

حفاظت در برابر پرتوگیری داخلی

دکتر محمد رضا منظم

استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و مدیر کل دفتر بررسی

آلودگی هوا سازمان حفاظت محیط زیست

mmonazzam@hotmail.com

حفاظت در برابر پرتوگیری داخلی

- چنانچه عنصر پرتوزا بدون پوشش (باز یا قابل انتشار در محیط) باشد علاوه بر پرتوگیری خارجی امکان آلودگی داخلی (پرتوگیری داخلی) نیز وجود خواهد داشت.
- تازمانی که چشمه پرتو ده در بدن وجود دارد همچنان پرتوگیری داخلی وجود خواهد داشت، تنها راه توقف و یا کاهش پرتوگیری، دفع سریع آن ماده از بدن می باشد.

راههای ورود عناصر پرتوزا به بدن

۱. استنشاق (عمده ترین راه)
۲. بلع
۳. جذب راه پوست سالم (برای ورود برخی از عناصر پرتوزا نظیر تریتیوم بصورت آب یا بخار و نیز عناصر ید پرتوزا بصورت بخار یا محلول حائز اهمیت است، گرچه پوست سالم یک مانع موثر برای ورود عناصر پرتوزا بشمار میرود)
۴. جذب از طریق زخمهای پوستی
۵. قرار گرفتن بدن در معرض پرتوهای نوترون (مثلا تبدیل سدیم ۲۳ به سدیم ۲۴ که یک ماده رادیو اکتیو است)
۶. ورود مواد پرتوزا بشکل عمدی

عملکرد بیولوژیکی عناصر پرتوزا در بدن

• این عملکرد در بدن طی چهار مرحله صورت میگیرد:

۱. نشست

✓ عناصری که قابل حل در مایع خارج سلولی بوده و قابل نفوذ به داخل خون باشند را
عناصر قابل انتقال در غیر اینصورت عناصر غیر قابل انتقال مینامند

۲. جابجائی

۳. توزیع

۴. دفع

✓ عمدتاً از طریق ادرار

✓ بازدم

✓ عرق و بزاق

✓ مدفوع

• نیمه عمر موثر

$$T_{eff} = \frac{T_p \times T_B}{T_p + T_B}$$

حفاظت در برابر پرتوگیری داخلی

- با توجه به راههای ورود عناصر پرتوزا به بدن جهت حفاظت شخصی باید بطرق مختلف جلوی این راههای ورودی را گرفت، راههای عمده شامل:
 ۱. کنترل منبع پرتوزا (محفوظ و محصور کردن منبع)
 ۲. کنترل محیط (تهویه و مراقبتهای لازم)
 ۳. وسایل حفاظت شخصی
 ۴. مونیورینگ پرتوگیری داخلی
- اقدامات فوق عمدتاً شبیه اقدامات جهت آلودگی هواست که تفاوت آنها در حدود مجاز است

حداکثر غلظت مجاز

- حداکثر غلظت مجاز چند ماده بر اساس سمیت شیمیائی و پرتوشناختی در جدول زیر با یکدیگر مقایسه شده اند:

حداکثر غلظت مجاز (میلی گرم بر متر مکعب)		نام عنصر
غیر پرتوزا	پرتوزا	
۰,۰۰۲	1.7×10^{-8} 7B	برلیوم
۰,۱	5×10^{-9} ^{203}Hg	جیوه
۰,۰۵	1×10^{-9} ^{210}pb	سرب
۰,۵	3×10^{-9} ^{74}As	ارسنیک
۰,۱	4×10^{-10} ^{125}Cd	کادمیوم
۵	1.2×10^{-8} ^{65}Zn	روی

محصور سازی

- ساده ترین نوع محصور سازی مواد پرتوزا محدود کردن کار با آنها در جاهای کاملا مجزا و کاملا مشخص در آزمایشگاه و استفاده از آنها در ظروف جداگانه است.
- این روش برای کار با آلودگی پائین است
- اگر امکان رها شدن میزان بیشتری از آلودگی بصورت گاز و .. باشد معمولا از هود استفاده میشود.
- هود مواد پرتوزای آزاد شده را همراه با جریان هوا از طریق لوله ها خارج میکند
- لذا لازمست هوای کافی در تمام اوقات به درون هود راه یابد.
- مقدار هوای لازم بستگی به ماهیت فیزیکی مواد پرتوزای مورد استفاده دارد.
- برای گاز و بخار جریان کمتری نسبت به ذرات معلق نیاز است.
- برای جلوگیری از آلودگی هوای خارج از محیط کار ، ضروریست هوای خروجی توسط یک پاک کننده مناسب تصفیه شود.

محصور سازی (ادامه)

- برای کم کردن احتمال آلودگی محیط کار با مواد خارج شونده از هود، لازمست همه کانال کشیها تحت فشار منفی نگهداری شوند. در این صورت هرگونه نشت در کانال کشی به درون کانال کشیده خواهد شد.
- سرعت جریان نباید خیلی زیاد (باعث تلاطم نشود) و نه خیلی کم باشد.
 - برای گاز سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه در کانالها کفایت
 - برای گردو غبار میزان سرعت جریان باید بین ۱۸ تا ۲۲ متر بر ثانیه باشد.
- اگر نوع کار پرتوزائی ایجاب می کند که محیط کار کاملا محصور باشد (در مواقعی است که انجام عملی بالقوه بتواند محیط کار را به میزان ده برابر حد اکثر مجاز آلوده کند و یا مواقعی که مقدار زیاد هوای مورد نیاز برای هواکش وجود نداشته باشد) از یک محفظه دستکش دار استفاده میشود.

محصور سازی (ادامه)

- در جدول زیر محدوده پرتوزائی پیشنهاد شده برای کار در هودهای خلاء و جعبه های دستکش دار ارائه شده است.

محدوده پرتوزائی		عناصر پرتوزا	طبقه بندی پرتو
جعبه های دستکش دار	هودها		
> 37 MBq	370 kBq -37 MBq	241Am, 239Pu, 226Ra	۱
>3.7 GBq	370 MBq – 3.7 GBq	131I, 90Sr, 60Co	۲
> 370 GBq	3.7 GBq – 370 GBq	132I, 65Zn,32P,14C	۳
> 37 TBq	37 GBq – 37 TBq	238U, 85Kr,3H	۴

کنترل محیطی

- این کنترل برای جلوگیری از خطرات ناشی از آلودگی پرتوزائی با طراحی مناسب ساختمانها ، اتاقها یا تاسیساتی که در آنها ایزوتوپیهای پرتوزا بکار میروند شروع شده و با طرح مناسب روشها و فرآیندهائی که در آنها از مواد پرتوزا استفاده میشود ادامه می یابد.
- در هنگام طراحی تاسیسات به موارد زیر باید توجه شود
 - قابلیت رفع آلودگی سطوح کار ، کف و دیوارها
 - لوله کشیها و وسائل دیدبانی مربوط به انبار کردن پسماند پرتوزا
 - تجهیزات مربوط به سوزاندن پسماندها
 - تجهیزات مربوط به انبار کردن ایزوتوپها
 - رخت کنها و حمامها
 - تهویه و هدایت جریان هوا (بطوریکه ایمنی پرتوشناختی محیط خارج مختل نشود)

کنترل محیطی (ادامه)

- جدول زیر ضرایب تعدیل محدوده های پرتوزائی ذکر شده در جدول اسلاید قبلی را برای انواع عملیات ارائه نموده است.

ضریب تعدیل	نوع عملیات
$\times 10$	عملیات مرطوب ساده
$\times 1$	عملیات شیمیائی معمولی
$\times 0,1$	احتمال پراکندگی مایع
$\times 0,1$	عملیات خشک ساده
$\times 0,01$	عملیات خشک غبار زا

کنترل فردی (پوشاک حفاظتی)

- این پوشاک ممکن است شامل پالتوی آزمایشگاهی، روپوش، کلاه و دستکش و کفش یا روکش کفش باشد.
- همیشه فرض میشود که پوشاک حفاظتی آلوده است، لذا هنگام ترک محل کار باید آنرا از تن بیرون آورد.
- پوشاک حفاظتی باید طوری باشد که شخص بتواند بر راحتی آنرا از تن بیرون آورد بدون آنکه آلودگی را به بدن خود و یا به محیط اطراف منتقل کند.
- کارکنان باید قبل از ترک محل کار خوب بازرسی شوند.
- در اکثر موارد شستشوی پوشاک حفاظتی مشکل خاصی ایجاد نمیکند.
- در بیشتر موارد شستشوی عادی کفایت نمی کند و در صورت لزوم شستشوی بیشتر از یکبار انجام میشود.

کنترل فردی (پوشاک حفاظتی)

- معمولاً در مرحله آبکشی ، سدیم هگزا متا فسفات یا عامل کمپلکس کننده نظیر سدیم اتیلن دیامین تتراسنتیک اسید NaEDTA استفاده شده تا آلودگی بر راحتی از لباسها جدا شود.
- پس از شستشوی لباسها بازرسی شوند تا مشخص شود که آلودگی تا حد معینی کاهش یافته است.
- اگر قسمتی از پوشاک بطور غیر عادی آلوده شده باشد ، از بین بردن آن شاید ساده تر از رفع آلودگی باشد.
- در برخی موارد تراکم مواد آلوده کننده در فاضلاب حاصل از شستشو خیلی کم است که میتوان آنرا مستقیماً وارد سیستم فاضلاب بهداشتی نمود ولی باید قبل از تخلیه خوب بازرسی شود.
- در صورتی که سطح فعالیت بالا باشد باید همچون پسماندهای پرتوزا با آنها برخورد شود.

کنترل فردی (حفاظت تنفسی)

- نوع حفاظتهای تنفسی به ماهیت آلاینده هوا برد وابسته است، لازم به یاد آوری است که وسایل حفاظ تنفسی را فقط برای آن خطراتی میتوان بکار برد که برای آن طراحی شده اند.
 - رسپیراتور نوع صافی دار: فقط برای آلودگیها بشکل گرد و غبار قابل استفاده هستند.
 - ماسکهای تنفسی: برای حفاظت در برابر گرد و غبار و گازها و بخارات
 - برخی از این ماسکها مجهز به مخزنهای هوای تمیز هستند که با شخص حمل میشوند.
 - برخی هوای تمیز را توسط لوله از خارج محیط برای شخص فراهم میکنند.
 - ماسکهای گاز: برای جذب گازهای پرتوزا مورد استفاده قرار میگیرد.
 - ماده جذب کننده درون یک ماده شیمیائی نظیر ذغال فعال قرار دارد.
 - این ماده برای جذب یدهای پرتوزا و برخی دیگر از گازهای سمی از هوای استنشاقی قابل استفاده است.

مونیتورینگ

- مونیتورینگ عبارت از اندازه گیریهای مربوط به ارزیابی کنترل پرتوگیری از پرتوها و مواد پرتوزا است.
- انواع مونیتورینگ:
 ۱. مونیتورینگ محیط زیست: (وسعت زیادی دارد)
 - مونیتورینگ پرتوهای محیطی
 - مونیتورینگ آلودگی هوا (از همه مهمتر است)
 - مونیتورینگ آلودگی آب
 - مونیتورینگ آلودگی مواد غذایی

انواع مونیٹورینگ

۲. مونیٹورینگ محیط کار با پرتو

✓ مونیٹورینگ پرتوهای محیطی (پرتوگیری خارجی)

✓ مونیٹورینگ آلودگی سطوح کار

✓ مونیٹورینگ آلودگی هوا

۳. مونیٹورینگ فردی

✓ مونیٹورینگ پرتوگیری خارجی

✓ مونیٹورینگ آلودگی پوست

✓ مونیٹورینگ آلودگی داخلی بدن

مونیتورینگ فردی

- اهداف:

- بدست آوردن برآوردی از دز معادل متوسط و دز معادل موثر
- محدود نمودن دزهای پرتوئی به کارکنان در حدود توصیه شده
- تامین اطلاعات در مورد روندهای دزهای دریافتی توسط کارکنان
- تامین اطلاعات در هنگام پرتوگیری تصادفی
- برای بررسیهای اپیدمیولوژیک جهت برآورد ریسک پرتوها

- انواع:

- مونیتورینگ روزمره Routine Monitoring
- مونیتورینگ عملیاتی Operational Monitoring
- مونیتورینگ ویژه Special Monitoring

مادهای سنجش رادیو نوکلئیدها در بدن

۱. اندازه گیری رادیو نوکلئیدها در محیط (هوا ، آب و مواد غذایی)
 - ✓ برآورد مقادیر وارد شده به بدن از طرق فوق
 - ✓ برآورد جذب و زمان ماند رادیو نوکلئیدها در بدن با توجه به مدل‌های متابولیک
 - ✓ چون اکثر ارزیابی های اجتماعی از طرق فوق انجام میگیرد لذا مدل‌های متابولیک حائز اهمیت هستند.
۲. اندازه گیری پرتوهای خروجی از بدن یا اندازه گیری غلظت رادیو نوکلئیدها در نمونه های بافتی
۳. اندازه گیری غلظت رادیو نوکلئیدها در مواد دفعی یا هوای بازدم و استفاده از مدل‌های متابولیکی

شمارش خارجی بدن External Body Counting

- این متد برای پرتوهای نافذ یعنی ایکس و گاما استفاده میشود که شامل:

– شمارش تمام بدن whole body counting

– شمارش قسمتهائی از بدن Partial body counting :

- برای نوکلوئیدهای که در تمام بدن توزیع نمیگردند مثلا برای ید ۱۳۱ و ید ۱۲۵ از شمارش غده تیروئید استفاده میشود Thyroid uptake test

- شمارش پرتوهای ایکس ناشی از تجزیه رادیو نوکلوئیدهای نشست کرده در ریه ها (نظیر ^{210}Po) استفاده میشود Chest counter

- این تکنیک برای پرتوهای با قدرت نفوذ کم قابل استفاده نمی باشد.

اندازه گیری رادیونوکلئیدها در مواد بیولوژیکی

Bioassay Method

- مواد بیولوژیکی شامل:
 - ادرار (معمولترین برای رادیونوکلئیدهای قابل انتقال)
 - مدفوع (برای رادیونوکلئیدهای غیر قابل انتقال)
 - بازدم (مثلا گاز رادن)
 - ترشحات بینی (استنشاق مواد رادیواکتیو)
 - خلط (رادیونوکلئیدهای غیر محلول که در دستگاه تنفس نشست کرده)
 - عرق بدن
 - خون و مو (مثلا تولید سدیم ۲۴ در اثر برخورد نوترون به سدیم ۲۳ بدن)
- با استفاده از معادلات متابولیکی میتوان مقادیر ابقاء و دفع را تعیین کرد.
- از معیارهای بدست آمده برای حفاظت نیز استفاده میشود (مثل (ALI (Annual Limit of Intake)

محاسبات دز داخلی بدن

- بمنظور ارزیابی خطرات لازمست میزان مواد رادیونوکلئید نشست کرده در بدن ارزیابی گردد.
- چگونگی توزیع انرژی پرتو در قسمت‌های مختلف بافتها را با کمیت فاکتور کیفی پرتو مشخص میکنند (QF)

دز معادل (سیورت یا رم)

دز جذب شده (گری یا راد)

$$H = DQN$$

فاکتورهای تعدیل کننده
آهنگ دز ، تقسیم دز
و..

فاکتور کیفی پرتو

محاسبات دز داخلی بدن

- چون اثرات بصورت تجمعی است لذا باید از دزهای مجموع (committed dose) برای مدت زمان معین بعد از نشست رادیو نوکلئید در بدن محاسبه گردد.
- معمولاً این مدت زمان برای اشخاص بزرگسال ۵۰ سال در نظر گرفته میشود لذا:

$$H_{50} = \sum_i Q_i \bar{D}_{50,i}$$

فاکتور کیفی برای پرتوهای
مشخص

کل دز جذبی در طی ۵۰ سال بعد از
ورود رادیونوکلئید ببدن بصورت
متوسط در سرتاسر ارگان یا بافت
معین و برای پرتوی مشخص i

محاسبات دز مواد بتا دهنده در بدن

- چون برد پرتو بتا کوتاه است لذا فرض میشود که ذرات بتا انرژی خود را الزاما در نقطه ای که ساطع میگردند به بافت میدهند. (یعنی انرژی ذره بتا در گرم بافت برابر میزان انتشار انرژی در گرم بافت حاوی ماده رادیواکتیو است)
- نحوه محاسبه دز بتا در بدن:
 - برای محاسبه دز باید ابتدا آهنگ دز اولیه را محاسبه نمود
 - سپس دز دریافتی در یک فاصله زمانی خاص (روز، ماه، ..کل زمان رادیو نوکلئید نشست کرده در بدن) محاسبه میشود

محاسبه آهنگ دز اولیه

- آهنگ دز اولیه یعنی سرعت انرژی دادن به واحد جرم بافت حاوی رادیو نوکلئید
- محاسبه آهنگ دز اولیه شامل مراحل زیر است:
 - منطقه مورد نظر برای محاسبه دز را انتخاب میکنیم.
 - اکتیویته موجود در آن منطقه را بر حسب میکروکوری تعیین و سپس مقدار اکتیویته را بر جرم ماده در آن نقطه تقسیم و غلظت اکتیویته را بر حسب میکروکوری بر گرم تعیین مینمائیم.
 - انرژی منتشره در گرم بافت در یک ثانیه را تعیین میکنیم (برای ذرات بتا این کمیت با انرژی داده شده در ثانیه در گرم بافت برابر است)
 - کمیت حاصل را به آهنگ دز در واحدهای مناسب (میلی راد بر ساعت) تبدیل میکنیم.

محاسبه آهنگ دز اولیه (ادامه)

- مراحل ذکر شده بصورت عددی بشکل زیر نشان داده میشود:
- اگر غلظت رادیو نوکلئید (اکتیویته در گرم بافت) را به C ، انرژی متوسط ذره بتا بر حسب Mev را به E (متوسط) و تعداد کسری ذرات بتای ساطع شده در هر تجزیه رادیو نوکلئید را به f نشان میدهیم. آهنگ دز اولیه بتا بصورت زیر محاسبه میگردد:

$$D_{0\beta}(\text{rad} / \text{s}) = 5.92 \times 10^{-4} f \times C \times \bar{E}$$

$$D_{0\beta}(\text{rad} / \text{hr}) = 2.13 \times f \times C \times \bar{E}$$

$$D_{0\beta}(\text{rad} / \text{d}) = 51.2 \times f \times C \times \bar{E}$$

چنانچه رادیونوکلئید در هر تجزیه یک ذره بتا ساطع کند ضریب f برابر ۱ خواهد بود

مثال

- آهنگ دز اولیه بتا به غده تیروئید در نتیجه تجویز مقدار ۱ میلی کوری ید ۱۳۱ به بدن یک بیمار با تیروئید هیپر اکتیو (برای مثال جذب ۶۸٪) را محاسبه کنید. وزن غده تیروئید شخص برابر ۳۰ گرم در نظر گرفته میشود.

$$\bar{E}_{\beta} = 0.187 \text{ Mev}$$

$$C = \frac{1000 \times 0.68}{30} = 22.7 \frac{\mu\text{ci}}{\text{gr}}$$

$$D_{0\beta} = 51.2 \times 1 \times 22.7 \times 0.187 = 217 \text{ rad / d}$$

مثال

- آهنگ دز اولیه بتا ببدن ناشی از خوردن مقدار ۱۰ میلی کوری آب تریتیوم دار را محاسبه کنید (وزن کل آب بدن شخص استاندارد برابر ۴۳۰۰۰ گرم میباشد)

$$\bar{E}_{\beta} = 0.006 \text{ Mev}$$

$$C = \frac{10000}{43000} = 0.232 \frac{\mu ci}{gr}$$

$$D_{0\beta} = 51.2 \times 0.232 \times 1 \times 0.006 = 0.07 \text{ rad/d}$$

دز بتا در مدت زمان معین و بینهایت

- با استفاده از آهنگ دز اولیه و همچنین خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی رادیونوکلوئید میتوان میزان دز بتا را در مدت معین و بینهایت (تجزیه کامل رادیونوکلوئید) بصورت زیر بدست آورد:

$$\begin{array}{ccc} \text{عمر متوسط موثر} & \text{آهنگ دز اولیه} & \text{نیمه عمر موثر} \\ \swarrow & \searrow & \swarrow \\ D_{\infty(Rad)} = D_0 \times T_E^a = 1.44D_0 \times T_E, & T_E^a = 1.44T_E & \end{array}$$
$$T_E = \frac{T_p \times T_B}{T_p + T_B}, \quad T_E^a = \frac{1}{\lambda_E}$$
$$D_{t(RAd)} = D_{\infty} \times (1 - e^{-\lambda_E t}) \text{ or}$$
$$D_{t(Rad)} = 73.8 \times f \times C \times \bar{E} \times (1 - e^{-\lambda_E t})$$

مثال

- فرض کنید آهنگ دز اولیه به استخوان ناشی از فسفر ۳۲ برابر ۱۰۰ میلی راد در ساعت است اگر ثابت تبدیلی موثر برابر ۰,۰۶۲۹ باشد مقدار دزکل دریافتی و نیز مقدار دز دریافتی در ۳۱ روز را محاسبه کنید؟

$$T_E^a = \frac{1}{\lambda_E} = \frac{1}{0.0629} = 15.9 \text{ (d)}, \quad D_0 = 100 \text{ (mrad / hr)}$$

$$D_\infty = D_0 \times T_E^a = 100 \times 24 \times 15.9 = 38200 \text{ (mrad)} \quad \text{دز کل}$$

$$D_t = D_\infty (1 - e^{-\lambda_E t})$$

$$D_{(31 \text{ days})} = 38200 \times (1 - e^{-0.0629 \times 31}) = 32900 \text{ (mrad)} \quad \text{مقدار دز در ۳۱ روز}$$

محاسبه دز جذبی ناشی از رادیونوکلئیدهای گاما دهنده

Geometrical Factor Method

اهنگ دز اولیه گاما

غلظت رادیونوکلئید

قدرت چشمه

$$D_{0(rad/hr)} = 0.001 \times C(\mu ci / gr) \times \rho(gr / cm^3) \times \Gamma \left(\frac{Rad - cm^2}{hr - mci} \right) \times g(cm)$$

چگالی بافت

فاکتور ژئومتریکی

فاكتور ژئومٽريڪ (g)

قدا							وزن
۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	
۱۵۴	۱۵۰	۱۴۷	۱۴۵	۱۴۲	۱۳۹	۱۳۸	۱۰۰
۱۴۸	۱۴۶	۱۴۳	۱۴۰	۱۳۸	۱۳۶	۱۳۴	۹۰
۱۴۱	۱۳۹	۱۳۶	۱۳۴	۱۳۱	۱۳۰	۱۲۹	۸۰
۱۳۵	۱۳۱	۱۲۹	۱۲۶	۱۲۵	۱۲۴	۱۲۳	۷۰
۱۲۸	۱۲۵	۱۲۲	۱۲۰	۱۱۹	۱۱۸	۱۱۷	۶۰
۱۲۲	۱۱۹	۱۱۷	۱۱۶	۱۱۴	۱۱۳	۱۱۲	۵۰
۱۱۰	۱۰۹	۱۰۸	۱۰۶	۱۰۵	۱۰۴	۱۰۲	۴۰

مثال

- مقدار متوسط آهنگ دز اولیه گاما را به بدن شخص با وزن ۷۰ کیلوگرم و قد ۱۷۰ سانتی متر که مقدار ۵۰۰ میکروکوری سدیم ۲۴ بصورت درون وریدی به وی تزریق شده را محاسبه کنید. قدرت چشمه ۱،۱۸ در معیار Rad است. و مقدار g از جدول برای شخص مورد نظر ۱۲۶ سانتی متر است. لذا خواهیم داشت.

$$D_0 = 0.001 \times C \times \rho \times \Gamma \times g = 0.001 \times \frac{500}{70000} \times 1 \times 18.1 \times 126$$
$$= 0.063 \text{ rad / hr}$$

- برای محاسبه دز کل م نیز در زمان معین همچون روش ذکر شده برای پرتو بتا انجام می‌گردد.