseh@gmail.com***

مدیریت آموزش

***Pishgaman Parseh***

# فیزیک

Physics

دکتر نیلوفر قدیمی

## ترکیب ماده

✓ ماده: هر آن چیزی که جرم داشته باشد و فضا را اشغال کند.

✓ اتم: واحد بنیادین تمام ماده‌هاست و دارای یک هسته (حاوی پروتون‌هاو نوترون‌ها) و الکترون‌هایی که از طریق **نیروهای الکترواستاتیک** به هسته پیوند خورده‌اند.

## مدل‌های ساختار اتم

✓ مدل اتمی بور (Bohr model):

- دیدگاه **کلاسیک**
- ساختار اتم را به **یک منظومه شمسی** تشبیه می‌کند که در آن الکترون‌های دارای بار منفی در اوربیتال‌های مجزا به دور یک هسته مرکزی با بار مثبت حرکت می‌کنند.
- الکترون‌ها در اوربیتال‌های مجزا یا "لایه"هایی قرار دارند که با K، L، M، N، O و P مشخص می‌شوند.
- **لایه K نزدیک‌ترین لایه به هسته است.**
- لایه‌هابا یک عدد کوانتومی ۱، ۲، ۳... نیز توصیف می‌شوند، **که ۱ عدد کوانتومی لایه K است.**
- هر لایه می‌تواند حداکثر دارای $2n^2$ الکترون باشد، که در آن n عدد کوانتومی لایه است.

✓ مدل مکانیک کوانتومی ( quantum mechanical model ):

- دیدگاه **معاصر**
- الکترون‌ها در **اوربیتال‌های سه بعدی یا ابرالکترونی (Electron clouds)** پیچیده با سطوح مختلف انرژی (energy sublevels ) قرار دارند.
- اوربیتال‌های الکترون بر اساس **فاصله از هسته** (عدد کوانتومی اصلی؛ n = ۱ ، ۲، ۳...) و شکل خود (که با s، p، d، f، g، h و i مشخص می‌شود) توصیف می‌شوند.
- در یک اوربیتال، تنها دو الکترون می‌تواند وجود داشته باشد.
- اوربیتال‌های الکترون به ترتیب پر شدن عبارتند از **1s، 2s، 2p، 3s، 3p، 3d، 4s، 4p، 4d، 4f ...**

✓ تفاوت دو مدل بوهر و مکانیکی کوآنتوم در الکترون است، یعنی در مدل کوآنتوم اوربیتال همیشه **2e** و در مدل بوهر در هر اوربیتال ($2n^2$) الکترون داریم.

✓ شباهت دو مدل این است که هردو پایه و اساس کافی برای درک مفهومی تولید و تداخلات اشعه ایکس تشخیصی را به وجود می‌آورند.

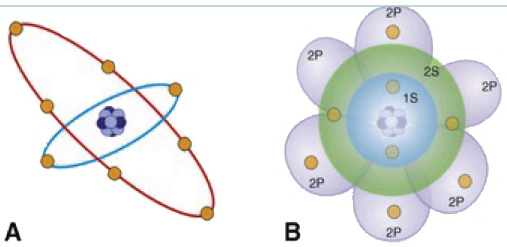



FIG. 1.1 (A) Schematic view of the Bohr model of the oxygen atom showing a nucleus with electrons that travel around the nucleus in circular orbits. (B) Schematic view of the quantum mechanical model of the oxygen atom. The central nucleus is surrounded by an electron cloud that represents probability plots of the location of the electron in a complex arrangement.

## ساختار اتمی

✓ در تمام اتم‌ها **به جز هیدروژن**، هسته اتم از پروتون‌های دارای بار مثبت و نوترون‌های خنثی تشکیل می‌شود.

✓ هسته هیدروژن دارای یک پروتون واحد است.

✓ عدد اتمی **(atomic number) (Z)**:

- تعداد پروتون‌های هسته
- برای هر عنصر منحصر به فرد است.
- هر یک از ۱۱۸ عنصر شناخته شده، دارای عدد اتمی مخصوص به خود است.

✓ جرم اتمی **(atomic mass)(A)**:

- تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته یک اتم

✓ نسبت نوترون‌هابه پروتون‌هاتعیین کننده ثبات هسته است و مبنای فروپاشی رادیواکتیو ( radioactive decay )می‌باشد.

## اوربیتال‌های الکترونی

✓ Electron Binding Energy: انرژی مورد نیاز برای غلبه بر نیرو الکتروستاتیک و جداکردن یک الکترون است.

✓ انرژی باندینگ الکترون با **عدد اتمی و نوع اوربیتال** ارتباط دارد:

- عناصر دارای عدد اتمی بزرگ ( Z بزرگ) پروتون بیشتری در هسته خود دارند و در نتیجه الکترون‌های موجود در هر اوربیتال را به شکل محکم‌تری نسبت به عناصر دارای ( Z) عدد اتمی کوچکتر متصل می‌کنند.
- در یک اتم، الکترون‌های موجود در اوربیتال‌های داخلی نسبت به اوربیتال‌های دورتر (خارجی‌تر) اتصال محکم‌تری دارند.

✓ انرژی باندینگ الکترون مفاهیم پایه‌ای برای درک یونیزاسیون که حین اکسپوز ماده با اشعه ایکس رخ می‌دهد، ایجاد می‌کند.

## یونیزاسیون

✓ زمانی که تعداد الکترون‌های یک اتم با تعداد پروتون‌های هسته آن برابر است، اتم به لحاظ الکتریکی خنثی است. اگر یک اتم خنثی یک الکترون از دست دهد، به یک یون مثبت تبدیل می‌شود و الکترون آزاد به یک یون منفی محسوب می‌شود.

✓ به منظور یونیزه کردن یک اتم، باید انرژی خارجی کافی برای غلبه بر نیروهای الکترواستاتیک و آزادسازی الکترون از هسته تامین شود.

✓ اشعه‌های **یونیزان** ( ionizing radiations ): **ذرات دارای انرژی بالا، اشعه ایکس و اشعه ماورا بنفش** ( UV ) که دارای انرژی کافی برای حرکت دادن الکترون‌ها از اوربیتال خود و یونیزه کردن اتم‌ها هستند.

✓ اشعه‌های **غیریونیزان** (nonionizing radiations): اشعه‌های **نور مرئی، مادون قرمز و مایکروویو و امواج رادیویی** انرژی کافی برای جدا کردن الکترون‌های متصل به اوربیتال را ندارند.

## ماهیت اشعه

✓ اشعه به معنای عبور انرژی در فضا و ماده است و به دو شکل رخ می‌دهد:

۱. الکترومغناطیسی ( electromagnetic ):

۲. ذره‌ای (particulate)

| Particle | Symbol | Elementary Charge[a] | Rest Mass (amu) |
|---|---|---|---|
| Alpha | $\alpha$ | +2 | 4.00154 |
| Beta[+] (positron) | $\beta^+$ | +1 | 0.000549 |
| Beta (electron) | $\beta^-$ | −1 | 0.000549 |
| Electron | $e^-$ | −1 | 0.000549 |
| Neutron | $n^0$ | 0 | 1.008665 |
| Proton | p | +1 | 1.007276 |

[a]Elementary charge of 1 equals that the charge of a proton or the opposite of an electron.

*amu*, Atomic mass units, where 1 amu = $\frac{1}{12}$ the mass of a neutral carbon-12 atom.

### کاربردهای عملی این اشعه‌هادر مراقبت‌های بهداشتی:

۱. تصویربرداری تشخیصی رادیوگرافی و توموگرافی کامپیوتری، از اشعه ایکس، نوعی از اشعه الکترومغناطیسی که دارای ماهیت یونیزان است استفاده می‌کند.

۲. تصویربرداری رزونانس مغناطیسی **(MRI)**، از اشعه‌های **الکترومغناطیسی** استفاده می‌کند که دارای انرژی بسیار پایین‌تری از اشعه ایکس است و انرژی‌های غیر یونیزان هستند.

۳. بعضی از رادیوداروها که در پزشکی هسته‌ای تشخیصی به کار می‌روند، از خود اشعه ذره‌ای ساطع می‌کنند. به عنوان مثال، **F-FDG** (فلورودئوکسی گلوکز متصل به فلورین) از خود پوزیترون ساطع می‌کند، که یک مرحله مهم در تصویربرداری **PET** (positron emission tomography) می‌باشد.

۴. اشعه‌های الکترومغناطیسی پر انرژی **(اشعه گاما، Y)** و تشعشعات ذره‌های پر انرژی **(اشعه‌های الکترونی و پروتون‌ها)** در درمان **سرطان** به کار می‌روند.

## اشعه الکترومغناطیسی

✓ اشعه الکترومغناطیسی، به معنای حرکت انرژی در فضا به شکل ترکیبی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است.

✓ زمانی تولید می‌شود که سرعت یک ذره با بار الکتریکی تغییر کند.

✓ اشعه گاما، اشعه ایکس، اشعه ماورا بنفش، نور مرئی، اشعه مادون قرمز (گرما)، مایکروویو و امواج رادیویی نمونه‌هایی از اشعه الکترومغناطیسی هستند.

✓ اشعه گاما:

- از **هسته اتم‌های رادیواکتیو** نشات می‌گیرد.
- معمولا دارای انرژی بیشتری نسبت به اشعه ایکس هستند.

✓ اشعه ایکس:

- **بیرون از هسته تولید** می‌شوند.
- حاصل تداخل الکترون‌هابا هسته‌های اتمی بزرگ (مانند چیزی که در دستگاه‌های اشعه ایکس رخ می‌دهد)

✓ **انواع پرانرژی اشعه‌های موجود در طیف الکترومغناطیسی- اشعه ماورا بنفش، اشعه ایکس و اشعه گاما- می‌توانند ماده را یونیزه کنند.**

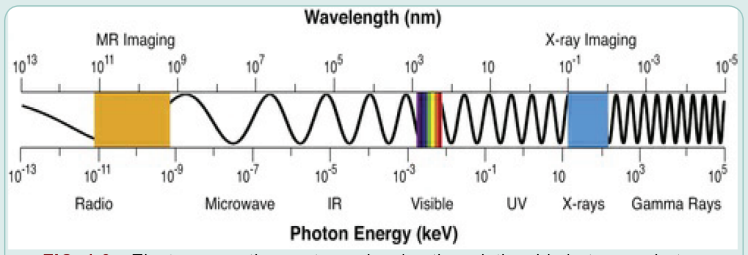



**FIG. 1.2** Electromagnetic spectrum showing the relationship between photon wavelength and energy and the physical properties of various portions of the spectrum. Photons with shorter wavelengths have higher energy. Photons used in dental radiography *(blue)* have energies of 10 to 120 keV. Magnetic resonance *(MR)* imaging uses radio waves *(orange)*. *IR*, Infrared radiation; *UV*, ultraviolet radiation.

**نکته**

**ترتیبِ انرژی از بیشترین به کمترین (توجه:فوتون‌های با طول موج کوتاه‌تر دارای انرژی بیشتری می‌باشند(انرژی و طول موج نسبت عکس دارند)):**

**گاما > اشعه x > ماوراء بنفش(UV) > نور مرئی > گرما یا مادون قرمز(IR) - ماکروویو- امواج رادیویی(MRI)**

✓ انرژی فوتون‌های رادیوگرافی دندانی از ۱۰ تا ۱۲۰ کیلوالکترون ولت می‌باشد.

✓ تصویربرداری MRI با امواج رادیویی انجام می‌شود.

✓ بعضی از ویژگی‌های اشعه الکترومغناطیسی با تئوری کوانتوم ( quantum theory ) و برخی دیگر به شکل تئوری موجی (wave theory) توضیح داده می‌شوند:

- **تئوری کوانتوم:**
- تابش الکترومغناطیسی را به عنوان بسته‌های مجزای کوچک انرژی در نظر می‌گیرد که "**فوتون**" نامیده می‌شوند.
- فوتون‌هابا سرعت نور حرکت می‌کنند.
- فوتون‌هادارای مقدار مشخصی از انرژی هستند که با واحد **الکترون ولت (eV)** نشان داده می‌شود.
- کدام ویژگی‌هارا توجیه می‌کند:
- داده‌های تجربی (آزمایشگاهی)مرتبط باتداخل **(interaction)**اشعه‌با اتم‌ها
- اثر فوتوالکتریک

- تولید اشعه ایکس

- **تئوری موجی:**

- اشعه به شکل موج، شبیه امواج حاصل از بر هم خوردن آب منتشر می‌شود.

- امواج از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده‌اند که در صفحه‌هایی با زاویه قائم نسبت به هم قرار گرفته‌اند و به صورت عمود بر جهت حرکت در نوسان هستند.

- همه امواج الکترومغناطیسی **در خلا** با سرعت نور **($c=3\times10^8 ms$)** حرکت می‌کنند.

- امواج با توجه به **طول موج** ($\lambda$ بر حسب **متر**) و فرکانس (دور در ثانیه ،هرتز ،$\nu$) توصیف می‌شوند.

- **برای بررسی رادیاسیون در جسم، زمانی که میلیون‌ها کوانتوم آزمایش می‌شوند، مفیدتر است.**

- کدام ویژگی‌ها را توجیه می‌کند:

- شکست (refraction)

- انعکاس (reflection)

- انکسار (diffraction)

- تداخل **(interference)**

- پلاریزاسیون (polarization)

**Relationship Between Energy ($E$) and Wavelength ($\lambda$) of Electromagnetic Radiation**

| | |
|---|---|
| $E = h \times \frac{c}{\lambda}$<br>simplified as<br>$E = \frac{1.24}{\lambda}$<br>$E \propto \frac{1}{\lambda}$ | $E$ is energy (kiloelectron volts, keV)<br>$h$ is the Planck constant ($6.626 \times 10^{-34}$ joule-seconds or $4.13 \times 10^{-15}$ eV-s)<br>$c$ is the velocity of light = $3 \times 10^8$ m/s<br>$\lambda$ is wavelength (nanometers, nm) |

Key point: **Inverse relationship between energy and wavelength of an electromagnetic radiation**

✓ **تعریف فتون یا انرژی:**

- **بالا (x و گاما) ← انرژی (ev)**
- **متوسط (U.V و نور مرئی) ← طول موج (nm)**
- **پایین (امواج رادیویی FM و AM) ← فرکانس (MHZ و KHZ) (مگا و کیلوهرتز)**

**تئوری کوانتوم برای تشریح کدام گزینه مناسب‌تر است؟ (ورودی ۱۴۰۰)**

الف) پراکندگی کمپتون　　ب) جذب فوتوالکتریک

ج) پراکندگی کوهرنت　　د) پلاریزاسیون

یادداشت: .....

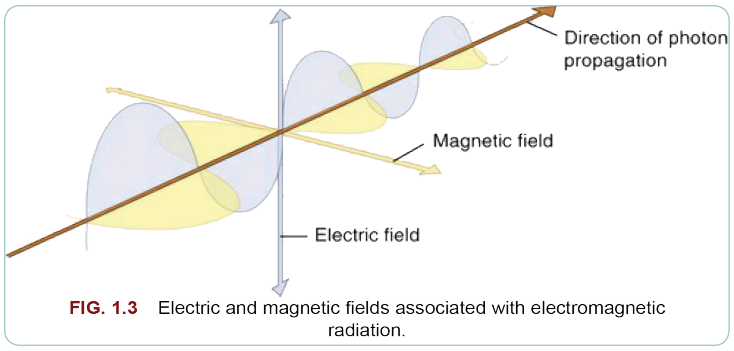



**FIG. 1.3** Electric and magnetic fields associated with electromagnetic radiation.

## رادیاسیون ذره ای

✓ اتم‌های کوچک تقریبا دارای تعداد مساوی پروتون و نوترون هستند، در حالی که اتم‌های بزرگتر نوترون‌های بیشتری نسبت به پروتون دارند. اتم‌های بزرگتر به دلیل توزیع نابرابر پروتون‌ها و نوترون‌ها ناپایدار هستند و ممکن است تجزیه شوند و ذرات α (آلفا) یا β (بتا) یا اشعه γ (گاما) آزاد کنند. این فرآیند، **"رادیواکتیویته"** نامیده می‌شود. وقتی یک اتم رادیواکتیو ذره آلفا یا بتا آزاد می‌کند، اتم به عنصر دیگری تبدیل می‌شود (ماهیت اتم عوض می‌شود). یک نوع دیگر رادیواکتیویته، فروپاشی گاما (γ decay) است که در آن اشعه گاما به عنوان بخشی از یک زنجیره فروپاشی که در آن هسته از یک حالت برانگیخته به حالت پایه با سطح پایین‌تر تبدیل می‌شود تولید می‌گردد. این عمل معمولا **پس از آزادسازی ذره آلفا یا بتا** توسط هسته یا پس از **شکستن (fission)** یا **همجوشی (fusion)** هسته‌ای رخ می‌دهد.

✓ یک اتم ناپایدار با پروتون اضافی ممکن است با تبدیل پروتون به:

- یک نوترون + ذره بتای مثبت (β+) (پوزیترون) + یک نوترینو دچار فروپاشی می‌شود.
- **پوزیترون** سریعا در اثر ترکیب با الکترون (annihilate) خنثی می‌شود و **دو اشعه گاما** را ایجاد می‌کند و این واکنش، مبنای تصویربرداری **PET** است.

✓ یک اتم ناپایدار با نوترون اضافی ممکن است با تبدیل نوترون به:

- یک پروتون + ذره بتای منفی (β-) + یک نوترینو دچار فروپاشی شود.

- ذرات β- ←
  - **مشابه الکترون** هستند.
  - با سرعت بالا می‌توانند تا **۱/۵ سانتیمتر** در بافت نفوذ کنند.
  - ذرات -β حاصل از **ید رادیواکتیو - ۱۳۱** برای درمان
  - بعضی از **سرطان‌های تیروئید** به کار می‌روند.

- ذرات آلفا (α) ←
  - هسته **هلیوم** هستند که از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند.
  - **از فروپاشی رادیواکتیو بسیاری از عناصر دارای عدد اتمی بزرگ ایجاد می‌شود**
  - به دلیل داشتن **دو بار مثبت** و **جرم سنگین** خود، ماده‌ای را که از آن‌ها عبور می‌کنند **به شدت یونیزه** می‌کنند.
  - فقط **چند میکرومتر** در بافت بدن نفوذ می‌کنند **(LET بالا)** و این دامنه محدود موجب استفاده از ساطع کننده‌های آلفا مانند **رادیوم - ۲۲۳** در پرتودرمانی هدفمند برای **متاستازهای استخوان** شده است.

یادداشت: .....

✓ توانایی تشعشعات ذره‌ای برای یونیزه کردن اتم‌ها به جرم (مستقیم)، سرعت (معکوس) و بار (مستقیم) آن‌ها بستگی دارد.

✓ **انتقال انرژی خطی (linear energy transfer):** سرعت از دست دادن انرژی یک ذره هنگامیکه در امتداد مسیر خود از میان ماده (بافت) عبور می‌کند.

✓ هرچه اندازه فیزیکی ذره بزرگتر، بار آن بیشتر و سرعتش کمتر باشد، LET آن بزرگتر است.

✓ ذرات α جرم بیشتری در مقایسه با الکترون دارند، بار بیشتر و سرعت کمتری داشته، به شدت یونیزان هستند، انرژی جنبشی خود را سریعا از دست می‌دهند و LET بالایی دارند.

✓ ذرات β- به دلیل جرم سبکتر و بار کمتر خود دارای شدت یونیزاسیون کمتری هستند و LET کمتری دارند.

✓ اشعه‌های دارای LET بالا، یونیزاسیون خود را در یک مسیر کوتاه متمرکز می‌کنند (α)، در حالی که اشعه‌های دارای LET کم باعث ایجاد جفت یون‌های بسیار پراکنده‌تری در طول یک مسیر طولانی‌تر می‌شوند (β-).

**استحاله رادیواکتیو در اثر ساطع شدن کدام ذرات و تشعشعات حاصل می‌شود؟ (بورد ۸۵)**

الف) ذرات آلفا، بتا، تشعشع گاما

ب) الکترون، نوترون و تشعشعات گاما

ج) ذرات آلفا، تشعشع گاما نوترون

د) الکترون، آلفا و نوترون

**ذره دارای LET بالا دارای کدام یک از خصوصیات زیر است؟ (بورد ۸۵)**

الف) اندازه کوچکتر، سرعت بیشتر، بار بیشتر

ب) اندازه بزرگتر، سرعت کمتر، بار بیشتر

ج) اندازه بزرگتر، سرعت کمتر، بار کمتر

د) اندازه کوچکتر، سرعت بیشتر، بار کمتر

## دستگاه اشعه ایکس

✓ اجزای اصلی دستگاه اشعه ایکس شامل تیوب اشعه ایکس و منبع نیرو آن است که در داخل سر تیوب قرار دارد.

✓ یک ماده عایق الکتریکی، که اغلب روغن است، تیوب و ترانسفورمرها را در بر می‌گیرد.

✓ معمولا تیوب برای افزایش فاصله منبع از جسم (source-to-objectdistance) و به حداقل رساندن دیستورشن، در بخش خلفی سر تیوب قرار می‌گیرد.

یادداشت: .....

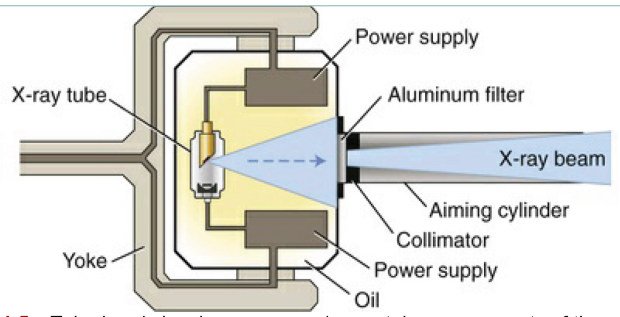



**FIG. 1.5** Tube head showing a recessed x-ray tube, components of the power supply, and oil that conducts heat away from the x-ray tube. Path of useful x-ray beam *(blue)* from the anode, through the glass wall of the x-ray tube, oil, and finally an aluminum filter. The beam size is restricted by the metal tube housing and collimator. Low-energy photons are preferentially removed by the aluminum filter.

ترجمه شکل: سر تیوب؛ که عقب قرار گرفتن تیوب اشعه ایکس، اجزای منبع نیرو و روغن عایق که گرما را از تیوب اشعه ایکس دور می‌کند را نشان می‌دهد. مسیر پرتواشعه ایکس مفید (آبی رنگ) از آند، از دیوار شیشه‌ای تیوب اشعه ایکس، روغن و در نهایت یک فیلتر آلومینیوم می‌گذرد. اندازه پرتو با محفظه فلزی تیوب ( metal tube housing ) و کولیماتورمحدود می‌شود. فوتون‌های کم انرژی به صورت ترجیحی توسط فیلتر آلومینیوم حذف می‌شوند.

## تیوب اشعه ایکس

✓ از یک کاتد و یک آند تشکیل شده است که در داخل یک پوشش یا تیوب شیشه‌ای خلا قرار دارد.

✓ به منظور تولید اشعه ایکس، الکترون‌هااز فیلامنت موجود در کاتد به سمت تارگت موجود در آند جریان می‌یابند و در آن جا انرژی تعدادی از الکترون‌هابه اشعه ایکس تبدیل می‌شود.

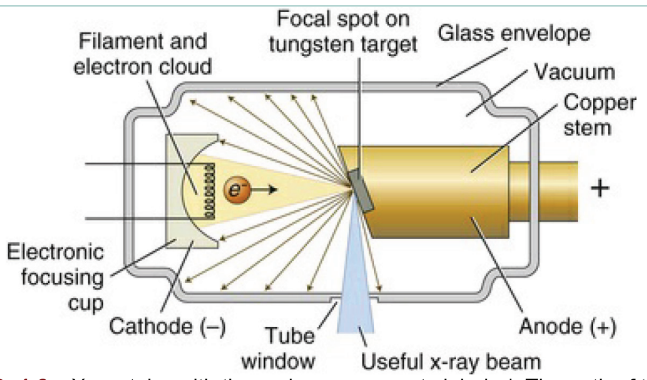



**FIG. 1.6** X-ray tube with the major components labeled. The path of the electron beam is shown in *yellow*. X-rays produced at the target travel in all directions. The useful x-ray beam is shown in *blue*.

شکل: اشعه ایکس تولید شده در تارگت در تمامی جهات حرکت می‌کند.

### کاتد

✓ از یک فیلامنت و یک کاپ متمرکزکننده (focusing cup) تشکیل شده است.

✓ فیلامنت:

- منبع الکترون‌هادر تیوب اشعه ایکس است.
- یک سیم پیچ (coil) از سیم تنگستن است که قطر آن تقریبا ۲ میلیمتر و طول آن یک سانتیمتر یا کمتر است.
- معمولا حاوی ۱٪ توریم ← افزایش آزاد شدن الکترون‌هااز سیم حرارت دیده
- توسط یک منبع ولتاژپایین تا حد برافروخته شدن گرم می‌شود و متناسب با میزان دمای فیلامنت، الکترون ساطع می‌کند.

✓ کاپ متمرکزکننده:

- فیلامنت در داخل آن قرار می‌گیرد.
- یک کاسه مقعر از جنس مولیبدن با بار منفی است.

● شکل سهمی (parabolic) ← به طور الکترواستاتیک الکترون‌های ساطع شده توسط فیلامنت را به صورت یک پرتو باریک، متمرکز می‌کند که به سمت یک ناحیه مستطیل شکل کوچک روی آند به نام نقطه کانونی (focal spot) هدایت می‌شود.

✓ الکترون‌هاهم توسط کاتد با بار منفی دفع می‌شوند و هم توسط آند با بارمثبت جذب می‌شوند، به سمت فوکال اسپات حرکت می‌کنند.

✓ شرایط **خلأ** داخل تیوب دو فایده دارد:

۱. سرعت بالای حرکت الکترون‌ها (از برخورد الکترون‌های سریع با ملکول‌های گاز که سرعت آن‌ها را کاهش می‌دهد جلوگیری شود)

۲. جلوگیری از سوختن (Burn out) و اکسیداسیون **فیلامنت**

**آند**

✓ شامل یک تارگت **تنگستن** است که **در یک میله مسی** جای گرفته است.

✓ هدف از به کار بردن تارگت در تیوب اشعه ایکس تبدیل انرژی جنبشی الکترون‌های برخوردی به فوتون‌های اشعه ایکس است.

✓ **تبدیل انرژی جنبشی الکترون‌هابه فوتون‌های اشعه ایکس یک فرآیند ناکارآمد است، زیرا بیش از ۹۹٪ از انرژی جنبشی الکترون‌هابه گرما تبدیل می‌شود.**

✓ **دلایل کاربرد تنگستن به عنوان ماده ایده‌آل در آند:**

۱. **عدد اتمی بالا** (۷۴)، امکان تولید کارآمد اشعه ایکس را فراهم می‌کند (کارایی تولید اشعه x با عدد اتمی تارگت متناسب است)

۲. **نقطه ذوب بالا** ( ۳۴۲۲ درجه سانتی‌گراد)، که موجب مقاومت در برابر گرمای تولید شده در طی فرآیند تولید اشعه ایکس می‌شود.

۳. **هدایت حرارتی بالا** ($173 W m^{-1} K^{-1}$)، که موجب پراکنده شدن گرمای تولید شده از تارگت می‌شود.

۴. **فشار بخار کم** در دمای کاری تیوب اشعه ایکس، که به حفظ خلاء در تیوب در دمای بالا کمک می‌کند.

✓ بلوک بزرگ مسی به عنوان یک هادی حرارتی برای حذف گرما از تنگستن عمل می‌کند وخطر ذوب شدن تارگت را کاهش می‌دهد.

✓ **نقطه کانونی (focal spot):**

● ناحیه‌ای در تارگت است که کاپ متمرکزکننده، الکترون‌ها را به سمت آن هدایت می‌کند و اشعه ایکس از آن تولید می‌شود.

● اندازه آن یک پارامتر مهم تکنیکی برای کیفیت تصویر به حساب می‌آید:

● مزیت فوکال اسپات کوچک‌تر ← تولید یک تصویر واضح‌تر (sharper)

● عامل محدودکننده فوکال اسپات کوچکتر ← تولید گرمای بیش از حد است.

● برای غلبه بر این محدودیت، دو حالت برای آند وجود دارد:

۵. stationary (آند ثابت)(زاویه‌دار): در این وضعیت، تارگت در یک زاویه‌ای نسبت به دسته الکترون قرار می‌گیرد .معمولا تارگت تقریبا ۲۰ درجه به سمت اشعه مرکزی پرتو ایکس متمایل می‌شود. هنگامی که از درون حلقه هدف‌گیری (aiming ring) نگاه می‌کنیم، ناحیه‌ای که فوتون‌های اشعه ایکس مفید از آن نشات می‌گیرند، کوچکتر به نظر می‌رسد و این مسئله سبب می‌شود که فوکال اسپات موثر ( effective focal spot) نسبت به اندازه فوکال اسپات واقعی (actual focal spot) کوچکتر باشد. این امرموجب می‌شود اشعه ایکس از یک ناحیه بزرگتر تولید شود که به نوبه خود باعث پخش بهتر گرما و در عین حال حفظ کیفیت تصویر توسط یک فوکال اسپات کوچک می‌شود. (۱×۱ mm EFS در مقابل ۱×۳ mm AFS)

نتیجه این فوکال اسپات موثر کوچکتر ایجاد یک منبع کوچک ظاهری (apparent) از اشعه ایکس و افزایش وضوح ( sharpness ) تصویر به همراه فوکال اسپات واقعی بزرگتر جهت بهبود پراکندگی گرما می‌باشد.

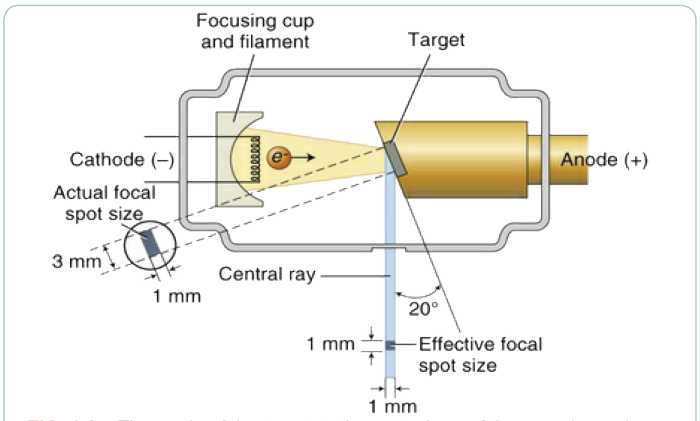



**FIG. 1.8** The angle of the target to the central ray of the x-ray beam has a strong influence on the apparent size of the focal spot. The projected effective

**ترجمه شکل: زاویه تارگت نسبت به اشعه ایکس مرکزی، تاثیر قابل توجهی بر اندازه ظاهری( apparent ) فوکال اسپات دارد. فوکال اسپات موثر (effective) پیش بینی شده که در زیرتارگت مشخص است، بسیار کوچکتر از اندازه فوکال اسپات واقعی (actual) نشان داده شده در سمت چپ است. این باعث ایجاد پرتویی می‌شود که دارای اندازه فوکال اسپات کوچک و موثر برای تولید تصاویر با وضوح (resolution) بالا است و در عین حال باعث می‌شود گرمای تولید شده در آند، در سطح بزرگتری پخش شود.**

۱. Rotating (آند دوار): در این وضعیت، تارگت تنگستن به صورت یک دیسک بول شده (beveled) است که در طول روند تولید اشعه ایکس می‌چرخد. در نتیجه این چرخش، الکترون‌هابه نواحی متوالی دیسک تارگت برخورد می‌کنند و گرما را بر روی ناحیه گسترده دیسک پخش می‌کنند. هرچند در همه زمان ها، پرتوهای ایکس از یک نقطه کوچک در تارگت تولید می‌شوند. تیوب‌های اشعه ایکس با آند دوار می‌توانند در اکسپوژرهای طولانی‌تر و جریان‌های تیوب بالاتر ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی آمپر به کار روند، که ۱۰ تا ۵۰ برابر بیشتر از مقداری است که با تارگت‌های ثابت امکانپذیر است. تارگت و روتور (آرمیچر) موتور داخل تیوب اشعه x قرار داشته و کویل‌های استاتور (که روتور را ۳۰۰ دور در دقیقه به حرکت درمی‌آورد) خارج از تیوب قرار گرفته است.

**نکته**

**آندهای دوار در دستگاه‌های اشعه ایکس دندانپزشکی داخل دهانی به کار نمی‌روند، اما گاهی (occasionally) در واحدهای سفالومتریک، معمولا(usually)دردستگاه‌های با دسته پرتو مخروطی ( CONE-BEAM)، و همیشه در دستگاه‌های اشعه ایکس توموگرافی کامپیوتری مولتی دتکتور MDCT که برای اکسپوژرهای طولانی‌تر و پایدار نیازمند اشعه خروجی زیاد هستند، استفاده می‌شوند.**

یادداشت: .....

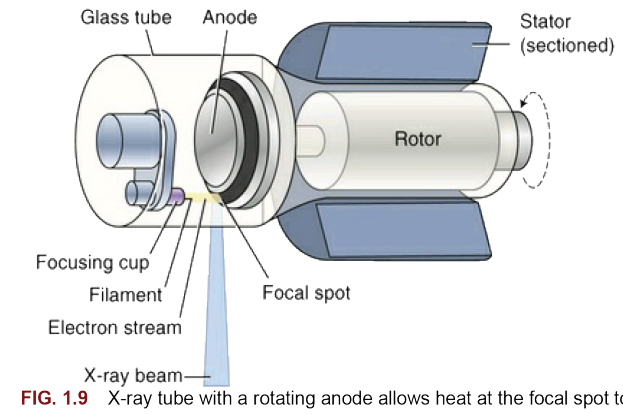



**FIG. 1.9** X-ray tube with a rotating anode allows heat at the focal spot to spread out over a large surface area *(dark band)*. Current applied to the stator induces rapid rotation of the rotor and the anode. The path of the electron beam is shown in *yellow*, and the useful x-ray beam is shown in *blue*.

### منبع نیرو

✓ تیوب اشعه ایکس و دو ترانسفورمر درون یک محفظه فلزی با اتصال زمینی قرار دارند که سر دستگاه اشعه ایکس نامیده می‌شود.

✓ کارکردهای اصلی ترانسفورمرهای منبع نیروی دستگاه اشعه ایکس:

- ایجاد یک جریان ولتاژ پایین برای گرم کردن فیلامنت تیوب اشعه ایکس (ترانسفورمر فیلامنت)
- ایجاد اختلاف پتانسیل بالا برای سریع کردن حرکت الکترون‌ها از کاتد به فوکال اسپات آند (ترانسفورمر ولتاژ بالا)

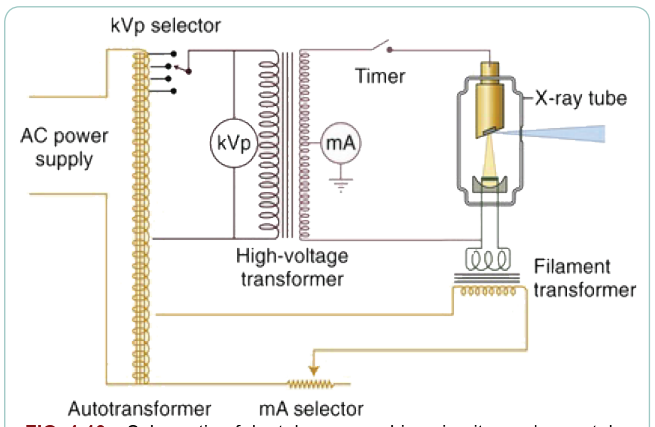



**FIG. 1.10** Schematic of dental x-ray machine circuitry and x-ray tube with the major components labeled. The operator selects the desired kVp from the autotransformer. The voltage is greatly increased by the high-voltage step-up transformer and applied to the x-ray tube. The kVp dial measures the voltage on the low-voltage side of the transformer but is scaled to display the corresponding voltage in the tube circuit. The timer closes the tube circuit for the desired exposure time interval. The mA dial measures the current flowing through the tube circuit. The filament circuit heats the cathode filament and is regulated by the mA selector. *AC*, Alternate current.

**نکته**

**زیرنویس شکل ۱۰-۱:**

**۱- اپراتور KVP مطلوب را از اتوترانسفورمر انتخاب می‌کند**

**۲- ولتاژ توسط ترانسفورمر افزاینده به‌شدت افزایش می‌یابد و به تیوب اشعه X اعمال می‌شود.**

**۳- اندازه‌گیر ولتاژ (KVP dial) ولتاژ را در سمت ولتاژ پایین ترانسفورمر اندازه‌گیری می‌کند ولی ولتاژ اصلی مدار تیوب را نشان می‌دهد.**

**۴- محاسبه‌گر میلی‌آمپر (mA dial) میزان شدت جریان جاری در مدار را اندازه می‌گیرد. مدار فیلامان کاتد را گرم کرده و به‌وسیله mA selector تنظیم می‌شود.**

**در مدار دستگاه مولد اشعه x، تنظیم واقعی ولتاژ بر عهده کیست؟ (ورودی ۹۷)**

الف) منبع نیرو　　ب) ترانسفورمر ولتاژ بالا

ج) اتوترانسفورمر　　د) ترانسفورمر ولتاژ پایین

**کدام جز دستگاه پرتو ایکس در سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورمر افزاینده قرار دارد؟ (بورد۸۶)**

الف) Ammeter　　ب) MA switch

ج) **volt-meter**　　د) timer

### کنترل‌های تیوب اشعه ایکس

- جریان تیوب (میلی آمپر) (mA)

✓ جریان الکترون از کاتد به آند، باعث ایجاد یک جریان در تیوب اشعه ایکس می‌شود که جریان تیوب (tube current) نامیده می‌شود.

✓ بزرگی (magnitude) این جریان توسط کنترل میلی آمپر **(milliampere control) ( mA selector)** تنظیم می‌شود.

✓ mA selector ← کنترل و تنظیم مقاومت و جریان در فیلامنت و تعداد الکترون‌های تولید شده

✓ برای بسیاری از دستگاه‌های اشعه ایکس داخل دهانی دندانپزشکی، تنظیمات mA ثابت است و معمولا بین ۷ تا ۱۰ میلی‌آمپر است. بعضی دیگر بین ۲ تا ۱۰ میلی‌آمپر تنظیم می‌شوند (توجه کنید این جریان با جریان فیلامنت متفاوت است که برای گرم کردن استفاده می‌شود و میزان بالاتری هم دارد (تحت تأثیر جریان تیوب است).(جریان تیوب توسط میلی آمتر ( milliammeter ) اندازه‌گیری می‌شود.)

- ولتاژ تیوب (کیلو ولت) kV

✓ برای آن که الکترون‌ها انرژی کافی برای تولید اشعه ایکس را داشته باشند، نیاز به یک ولتاژ بالا بین آند و کاتد است.

✓ **(kVp) selector** برای تقویت حداکثر ولتاژ جریان ورودی، ترانسفورمر ولتاژ بالا را تنظیم می‌کند ( ۱۱۰ یا ۲۲۰ ولت).

✓ محدوده عملکرد دستگاه‌ها:

- داخل‌دهانی، پانورامیک‌وسفالومتریک: بین **KvP50-90 (۵۰۰۰۰تا۹۰۰۰۰ولت)**

یادداشت: .....

● دستگاه‌های توموگرافی کامپیوتری CT : ( KvP ) ۹۰-۱۲۰ و بالاتر

● ژنراتورهای اشعه ایکس جریان متناوب
(Alternating current x-Ray Generator):

✓ برای یک خط ورودی با جریان متناوب ( AC )، قطبیت ( polarity ) خط جریان به صورت ۶۰ سیکل در ثانیه و قطبیت تیوب اشعه ایکس نیز در همان فرکانس تغییر می‌کند.

✓ زمانی که قطبیت ولتاژ اعمال شده بر تیوب موجب مثبت شدن تارگت آند و منفی شدن فیلامنت می‌شود، الکترون‌های اطراف فیلامنت به سمت تارگت مثبت شتاب می‌گیرند و اشعه ایکس تولید می‌شود.

✓ زمانی که ولتاژ در سراسر کاتد و آند در بالاترین حد باشد، بازده تولید اشعه ایکس نیز در بالاترین حد خواهد بود و در نتیجه شدت ( intensity ) پالس‌های اشعه ایکس در مرکز هر سیکل به حداکثر می‌رسد.

✓ در طول نیمه بعدی (یا نیمه منفی)، فیلامنت مثبت و تارگت منفی می‌شود در این شرایط، الکترون‌هادر فضای بین دو قسمت تیوب جریان ندارند و اشعه ایکس تولید نمی‌شود.

✓ زمانی که یک تیوب اشعه ایکس با ۶۰ سیکل جریان متناوب ( AC ) تغذیه می‌شود، ۶۰ پالس اشعه ایکس در هر ثانیه تولید می‌شود که مدت هر کدام از آن‌ها ۱/۱۲۰ ثانیه است. در نتیجه، در صورت استفاده از منبع نیرو با جریان متناوب ( AC )، تولید اشعه ایکس به یک نیمه از سیکل AC محدود می‌شود. این دستگاه‌های اشعه ایکس، خودیکسوشونده (self-rectified) یا یکسو شونده نیم موج ( half-wave rectified ) نامیده می‌شوند.

✓ بسیاری ازدستگاه‌های اشعه‌ایکس‌دندانپزشکی‌معمول‌خودیکسوشونده‌هستند.

**در دستگاه‌های رادیوگرافی خودیک سو شونده نیم موج که زمان هرپالس ۱/۱۲۰ ثانیه است.در هر ثانیه چند پالس اشعه ایکس تولید می‌شود؟ (ارتقا۹۷)**

الف) ۳۰ ب) ۶۰ ج) ۱۲۰ د) ۲۴۰

● ژنراتورهای اشعه ایکس پتانسیل ثابت (جریان مستقیم):

✓ از یک منبع نیرو با فرکانس بالا ( high-frequency ) ( به جای منبع نیرو متداول یکسو شونده نیم موج ۶۰ سیکل AC) استفاده می‌کنند که یک جریان تقریبا مستقیم ایجاد می‌کند ← تولید پتانسیل ثابت حقیقی بین آند و کاتد

✓ **اشعه ایکس در طول تمام سیکل تولید می‌شود.**

✓ ولتاژ تقریبا ثابت،موجب تولید اشعه ایکس با **طیف باریک** انرژی می‌شود و **متوسط انرژی** پرتو اشعه ایکس تولید شده توسط این دستگاه‌ها، **بالاتر** از میانگین انرژی حاصل از یک دستگاه یکسو شونده نیم موج معمولی است که با ولتاژ مشابه کار می‌کند.

✓ ۴ پیامد مهم D.C:

۱. در kVp یکسان، پرتو اشعه ایکس تولید شده توسط دستگاه‌های پتانسیل ثابت، انرژی متوسط بیشتری دارد که باعث **کاهش کنتراست** تصویر رادیوگرافی می‌شود. برای جبران این اثر، دستگاه‌های اشعه ایکس پتانسیل ثابت اغلب با **kVp کمی پایین‌تر**، (معمولا بین ۶۰ تا ۶۵kVp) کار می‌کنند.

۲. هرچه طیف انرژی باریک‌تر باشد، با کاهش فوتون‌های کم انرژی **دوز تابش بیمار** در مقایسه با ژنراتورهای معمول اشعه ایکس AC ، بین **۳۵ تا ۴۰ درصد کاهش** می‌یابد.

۳. تولید اشعه ایکس در کل سیکل ولتاژ رخ می‌دهد بنابراین دستگاه‌های پتانسیل ثابت برای تولید تعداد فوتون‌های اشعه ایکس مشابه، نیازمند به **زمان‌های اکسپوژر کوتاه‌تری** هستند و **حرکت بیمار** در حین رادیوگرافی را به حداقل می‌رساند.

۴. **شدت فوتون‌های** اشعه ایکس تولید شده، به خصوص با کوتاه‌تر شدن زمان اکسپوژر، **همسان‌تر** (consistent ) و مطمئن‌تر است. این موضوع در گیرنده‌های دیجیتالی که نیاز به تابش کمتری دارند، حائز اهمیت است.

یادداشت:

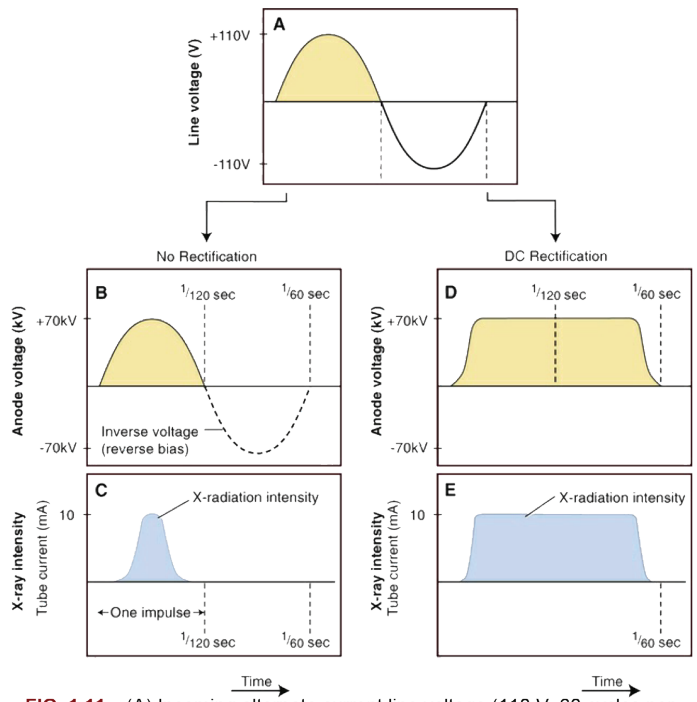



FIG. 1.11 (A) Incoming alternate current line voltage (110 V, 60 cycles per second in this case). (B) Voltage at the anode varies from zero up to the kVp setting (70 kVp in this case). (C) The intensity of radiation produced at the anode *(blue)* is strongly dependent on the anode voltage and is highest when the tube voltage is at its peak. (D) Incoming constant potential (110 V in this case) that is maintained through the operation cycle. (E) Voltage at the anode varies from zero up to the kVp setting (70 kVp in this case). Note that the increase and decrease of the potential difference at the start and end of the cycle is rapid. The intensity of radiation produced at the anode *(blue)* is higher with considerably less heterogeneity of photon energy. (Modified from Johns HE, Cunningham JR. *The Physics of Radiology*. 3rd ed. Springfield, IL: Charles C Thomas; 1974.)

ترجمه: الف) ولتاژ جریان متناوب ورودی(۱۱۰ ولت، ۶۰ سیکل در ثانیه در این مورد). ب) ولتاژ در آند بین ۰ تا میزان kVp تنظیم شده ) (در این مورد ۷۰ )متغیر است. پ) شدت اشعه تولید شده در آند شدیدا به ولتاژ آند وابسته است و زمانی به بالاترین حد می‌رسد که ولتاژ تیوب حداکثر باشد. ت) پتانسیل ثابت ورودی (در این مورد ۱۱۰ ولت )که در طول سیکل حفظ می‌شود. ث) ولتاژ در آند بین ۰ تا kVp تنظیم شده (در این مورد ۷۰ )متغیر است. ج) توجه داشته باشید که افزایش و کاهش اختلاف پتانسیل در آغاز و پایان سیکل سریع است. شدت رادیاسیون تولید شده در آند بالاتر است و انرژی فوتون به طرز قابل توجهی ناهمگنی (heterogeneity) کمتری دارد.

**متوسط انرژی دسته پرتو x و میزان دوز دریافتی بیمار در دستگاه‌های رادیو گرافی با فرکانس بالا نسبت به دستگاه‌های معمول در یک ولتاژ ثابت به ترتیب چگونه است؟ (ورودی ۹۵)**

الف) بالاتر، کمتر　　ب) پایین‌تر، بیشتر

ج) بالاتر، بیشتر　　د) پایین‌تر، کمتر

● تایمر

✓ تایمر الکترونیکی مدت زمانی را که **ولتاژ بالا** به تیوب وارد می‌شود و در نتیجه مدت زمان تولید اشعه ایکس را کنترل می‌کند. اگرچه، قبل از وارد کردن ولتاژ بالا به تیوب، فیلامنت باید به دمای عملکرد برسد تا از میزان انتشار الکترون کافی اطمینان حاصل شود.

✓ قرار دادن فیلامنت در معرض گرمایش دائم در جریان عملکرد عادی، باعث کاهش عمر آن می‌شود. برای به حداقل رساندن آسیب به فیلامنت، مدار تنظیم زمان ابتدا یک جریان را از طریق فیلامنت به مدت تقریبی نیم ثانیه ارسال می‌کند تا آن را به دمای عملکرد مناسب برساند و سپس نیرو را به مدار ولتاژ بالا وارد می‌کند. در بعضی از طرح‌های مدار، جریان اندک مداوم که از فیلامنت عبور می‌کند، آن را در دمای پایین و ایمن نگه می‌دارد و تاخیر ناشی از گرم کردن اولیه ( preheat) فیلامانت را کاهش می‌دهد. به همین دلیل، دستگاه اشعه ایکس می‌تواند در طول ساعات کارکرد به طور مداوم روشن بماند.

✓ در برخی ماشین‌های اشعه x، تایمر زمانی به اندازه **کسری از ثانیه** را نشان می‌دهد. برای نواحی مختلف آناتومیک دو فک زمان‌هایی از پیش در نظر گرفته شده است. در برخی یونیت‌ها، زمان اکسپوژر به‌صورت **تعداد پالس** (مثلاً ۳، ۶، ۹، ۱۵) در نظر گرفته می‌شود. برای به‌دست‌آوردن مدت هر تابش، پالس (Pulse) (فرکانس منبع نیرو) تقسیم بر ۶۰ می‌شود؛ مثلاً اگر ۳۰ پالس باشد، هر اکسپوژر ۰/۵ ثانیه طول می‌کشد.

زمان هر اکسپوژر برحسب ثانیه: تعداد پالس تقسیم بر ۶۰

✓ **تایمر در سمت سیم پیچ ثانویه ترانسفورمر ولتاژ بالا قرار دارد.**

**نکته**

**Box ۱-۲:**

**اگر تنظیم mA قابل تغییر باشد کاربر باید mA را در بیشترین حالت در دسترس قرار دهد این کار اجازه کم‌ترین زمان تابش را می‌دهد و احتمال حرکت بیمار کم می‌شود.**

**اگر در رادیوگرافی داخل دهانی ولتاژ قابل تغییر باشد معمولاً KvP ۷۰-۶۰ انتخاب می‌شود و تنظیمات اکسپوژر بر اساس مکان آناتومیک تصویربرداری و سایز بیمار با تغییر زمان اکسپوژر انجام خواهد شد.**

**تنظیمات KvP اغلب برای جبران ضخامت بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد مخصوصاً در پانورامیک و سفالومتری تنظیمات به اندازه ۲ mc/pVk از ضخامت بافت متغیر است.**

**چنانچه ضخامت بافت بیماری در رادیوگرافی پانورامیک ۴ سانتی‌متر افزایش یابد جهت انجام رادیوگرافی با کیفیت مناسب به چه میزان فاکتورهای تابشی افزایش یابد؟ (بورد ۹۹)**

الف) ۴ واحد کیلوولتاژ　　ب) ۸ واحد کیلوولتاژ

ج) ۴ واحد میلی آمپر　　د) ۸ واحد میلی آمپر

یادداشت:

## توان تیوب ( Tube Rating )و چرخه کار ( Duty Cycle )

✓ گرما تولید شده در آند با واحد گرما ( heat units)(HU) اندازه‌گیری می‌شود **(kVp × mA × seconds)** ظرفیت ذخیره گرما (heat storage capacity ) برای آندهای تیوب‌های تشخیصی دندانپزشکی در حدود 20 kHu است. گرما از طریق **رسانایی( conduction )** به سمت آند مسی و سپس به روغن احاطه کننده و پوشش تیوب و از طریق **همرفتی (convection)** از تارگت خارج و به اتمسفر دفع می‌شود.

✓ tube rating: طولانی‌ترین زمان اکسپوژری که تیوب می‌تواند در دامنه‌ای از مقادیر ولتاژ ( KvP ) و جریان تیوب ( mA ) بدون آسیب ناشی از گرمای بیش از حد به تارگت عمل کند. توان تیوب در شرایط اکسپوژر داخل دهانی محدودیت ایجاد نمی‌کند.

✓ Duty Cycle:

- تعداد اکسپوژرهای متوالی که بدون گرم شدن بیش از حد آند می‌توان انجام داد.
- فاصله بین اکسپوژرهای متوالی باید برای پراکنده شدن گرما به اندازه کافی طولانی باشد.
- **این ویژگی تابعی از سایز آند، kVp mA اکسپوژر و تکنیک مورد استفاده برای خنک‌سازی تیوب است.**
- چرخه کار ۱:۶۰ به این معناست که فرد می‌تواند در هر ۶۰ ثانیه یک اکسپوژر داشته باشد.

**Duty Cycleدر تیوب اشعه ایکس به کدام عامل بستگی دارد؟ (بورد ۹۴)**

الف) فرکانس برق مورد استفاده　　ب) مقدار دور سیم پیچ فیلامنت

ج) ابعاد آند　　د) ضخامت فیلامنت

## تولید اشعه ایکس

✓ بیشتر الکترون‌های پرسرعت که از فیلامنت به سمت تارگت در حرکت هستند، با الکترون‌های تارگت تداخل می‌کنند و انرژی خود را به صورت گرما آزاد می‌کنند.

✓ انرژی جنبشی برخی از الکترون‌ها از طریق تشکیل اشعه برمزاشترالانگ و اشعه اختصاصی به فوتون‌های اشعه x تبدیل می‌شود.

### اشعه برمزاشترالانگ(Bremsstrahlung)(اشعه ترمزی)

✓ این فوتون ها منبع اولیه رادیاسیون تیوب اشعه x هستند.

✓ فوتون‌ها با توقف یا کم شدن سرعت **ناگهانی الکترون‌های پرسرعت** توسط هسته تنگستن در تارگت تولید می‌شوند:

- **بیشتر** الکترون‌های پرسرعت از فواصل دور یا نزدیک از کنار هسته تنگستن عبور می‌کنند.
- هرچه الکترون پرسرعت به هسته نزدیکتر شود، **جاذبه الکترواستاتیک** بین هسته و الکترون بیشتر می‌شود و فوتون‌های برمزاشترالانگ حاصل، انرژی بیشتری خواهند داشت.
- انرژی تولیدی با فاصله الکترون از هسته، نسبت عکس دارد.
- کارایی تولید این اشعه با **مجذور عدد اتمی($Z^2$)** تارگت متناسب است ← فلزات دارای عدد اتمی ( Z ) بالا در منحرف کردن مسیر الکترون‌های برخوردی موثرتر عمل می‌کنند و به همین دلیل تنگستن ( Z = ۷۴ ) به عنوان ماده تارگت انتخاب می‌شود.
- **گاهی**، الکترون‌هامستقیما به هسته یک اتم تارگت برخورد می‌کنند ←**تمام انرژی** جنبشی الکترون به یک فوتون اشعه ایکس **منفرد** تبدیل می‌شود ← انرژی فوتون تولید شده، (برحسب keV )با انرژی آن الکترون برابر است (که این همان ولتاژ وارد شده به دوسر تیوب اشعه ایکس در آن لحظه است).
- تولید فوتون‌های اشعه ایکس با **طیف انرژی پیوسته ( continuous )** تا حداکثر ولتاژ دستگاه(kev 70)

✓ دلایل این طیف پیوسته عبارتند از:

۱. **اختلاف ولتاژ دائما متغیر** بین تارگت و فیلامنت منجر می‌شود الکترون‌هایی که به تارگت برخورد می‌کنند، دارای سطوح انرژی جنبشی مختلفی باشند.

۲. الکترون‌های بمباران کننده با **فاصله‌های مختلفی** از هسته تنگستن عبور می‌کنند و در نتیجه به میزان مختلفی منحرف می‌شوند. بنابراین، این الکترون‌ها مقادیر متفاوتی از انرژی را به صورت فوتون‌های برمزاشترالانگ از دست می‌دهند.

۳. اکثر الکترون‌هاقبل از اینکه تمام انرژی جنبشی خود را از دست دهند، در **چندین تداخل** برمزاشترالانگ در تارگت شرکت می‌کنند. به همین دلیل یک الکترون پس از تداخلات متوالی با هسته تنگستن، مقادیر مختلفی از انرژی را حمل می‌کند.

- انرژی یک پرتو اشعه ایکس اغلب با حداکثر ولتاژ به کار رفته (برحسب kVp ) بیان می‌شود.

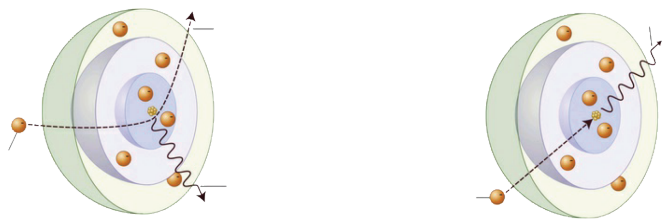


FIG. 1.12 Bremsstrahlung radiation is produced most often by the passage of an electron near a nucleus, which results in electrons being deflected and decelerated (A) or, less frequently, by the direct hit of an electron on a nucleus in the target (B). For the sake of clarity, this diagram and other similar figures in this chapter show only the 1s, 2s, or 3s orbitals.

**در تولید اشعه x، افزایش کدام فاکتور سبب کاهش شدت پرتو ترمزی می‌شود؟ (ورودی ۹۷)**

الف) زمان تابش　　ب) پیک کیلوولتاژ

ج) عدد اتمی ماده هدف　　د) فیلتراسیون

یادداشت:

## اشعه اختصاصی (CHARACTERISTIC)

✓ تنها بخش کوچکی از فوتون‌هادر پرتو اشعه ایکس را تشکیل می‌دهد.

✓ زمانی ایجاد می‌شود که یک الکترون برخوردی، الکترون داخلی را از اتم تنگستن خارج کند ← یک الکترون از یک اوربیتال خارجی سریعا به سمت فضای خالی (void) موجود در اوربیتال داخلی جذب می‌شود ← یک فوتون با انرژی معادل اختلاف انرژی‌های باندینگ دو اوربیتال ساطع می‌شود.

✓ انرژی فوتون‌های اختصاصی **گسسته (discrete)** است، چراکه نشان دهنده اختلاف سطح انرژی اوربیتال‌های الکترون خاص بوده و از **ویژگی‌های اتم‌های تارگت** است.

✓ **تولید اشعه اختصاصی در رادیوگرافی دندانپزشکی کاربرد عملی ندارد.**

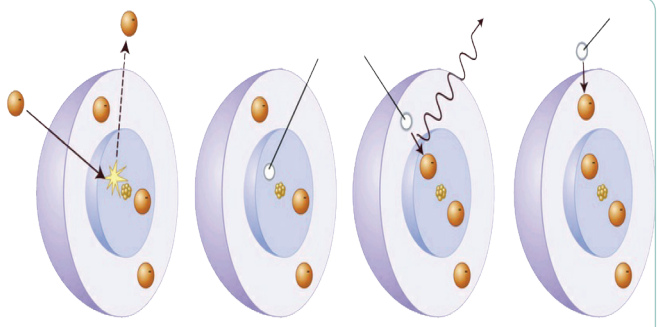


**FIG. 1.14** Production of characteristic radiation. An incident electron (A) ejects an electron from an inner orbital creating an electron vacancy (B). (C) An electron from an outer orbital fills this vacancy, and a photon is emitted with energy equal to the difference in energy levels between the two orbitals. (D) Electrons from various orbitals may be involved, giving rise to other characteristic photons. The energies of the photons released are characteristic of the energy transitions for the target atom.

## فاکتورهای کنترل کننده پرتو اشعه ایکس

✓ شامل: ۱. زمان اکسپوژر، ۲. میلی‌آمپر، ۳. KVP. ۴.فیلتراسیون، ۵. کولیماسیون، ۶. فاصله از فوکال اسپات

✓ کمیت: تعداد فوتون‌های تولیدی (Quantity یا Beam intensity)

✓ کیفیت: انرژی متوسط فوتون‌ها (Beam quality)

## زمان اکسپوژر

✓ به شکل کسری از ثانیه مشخص می‌شود.

✓ هنگامی که مدت اکسپوژر دو برابر می‌شود:

- تعداد فوتون‌های تولید شده در تمام انرژی‌های موجود در طیف اشعه ایکس دو برابر می‌شود (نسبت مستقیم)(نمودار بالا می‌رود)( کمیت ↑)
- دامنه انرژی‌های فوتون تغییر نمی‌کند.

✓ بهتر است زمان اکسپوژر در **کمترین** حد ممکن باشد تا تاری(blurring) حاصل از حرکت بیمار به حداقل برسد.

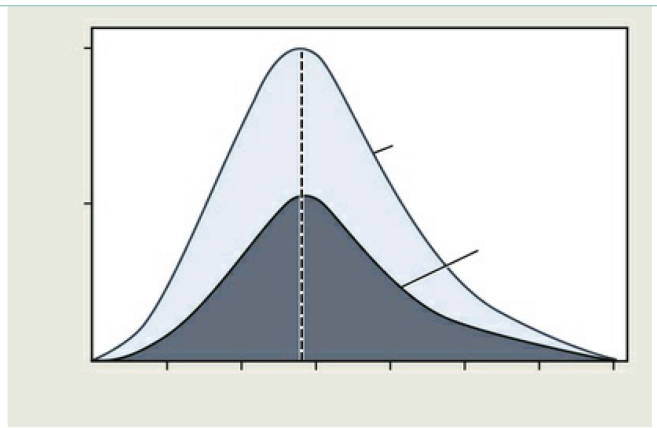


**FIG. 1.15** Spectrum of photon energies generated in an x-ray machine showing that as exposure time increases (kVp and mA settings held constant), so does the total number of photons. The mean energies (*dotted line*, approximately 29 keV in this example) and maximal energies (70 keV in this example) of the beams are unchanged.

**ترجمه: با افزایش زمان اکسپوژر تعداد مجموع فوتون‌ها نیز افزایش می‌یابد. انرژی‌های متوسط و انرژی‌های حداکثرپرتوها بدون تغییر می‌ماند.**

## تنظیم میلی آمپر ( mA جریان تیوب)

✓ همانند تاثیرات زمان اکسپوژر، کمیت ( quantity ) اشعه تولید شده توسط یک تیوب اشعه ایکس (برای مثال تعداد فوتون‌هایی که به بیمار می‌رسد) نیز مستقیما با تنظیم میلی آمپر ارتباط دارد.

✓ زمانی که تنظیم mA افزایش می‌یابد، نیروی بیشتری به فیلامنت وارد می‌شود که حرارت را افزایش داده و الکترون‌های بیشتری جهت برخورد با تارگت و تولید اشعه ایکس آزاد می‌کند.

✓ مانند زمان اکسپوژر، دو برابر شدن تنظیم mA نیز باعث دوبرابر شدن تعداد فوتون‌های تولید شده می‌شود (نمودار بالا می‌رود)( کمیت ↑)

✓ حاصلضرب تنظیم mA و مدت زمان اکسپوژر ( mA× s یا mAs )، یک پارامتر واحد برای نشان دادن تعداد کل فوتون‌های تولید شده می‌باشد. به عنوان مثال، دستگاهی که با ۱۰ میلی آمپر در ۱ ثانیه کار می‌کند **mAs (10 = 1×10)**، تعداد فوتون‌های مشابهی را با زمانی که ۲۰ میلی آمپر در مدت زمان ۰/۵ ثانیه کار کند **mAs(10 = 0/5×20)** ، تولید می‌کند.

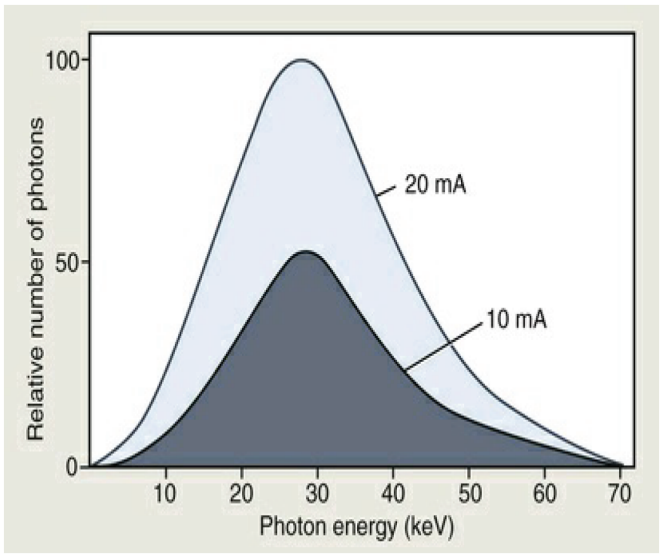



**FIG. 1.16** Spectrum of photon energies generated in an x-ray machine showing that as the mA setting increases (kVp and exposure time held constant), so does the total number of photons. The mean energies and maximal energies of the beams are unchanged. Note similarity to the effect of exposure time; see Fig. 1.15.

## حداکثر ولتاژ تیوب (kVp)

✓ افزایش kVp باعث افزایش اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند و افزایش انرژی جنبشی الکترون‌هاحین حرکت به سمت تارگت می‌شود.

✓ هرچه انرژی یک الکترون بیشتر باشد، احتمال تبدیل آن به فوتون‌های اشعه ایکس در تارگت بیشتر می‌شود.

✓ **افزایش kVp یک دستگاه اشعه ایکس باعث افزایش موارد زیر می‌شود:**

- **تعداد فوتون‌های تولید شده**
- **میانگین انرژی فوتون‌ها**
- **حداکثر انرژی فوتون‌ها**

نمودار به سمت راست و بالا می‌رود(کمیت ↑ ،کیفیت ↑)

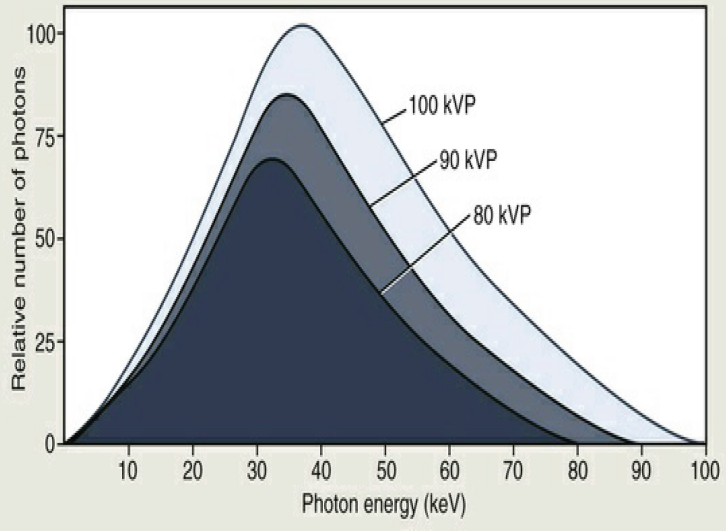



**FIG. 1.17** Spectrum of photon energies generated in an x-ray machine showing that as the kVp is increased (mA and s held constant), there is a corresponding increase in the mean energy of the beam, the total number of photons emitted, and the maximal energy of the photons. Compare with Figs. 1.15 and 1.16.

**کدام‌یک از عوامل زیر در تغییر مقدار متوسط انرژی فوتون‌های اشعه X مؤثر است؟ (ملی ۹۸)**

الف) ولتاژ تیوپ (Kvp)　　ب) زمان تابش

ج) میلی آمپر (mA)　　د) فاصله منبع اشعه تا جسم

## فیلتراسیون

✓ تنها فوتون‌های دارای انرژی کافی برای نفوذ در ساختارهای آناتومیک و رسیدن به گیرنده تصویر (دیجیتال یا فیلم) برای رادیولوژی تشخیصی سودمند هستند. آن دسته از فوتون‌های کم انرژی که نمی‌توانند به گیرنده برسند، تنها ریسک بیمار را افزایش می‌دهند اما هیچ مزیتی ندارند.

✓ فیلتراسیون(دیسک فلزی) به طور ترجیحی پرتوهای کم‌انرژی را حذف می‌کند اما به فوتون‌های پرانرژی که در تشکیل تصویر، موثرند اجازه عبور می‌دهد و **شدت پرتو (تعداد فوتون‌ها) کاهش می‌یابد؛ ولی متوسط انرژی پرتوهای باقی‌مانده افزایش می‌یابد (کیفیت ↑، کمیت ↓). حداکثر انرژی ثابت می‌ماند** ← نمودار به‌سمت پایین و راست می‌رود.

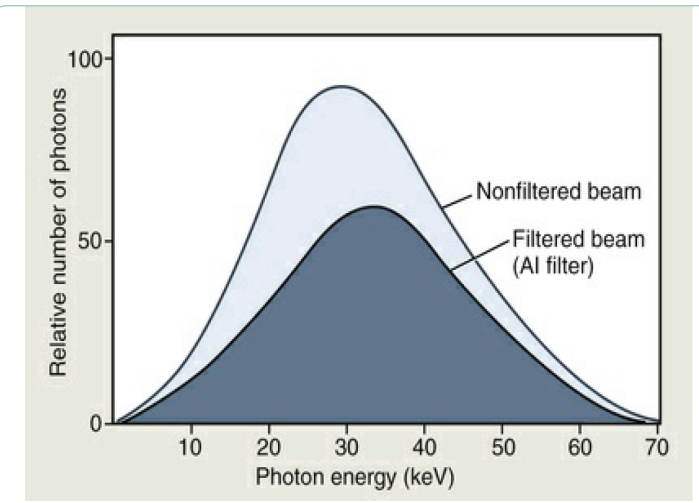



**FIG. 1.18** Spectrum of filtered x-ray beam generated in an x-ray machine showing that an aluminum filter preferentially removes low-energy photons, reducing the beam intensity, while increasing the mean energy of the residual beam. Compare with Figs. 1.15–1.17.

انواع فیلتر:

- فیلتراسیون ذاتی ( Inherent )

✓ شامل موادی می‌شود که فوتون‌های اشعه ایکس از زمانی که از فوکال اسپات تارگت خارج می‌شوند تا پرتوی قابل استفاده را در خارج از پوشش تیوب تشکیل دهند با آن مواجه می‌شوند.

✓ شامل دیواره شیشه‌ای تیوب اشعه ایکس، روغن عایق احاطه کننده اکثر تیوب‌های دندانپزشکی و ماده حائلی که مانع خروج روغن ازخروجی اشعه ایکس ( x-ray port ) می‌شود.

✓ **معادل 2- 0/5 mm آلومینیوم**

- فیلتراسیون اضافی ( Added )

✓ شامل دیسک‌های آلومینیومی بر روی خروجی سر دستگاه اشعه ایکس

فیلتراسیون کل(Total)= فیلتراسیون ذاتی + اضافی

- برای دستگاهی با 70KvP ← 1/5 mm آلومینیوم
- دستگاه با ولتاژهای بالاتر ← ۲/۵ میلیمتر آلومینیوم

- عناصر خاکی: به‌طور انتخابی فوتون‌های پرانرژی را حذف می‌کند. (فصل ۵)

یادداشت:

## کولیماسیون

✓ یک مانع فلزی است که یک روزنه در وسط آن قرار دارد و برای شکل دادن و محدود کردن اندازه پرتو اشعه ایکس و حجم بافت در معرض تابش به کار می‌رود.

✓ انواع گرد و مستطیل شکل اغلب در رادیوگرافی داخل دهانی به کار می‌روند.

✓ پرتوهای اشعه ایکس دندانی اغلب به صورت دایره‌ای به قطر ۲٫۷۵ اینچ (۷ سانتیمتر) در مقابل صورت بیمار تنظیم می‌شوند.

✓ کولیماتور گرد:

- صفحه ضخیمی از فلز است که دارای یک دهانه گرد در مرکز است.
- در خروجی سرتیوب اشعه ایکس قرار دارد.
- به طور معمول در سیلندرهای با انتهای باز قرار می‌گیرند.

✓ کولیماتورهای مستطیلی:

- اندازه پرتو را به **اندکی بزرگتر از گیرنده** داخل دهانی محدود می‌کنند ← کاهش بیشتر اکسپوژر بیمار
- **کولیماتورهای مستطیلی (Rectangular) موجب کاهش دوز بیشتری نسبت به انواع گرد (Round) می‌شوند.**

✓ زمانی که پرتو اشعه ایکس وارد بدن می‌شود، بافت‌های سخت و نرم تقریبا ۹۰ ٪ از فوتون‌هارا جذب می‌کنند و ۱۰ ٪ آن‌ها از بیمار عبور می‌کنند و به گیرنده تصویر می‌رسند. بسیاری از فوتون‌های جذب شده، در بافت‌های اکسپوز شده، تحت پراکندگی کامپتون اشعه پراکنده تولید می‌کنند.

✓ کولیماسیون ← کاهش تعداد فوتون‌های پراکنده← **کاهش اکسپوژر بیمار** و بهبود کیفیت تصویر

✓ بعضی از انواع نگه‌دارنده‌های فیلم، کولیماسیون مستطیلی اشعه x را فراهم می‌کنند.

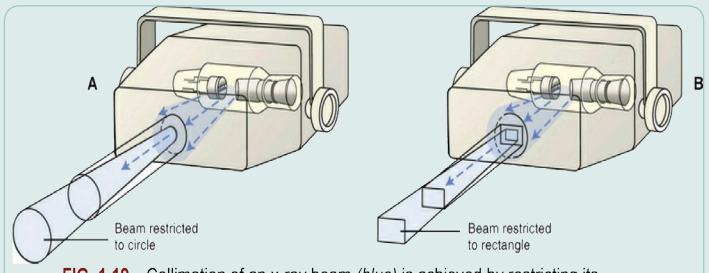



FIG. 1.19 Collimation of an x-ray beam *(blue)* is achieved by restricting its useful size. (A) Circular collimator. (B) Rectangular collimator restricts area of exposure to just larger than the detector size and thereby reduces unnecessary patient exposure.

**کولیماسیون پرتو بر روی کدام‌یک تاثیرگذار نمی‌باشد؟ (ورودی ۹۶)**

الف) تعداد فوتون‌های پراکنده　　ب) محدوده اکسپوژر

ج) کیفیت تصویر　　د) قدرت نفوذ پرتو

## قانون عکس مجذور (Inverse Square Law)

✓ شدت پرتو اشعه ایکس (تعداد فوتون در هرمقطع عرضی در واحد زمان اکسپوژر) با تغییر فاصله از فوکال اسپات تغییر می‌کند.

✓ شدت پرتو با عکس مجذور فاصله از منبع متناسب است (به این دلیل که پرتو با دور شدن از منبع خود پراکنده می‌شود)

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

I =شدت -D=فاصله

- اگر دوز 4 Gy در فاصله ۱ متری اندازه‌گیری شود، دوز 1 Gy در فاصله ۲ متری و دوز 0 /25 Gy در فاصله ۴ متری خواهد بود.

✓ تغییر دادن فاصله بین تیوب اشعه ایکس و بیمار، مثلا استفاده از یک دستگاه دارای تیوب راهنمای بلند به جای دستگاه دارای تیوب راهنمای کوتاه، تاثیر زیادی بر شدت پرتو می‌گذارد← لزوم اصلاح Kvp و mAs برای ایجاد همان شدّت اشعه قبلی

✓ افزایش فاصله اپراتور از منبع اشعه ایکس، یک روش موثر برای به حداقل رساندن دوز اپراتور است.

**با افزایش هریک از فاکتورهای کیلوولتاژ، میلی آمپر و فیلتراسیون، میانگین انرژی اشعه x به ترتیب چه تغییری می‌کند؟ (ورودی ۹۵)**

الف) افزایش،افزایش،بدون تغییر　　ب) افزایش،کاهش،بدون تغییر

ج) افزایش،بدون تغییر،کاهش　　د) افزایش،بدون تغییر،کاهش

**کدام عامل بر کیفیت اشعه x تاثیر گذار می‌باشد؟ (ورودی ۹۸)**

الف) زمان تابش　　ب) جریان تیوب

ج) فاصله منبع اشعه تا بیمار　　د) میزان فیلتراسیون

## تداخلات (Interactions)اشعه ایکس با ماده

✓ پرتو برخوردی شامل فوتون‌های با انرژی‌های متفاوت است اما به لحاظ فضایی spatially همگن( homogeneous )است. به این معنا که **شدت پرتو اساسا از مرکز پرتو به سمت بیرون یکنواخت (uniform) است.** همین طور که پرتو از بیمار عبور می‌کند، شدت آن کم می‌شود (تضعیف می‌شود) (attenuated).

✓ این تضعیف ناشی از:

- جذب فوتون‌های جداگانه پرتو توسط اتم‌های موجود در بافت‌ها
- فوتون‌های پراکنده شده از پرتو است.

✓ در طی تداخلات جذبی( absorption interactions) فوتون‌هابا اتم‌های بافت تداخل می‌کنند و از بین می‌روند.

✓ در تداخلات پراکندگی (scattering interactions) فوتون‌هابا اتم‌های بافت برهمکنش ایجاد کرده اما پس از آن در جهت دیگری به حرکت خود ادامه می‌دهند.

✓ فرکانس تداخلات، به نوع بافت اکسپوز شده بستگی دارد ← **استخوان** بیشتر تمایل به **جذب** فوتون‌هادارد، در حالی که **بافت‌های نرم** بیشتر به آن‌ها اجازه **عبور** می‌دهند.

✓ **پرتوباقی‌مانده(remnant)**←به‌دلیل جذب افتراقی(differentialabsorption) توسط ساختارهای آناتومیکی که از آن‌ها عبور کرده است، به‌لحاظ **فضایی ناهمگن (heterogeneous)** می‌شود. این تفاوت در اکسپوژر فیلم یا سنسور دیجیتال، موجب تشکیل تصویر رادیوگرافی می‌شود.

## سه روش تضعیف پرتو در پرتو اشعه ایکس تشخیصی

کمپتون ۵۷٪ > فتوالکتریک ۲۷٪ > کوهرنت ۷٪

✓ حدود ۹٪ از فوتون‌های اولیه بدون تداخل از بافت‌های بیمار عبور می‌کنند و به سنسور برخورد کرده، ایجاد تصویر می‌کنند.

## جذب فوتوالکتریک (Photoelectric Absorption)

✓ **اساس ایجاد تصویر** رادیوگرافی

✓ ۲۷٪ از تداخلات اکسپوژر اشعه ایکس دندانی

✓ به دلیل از دست دادن الکترون باعث **یونیزاسیون اتم** می‌شود.

✓ تداخل فوتون برخوردی با یک الکترون **اوربیتال داخلی اتم** در بدن بیمار ← فوتون برخوردی تمام انرژی خود را به الکترون می‌دهد و **از بین می‌رود** ← انرژی جذب شده توسط الکترون صرف غلبه بر انرژی باندینگ می‌شود (الکترون لایه داخلی جدا می‌شود) و انرژی باقیمانده به عنوان انرژی جنبشی جهت خروج از اوربیتال در الکترون باقی می‌ماند ←پرشدن فضای خالی با الکترونی از لایه بالاتر (2p/2s) ← آزادشدن **اشعه x اختصاصی**

✓ صرف‌نظر از آن که اوربیتال الکترون جایگزین چه باشد، فوتون‌های اختصاصی تولید شده آنقدر انرژی پایینی دارند که در بیمار جذب می‌شوند و **گیرنده را مه آلود (fog) نمی‌کنند.**

✓ الکترونی که از لایه داخلی اتم خارج می‌شود ← الکترون (الکترون برگشتی)( recoil electron)( فوتوالکترون)

✓ انرژی جنبشی منتقل شده به الکترون برگشتی=انرژی فوتون برخوردی - انرژی باندینگ الکترون لایه داخلی

✓ بیشتر مولکول‌های بیولوژیک عدد اتمی کمی دارند ← انرژی باندینگ اندک است ← فوتوالکترون قسمت عمده انرژی فوتون برخوردی را جذب می‌کند.

✓ فوتوالکترون ایجادشده در اثر یونیزاسیون‌های متعدد دچار اضمحلال می‌شود.

✓ پیش از اینکه فوتوالکترون‌های خارج شده طی جذب فوتوالکتریک انرژی خود را از طریق **یونیزاسیون ثانویه** از دست بدهند، تنها **مسافت کوتاهی** در ماده جاذب جابه‌جا می‌شوند.

✓ اغلب تداخلات فوتوالکتریک در اوربیتال 1s رخ می‌دهد. علت: دانسیته ابرالکترونی در این ناحیه حداکثر است و احتمال تداخلات آن بالاتر است.

✓ **احتمال تداخلات فوتوالکتریک ارتباط مستقیمی با توان سوم عدد اتمی (Z) ماده جاذب و رابطه معکوسی با توان سوم انرژی فوتون برخوردی (E) دارد.**

$$\text{احتمال تداخلات فوتوالکتریک} \propto \frac{Z^3}{E^3}$$

✓ جذب افتراقی در بافت‌های مختلف باعث ایجاد کنتراست در تصویر می‌شود مثال: عدد اتمی استخوان (Z=۱۳/۸) بیشتر از بافت نرم (Z=۷/۴) است ← جذب فوتوالکتریک در استخوان ۶/۵ برابر بافت نرم ← این اختلاف مشهود در جذب فوتون‌های اشعه ایکس منجر به تولید تصویر رادیوگرافی می‌شود (اختلاف عدد اتمی ← اختلاف میزان جذب فتوالکتریک ← تصویر به صورت اختلاف دانسیته اپتیکال مینا،عاج،پالپ...)

✓ جذب فوتوالکتریک در تصویربرداری تشخیصی بسیار مهم است.

✓ جذب فوتوالکتریک ← همزمانی افزایش دوز جذبی بیمار و افزایش کیفیت تصویر

✓ تداخلات فتوالکتریک عامل یونیزاسیون اتم می‌باشد و پتانسیل آسیب بیولوژیک دارد.

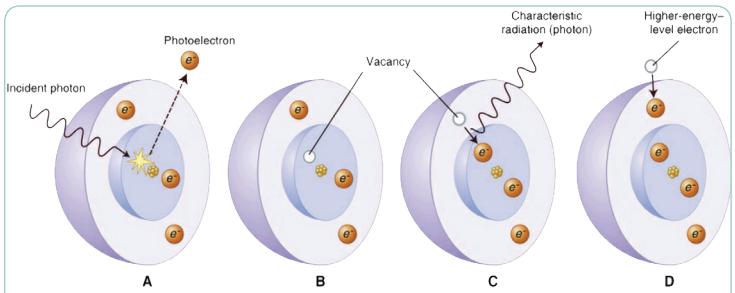



**FIG. 1.22** Photoelectric absorption. (A) Photoelectric absorption occurs when an incident photon gives up all of its energy to an inner electron, which is ejected from the atom (a photoelectron). The incident electron ceases to exist at this point. (B) The ionized atom now has an electron vacancy in the inner orbital. (C) An electron from a higher energy level fills the vacancy and emits characteristic radiation. (D) All orbitals are subsequently filled, completing the energy exchange.

## پراکندگی کامپتون (Compton Scatter)

✓ حین تداخل فوتون با **الکترون اوربیتال خارجی** رخ می‌دهد.

✓ ۵۷٪ از تداخلات اکسپوژر با اشعه ایکس دندانپزشکی (بیشترین) را شامل می‌شود.

✓ برخورد فوتون با الکترون لایه خارجی ← ایجاد یک الکترون برگشتی (Recoil) ← تغییر مسیر و **کاهش انرژی** فوتون برخوردی

✓ انرژی الکترون برگشتی + انرژی فوتون پراکنده شده + انرژی باندینگ الکترون لایه خارجی = انرژی فوتون برخوردی

✓ در محدوده انرژی‌های تشخیصی بیشتر انرژی به فوتون پراکنده می‌رسد که خود می‌تواند باعث یونیزاسیون اضافی، اغلب خارج از پیرامون محل پرتو برخوردی در بافت شود.

✓ فوتون‌های پراکنده در تمام جهات حرکت می‌کنند و می‌توانند از بیمار خارج شوند و به گیرنده برخورد کنند. این فوتون‌هاحاوی هیچ اطلاعات مفیدی نیستند و وقتی به رسپتور می‌رسند با کاهش کنتراست، کیفیت تصویر را تضعیف می‌کنند.

✓ فوتون‌های پراکنده‌ای که از بیمار خارج می‌شوند، ممکن است اپراتور را اکسپوز کنند.

✓ فوتون‌های پراکنده مسافت‌های متفاوتی را در بافت‌های بیمار حرکت کرده و موجب یونیزاسیون می‌شوند. این پراکندگی داخلی دوز اشعه بیمار را افزایش می‌دهد و اغلب ارگان‌هاو بافت‌های خارج و دور از مسیر پرتوی اولیه را اکسپوز می‌کند.

✓ **پراکندگی کامپتون نیز مانند جذب فوتوالکتریک منجر به از دست رفتن الکترون و یونیزاسیون اتم جاذب می‌شود و در تشکیل تصویر شرکت می‌کند:**

- **جذب فوتوالکتریک ← تشکیل تصویر**
- **کامپتون ←تیره شدن و کاهش کیفیت تصویر**

✓ یونیزاسیون‌های اضافی ناشی از عبور فوتون‌های پراکنده و الکترون‌های برگشتی از بافت‌های بیمار است.

✓ **احتمال تداخلات کامپتون و میزان زاویه تغییر مسیر فوتون پراکنده‌شده رابطه معکوسی با انرژی فوتون دارد.**

✓ **احتمال رخداد کامپتون به عدد اتمی ماده بستگی ندارد.**

| جدول ۲-۱ تداخلات فوتون‌های یک پرتو اشعه ایکس تشخیصی | | | |
|---|---|---|---|
| تداخل | یونیزاسیون | پراکندگی | مفاهیم کاربردی |
| جذب فوتوالکتریک | بله | خیر | مبنای تشکیل تصویر رادیوگرافی |
| پراکندگی کامپون | بله | بله | اشعه پراکنده می‌تواند موجب تضعیف تصویر و اکسپوز بیمار و پرسنل شود. |
| پراکندگی کوهرنت | خیر | خیر | حداقل مشارکت در پراکندگی |

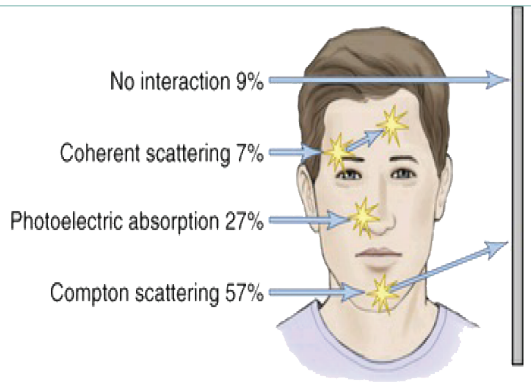



**FIG. 1.21** Photons in an x-ray beam interact with the object primarily by Compton scattering (57% of primary interactions), in which case the scattered photon may strike the film and degrade the radiographic image by causing fog. The next most frequent interaction is photoelectric absorption (27%), in which the photons cease to exist. A radiographic image is produced by photons passing through low atomic number structures (soft tissue) and preferentially undergoing photoelectric absorption by high atomic number structures (bone, teeth, and metallic restorations). Relatively few photons undergo coherent scattering (7%) within the object or pass through the object without interaction (9%) and expose the image receptor.

یادداشت:

- ✓ پراکندگی کامپتون: متناسب با دانسیته الکترونی ماده جاذب
- ✓ جذب فوتوالکتریک: متناسب با توان سوم عدد اتمی

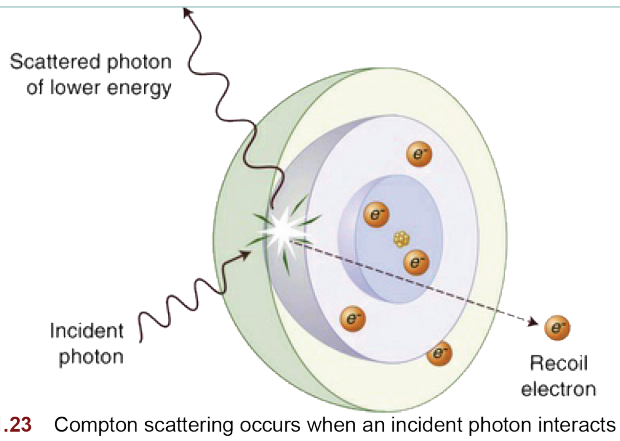



**FIG. 1.23** Compton scattering occurs when an incident photon interacts with an outer electron, producing a scattered photon of lower energy than the incident photon and a recoil electron ejected from the target atom. The new scattered photon travels in a different direction from the incident photon.

**احتمال تداخلات کمپتون به ترتیب چه رابطه‌ای با انرژی اولیه فوتون‌ها،عدد اتمی ماده جاذب و دانسیته الکترونی ماده جاذب دارد؟ (ورودی ۱۴۰۰)**

الف)معکوس-بدون رابطه-مستقیم　　ب)مستقیم-مستقیم-بدون رابطه

ج)معکوس-مستقیم-بدون رابطه　　د)مستقیم-بدون رابطه-مستقیم

## پراکندگی کوهرنت (Coherent Scatter)

- ✓ پراکندگی Rayleigh ، کلاسیک یا الاستیک
- ✓ حین تداخل یک فوتون کم انرژی (< ۱۰ کیلو ولت) با **کل اتم** به وجود آید.
- ✓ فوتون برخوردی ← **برانگیختگی لحظه‌ای** اتم ← از بین رفتن فوتون برخوردی ← اتم برانگیخته شده سریعا به حالت پایه برمی‌گردد و یک فوتون اشعه ایکس دیگر **با همان انرژی فوتون برخوردی** تولید می‌کند.
- ✓ اغلب فوتون ثانویه در **یک جهت متفاوت** از مسیر فوتون برخوردی منتشر می‌شود.
- ✓ اثر خالص این پدیده: تغییر جهت فوتون اشعه ایکس برخوردی (پراکندگی)
- ✓ ۷٪ از تعداد کل تداخلات
- ✓ **هیچگونه انرژی به اتم بیولوژیک منتقل نشده و یونیزاسیون انجام نمی‌شود ← اثرات بیولوژیکی پراکندگی کوهرنت اندک است.**
- ✓ **فوتون پراکنده شده دارای انرژی کافی برای رسیدن به گیرنده تصویر نیست و در نتیجه پراکندگی کوهرنت حداقل تاثیر را در تضعیف تصویر دارد.**

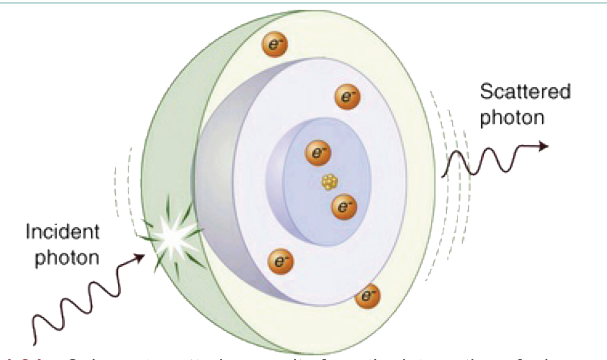



**FIG. 1.24** Coherent scattering results from the interaction of a low-energy incident photon with a whole atom, causing it to be momentarily excited. After this interaction, the atom quickly returns to the ground state and emits a scattered photon of the same energy but at a different angle from the path of the incident photon.

## تضعیف پرتو (Beam Attenuation)

✓ زمانی که یک پرتو اشعه ایکس از ماده عبور می‌کند، شدت آن عمدتا از طریق جذب فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون کم می‌شود.

✓ میزان تضعیف پرتو به طور اولیه به **انرژی پرتو و ضخامت و دانسیته ماده تضعیف کننده** بستگی دارد.

✓ فوتون‌های پرتوی ایکس پر انرژی احتمال نفوذ بیشتری در ماده دارند، در حالی که فوتون‌های کم انرژی بیشتر احتمال تضعیف شدن دارند.

✓ **هرچه تنظیمات kVp بیشتر باشد، امکان نفوذ پرتو حاصل در ماده بیشتر است.**

✓ یک راه برای ارزیابی کیفیت نفوذ اشعه x، لایه نیم جذب (HVL) آن می‌باشد.

✓ **HVL (half-value layer) : ضخامت یک ماده جاذب مانند آلومینیوم است که تعداد فوتون‌های اشعه ایکس را به میزان ۵۰٪ کاهش می‌دهد و مقیاسی برای انرژی پرتو است.**

✓ با افزایش متوسط انرژی پرتو اشعه ایکس، مقدار ماده لازم برای کاهش نیمی از شدت پرتو (HVL) نیز افزایش می‌یابد.

✓ **کاهش شدت پرتو به ویژگی‌های فیزیکی ماده جاذب نیز بستگی دارد** ماده‌ای با دانسیته بیشتر به دلیل جذب فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون بیشتر با افزایش دانسیته منجر به تضعیف بیشتر پرتو می‌شود.

✓ پرتو مونوکروماتیک (هموژن): پرتویی که در آن تمام فوتون‌ها دارای انرژی برابری هستند.

✓ زمانی که دسته پرتو منوکروم از میان هر واحد ضخامت ماده جاذب عبور می‌کند، **کسر ثابتی** از آن تضعیف می‌شود. برای مثال هر ۱/۵ سانتی‌متر آب شدت پرتو را ٪۵۰ کاهش می‌دهد (HVL= 1/5 سانتی‌متر). این یک الگوی نمایی(exponential) از جذب است.

✓ طیف وسیعی از انرژی‌های مختلف فوتون در یک پرتو اشعه ایکس وجود دارد (هتروژن) ← لایه‌های سطحی ماده جاذب، فوتون‌های کم انرژی را حذف کرده اما تعداد زیادی از فوتون‌های پر انرژی را منتقل می‌کنند ←

شدت پرتو به دلیل حذف ترجیحی فوتون‌های کم انرژی کاهش می‌یابد.

میانگین انرژی پرتوی باقیمانده افزایش می‌یابد.

Beam Hardening

افزایش میانگین انرژی پرتو با حذف (ترجیحی فوتون‌های کم انرژی)

↓

پرتو هتروژن با گذر از ضخامت‌های متوالی ماده جاذب، دچار افزایش انرژی متوسط می‌شود. (به KVp تیوب نزدیک می‌شود) و HVL آن افزایش می‌یابد.

- **فیلتر کیفیت اشعه را افزایش و کمیت را کاهش می‌دهد.**
- **HVL تعداد (کمیت) را کاهش و کیفیت را افزایش می‌دهد.**
- **آلومینیوم ← فیلتر فوتون‌های با انرژی کمتر**

✓ منحنی جذب فوتون‌ها برای اشعه هموژن (مونوکروم) لگاریتمی است.

✓ منحنی جذب فوتون‌هابرای اشعه هتروژن به دلیل جذب ترجیحی فوتون‌های کم انرژی و افزایش متوسط انرژی فوتون کاملا سقوط نمی‌کند.

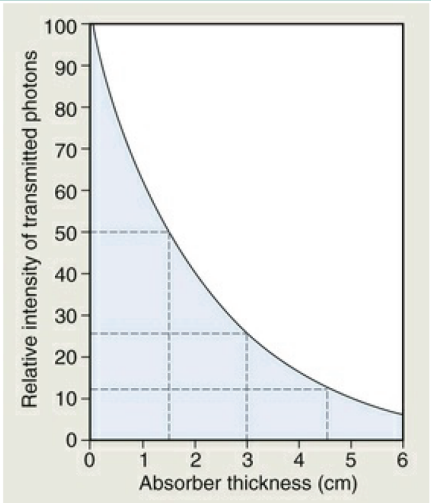



**FIG. 1.25** Intensity of an energetically homogeneous x-ray beam declines exponentially as it travels through an absorber. In this instance, the half-value layer of the beam is 1.5 cm of absorber (i.e., every 1.5 cm of the absorber reduces the intensity of the beam by half). The curve for a heterogeneous x-ray beam (e.g., a dental x-ray beam) does not drop quite as precipitously because of the preferential removal of low-energy photons by the absorber and the increased mean energy of the resulting beam.

✓ احتمال اینکه یک فوتون با یک الکترون اوربیتال تداخل داشته باشد، زمانی در بالاترین حد است که انرژی فوتون با انرژی باندینگ الکترون برابر باشد. با افزایش انرژی فوتون، این احتمال کاهش می‌یابد.

✓ زمانی که انرژی پرتو اشعه ایکس افزایش می‌یابد عبور پرتو از ماده جاذب نیز افزایش می‌یابد. اما زمانی که انرژی فوتون برخوردی افزایش یافته به گونه‌ای که با انرژی باندینگ لایه **1s** ماده جاذب یکسان شود احتمال **جذب فتوالکتریک** به شدت افزایش یافته و تعداد فوتون‌های جذبی بسیار افزایش می‌یابد ← **K-edge absorption**

✓ بهترین فوتون‌ها برای تشکیل تصویر ← فوتون‌های با انرژی متوسط

✓ فوتون‌هایی که‌دارای‌انرژی‌کمتری‌نسبت‌به‌انرژی‌باندینگ‌الکترون‌های‌اوربیتال 1s هستند، تنها با جذب فوتوالکتریک الکترون‌های موجود در اوربیتال‌های 2s یا 2p و حتی اوربیتال‌های دورتر نسبت به هسته، تداخل می‌کنند.

✓ عناصر نادر زمینی مثل گادولینیوم به دلیل انرژی باندینگ اوربیتال ۱S برای فیلتر فوتون‌های پرانرژی مناسب هستند؛ زیرا این فوتون‌های پرانرژی کنتراست تصویر را کاهش می‌دهند؛ بنابراین این فیلترها با جذب فوتون های پر انرژی باعث افزایش کنتراست خواهند شد.

**دلیل استفاده از عناصر نادر زیر زمینی به عنوان فیلتر در دستگاه مولد اشعه x چیست؟ (ورودی ۹۶)**

الف) افزایش متوسط انرژی پرتو　　ب) افزایش کنتراست تصویر

ج) حذف کامل پرتوهای کم انرژ ی　　د) افزایش ماگزیمم انرژی پرتو

**با افزایش انرژی اشعه ایکس، نسبت تداخلات کمپتون به فتوالکتریک ..... و کنتراست تصویر ..... می‌یابد. (ورودی ۹۹)**

الف)کاهش-کاهش　　ب) کاهش-افزایش

ج) افزایش-کاهش　　د) افزایش-افزایش

## دوزیمتری

**اکسپوژر:**

✓ مقدار ظرفیت و توان اشعه x و γ جهت یونیزه‌کردن هوا

✓ به‌صورت میزان بار در توده هوا **(air—coulombs/kg)** اندازه‌گیری می‌شود.

✓ شدت میدان رادیاسیون را در مقابل میزان رادیاسیون جذب‌شده‌اندازه می‌گیرد، هرچند رابطه مستقیم است.

✓ **واحد قدیمی: رونتگن(R)**

✓ رونتگن به طور گسترده‌ای توسط واحد معادل SI آن یعنی **air kerma** جایگزین شده است.

**Air Kerma:**

✓ Kerma مخفف kinetic energy released in matter است

✓ زمانی که اشعه از طریق جذب فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون با ماده تداخل می‌کند، انرژی را به الکترون‌های ماده جاذب منتقل می‌کند. kerma انرژی جنبشی آزاد شده در ماده است، انرژی جنبشی منتقل شده از فوتون‌ها به الکترون‌ها را اندازه می‌گیرد.

✓ امروزه با واحد دوز **(گری Gy)** بیان می‌شود. یک گری معادل یک ژول بر کیلوگرم است.

✓ Kerma مجموع مقادیر انرژی‌های جنبشی همه ذرات باردار آزاد شده توسط اشعه یونیزان غیرباردار (مثل اشعه ایکس) در یک ماده تقسیم بر جرم نمونه است.

✓ مقادیر kerma ایجاد شده در هوا، air kerma نامیده می‌شود.

دوز جذبی(Absorbed Dose)

✓ کل انرژی جذب شده توسط هر نوع رادیاسیون یونیزان در واحد جرم هر نوع ماده

✓ با توجه به نوع و انرژی رادیاسیون و نوع ماده جاذب انرژی تفاوت می‌کند.

واحد SI: Gy

واحد قدیمی: Rad

Rad ۱۰۰ = ۱ Gy

erg/g ۱۰۰ = Rad ۱

دوز معادل ($H_T$) (Equivalent (Radiation Weighted) Dose)

مقایسه اثرات بیولوژیک انواع مختلف رادیاسیون بر روی یک بافت یا ارگان

اثر بیولوژیک نسبی تشعشعات مختلف ← فاکتور وزنی رادیاسیون (WR)

$D_T$ : دوز جذبی

WR : فاکتور وزنی رادیاسیون

$D_T \times W_R = H_T$

✓ فاکتور وزنی برای (فوتون‌ها)، معادل یک (مرجع) است.

✓ برای نوترون‌های ۵ KeV و پروتون‌های پرانرژی، معادل ۵

✓ برای ذرات آلفا، معادل ۲۰

واحد: سیورت Sv ← واحد قدیمی: **Rontgen equivalent mammal (Rem)**

**1Sv=100Rem**

**دوز موثر (Effective Dose)**

✓ تخمین میزان ریسک اکسپوژر به یک قسمت از بدن شامل چند بافت.

✓ **ارزیابی میزان خطر در انسان‌ها**

✓ مقایسه ریسک ناشی از اکسپوژر دندانی برای مثال با ریسک ناشی از معاینات رادیوگرافیک قفسه سینه دشوار است، زیرا بافت های متفاوت با رادیوسنستیوته به مختلف اکسپوز می‌شوند. برای انجام چنین مقایسه ای دز موثر محاسبه است که اثرات بیولوژیکیک نسبی انواع مختلف رادیسون و رادیوسنستیوته بافت های مختلف اکسپوز شده تحت عنوان اثرات احتمالی رادیاسیون را در نظر می‌گیرد.

✓ واحد: سیورت Sv /واحد قدیمی: **rem( rontgen equivalent mammal)**

**1Sv: 100rems**

✓ $W_T$ فاکتور وزنی بافت (برای اندازه‌گیری حساسیت به اشعه بافت‌های مختلف از جهت کنسر یا اثر ژنتیکی)

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

| جدول ۵-۱ فاکتورهای وزنی بافت a | |
|---|---|
| بافت | فاکتور وزنی بافت (WT) |
| مغز استخوان، کولون، ریه، معده، پستان، بافت‌های باقیمانده | ۰/۱۲ |
| گنادها | ۰/۰۸ |
| مثانه، مری، کبد، تیروئید | ۰/۰۴ |
| سطح استخوان، مغز، غدد بزاقی، پوست | ۰/۰۱ |

**رادیواکتیویتی**

- ✓ تخریب نمونه‌ای از مواد رادیواکتیو (decay rate)
- ✓ واحد SI : بکرل (Becquerel) (استحاله در ثانیه) ← واحد قدیمی: کوری (Ci) (فعالیت یک گرم رادیوم)
- ✓ به طور مستقیم در رادیوگرافی فک و صورت اعمال نمی‌شود ولی در معاینات پزشکی هسته‌ای کاربرد دارد.
- ✓ در دوز معادل ← نوع اشعه مهم است، در دوز مؤثر ← Radio sensitivity بافت‌ها

| جدول ۴-۱ خلاصه کمیت‌ها و واحدهای رادیاسیون | | | | |
|---|---|---|---|---|
| کمیت | توصیف | واحد SI | واحد قدیمی | تبدیل |
| اکسپوژر | مقدار یونیزاسیون هوا توسط اشعه ایکس یا گاما | coulimb/kg (C/kg) | roentgen ((R | C/ =R۳۸۷۶ ۱ kg |
| kerma | انرژی جنبشی منتقل شده به ذرات باردار | (gray (GY | - | - |
| دوز جذبی | مجموع انرژی جذب شده توسط یک توده | (gray (GY | rad | C/ =rad۱۰۰ kg۱ |
| دوز معادل | دوز جذبی سنجیده شده بر مبنای اثربخشی بیولوژیک نوع اشعه به کار رفته | (sievert (Sv | rem | =۱۰۰ rem SV۱ |
| دوز موثر | مجموع دوزهای معادل سنجیده شده توسط حساسیت به اشعه ارگان یا بافت اکسپوز شده | (sievert (Sv | - | - |
| رادیواکتیویتی | میزان فروپاشی رادیواکتیو | becquerel ((Bq | curie ((Ci | ۲/۷× ۱۰- Ci۱۱ ۱ Bq = |

**کدام مورد به مفهوم دز موثر اشاره دقیق‌تری دارد؟ (بورد ۹۷)**

الف) دز معادل با در نظرگرفتن ضریب توزین بافتی

ب) دز جذبی با درنظر گرفتن ضریب تاثیر بیولوژیک پرتو

ج) مجموعه دزهای معادل با در نظر گرفتن تاثیر بیولوژیک پرتو

د) مجموعه دزهای معادل با در نظر گرفتن ضریب توزین بافتی

## سؤالات مهم فصل

**۱. رابطه احتمال تداخل کمپتون با دانسیته الکترونی ماده جاذب و اطلاعات مفید روی فیلم چگونه است؟ (سال ۹۰)**

الف) مستقیم، مستقیم

ب) مستقیم، معکوس

ج) معکوس، مستقیم

د) معکوس، معکوس

**۲. فیلتراسیون پرتوهای رادیولوژی تشخیصی، کدام‌یک از پیامدهای زیر را به همراه دارد؟ (سال ۹۱)**

الف) کاهش میانگین انرژی فوتون‌ها بدون تغییر حداکثر انرژی فوتون‌ها

ب) افزایش تعداد فوتون‌ها و کاهش میانگین انرژی فوتون‌ها

ج) کاهش تعداد فوتون‌ها و افزایش حداکثر انرژی فوتون‌ها

د) کاهش تعداد فوتون‌ها و افزایش میانگین انرژی فوتون‌ها

**۳. کدام‌یک از واحدهای سنجش پرتوهای یون‌ساز برای تخمین ریسک در انسان به کار می‌رود؟ (سال ۹۲)**

الف) تابش ب) دوز جذب

ج) دوز معادل د) دوز مؤثر

**۴. افزایش کدام پارامتر ذیل باعث افزایش کیفیت پرتوهای X می‌شود؟ (سال ۹۳)**

الف) میلی‌آمپر ب) کولیماسیون

ج) زمان د) فیلتراسیون

**۵. علت عقب قرار دادن تیوب تولید اشعه X در داخل محفظه سرتیوب کدام است؟ (سال ۹۳)**

الف) بهبود کیفیت اشعه X تولیدی

ب) بهبود کیفیت تصویر

ج) جلوگیری از سوختن فیلامان

د) انتقال بهتر گرمای تولیدی

**۶. در صورتی که میلی‌آمپر دستگاه رادیوگرافی دو برابر و زمان تابش ¼ و فاصله منبع اشعه تا جسم نصف شود، شدت اشعه ..... می‌شود. (سال ۹۳)**

الف) ½ برابر

ب) برابر

ج) ۲ برابر

د) ۴ برابر

**۱. کدام مورد از خصوصیات پراکندگی coherent نیست؟ (سال ۹۴)**

الف) با فوتون‌های دارای انرژی کمتر از ۱۰ کیلوالکترون ولت ایجاد می‌شود.

ب) تداخل فوتون‌های ورودی با کل اتم اتفاق می‌افتد.

ج) منحصراً تداخل با الکترون‌های لایه خارجی انجام می‌گیرد.

د) فوتون‌های خروجی از اتم دارای طول موج مساوی با فوتون‌های ورودی هستند.

**۲. کدام گزینه جزو فیلتراسیون ذاتی دستگاه اشعه ایکس محسوب نمی‌شود؟ (سال ۹۴)**

الف) محفظه شیشه‌ای　　ب) روغن محافظ

ج) فیلتر آلومینیومی　　د) پنجره خروجی تیوب

**۳. درباره LET کدام گزینه صحیح است؟ (بورد ۹۱)**

الف) هرچه اندازه ذره بزرگ‌تر، بار ذره بیشتر و سرعت آن کمتر باشد، LET آن بیشتر است.

ب) هرچه اندازه ذره کوچک‌تر، بار ذره کمتر و سرعت آن بیشتر باشد، LET آن بیشتر است.

ج) هرچه اندازه ذره بزرگ‌تر، بار ذره کمتر و سرعت آن کمتر باشد، LET آن بیشتر است.

د) هرچه اندازه ذره کوچک‌تر، بار ذره بیشتر و سرعت آن بیشتر باشد، LET آن بیشتر است.

**۴. درباره جنس ماده‌ای که در آند دستگاه اشعه ایکس قرار دارد، کدام گزینه صحیح نیست؟ (بورد ۹۱)**

الف) عدد اتمی بالا　　ب) فشار بخار بالا

ج) نقطه ذوب بالا　　د) هدایت حرارتی بالا

**۵. گزینه نادرست درباره پراکندگی کمپتون کدام است؟ (بورد ۹۲)**

الف) بین اشعه x با انرژی متوسط و الکترون‌های لایه خارجی اتفاق می‌افتد.

ب) موجب تغییر در جهت اشعه x می‌شود.

ج) اتم هدف را یونیزه نمی‌کند.

د) باعث افزایش طول موج اشعه x می‌شود.

**۶. نمودار زیر طیف اشعه ایکس را نشان می‌دهد. برای انتقال منحنی از A به B اعمال چه تغییری لازم است؟ (بورد ۹۴)**

الف ) افزایش kVp　　ب) کاهش mAs

ج) کاهش عدد اتمی هدف　　د) کاهش فیلتراسیون

**۷. به‌دنبال استحاله در اتم‌های ناپایداری که نوترون بیشتری نسبت به پروتون دارند، احتمال خروج کدام‌یک از ذرات از هسته بیشتر است؟**

الف) آلفا　　ب) بتا مثبت

ج) بتا منفی　　د) نوترون

**۸. علت قرارگیری لامپ اشعه ایکس در خلفی‌ترین قسمت سرتیوب چیست؟**

الف) افزایش کیفیت اشعه

ب) کاهش دوز جذبی بیمار

ج) افزایش شتاب الکترون‌ها

د) افزایش وضوح تصویر

**۹. کولیماسیون پرتو روی کدام‌یک تأثیرگذار نیست؟ (ورودی ۹۶)**

الف) تعداد فوتون‌های پراکنده　　ب) محدوده اکسپوژر

ج) کیفیت تصویر　　د) قدرت نفوذ پرتو

یادداشت:

یادداشت:

# اثرات بیولوژیک پرتوهای یونیزان

Biologic Effects of Lonizing Radiation

دکتر نیلوفر قدیمی

## اثرات شیمیایی و بیوشیمیایی جذب پرتوها

✓ فوتون‌های اشعه x باعث یونیزاسیون مولکول‌های بیولوژیک می‌شوند.

✓ واکنش‌های اولیه بین فوتون‌های اشعه ایکس و مولکول‌های بیولوژیک اغلب بلافاصله و طی $10^{-13}$ ثانیه پس از تابش، صورت می‌گیرد.

## رادیکال‌های آزاد ناپایدار

- اتم‌ها و مولکول‌هایی که یک الکترون جفت نشده در لایه والانس دارند.
- به شدت واکنش‌پذیر هستند ← عمر کوتاهی دارند.
- نقش غالب در ایجاد تغییرات مولکولی درمولکول‌های بیولوژیک دارند.

✓ اثرات بیولوژیک رادیاسیون یونیزان به صورت واکنش‌های مستقیم و غیرمستقیم اتفاق می‌افتد.

✓ واکنش‌های مستقیم و غیرمستقیم هر دو باعث تولید رادیکال‌های آزاد ناپایدار می‌شوند.

## واکنش مستقیم

✓ فوتون‌ها مستقیماً برخورد کرده و ماکرومولکول‌های بیولوژیک را یونیزه می‌کنند ← الکترون‌های آزاد تولید شده از تداخلات یونیزاسیون (الکترون ثانویه) ممکن است به صورت مستقیم با ماکرومولکول بیولوژیک برخورد کنند.

✓ مولکول‌های بیولوژیک انرژی اشعه یونیزان را جذب کرده و در مدت $10^{-10}$ ثانیه رادیکال‌های آزاد ناپایدار ایجاد می‌شود این رادیکال‌های آزاد سریعاً ازطریق تجزیه (شکسته شدن) یا کراس لینک (اتصال دو مولکول) به فرم پایدار تغییر شکل می‌دهند. مولکول‌های بیولوژیک تغییر یافته چون از نظر ساختار و عملکرد از مولکول‌های اولیه متفاوت هستند، باعث تغییرات بیولوژیک در ارگانیسم تابش یافته می‌شوند.

$$X_{\text{اشعه}} + RH \rightarrow R^{\circ} + H^{+} + e^{-}$$

$$\text{تجزیه}: R^{\circ} \rightarrow X + Y^{\circ}$$

$$\text{کراس‌لینک}: R^{\circ} + S^{\circ} \rightarrow RS$$

(R : RH مولکول و H اتم هیدروژن است).

✓ واکنش‌های مستقیم غالباً به وسیله اشعه‌هایی با انتقال خطی (LET) بالا و کمتر با رادیاسیون‌های با LET پایین مانند اشعه X اشعه گاما ایجاد می‌شوند (اثرات مستقیم با LET پرتو رابطه مستقیم دارد).

## در واکنش غیرمستقیم

✓ فوتون‌ها و الکترون‌های ثانویه با آب (که ۷۰٪ سلول‌های پستانداران را تشکیل می‌دهد) برخورد کرده و محصولات ناشی از یونیزاسیون آب باعث آسیب‌های بیولوژیک می‌شوند.

✓ واکنش‌های غیر مستقیم غالباً ناشی از اشعه X هستند.

✓ محصولات اولیه حاصل از برخورد فوتون اشعه ایکس با آب، رادیکال‌های آزاد هیدروژن (•H) و هیدروکسیل (•OH) هستند ← ناپایدار بوده و به فرم پایدار تبدیل می‌شوند ← مولکول‌های تغییر یافته ← ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیک متفاوتی نسبت به مولکول‌های اصلی دارند.

✓ رادیکال هیدروکسیل (•OH) بسیار واکنش‌پذیر است و دو سوم آسیب‌های بیولوژیکی در سلول‌های پستانداران ناشی از اشعه X را سبب می‌شود.

$$X_{\text{اشعه}} + H_2O \rightarrow +H^{\circ} + OH^{\circ}$$

$$R - H + OH^{\circ} \rightarrow R^{\circ} + H_2O$$

$$R - H + H^{\circ} \rightarrow R^{\circ} + H_2$$

✓ در حضور اکسیژن هیدروپراکسیل و هیدروژن پراکسید تشکیل می‌شود. این‌ها عوامل اکسید کننده قوی هستند که به طور قابل ملاحظه‌ای در واکنش‌های غیر مستقیم شرکت می‌کنند.

$$H^{\circ} + O_2 \rightarrow H_2O^{\circ}$$

$$HO_{2^{\circ}} + HO_{2^{\circ}} \rightarrow H_2O_2 + O_2$$

**اثرات بیولوژیک در اشعه ایکس بیشتر از نوع ..... و در ذرات آلفا بیشتر به صورت .....می‌باشد؟ (ارتقا ۹۶)**

الف) مستقیم-غیرمستقیم
ب) مستقیم-مستقیم
ج) غیرمستقیم-مستقیم
د) غیرمستقیم-غیرمستقیم

## دئوکسی ریبونوکلئیک اسید ( DNA ) و آسیب‌های کروموزومی و پاسخ به آسیب

✓ آسیب به DNA سلول دلیل اصلی مرگ ناشی از پرتودرمانی سلول، جهش‌های ارثی و سرطان می‌باشد.

پرتوهای یونیزان از طریق تولید رادیکال‌های آزاد،انواع مختلف تغییرات را در DNA ایجاد می‌کند، شامل:

- آسیب به باز (Basedamage)
- شکست تک رشته‌ای (Single - Strand breaks)
- شکست دو رشته‌ای (Double - Strand breaks)
- کراس لینک‌های DNA-DNA و DNA- پروتئین

✓ مکانیسم پاسخ DNA شامل :۱.مولکول‌های حساس (که آسیب را تشخیص می‌دهند) و۲. مسیرهای انتقال سیگنال (که مکانیسم‌های ترمیم DNA را فعال یا تنظیم می‌کند.)

✓ مکانیسم‌های ترمیم:

- ترمیم جدا شدن باز (base excision repair) و ترمیم جدا شدن نوکلئوتید (nucleotide excision repair) به طور مؤثر اکثر آسیب‌های باز، شکست‌های تک رشته‌ای و کراس لینک‌های DNA را ترمیم می‌کنند.

## شکست دو رشته‌ای DNA:

مهمترین آسیب

عامل مخرب در کشتن سلول‌ها،القا تومور و اثرات وراثتی ناشی از رادیاسیون یونیزان

ترمیم توسط ← nonhomologous end-joining یا homologous recombination

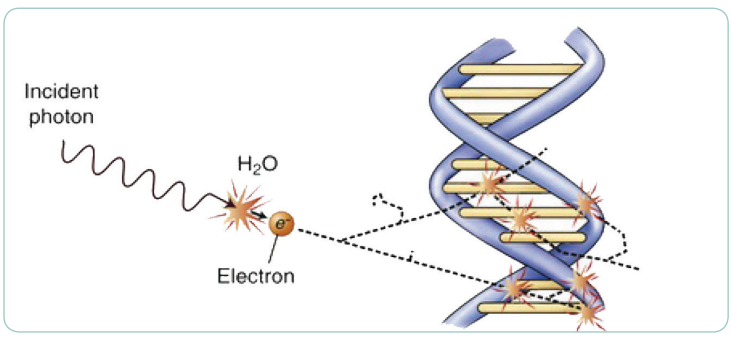
Nonhomologous end-joining یک مکانیسم مستعد خطا است و بسیاری از جهش‌های ناشی از پرتوی یونیزان را سبب می‌شود.

## آسیب خوشه‌ای DNA:

✓ و **دو یا بیش از دو** آسیب نزدیک به هم **(آسیب باز - شکست رشته)** که در **دو دور** مارپیچ DNA اتفاق می‌افتد.

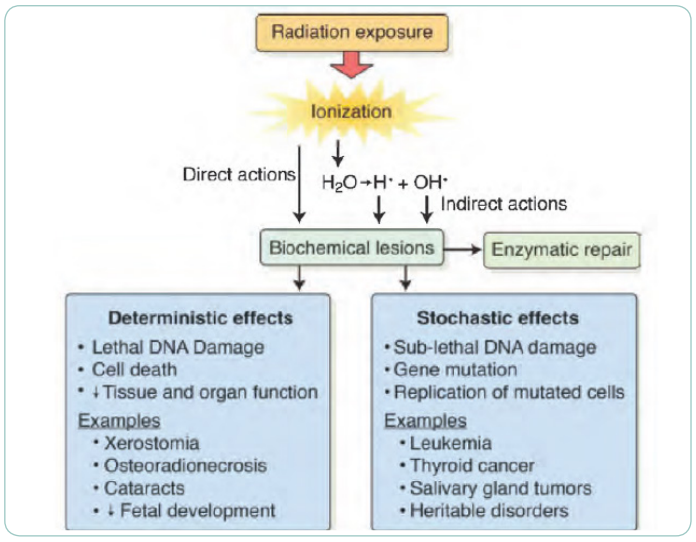
✓ الگوی تخلیه انرژی ناشی از فوتون **اشعه X منفرد** ممکن است باعث این آسیب‌های خوشه‌ای شود.

- **آسیب بحرانی (critical)** برای کشتن سلول و موتاسیون




شکل: آسیب خوشه‌ای به DNA (دئوکسی ریبو نوکلئیک اسید): فوتون منفرد ممکن است باعث چند یونیزاسیون در DNA شود.در این مثال، فوتون برخوری باعث یونیزاسیون مولکول آب شده و الکترون برگشتی سبب آسیب خوشه‌ای بر چندین نقطه از ملکول DNA می‌شود، آسیب خوشه‌ای به سختی ترمیم می‌شود و نظر می‌رسد عامل اکثر مرگ سلولی ناشی از رادیاسیون، اثرات کارسینوژنیک و اثرات ارثی می‌باشد.

یادداشت: .....

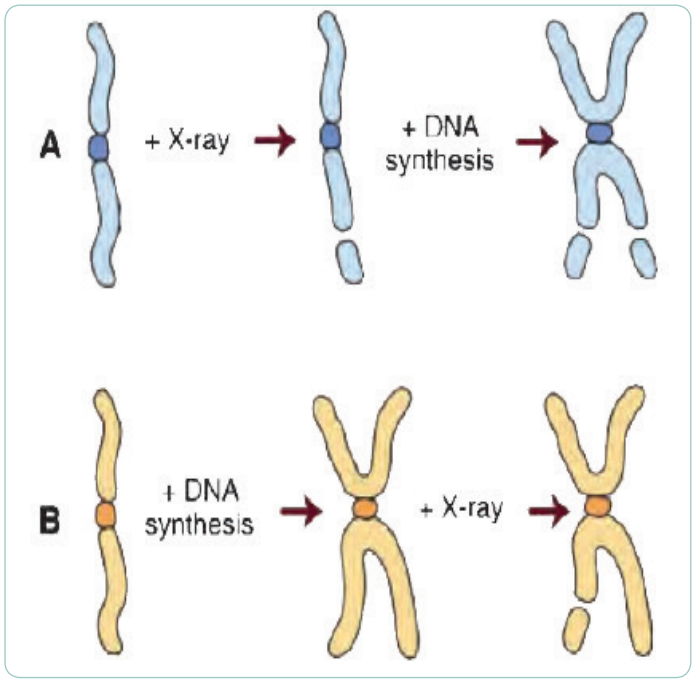



ترجمه شکل: رویدادهای بعد از اکسپوژر به اشعه یونیزان در انسان یونیزان اولیه، اثرات مستقیم و غیر مستقیم اشعه و تغییرات ملکولی اولیه در ملکول‌های ارگانیک در کمتر از ۱s رخ می‌دهد. ترمیم آنزیماتیک یا پیشرفت بیشتر ضایعات بیوشیمیایی در عرض چند دقیقه یا چند ساعت ایجاد می‌شود. اثرات قطعی و احتمالی در مقیاس زمانی چند ماه، چند دهه تا چند نسل می‌تواند رخ دهد.

## نکات مربوط به چرخه سلولی

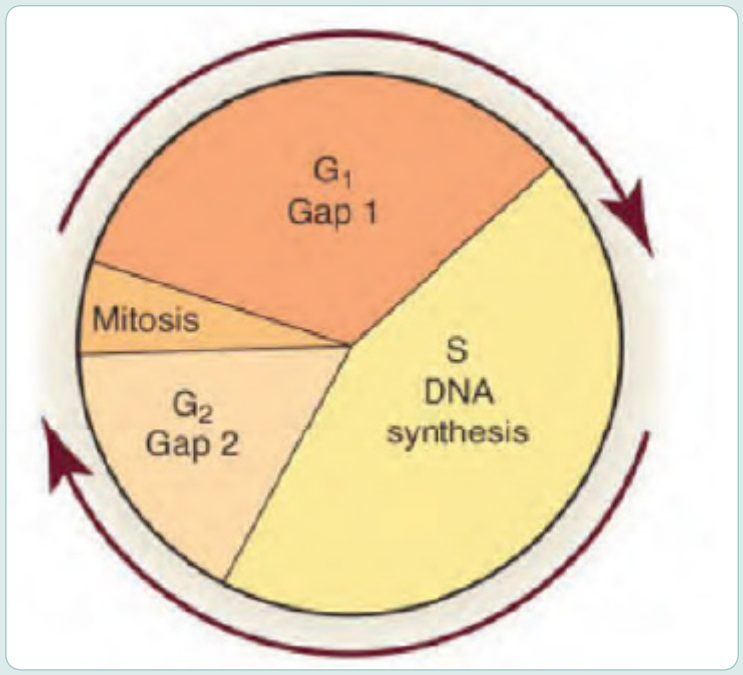
✓ اگر رشته DNA **قبل از همانندسازی** بشکند **(مرحله G۱ و ابتدای فاز S چرخه سلولی)** ← محل شکست همانند سازی شده و هر دو کروماتید خواهری آسیب را به همراه خواهند داشت ← انحرافات **کروموزومی**

✓ اگر سلول **پس از همانندسازی** کروموزوم تحت تابش قرار گیرد ← شکست فقط در یکی از کروماتیدهای خواهری اتفاق می‌افتد ← انحراف **کروماتیدی**




ترجمه شکل: انحرافات کروموزومی. (A) تابش رادیاسیون قبل از سنتز DNA عامل انحراف دوبازویی (کرموزومی) به دلیل همانندسازی آسیب در طی فاز s بعدی شده و در میتوز بعدی قابل رویت می‌شود. (B) تابش رادیاسیون به سلول بعد از سنتز DNA عامل انحراف تک بازوی (کروماتیدی) می‌شود.

یادداشت: .....




ترجمه شکل:
چرخه سلولی. سلول در حال تقسیم سلولی از فاز میتوز شده وارد چرخه می‌شود. هنگامی که کروموزوم‌ها متراکم شده و قابل رؤیت می‌شوند به gap ۱ (G1) می‌رسند و سپس وارد فازهای سنتز DNA (S) و gap۲ (G2) رسیده و در نهایت به میتوز بعدی وارد می‌شوند.

نکته

**سلول‌ها در فاز:**
**G2 و میتوز بیشترین حساسیت به اشعه**
**حساسیت کمتری در فاز G1**
**کمترین حساسیت را در طول انتهای فاز S دارند.**

✓ فرکانس ایجاد انحرافات به طور کلی با میزان دز دریافتی متناسب است.

✓ برخی انحرافات برای سلول کشنده هستند وعامل ایجاد مرگ سلولی در طول میتوز می‌باشند مانند:

- کروموزوم حلقوی (ring chromosome)
- کروموزوم دی سانتریک (dicentric chromosome)
- پل آنافاز (anaphase bridge)

✓ بقیه انحرافات غیر کشنده بوده و شامل جابه‌جایی (translocations) و حذف‌های کوچک (small deletions) می‌باشند که ممکن است عامل القای تومور یا اثرات وراثتی ناشی از اشعه باشند.

یادداشت: .....

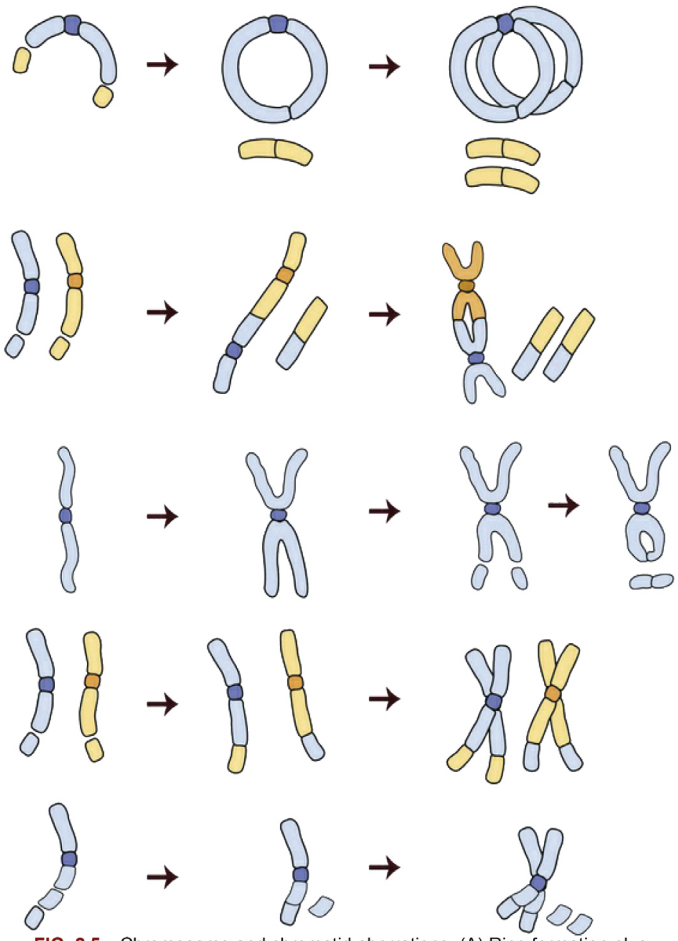


**FIG. 2.5** Chromosome and chromatid aberrations. (A) Ring formation plus acentric fragment. (B) Dicentric formation. (C) Anaphase bridge formation. (D) Translocation and (E) deletion. The occurrence of the breakage and fusion events relative to the cell cycle phase is denoted by the bar on the top.

## اثرات احتمالی و قطعی

✓ تفاوت اصلی بین دو اثر دز استانه است ← اثرات احتمالی دز استانه ندارند، در حالی که اثرات قطعی فقط هنگامی که دز از استانه بیشتر باشد اتفاق می‌افتد.

✓ در رادیاسیون تشخیصی بیمار را در ریسک اثرات احتمالی قرار می‌دهد اما ریسک اثرات قطعی ندارد.

یادداشت: .....

| علت ایجاد | اثرات احتمالی | اثرات قطعی |
|---|---|---|
| | آسیب (غیرکشنده) DNA | مرگ سلولی |
| دوز آستانه | ندارد | دارد |
| | دوز آستانه وجود ندارد. اثر آن می‌تواند توسط هر دوزی از تابش بروز یابد. | اثر آن فقط در صورت تجاوز از حد آستانه بروز می‌یابد. |
| شدت اثرات بالینی و دوز | شدت اثر بالینی مستقل از دوز است. پاسخ همه یا هیچ. فرد یا آسیبی را بروز می‌دهد یا نمی‌دهد. | شدت اثرات بالینی متناسب با دوز است. هرچه دوز بیشتر باشد، اثر آن شدیدتر است. |
| رابطه بین دوز و اثر | احتمال (فرکانس) (شیوع) اثر متناسب با دوز؛ هرچه دوز بیشتر باشد، خطر بروز اثر بیشتر می‌شود. | احتمال اثر مستقل از دوز؛ با تجاوز بیش از حد آستانه، در بیشتر افراد بروز اثر رخ می‌دهد. |
| ناشی از دوزهای کاربردی در رادیولوژی تشخیصی | هست | نیست |
| مثال‌ها | سرطان ناشی از پرتوتابی | استئورادیو نکروز |
| | اثرات ارثی | آب مروارید (کاتاراکت) ناشی از اشعه |
| | سرطان پوست ناشی از اشعه | سوختگی پوست ناشی از اشعه |

**کدام یک از خصوصیات اثرات احتمالی تشعشع است؟ (ارتقا ۹۸)**

الف) احتمال وقوع این اثرات غیروابسته به دز است.

ب) هرچه میزان دز تابش افزایش یابد شدت اثرات بالینی زیاد می‌شود.

ج) برای ایجاد اثرات بالینی باید به مقدار کافی مرگ سلولی اتفاق بیفتد.

د) این نوع اثرات یا اتفاق می‌افتد یا خیر (all or none response)

## اثرات احتمالی (Stochastic Effects)

✓ سلول تحت تابش زنده می‌ماند اما همراه با موتاسیون DNA است.

✓ پیامد تغییرات زیر حد مرگ (sublethal) در DNA سلول است.

✓ تظاهرات اثرات به نوع سلول آسیب دیده بستگی دارد (مثال: اثرات ارثی تنها هنگامی اتفاق می‌افتند که موتاسیون در سلول‌های جنسی رخ دهد)

✓ علت اثرات به موتاسیون معین القاء شده بستگی دارد (مثال: برای ایجاد اثرات کارسینوژنز، موتاسیون باید سلول مشخص با مزیت انتخابی رشد را درگیر کند)

✓ **احتمال ایجاد اثر وابسته به دوز می‌باشد.**

✓ **شدت اثر مستقل از دوز است.**

✓ یک فوتون اشعه X پتانسیل ایجاد موتاسیون DNA را دارد. بنابراین حتی کوچکترین دز اشعه می‌تواند باعث اثرات وراثتی یا سرطان شود.

✓ با افزایش دز اشعه، تعداد محل‌های آسیب ناشی از اشعه در DNA افزایش می‌یابد و ریسک بیماری‌هایی با علت موتاسیون متعاقب آن افزایش می‌یابد. بنابراین، احتمال اثرات احتمالی با افزایش دز اشعه افزایش می‌یابد.

### سرطان ناشی از اشعه

✓ کارسینوژنز یک فرآیند چند مرحله‌ای است که طی آن جهش‌های DNA در سلول جمع شده و یک ویژگی رشدی تکاملی خاص ایجاد می‌کند.

✓ شواهد قوی وجود دارد که پرتوهای یونیزان باعث سرطان می‌شود و **مهمترین اثر نامطلوب رادیاسیون تشخیصی است.**

| کادر ۱-۲: ویژگی‌های کلی سرطان ناشی از اشعه |
|---|
| ● سرطان‌های ناشی از اشعه از جهت کلینیکی و هیستولوژیک از نوع تک گیر یا سرطان‌های القا شده به وسیله مواد شیمیایی غیرقابل تشخیص است.(sporadic) |
| ● بافت‌های مشخص، برای مثال پستان در خانم‌ها و غده تیروئید به اثرات کاسینوژنیک ناشی از اشعه حساس‌ترند. |
| ● دوره نهفتگی طولانی مدتی وجود دارد. از سال‌ها تا چند دهه بین اکسپوژر تا ایجاد سرطان گسترده است. |
| ● ریسک تومورهای القا شده به وسیله اشعه در کودکان سه برابر بیشتر از بالغین می‌باشد. |

سرطان‌های القا شده از رادیاسیون در طی رادیوگرفی‌های تشخیصی فک و صورت:

۱. لوسمی

✓ شیوع لوسمی **(به غیر ازلوسمی لنفوسیتیک مزمن)** بعد از اکسپوژر مغز استخوان به اشعه افزایش می‌یابد.

✓ ریسک در بچه‌ها بالاترین بوده و حداکثر آن تقریباً حدود ۷ سالگی می‌باشد و بعد از ۳۰ سالگی متوقف می‌شود.

۲. سرطان تیروئید

✓ شیوع کارسینوم تیروئید، (مشخصا کارسینوم پاپیلاری تیروئید)، بعد از اکسپوژر بر اشعه افزایش می‌یابد.

✓ وابستگی شدیدی به سن اکسپوژر دارد ← استعداد ابتلا در کودکان بیش از بزرگسالان می‌باشد.

✓ شواهدی اندک مبنی بر رابطه دز پاسخ برای افراد اکسپوز شده در بزرگسالی وجود دارد.

✓ زنان ۲ تا۳ برابر بیشتر نسبت به آقایان مستعد به سرطان‌های تیروئید رادیوژنیک و خود به خود حساس‌ترند.

۳. تومورهای غدد بزاقی

✓ هر دو نوع خوش‌خیم و بدخیم را شامل می‌شود.

✓ اکثر تومورها خوش‌خیم ← **شایع‌ترین: تومور وارتین**

✓ **شایع‌ترین تومور بدخیم: موکواپی درموئیدکارسینوما**

✓ ارتباط بین تومورهای غدد بزاقی و رادیوگرافی دندانی نشان داده شده است اگرچه این ارتباط احتمالاً به علت رادیوگرفی‌های دندانی بیشتر تهیه شده برای کشف علائم تومور است تا اینکه به علت دزهای رادیاسیون دندانی القاء کننده تومور باشد.

۴. سرطان پستان

✓ پستان خانم‌ها به شدت به سرطان القاء شده به وسیله اشعه حساس است.

✓ **رابطه خطی** بین دوز و ریسک (ابتلا) وجود دارد.

✓ ریسک به‌طور قابل ملاحظه‌ای در صورت اکسپوژر زیر ۲۰ سال بالاتر خواهد بود.

۵. سرطان سیستم عصبی و مغز

✓ بیمارانی که تحت اکسپوز معاینات تشخیصی اشعه X در رحم قرار گرفته‌اند و دوزهای درمانی در کودکی یا بزرگسالانی (دوز تقریبی در قسمت میانی مغز = حدود ۱ گری (Gy) دریافت کرده‌اند تعداد موارد بیشتری از تومورهای خوش‌خیم و بدخیم نشان دادند.

✓ مطالعات موردی شاهدی ارتباطی بین منتژیوماهای اینتراکرانیال و رادیوگرفی‌های قبلی پزشکی و دندانپزشکی نشان داده اند.اگرچه به نظر می‌رسد این ارتباط احتمالاً به علت گرافی‌های دندانی بیشتر که در پاسخ به دردهای ارجاعی صورت از تومور تهیه می‌شوند، باشند تا اینکه رادیاسیون علت ایجاد منتژیومای بیشتری باشد.

## اثرات قابل توارث

✓ تغییراتی هستند که در فرزندان افراد اکسپوز شده، مشاهده می‌شود.

✓ پیامد آسیب به DNA سلول جنسی می‌باشند.

✓ این اثرات در اکسپوژرهای سطوح پایین، مانند آنچه در دندانپزشکی با آن روبه رو هستیم،اهمیت کمتری نسبت به اثر کارسینوژنز دارند.

✓ **تا کنون هیچ آسیب ژنتیکی ناشی از رادیاسیون نشان داده نشده است.**

✓ هیچ افزایشی در بارداری نامناسب، لوسمی یا سایر سرطان‌ها یا نقص رشد و تکامل در کودکان باز مانده از بمباران اتمی اتفاق نیفتاده است. به طور مشابه، مطالعات بر روی کودکان بیمارانی که رادیوتراپی انجام دادند افزایش آشکاری در فراوانی بیماری‌های ژنتیکی نشان ندادند. این یافته‌ها احتمال اینکه این آسیب‌ها در فراوانی کم ایجاد شوند را رد نمی‌کنند.

## اثرات قطعی (Deterministic Effects)

✓ به وسیله مرگ سلول‌ها و اثر مرگ سلولی بر عملکرد بافت یا ارگان ایجاد می‌شود.

✓ **احتمال وجود اثر، مستقل از دوز است.**

✓ **اغلب** افرادی که دوزهای بالاتر از حد آستانه را دریافت کردند، اثرات را نشان دادند.

✓ **شدت اثر وابسته به دوز بوده و دوز آستانه به نوع بافت بستگی دارد.** (هر چه دوز بالاتر باشد اثرات شدیدتر است)

✓ معاینات تشخیصی رادیولوژی به گونه‌ای طراحی شدند که دوز آن‌ها پایین‌تر از دوز آستانه نگه داشته شود ← **اثرات قطعی در رادیوگرفی‌های تشخیصی فک و صورت اتفاق نمی‌افتد.**

مرگ سلول

✓ مرگ میتوزی(mitotic catastrophe):

- حالت غالب مرگ سلولی ناشی از رادیوتراپی
- ناشی از ناهنجاری‌های کروموزومی و کروماتیدی کشنده است.
- حساسیت سلول به این نوع مرگ سلولی به **میزان میتوز** و **درجه تمایز** بستگی دارد.
- **قانون برگونی وتریبوندو:**

$$\text{حساسیت سلول به مرگ} = \frac{\text{میزان میتوز}}{\text{درجه تمایز}}$$

- این قانون پیش‌بینی می‌کند که **سلول‌هایی که به سرعت تقسیم می‌شوند حساسیت بیشتری به اشعه خواهند داشت.**
- سلول‌های تمایز یافته پس از میتوز مقاوم‌ترین سلول‌ها به اشعه هستند.

طبقه‌بندی (casarett) انواع سلول‌ها بر اساس حساسیت به اشعه:

| حساسیت به اشعه | گروه | مشخصات | | مثال‌ها |
|---|---|---|---|---|
| | | تقسیم سلولی | وضعیت تمایز | |
| بالا | Vegetative Intermitotic | سریع | تمایز نیافته | سلول‌های بازال مخاط دهان، سلول‌های بنیادی مغز استخوان |
| ↑ | Differentiating intermitotic | منظم | some differentiation | میلوسیت‌ها، اسپرماتوسیت‌ها |
| متوسط | بافت همبند مولتی پتانسیل Multipotent connective tissue | | | فیبروبلاست، سلول‌های اندوتلیال |
| ↓ | Reverting postmitotic | منظم نیست، اما می‌تواند برای تقسیم تحریک شود | کاملاً تمایز یافته | هپاتوسیت‌ها |
| کم | Fixed postmitotic | ندارد | بسیار تمایز یافته | نورون‌ها، سلول‌های ماهیچه‌ای |

**حساس‌ترین سلول بدن انسان نسبت به اشعه یونیزان کدام است؟ (ورودی ۹۹)**

الف) لنفوسیت　　ب) اسپرماتید

ج) میلوسیت　　د) غدد سروزی

حساسیت بافت یا ارگان به اشعه به **دوز اشعه و حساسیت** انواع سلول‌های سازنده بافت بستگی دارد.

| حساسیت نسبی ارگان‌های مختلف به اشعه | | |
|---|---|---|
| بالا | متوسط | پایین |
| ارگان لنفوئیدی | عروق ظریف | نورون‌ها |
| مغز استخوان | غضروف در حال رشد | عضله |
| بیضه‌ها | استخوان در حال رشد | |
| روده‌ها | غدد بزاقی | |
| غشاهای مخاطی | ریه‌ها | |
| | کلیه | |
| | کبد | |

## آپوپتوزیس

✓ استثناء قانون برگونیو تریبوندو:

**لنفوسیت‌ها:** حساس‌ترین سلول پستانداران نسبت به اشعه

آسینی‌های **سروزی** غدد بزاقی: با وجود اینکه به سرعت تقسیم نمی‌شوند به شدت حساس به اشعه می‌باشند.

در این سلول‌ها آپوپتوز شایع‌ترین نوع مرگ سلولی القا شده از اشعه می‌باشد.

✓ اسیب ناشی از اشعه باعث فعال شدن آبشار برنامه‌ریزی شده از اتفاقاتی می‌شود که به سرعت باعث مرگ سلولی طی چند ساعت بعد از اکسپوژر به اشعه می‌شود.

✓ **بر خلاف مرگ میتوزی، آپوپتوز نیاز به ورود سلول به فرایند میتوز ندارد و مرگ سلول در حین اینترفاز اتفاق می‌افتد.**

✓ شواهد قوی وجود دارد که سیگنال اولیه آپوپتوز توسط آسیب به DNA ناشی از اشعه تحریک می‌شود.

✓ ژن‌های سرکوب‌گر تومور 53P تنظیم کننده اصلی آپوپتوز می‌باشند.

**مکانیسم مرگ تکثیری آپوپتوز در کدام بافت بدن شایع‌تر است؟ (بورد ۹۹)**

الف) غدد بزاقی　　ب) غشای مخاطی بازال

ج) پوست　　د) بافت لنفوئیدی

## اثر By stander

✓ سلول‌های نزدیک به سلول‌های اشعه دیده که به طور مستقیم اکسپوز نشده‌اند آسیب‌های ناشی از اشعه را نشان می‌دهند.

✓ تاثیر این اثر در مرگ سلولی در محیط invivo هنوز نامشخص است.

- اثرات قطعی کوتاه مدت ممکن است در طی چند ساعت تا چند روز تظاهر یابند و پیامد کاهش تعداد سلول‌های بالغ در بافت‌ها می‌باشد.
- اثرات قطعی بلند مدت (طی ماه‌ها و سال‌ها بعد از اکسپوژر ایجاد می‌شوند) به طور اولیه ناشی از مرگ سلول‌های تکثیر شونده، جایگزینی با بافت فیبروز و آسیب به عروق ظریف است.

### اثرات قطعی اشعه بر روی رویان و جنین

✓ رویان و جنین به طور قابل توجهی از حساسیت بالاتری نسبت به بزرگسالان برخوردار هستند زیرا بیشتر سلول‌های جنین نسبتاً تمایز نیافته‌اند و سرعت میتوز بالایی دارند.

✓ **اثرات به دوز و سن بارداری (سن رویان) در طی رادیاسیون وابسته است:**

- رادیاسیون در طی دوران قبل از لانه گزینی (Preimplantatin) (روز ۰ تا ۹ در انسان) ← مرگ جنین

دوز آستانه این اثر ۱۰۰ mGy تخمین زده شده که تقریباً ۱۴۰۰۰ بار بیشتر از دوز جنینی دریافتی طی معاینات دندانی است. در مقایسه، دوز دریافتی رویان و جنین از رادیاسیون زمینه‌ای به میزان ۰/۵ تا ۱msv در طول ۹ ماه بارداری می‌باشد.

- در انسان‌ها، رادیاسیون جنین با میکروسفالی (رادیاسیون در طی هفته ۸ تا ۱۵ بارداری) و عقب ماندگی ذهنی (رادیاسیون در هفته ۸ تا ۲۵ بارداری) در ارتباط می‌باشد. دوز آستانه برای این اثرات 0/3 Gy است که تقریباً ۴۲۰۰۰ برابر بالاتر از دوز جنین از معاینات رادیوگرافیک فک و صورت می‌باشد.

### کاتاراکت

✓ آسیب اشعه یونیزان به لنزهای چشم موجب کاتاراکت، کدر یا تیره و تارشدن (Clouding)(Opacification)) عدسی‌ها می‌گردد.

✓ طبق دستورالعمل اخیر ICRP دوز آستانه این اثر ۰/۵ Gy برای اشعه با LET پایین مانند اشعهX است که جایگزین مقدار قبلی ۲Gy شده است (محافظه‌کارانه)

✓ طبق دستورالعمل NCRP دوز آستانه اندکی بالاتر و ۱تا ۲Gy برای آسیب بینایی کاتاراکت تخمین زده شده است.

✓ دوز جذبی عدسی چشم در طی معاینات رادیوگرافیک دندان و فک و صورت گستره‌ای از ۰/۰۲ تا ۰/۴ mGy می‌باشد که حداقل ۱۲۵۰ بار کمتر از تخمین محافظه‌کارانه ICRP می‌باشند.

### رادیوتراپی درگیر کننده حفره دهان

✓ رادیوتراپی به صورت تعداد زیادی دوزهای کوچک روزانه (Fractions) انجام می‌شود (روزانه 2Gy و هفتگی 10Gy برای ۷-۶ هفته که به‌طور کلی 70-60Gy دوز می‌شود).

✓ فواید Fractionation

۱. تخریب بیشتر تومور نسبت به تک دوز زیاد

۲. افزایش ترمیم سلولی بافت‌های نرمال اطراف که به صورت اجتناب‌ناپذیری اکسپوز شده‌اند.

۳. افزایش میانگین فشار اکسیژن در تومور اشعه دیده و در نتیجه افزایش حساسیت سلول‌های تومور به اشعه

(این فرآیند نتیجه کشته شدن سلول‌های تومورال با تقسیم سریع و جمع شدن تومور بعد از Fractionهای اندک اولیه و کاهش فاصله‌ای است که اکسیژن باید از عروق ظریف در میان تومور منتشر شده تا به سلول‌های تومورال باقی مانده برسد)

✓ Intensity-modulated radiotherapy (IMRT) ← روش جدید جهت کنترل توزیع دقیق دوز و به حداقل رساندن پرتودهی به بافت‌های طبیعی مجاور

### عوارض دهانی ناشی از رادیوتراپی:

یادداشت:

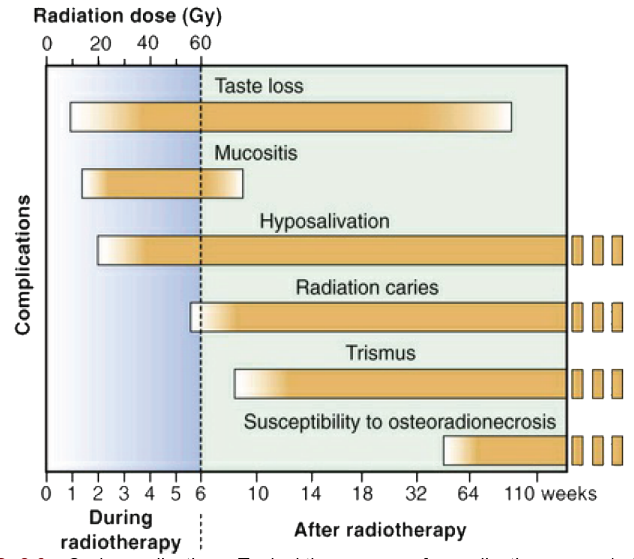



**FIG. 2.6** Oral complications. Typical time course of complications seen during and after a course of radiation therapy to the head and neck. *Shaded area* in first 6 weeks represents accumulated dose. *Shading within bars* indicates severity of complication. Note recovery of taste and healing of mucositis. Changes persisting after 2 years pose lifelong risks. (Adapted from Kielbassa AM, Hinkelbein W, Hellwig E, Meyer-Lückel H. Radiation-related damage to dentition. *Lancet Oncol.* 2006;7:326–335.)

**شکل: دوره زمانی معمول عوارض مشاهده شده در طول و بعد از یک درمان رادیوتراپی به ناحیه سر و گردن. ناحیه رنگ شده دوز تجمعی در ۶هفته ابتدایی را نشان می‌دهد. نواحی رنگ شده درون میله ها، شدت عوارض را نشان می‌دهد . تغییراتی که پس از ۲ سال باقی می‌مانند ، ریسک باقی ماندن در تمام طول عمر را دارند.**

کدام اثر ناشی از اشعه در حفره دهان ماندگار (تمام طول عمر) است؟ (بعد از ۲ سال) ← کاهش بزاق، پوسیدگی، تریسموس، استئو رادیونکروز

کدام اثر ناشی از اشعه در حفره دهان دیرتر از بقیه اثرات آغاز می‌شود؟

استئورادیونکروز

کدام اثر ناشی از اشعه در حفره دهان پس از پایان رادیوتراپی آغاز می‌شود؟

تریسموس، استئورادیونکروز

کدام اثر زودتر از بقیه بهبود می‌یابد؟

موکوزیت

کدام اثر زودتر از بقیه ایجاد می‌شود؟

از دست رفتن حس چشایی

**بروز کدام عارضه در طی دوره انجام رادیوتراپی محتمل نمی‌باشد؟ (ارتقا ۹۵)**

الف) از دست رفتن حس چشایی　　ب) موکوزیت

ج) کاهش بزاق　　د) تریسموس

### مخاط دهان

- ✓ مخاط دهان شامل لایه بازال است که از سلول‌های پیش ساز با **تقسیم سریع و حساس** به اشعه تشکیل شده است.
- ✓ در **انتهای هفته دوم رادیوتراپی**، مرگ سلولی باعث ایجاد پاسخ التهابی می‌شود و غشاء مخاطی شروع به نشان دادن نواحی قرمز و ملتهب **(موکوزیت)** می‌کند.
- ✓ در حین درمان، غشای مخاطی تحت تابش از بافت همبند زیرین جدا می‌شود و یک **غشا کاذب** (pseudomembrane) سفید مایل به زرد (لایه اپیتلیال دسکوامه) را تشکیل می‌دهد.
- ✓ در انتهای رادیوتراپی، معمولاً موکوزیت در شدیدترین حالت می‌باشد و ناراحتی بیمار حداکثر بوده و غذا خوردن مشکل می‌شود.
- ✓ **بهداشت دهانی** خوب میزان عفونت را به حداقل می‌رساند.
- ✓ **بی‌حسی‌های موضعی** ممکن است در زمان غذا خوردن نیاز باشد.
- ✓ عفونت قارچی ثانویه به وسیله **کاندیدا آلبیکنس** از عوارض شایع است ممکن است نیاز به درمان داشته باشد.
- ✓ با پایان رادیوتراپی، مخاط به **سرعت بهبود** می‌یابد. بهبودی معمولاً **در طی حدود ۲ ماه کامل** می‌شود، اما فیبروز شدن بافت همبندی زیرین باعث اتروفیک شدن، نازک و نسبتاً بدون عروق شدن مخاط می‌شود.
- ✓ تغییرات اتروفیک ← زخم‌های دهانی ← استفاده از **دنچر** دشوار می‌شود.
- ✓ زخم‌ها همچنین ممکن است نتیجه نکروز ناشی از اشعه یا عود تومور باشد ← بیوپسی جهت افتراق مورد نیاز باشد.

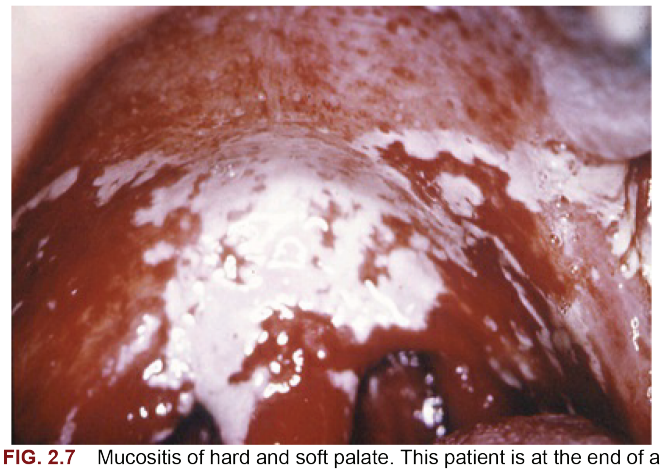


**FIG. 2.7** Mucositis of hard and soft palate. This patient is at the end of a course of radiotherapy and demonstrates an inflammatory response in the oral mucosa and areas of white pseudomembrane, areas where the oral epithelium separated from the underlying connective tissue.

### جوانه‌های چشایی

- ✓ جوانه‌های چشایی نسبت به اشعه حساس می‌باشند.
- ✓ دوزهای در محدوده درمانی باعث از دست رفتن حس چشایی، **در طول هفته دوم یا سوم** رادیوتراپی می‌شوند.
- ✓ وحس چشایی معمولاً ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بار در طی دوره رادیوتراپی کاهش می‌یابد.
- ✓ تغییر در جریان بزاق ممکن است قسمتی از دلیل این کاهش باشد.
- ✓ درگیری جوانه‌های چشایی:
  - مزه‌های تلخ(Bitter) و ترش(acid) ← ۲/۳ خلفی زبان
  - مزه‌های شوری(salt) و شیرینی(sweet) ← ۱/۳ قدامی زبان
- ✓ از دست رفتن چشایی قابل برگشت است و بازگشت آن **۲ تا ۴ ماه** زمان می‌برد.

### غدد بزاقی

- ✓ باوجود سلول‌های نسبتاً تمایز یافته غدد بزاقی نسبت به اشعه بسیار حساس هستند که احتمالاً به دلیل آپوپتوز القاء شده توسط اشعه در سلول‌های آسینار غدد بزاقی است.
- ✓ پروتکل‌های رادیوتراپی بر این تلاش هستند که دوز تجمعی غده پاروتید را تا حدود۲۵Gy محدود کنند تا عملکرد غدد بزاقی بتواند بعد از رادیوتراپی بازیابی شود. این محدودیت دوز برای **غده ساب مندیبولار** 35Gy می‌باشد، که **نسبت به پاروتید به اشعه مقام تر** است

✓ در هفته اول رادیوتراپی ← ۵۰٪ کاهش جریان بزاق به علت آپوپتوز سلول‌های آسینار

✓ میزان جریان بزاق به تدریج به کمتر از ۱۰٪ در طول یکسال کاهش می‌یابد ← خشکی دهان ← مشکل در جویدن و بلعیدن

✓ تغییرات دیررس در غده شامل فیبروز و کاهش عروق ← بازیابی عملکرد غده بزاقی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

✓ **فعالیت باقی مانده غده،وابسته به دز می‌باشد** (مثال: در دزهای کمتر از ۴۵Gy، تنها ۵٪ از بیماران به طور دائمی از دست دادن فعالیت را تجربه می‌کنند، که ۵ سال بعد از رادیوتراپی مشخص می‌گردد. در دوزهای ۶۰Gy یا بالاتر، این از دست رفتن به ۵۰٪ افزایش می‌یابد.

✓ کاربردIMRT به حفظ غده بزاقی **سمت مقابل** کمک می‌کند و از دست رفتن عملکرد غده بزاقی را به حداقل می‌رساند.

✓ بزاق باقیمانده:

۱. PH کمتر (به طور میانگین۵/۵ در مقایسه با ۶/۵ در افراد نرمال) ← شروع دکلسیفیکاسیون مینای نرمال
۲. کاهش ظرفیت بافری

### پوسیدگی‌های ناشی از اشعه

✓ پوسیدگی‌های ناشی از اشعه، فرم پیشرونده پوسیدگی دندانی است که ممکن است در بیمارانی که خشکی دهان ناشی از اشعه دارند، اتفاق بیفتد.

✓ در نتیجه تغییرات در غدد بزاقی و بزاق ایجاد می‌شود:

۱. کاهش جریان بزاق
۲. کاهش PH
۳. کاهش ظرفیت بافری
۴. افزایش ویسکوزیته
۵. تغییرات فلور نرمال بزاق

✓ بیمارانی که تحت رادیوتراپی دهان قرار گرفته‌اند، افزایش استرپتوکوک موتانس، لاکتوباسیل و کاندیدا را نشان دادند.

✓ بزاق باقی مانده در افراد مبتلا به خشکی دهان، دارای غلظت پایین$Ca^{2+}$ بوده ← حل شدن بیشتر ساختار دندانی و کاهش رمینرالیزاسیون

✓ به دلیل کاهش یا نبود عملکرد پاکسازی بزاق نرمال، دبری‌ها سریعاً تجمع می‌یابند.

✓ انواع پوسیدگی ناشی از اشعه: (ناشی از تغییر در غدد بزاقی، بزاق و فلور میکروبی تغییر یافته است):

۱. پوسیدگی **سطحی منتشر** (باکال، پالاتال یا لینگوال، اکلوزال یا اینسایزال) **(شایع‌ترین)**
۲. پوسیدگی سرویکال: درگیری عاج و سمنتوم به‌صورت محیطی که منجر به ازبین‌رفتن تاج دندان می‌شود.
۳. پیگمانتاسیون تیره رنگ در سراسر تاج که ممکن است لبه‌های اینسایزورها واضحاً ساییده شوند.

✓ ترکیبی از این ضایعات (۳ نوع) ممکن است در برخی بیماران دیده شود.

✓ مکان، دوره سریع و حمله گسترده، پوسیدگی‌های ناشی از اشعه را متمایز می‌کند.

✓ اگر استخوان ناحیه پری اپیکال دز بالایی دریافت کرده باشد پوسیدگی ناشی از اشعه با احتمال بیشتری منجر به ضایعات التهابی پری اپیکال می‌شوند.

✓ بهترین روش کاهش پوسیدگی، استفاده روزانه از **ژل فلوراید سدیم ۱٪ خنثی** به صورت موضعی در تری‌های ساخته شده برای بیمار می‌باشد. بهترین نتیجه با ترکیب درمان‌های ترمیمی دندانی، بهداشت دهانی عالی، محدود کردن رژیم غذایی پوسیدگی‌زا حاصل می‌شود.

✓ پوسیدگی ناشی از اشعه تهدیدی در کل زندگی می‌باشد.

✓ دندان‌هایی با پوسیدگی وسیع یا با درگیری پریودنتال اغلب قبل از رادیوتراپی کشیده می‌شوند.

**FIG. 2.8** Radiation caries. Note the extensive loss of structure on the occlusal surface of the mandibular teeth resulting from radiation-induced xerostomia.

### دندان‌ها

✓ تأثیر رادیاسیون بر دندان‌ها به مرحله رشد آن بستگی دارد.

✓ رادیوتراپی در **مرحله اولیه رشد** ← از بین رفتن جوانه دندانی

✓ دندان نیمه تکامل یافته ← مهار تمایز سلولی و ایجاد بدشکلی یا توقف رشد کلی دندان

✓ این اکسپوژر ممکن است باعث تأخیر یا توقف شکل‌گیری ریشه شود.

✓ **مکانیسم رویشی دندان نسبت به اشعه نسبتاً مقاوم است** ← دندان‌های اشعه دیده با تشکیل ریشه تغییر یافته معمولا رویش می‌یابند. حتی اگر بدون ریشه باشند.

✓ شدت آسیب وابسته به دز می‌باشد.

✓ کودکانی که رادیوتراپی در ناحیه فکین دریافت کرده‌اند ممکن است ناهنجاری‌هایی را در دندان‌های دائمی نشان دهند مانند:

۱. تکامل ریشه تاخیری
۲. دندان‌های کوتاه (dwarf teeth)
۳. عدم تشکیل یک یا چند دندان

یادداشت: .....

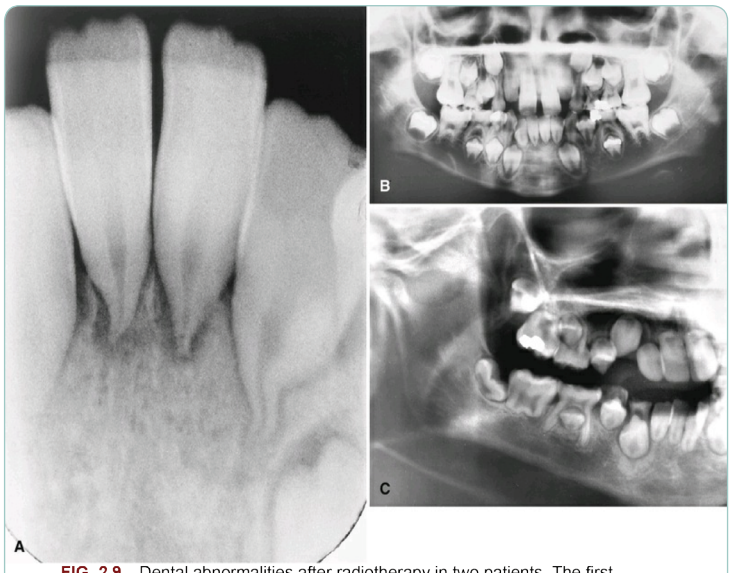



**FIG. 2.9** Dental abnormalities after radiotherapy in two patients. The first patient, a 9-year-old girl who received 35 Gy at age 4 years because of Hodgkin disease, had severe stunting of the incisor roots with premature closure of the apices at 8 years (A) and retarded development of the mandibular second premolar crowns with stunting of the mandibular incisor, canine, and premolar roots at 9 years (B). The second patient (C), a 10-year-old boy who received 41 Gy to the jaws at age 4 years, had severely stunted root development of all permanent teeth with a normal primary molar. ([A] and [B], Courtesy Mr. P. N. Hirschmann, Leeds, UK. [C], Courtesy Dr. James Eischen, San Diego, California.)

## استخوان

✓ آسیب اولیه ایجادشده در استخوان ناشی از آسیب به **عروق پریوست و استخوان کورتیکال** است.

✓ استئورادنکروز (ORN) **عارضه دیررس** رادیوتراپی است.

✓ تعریف ORN: ناحیه‌ای از بافت استخوانی اشعه دیده و اکسپوز شده که در طول دوره **۳ ماهه** در ترمیم شکست خورده و فاقد هر گونه تومور باقی‌مانده یا عودکننده می‌باشد.

✓ رادیاسیون تغییرات میکرو واسکولار القا می‌کند که شرایطی از **هایپوکسی، هایپوواسکولاریتی و هایپو سلولاریتی** ایجاد می‌کند، بنابراین هموستاز نرمال استخوان را مختل کرده و منجر به ایجاد زخم‌های مزمن، ترمیم نشده می‌شود.

✓ فیبروز ناشی از اشعه در پیشرفت ORN مؤثر است.

✓ آسیب سلولی ناشی از اشعه محرک آبشار التهاب مزمن و اختلال در فعالیت فیبروبلاستیک اطراف دیواره عروق می‌شود که پاسخ فیبروتیک مزمن را در استخوان و هم در مخاط پوشاننده تشدید می‌کند.

✓ **ORN معمولا ۶ تا ۱۲ ماه بعد از دوره رادیوتراپی بروز می‌کند اما می‌تواند در هر زمان، طی ماه‌ها تا سال‌ها بعد از رادیوتراپی گسترش یابد.**

✓ شیوع ORN در رادیوتراپی معمولی، IMRT و براکی تراپی تقریباً ۵٪ تا ۷٪ است.

✓ ORN در **فک پایین** نسبت به فک بالا، به دلیل عروق نسبتاً کم فک پایین، شایع‌تر است.

✓ ریسک ORN وابسته به دوز است و زمانی که دوز استخوان بیش از ۶۶ گری باشد ۱۱ برابر افزایش می‌یابد.

✓ هنگامی که دوز کمتر از ۶۰ گری باشد، ORN غیر از متحمل است و به ندرت در دوزهای کمتر از ۵۰ گری اتفاق می‌افتد.

✓ ریسک فاکتورهای مهم بالینی:

- دندان‌های پوسیده
- بیماری‌های پریودنتال
- ترومای ناشی از کشیدن دندان
- دنچرهای با تطابق ضعیف

✓ **گشادی فضای pdl در دندان‌های مندیبل یافته شایعی در مندیبل اشعه دیده است اما در صورتی که استخوان پیرامون حالت لیتیک نداشته باشد، نیاز به درمان خاصی ندارد.**

**نکته**

**هنگامی‌که‌بیماری‌پیشرفت‌می‌کند، تخریب‌استخوان در نمای رادیوگرافی به صورت نواحی رادیولوسنتPatchy همراه با جزایر رادیودنس از استخوان نکروتیک یا سکستر مشخص می‌شود تخریب استخوان ممکن است به اندازه‌ای شدید باشد که برای شکستگی پاتولوژیک کافی باشد.**

✓ مراقبت‌های دندانی قبل از رادیوتراپی ریسک ORN را کاهش می‌دهد ← دندان‌های پوسیده باید پیش از رادیوتراپی ترمیم شوند. دندان‌هایی با پوسیدگی‌های گسترده یا با حمایت پریودنتال ضعیف ممکن است خارج شوند ← ۲ تا ۳ هفته زمان جهت ترمیم ناحیه دندان کشیده شده قبل از رادیوتراپی نیاز است.

✓ معاینات و رادیوگرفی‌های دوره‌ای پس از رادیوتراپی، تشخیص زودهنگام پوسیدگی و التهاب پری اپیکال را ممکن می‌سازند. دوز رادیاسیون ناشی از این اکسپوژرهای تشخیصی نسبت به میزانی که در طی رادیوتراپی دریافت می‌شود، قابل چشم‌پوشی می‌باشد **و زمانی که تهیه رادیوگرافی اندیکاسیون دارد نباید اجتناب شود.**

✓ کشیدن دندان در ناحیه استخوان اشعه دیده باید با حداقل ترومای جراحی انجام شود.

✓ دنچرها ممکن است نیاز به تنظیم داشته باشند تا خطر زخم‌های ناشی از دنچر به حداقل برسد.

**خانمی ۳۰ ساله با سابقه بدخیمی حفره دهان و انجام رادیوتراپی در ۲ سال گذشته مراجعه نموده است با توجه به تاریخچه مشاهده کدام یافته در رادیوگرافی طبیعی تلقی می‌شود؟ (ورودی ۱۴۰۰)**

الف) مشاهده سکستر

ب) مولرهای مندیبل با ریشه کوتاه

ج) نواحی رادیولوسنت Patchy

د) گشادی pdl در دندان‌های مندیبل

یادداشت:

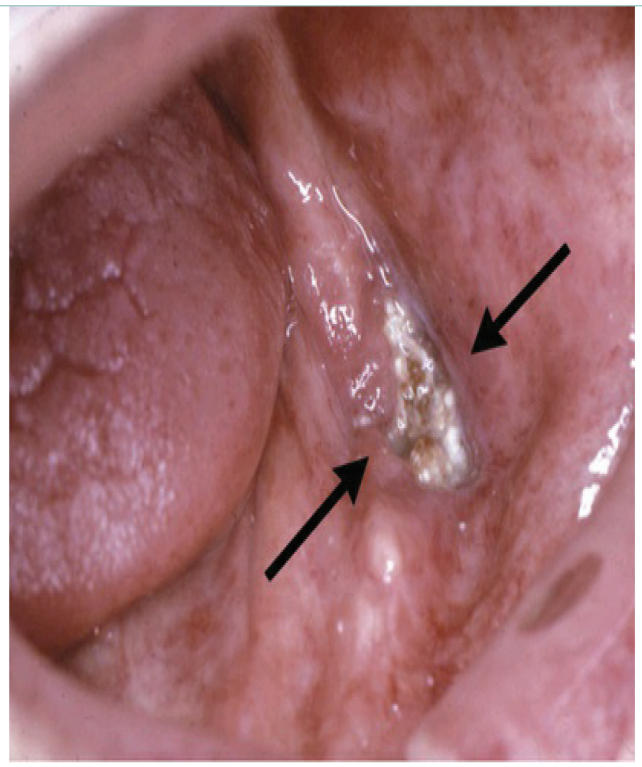


FIG. 2.10 Osteoradionecrosis presenting as an area of exposed bone in the irradiation field. Note the loss of oral mucosa *(arrows)*.

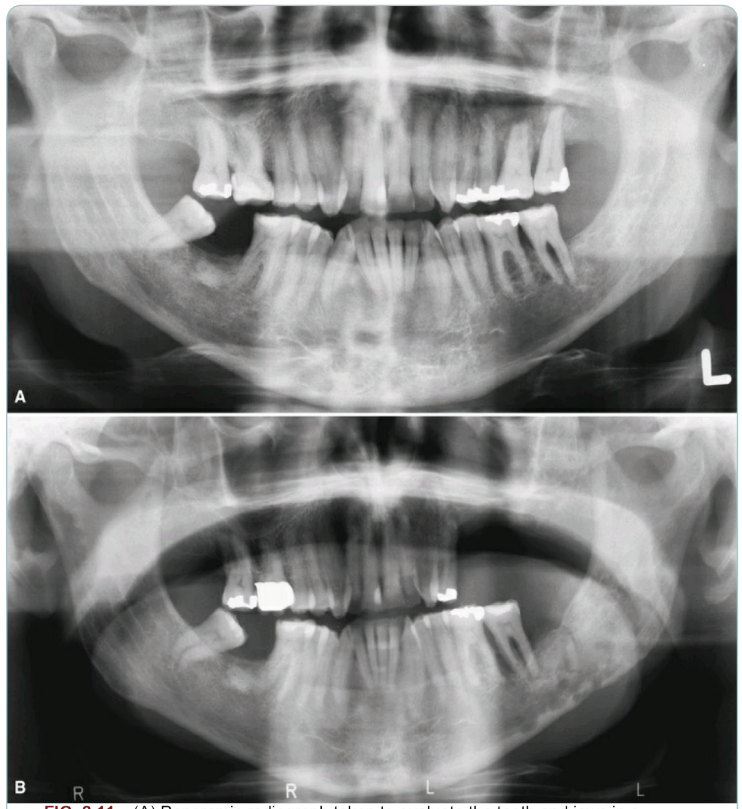



FIG. 2.11 (A) Panoramic radiograph taken to evaluate the teeth and jaws in a postradiation therapy patient shows presence of mild periodontal bone loss. (B) Panoramic radiograph of same patient taken 3 years later shows extensive bone destruction in the left posterior mandible body-angle region, extending to the inferior mandibular cortex.

### سیستم عضلانی

- ✓ رادیاسیون می‌تواند عامل التهاب و فیبروز شود که منجر به تریسموس و انقباض در عضلات جونده شود.
- ✓ عضلات **ماستر و پتریگویید** معمولاً درگیر هستند.
- ✓ محدودیت در باز کردن دهان معمولاً حدود **دو ماه بعد از** اتمام رادیوتراپی **شروع شده** و پس از آن پیشرفت می‌کند.

## سؤالات مهم فصل

**۱. احتمال کدام‌یک متعاقب انجام یک‌سری رادیوگرافی کامل داخل دهانی وجود دارد؟ (سال ۹۰)**

الف) کاتاراکت　　ب) زروستومیا

ج) لوسمی　　د) موکوزیت

**۲. دوز مورد نیاز جهت ایجاد یک اثر بیولوژیک مشخص و یکسان در کدام‌یک از تشعشع‌های زیر کمتر است؟ (سال ۹۲)**

الف) گاما　　ب) آلفا

ج) ایکس　　د) بتا

**۳. در ارتباط با مشکلات دهانی به دنبال رادیوتراپی سر و گردن، بروز کدام‌یک از عوارض در شش هفته اول افزایش می‌یابد؟ (سال ۹۴)**

الف) از دست رفتن حس چشایی　　ب) کاهش ترشح بزاق

ج) تریسموس　　د) التهاب مخاط

**۴. شروع کدام‌یک از عوارض در ناحیه دهان پس از اتمام دوره رادیوتراپی خواهد بود؟ (بورد ۹۱)**

الف) کاهش حس چشایی　　ب) کاهش جریان بزاق

ج) پوسیدگی‌های ناشی از اشعه　　د) تریسموس عضلات

**۵. کدام‌یک از عوارض ناشی از رادیوتراپی تا بیش از دو سال بعد از درمان می‌تواند ادامه یابد؟ (بورد ۹۲)**

الف) تریسموس- استئورادیونکروز- کاهش حس چشایی

ب) پوسیدگی دندانی- استئورادیونکروز- کاهش حس چشایی

ج) تریسموس- پوسیدگی دندانی- کاهش بزاق

د) استئورادیونکروز- کاهش حس چشایی- کاهش بزاق

**۶. کدام بیماری induced Radiation نیست؟ (بورد ۹۰)**

الف) سرطان تیروئید　　ب) سرطان پوست

ج) سرطان استخوان　　د) لوسمی مزمن لنفوسیک

**۷. کدام گزینه از اثرات احتمالی Stochastic Effect اشعه یونیزان بر بدن است؟ (ورودی ۹۶)**

الف) مرگ سلولی　　ب) جهش ژنی

ج) خشکی دهان　　د) اختلال در حس چشایی

**۸. پرتودرمانی در غدد بزاقی سبب افزایش کدام فاکتور می‌شود؟ (ورودی ۹۷)**

الف) ظرفیت بافری بزاق　　ب) pH بزاق

ج) ویسکوزیته بزاق　　د) کلسیفیکاسیون مینا

**۱. کدام‌یک از عوارض رادیوتراپی در ناحیه حفره دهان ممکن است تا آخر عمر باقی بماند؟ (ورودی ۹۸)**

الف) تریسموس- موکوزیت

ب) تریسموس- کاهش بزاق

ج) موکوزیت- استئورادیونکروز

د) کاهش چشایی- استئورادیونکروز

یادداشت: