

***Техногенни източници на йонизиращи лъчения.
Надфоново облъчване от техногенни източници***

Проф. М. Израел, д.м.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Създадените от човека (техногенни) източници на йонизиращи лъчения и приложенията им в различни области на човешката дейност са твърде много. Много от тях са полезни и могат да бъдат контролирани по отношение на защитата на човека или намаляване на тяхното въздействие. Има обаче, и такива източници, които са в резултат на използване на ядрени оръжия и опити с тях, както и от аварии в ядрени инсталации. Срещу тях не могат да се вземат достатъчно ефективни мерки, особено когато се отнася до облъчване на голям брой хора.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Ядрената енергетика при нормална експлоатация има незначителен принос за допълнително надфоново облъчване на населението. Оценката за индивидуалната ефективна доза в близост (до около 50 km) до АЕЦ „Козлодуй“ е 0,003 mSv/a.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

*Опитите с ядрени оръжия започват през 1945 г. в САЩ и сега продължават в някои страни. В резултат на тях, при провеждането им в земната атмосфера и на земната повърхност, радиоактивното замърсяване на околната среда може да достигне до значителни нива. То зависи от височината, на която се извършва експлозията, както и от нейната мощност. При експлозиите на по-малка височина материали от земната повърхност се изпаряват, а след това образуват *локални отлагания* върху Земята. При мощни експлозии на голяма височина радиоактивните вещества достигат стратосферата и се разпръскват от циркулацията над определена географска зона. Те предизвикват *глобални радиоактивни отлагания*.*

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Локалните отлагания и радиоактивното замърсяване на въздуха близо до полигоните за ядрени опити предизвикват най-голямо облъчване на населението, живеещо в тези райони. То включва вътрешно облъчване от инхалирането на радионуклиди в приземния въздух и поглъщането на радиоактивни замърсени хранителни продукти и вода, също и външно облъчване. Най-голям принос за вътрешното облъчване имат ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{14}C , а за външното - ^{137}Cs . Оценката на дозата от опитите с ядрени оръжия за българското население е правена през 70-те и 80-те години на миналия век.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Естествени източници	Доза, mSv/a	Техногенни източници	Доза, mSv/a
Космично лъчение	0,38	Атомна електроцентра	0,003
Земно лъчение	0,48	Опити с ядрени оръжия	0,006
Вътрешно облъчване: Вдишване на ^{222}Rn ^{220}Rn и ^{40}K , храна, течности и др.	1,22 0,38	Технологично изменен фон Медицинска диагностика	0,01 1
Общо	2,46	Общо	1,019

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Допълнително, надфоново облъчване, се получава и от естествени източници на йонизиращо лъчение в резултат от някои технологии, свързани с добиване, транспортиране, преработване и използване на суровини и руди, които съдържат радиоактивни вещества. В такива случаи се говори за облъчване от *технологично изменен естествен радиационен фон*.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Един от съществените фактори в това отношение е изгарянето на каменни въглища, съдържащи радионуклиди от редовете ^{238}U и ^{232}Th . Тези радионуклиди попадат в пепелта и шлаката и част от тях се изхвърля заедно с горещите газове през комините на термоелектрическите централи (ТЕЦ) и сградите, отопляване с въглища. С дима в атмосферата се изхвърля от 1 до 10% (в зависимост от филтрацията му) от пепелта, в която концентрацията на радионуклидите е повишена многократно при изгарянето на въглищата. От там и от отложената върху земната повърхност пепел се получава външно, както и вътрешно облъчване, тъй като тези радионуклиди постъпват в организма на човека чрез вдишване и поглъщане.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Много от *фосфатните руди* са с повишена концентрация на ^{238}U , но се използват като суровина в производството на изкуствени торове. Те причиняват външно облъчване, а наторяването с тях – вътрешно, чрез хранителните продукти.

В строителството се използват отпадъци от производството на алуминий и чугун, шлака от ТЕЦ и естествени строителни материали с повишена концентрация на естествени радионуклиди. Отпадъци от металообработващата и урановата промишленост, енергетиката, също могат да имат повишена радиоактивност.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Медицинското облъчване е основният техногенен източник на облъчване на човека.

По данни за България, на рентгеновата диагностика у нас се дължи средно около 24 % от общото облъчване на населението със средна индивидуална годишна ефективна доза 0,802 mSv, а на радионуклидната диагностика - около 2,4 % от общото облъчване с 0,08 mSv. Общият принос на двата диагностични метода в техногенното облъчване е 83,2 %. Той е почти 300 пъти по-голям от дела на ядрената енергетика в страната при нейната нормална работа.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

По данни от Националната информационна система, средните годишни дози на лицата, ***работещи професионално с източници*** на йонизиращи лъчения, са съответно 3,5 mSv за заетите в атомната електроцентраля (около 200 лица), 2,1 mSv за работещите в други промишлени производства (около 500 лица), 1,2 mSv за заетите в медицината (около 4500 лица) и 1,1 mSv за лицата в образованието и науката.

От данните се вижда, че годишните дози на персонала като правило са по-ниски от дозите, получавани от пациента при едно рентгеново или радионуклидно изследване. Това показва, че радиационната защита на пациентите е не по-малко важна от защитата на работещите с източници на йонизиращи лъчения.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Най-голям принос за получаване на допълнителни, надфоновы дози от населението в сравнение с дозите от други техногенни източници имат *облъчванията с медицинска цел*. Това са рентгеновата и радионуклидна диагностика и лъчелечението. Средните дози се определят от броя на проведените процедури и от дозите, получени при всяка от тях. (виж долната таблица).

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Таблица 2. Приблизителни ефективни дози, получавани при някои по-често прилагани рентгенови или радионуклидни изследвания

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Дозите при *рентгеноскопиите* са по-високи, отколкото при *рентгенографиите*. Първите се правят с по-малък аноден ток и по-дълго време (няколко минути), докато вторите – с по-голям аноден ток, и за кратко време (милисекунди).

Радионуклидната диагностика е на второ място по отношение на допълнителното облъчване на населението, в сравнение с рентгеновата. Средната индивидуална ефективна доза за една година е около 0,1 от съответната доза при рентгеновата диагностика за развитите страни.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Лъчелечението на злокачествените заболявания се провежда с рентгенови, γ -лъчи, ускорени електрони, закрити източници на β - и γ -лъчи, открити източници (предимно ^{131}I) и др. Необходимата еквивалентна доза възлиза на 50-70 Sv в болестното огнище.

Тези големи индивидуални дози, получавани от пациентите, имат малък принос към средните дози, изчислявани за цялото население, тъй като на лъчелечение се подлагат сравнително малък брой хора.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Границата на ефективната доза за персонал е 100 mSv в продължение на 5 последователни години, като максималната ефективна доза за всяка година не може да надхвърля 50 mSv.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Принцип на рентгеновата диагностика

Възможността за приложение на рентгеновите лъчи в медицинската диагностика е демонстрирана още от Ръонтген. Тя се основава на зависимостта на общия им линеен коефициент на отслабване от плътността и химичния състав на човешките тъкани и органи. Основа на рентгеновата диагностика – най-широко използваният метод за образна диагностика, е силната зависимост на общия линеен коефициент на отслабване при рентгеновите лъчи от вида на биологичните тъкани. Доминиращият вид взаимодействие на рентгеновите лъчи с тъканите е фотоелектричното поглъщане.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

От трите основни процеса на взаимодействие фотоелектричното поглъщане най-силно зависи от атомния номер. Ефективните атомни номера за фотоелектрично поглъщане Z_T на мускулите, телесните течности и водата са практически еднакви; мастните тъкани имат по-малък ефективен атомен номер, а костите – по-голям. За получаване на максимални разлики в отслабването (контрастен образ) при тези близки стойности на ефективните атомни номера (с изключение на костите) се изисква подходяща енергия на рентгеновите лъчи.

По-долу са представени атомните номера и плътностите на някои тъкани и елементи:

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Тъкани/елементи	ρ (g/cm³)	Z_{eff}
Мазнини	0,92	5,92
Кожа	1,0	7,31
Вода	1,0	7,42
Мускули	1,06	7,46
Въздух	0,00129	7,64
Кости	1,2-1,9	13,8
Алуминий	2,7	13
Калций	1,55	20
Йод	4,94	53
Барий	3,5	56
олово	11,3	82

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Тези разлики в ефективните атомни номера са причина снопът рентгенови лъчи, преминали през тялото, да има по-малък интензитет зад костите, и по-голям – зад меките тъкани и въздушните кухини.

Например, при рентгенови лъчи с ефективна енергия 50 keV, съответстваща на най-често използваното ускоряващо напрежение в рентгеновата компютърна томография $U = 125$ kV, стойността на коефициента μ за костите е приблизително $\mu_1 = 0,65$ cm⁻¹, а за мускули - $\mu_2 = 0,24$ cm⁻¹. От това произтича разлика в отслабването на рентгеновите лъчи в кости и мускули приблизително 3,5 пъти при дебелина 3 cm и 9 пъти при дебелина 5 cm.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Тъй като преносът на лъчист поток ψ на радиолуминесценцията във флуоресциращия екран при рентгеновата скопия е пропорционален на интензитета на преминалото през тъканите рентгеново лъчение, върху екрана се получава сянков образ на пролъчваните тъкани: по-тъмни са костите, а по-светли – меките тъкани. Сянквият образ във фотофилма при рентгеновата графия е негативен – в него най-светли са костите.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Фотоелектричното поглъщане при биологични тъкани преобладава при енергии на рентгеновите лъчи до около 60 keV. Приблизително такава е ефективната енергия на спиращното рентгеново лъчение, генерирано при ускоряващо напрежение $U = 100\text{--}130\text{ kV}$ с максимална енергия 100-130 keV.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Терминът ефективна енергия се въвежда за характеризиране точно на фотонните йонизиращи лъчения с непрекъснат спектър. Тя се дефинира като енергията на монохроматично лъчение със същия коефициент на отслабване като полихроматичното лъчение.

В рентгеновата диагностика, в зависимост от свойствата на обекта, се използва лъчение, получено при анодно напрежение на рентгеновата тръба 60-130 kV.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Рентгенови диагностични методи

Сянките образи на органите и тъканите съдържат ценна диагностична информация за патологични промени на тяхната форма, размери, местоположение, плътност, както и за местоположението на чужди тела и др. В зависимост от начина на визуализация в рентгеновата диагностика има два основни метода – *рентгеноскопия* и *рентгенография*.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

При първия метод за целта се използва флуоресциращ екран, където флуоресценцията е по-силна зад меките тъкани и те изглеждат по-светли от костите. За повишаване на яркостта на образа и намаляване на лъчевото натоварване на пациента се използват електронно-оптични преобразуватели на образа.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

При рентгенографията образът се фотографира на рентгенов филм, където степента на полученото почерняване е пропорционална на интензитета на преминалото лъчение. В този случай рентгеновата снимка е негатив по отношение на образа върху флуоресциращия екран. Често рентгеновият филм се експонира върху две флуоресциращи фолия, което усилва фотографското действие на лъчите от 20 до 25 пъти. Рентгенографията дава по-голям контраст на образа и позволява да се наблюдават детайли, които трудно се откриват при рентгеноскопията. Основните ѝ предимства, обаче, са по-малкото лъчево натоварване на пациента и запазването на образа.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

За рентгенография на млечната жлеза, наречена *мамография*, се използват уреди – мамографи. Те се различават от обикновените рентгенови апарати по това, че анодът в тръбата е с по-нисък атомен номер (най-често ^{42}Mo), работи при по-ниско ускоряващо напрежение (25-30 kV) и представлява почти точков източник. Така се генерира „меко“ лъчение със слаба проникваща способност, което се поглъща в различна степен в такива структури като тумор, калцифицирана и нормална тъкан. За да се очертаят ръбовете на тези структури, се използва фотографски филм с ниска граница на разделяне – под 50 μm . Целта е да се получи добро качество на образа при минимално облъчване, поради чувствителността на гърдата към йонизиращите лъчения и вероятността да се предизвика раково заболяване.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Кухинни органи, които слабо поглъщат рентгеновите лъчи, не дават контрастен сянков образ. Те могат да се наблюдават само ако предварително в тях се въведе безвредно *рентгеноконтрастно вещество* под формата на каша или течност. При изследване на храносмилателната система, например, пациентът приема каша с бариев сулфат, която полепва по стените на хранопровода, стомаха и червата, и дава възможност за тяхното визуализиране. Течности, съдържащи контрастно вещество, се инжектират и при рентгеново изследване на кръвоносни съдове (*ангиография*).

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

За масови профилактични прегледи се използва метод, при който рентгеноскопията се комбинира с обикновена фотография, като методът се нарича *флуорография*. На обикновен малкоформатен филм се правят голям брой снимки на рентгеновите образи. Впоследствие филмите се разглеждат с помощта на фотоувеличител, като по този начин се пести време, материали, а лъчевото натоварване върху пациента се намалява до минимум.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Много по-големи възможности в сравнение с традиционните методи има *рентгеновата компютърна диагностика*. При нея с помощта на електронен детектор образът се дигитализира, т.е. за цифрова информация се използва различната плътност във всяка точка на пространството. Това дава възможност за директен запис от екрана или да се прехвърля от рентгенова снимка на магнитен носител. С подходящи компютърни програми цифровият образ се обработва за отстраняване на различни смущения (шумове), за намаляване на фоновия шум, изтриване на излишни детайли, увеличаване на контраста, промяна на размерите и т.н., с което се повишава силно информативността на метода.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Рентгеновата *остеометрия* е един от диагностичните методи, с които се определя намаляването на плътността на костите при остеопороза.

В денталната медицина се правят зъбни рентгенографии, както и панорамни снимки на зъбите.

Рентгенови снимки на отделни слоеве от вътрешността на тялото се получават с метод, наречен *томография*.

В класическия му вариант това се постига с едновременно преместване на фокуса на рентгеновата тръба и филма към определената изследвана част от тялото.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Рентгеновата компютърна томография (СТ) е създадена през 1971 г. и е едно от най-големите научни открития, свързани с рентгеновата диагностика след самото откриване на рентгеновите лъчи. Тя се основава на компютърно реконструиране на образа на едно сечение от тялото по голям брой негови проекции, получени чрез последователно пролъчване с рентгенов сноп под различни ъгли. Двумерното разпределение на интензитета на отслабеното рентгеново лъчение се превръща в цифров вид и се визуализира на видеомонитор.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Лечение с рентгенови и γ -лъчи

Прилагането на рентгеновите и γ -лъчи в лечението се основава на тяхното биологично действие при взаимодействието с тъканите. Основно при това взаимодействие с молекулите на водата и с органичните молекули на биологичните системи, те достигат до възбудено състояние, генерират се йони, радикали и химичноактивни съединения. Същите реагират с други молекули от клетките и с техните мембрани, като нарушават функциите им и по този начин се достига до увреждане на тъкани, органи, системи и на целия организъм.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Парадоксален факт е, че лъчение, което може да предизвика рак, се прилага и за неговото лечение. Причината за това е, че раковите клетки се възпроизвеждат неконтролируемо, а облъчването подтиска това възпроизвеждане. Проблемът тук е как да се извършва облъчването така, че да не се увреждат съседни до тумора клетки и тъкани. Целта на лечението е да се облъчва туморът, а съседните нормални тъкани да останат в безопасност по отношение на облъчването или най-малко да се запазят нейните функции. Отношението на броя на унищожените ракови клетки към броя на унищожените нормални клетки се нарича *терапевтично отношение*. Ефективността на лъчелечението се свежда до това как да се постигне това терапевтично отношение да е по-голямо.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Недиференцираните и бързо делящи се клетки са по-чувствителни към радиацията от нормалните диференцирани и по-бавно делящи се клетки. Следователно лъчението има по-голям ефект върху бързо делящите се ракови клетки, отколкото върху нормалните клетки, намиращи се в непосредствена близост. Има обаче, някои видове нормални клетки, като левкоцитите и тромбоцитите, които също се възпроизвеждат бързо, поради което те трябва да бъдат наблюдавани внимателно по време на лъчелечението.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Стойността на терапевтичното отношение може да бъде увеличена и от това, че нормалните тъкани се възстановяват от радиационните ефекти по-бързо и по-пълно, за разлика от раковите. Значително по-голяма доза на облъчване е необходима за увреждане на нормалната тъкан, особено ако тя се подава на част, на няколко отделни дози.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

По принцип, радиационната чувствителност на тъканите зависи от съдържанието на кислород в тъканите („кислороден ефект“). Химичното действие на радиацията се изразява в образуване и отделяне на свободни радикали, а наличието на кислород силно повишава продукцията на най-активните свободни радикали. Някои ракови клетки съдържат малко кислород, докато съседните могат да бъдат наситени с кислород. Това може да понижи терапевтичното отношение и да направи невъзможно унищожаването на раковите клетки, също да доведе до силно увреждане на нормалните тъкани.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

За лечение се прилагат рентгенови и X-лъчи, генерирани от рентгенови уредби и ускорители на електрони с енергия до около 25 MeV, също и γ -лъчи от подходящи радионуклиди. Параметрите на лъчението се подбират в зависимост от болестното огнище и заобикалящите го тъкани, с цел да се получи максимален лечебен ефект при минимално лъчево натоварване.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

С рентгеново лъчение с ниско напрежение (60-80 kV) се лекува рак на кожата. Уредбите за дълбока рентгенова терапия с високо ускоряващо напрежение (200-250 kV) вече почти са заменени от ускорители на електрони и облъчватели с γ -източници (телегаматерапевтични уреди). Основание за това е много по-благоприятното разпределение на погълнатата доза в облъчваните тъкани. Докато максималната доза при рентгеновите терапевтични уредби е на повърхността на кожата, при телегаматерапевтичните тя е на дълбочина 0,5 cm, то при ускорителите с 10 MeV максимална енергия тя достига до 1,3 cm. По-високата енергия на γ - и X-лъчите осигурява по-добро проникване в тъканите и облъчване на дълбоко разположени болестни огнища, без да се превишава дозата за кожата.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Физични основи на радионуклидната диагностика

Това е петият, последен метод за образна диагностика, който тук само ще отбележим накратко. Той е свързан с използването на изкуствени радионуклиди, включени в химични съединения, които се наричат *радиофармацевтици*.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Радионуклидите се получават по няколко различни метода:

Първият от тях се прилага в споменатите вече *радионуклидни генератори*. Метастабилните ядра на определените елементи се получават в съответните радионуклидни генератори от по-дългоживеещи радионуклиди.

Вторият метод е *активационният*. При него нерадиоактивни ядра на определен химичен елемент се бомбардират с поток от неутрони от ядрен реактор или неутронен генератор. Част от ядрата залавят неутрони и се превръщат в радиоактивни.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Третият метод е *циклотронният*. В малки лабораторни циклотрони се ускоряват тежки заредени частици (протони, йони и др.), с които се бомбардират нерадиоактивни ядра. Продукти на ядрената реакция са краткоживеещи радионуклиди.

При четвъртия метод радионуклидите са *продукти на делене на ядрата на ^{235}U* . Главното при тази технология е как те да бъдат отделени от останалите отпадъчни продукти от ядрените реактори.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Радионуклидната диагностика обхваща две групи методи на изследване: *in vitro* и *in vivo*, като първите включват и радиоимунологичните методи.

При *ин vivo* методите се използват радиофармацевтици с гама-радионуклиди. Те се въвеждат в тялото на пациента инжекционно или орално. Радиофармацевтиците се натрупват избирателно в отделни органи и системи или в определени патологични изменения в тях. Диагностичната информация се получава чрез скоростта и степента на натрупване на радиофармацевтика, чрез скоростта на неговото отделяне и чрез разпределението му в изследваните органи и системи.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Самата активност на инкорпорираните в тялото радиофармацевтици се определя чрез интензитета на гама-лъчите, отделяни от тях. Самият интензитет се измерва с т.нар. *сцинтилационни броячи*. Получаването на сцинтиграфски образ, съответстващ на разпределението на радиофармацевтика в органите и тъканите, изисква разграничаването на гама-лъчите, отделяни от различните части на органа. За целта се прилагат фокусиращи колиматори, които се разполагат между кожата на пациента и детектиращата система. Колиматорът се състои от оловни плочи, които са с голям брой отвори, равномерно разпределени и пропускащи гама-лъчите от мястото на генерация.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Апаратите, които се използват за *in vivo* диагностика са два вида: за *функционални* и за *локализационни* изследвания.

Сцинтилационните *сонди* се използват за *функционални* изследвания на относително малки органи (щитовидна жлеза, бъбрек и др.).

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Линейният скенер е апарат за локализационни изследвания. Той има детектираща система с по-голям диаметър от този на сцинтилационните сонди и колиматор с много отвори. Детектиращата система сканира изследваната област на пациента чрез обхождане по успоредни линии. Информацията за разпределението на активността на радиофармацевтика се отпечатва на картина, съдържаща чертички и цифри, която се нарича *сцинтиграма*. По гъстотата на линиите, цвета, както и по цифрите върху сцинтиграмата се съди за степента на натрупване на радиофармацевтика в равнинни проекции на изследвания орган. Сцинтиграмата е аналогична на рентгеновата снимка, която се прави при неподвижна рентгенова тръба.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Гама-камерите са основните апарати в съвременната *in vivo* радионуклидна диагностика. Те се използват както за функционални, така и за локализационни изследвания.

Планарната гама-камера е „пряк потомък“ на линейния скенер. Нейната детектираща система има по-голям диаметър (десетки сантиметра), което дава възможност за провеждане на изследванията без сканиране. Това позволява проследяването на бързо протичащи процеси, като например сцинтиграфия на сърцето. Както при линейния скенер, сцинтиграфският образ представя разпределението и динамиката на натрупване на радиофармацевтика във всички тъкани в дълбочина.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Томографската гама-камера (SPECT гама-камера) е аналог на рентгеновия компютъртомограф. Тя се различава от планарната по възможността за кръгово движение на детектиращата система. В компютъра постъпват данни за целия обем от изследвани тъкани, което дава възможност да се правят сцинтиграфии в произволно избрани равнини.

Нова разновидност на гама-камерите е *позитронно-емисионният томограф*. При него се използват радиофармацевтици, съдържащи радионуклиди с бета-плюс (позитронна) радиоактивност. Детектира се аниhilационното лъчение, получавано при взаимодействието на позитроните от радиофармацевтика с електрони от изследваните тъкани.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

При *ин витро* методите за радионуклидна диагностика се използват радиофармацевтици както с гама, така и с бета-радионуклиди. Радиофармацевтиците служат за маркиране на биологичните вещества в кръвни и други проби от пациента. Голямо предимство на тези методи спрямо *ин vivo* методите е, че пациентът не се облъчва с йонизиращи лъчения. Освен това тези методи са много чувствителни – с тях могат да се определят нищожни количества ($\sim 10^{-15}$ g) хормони в кръвта и в стомашния сок. Затова тези методи обхващат повече от 60% от изследванията в радионуклидната диагностика.

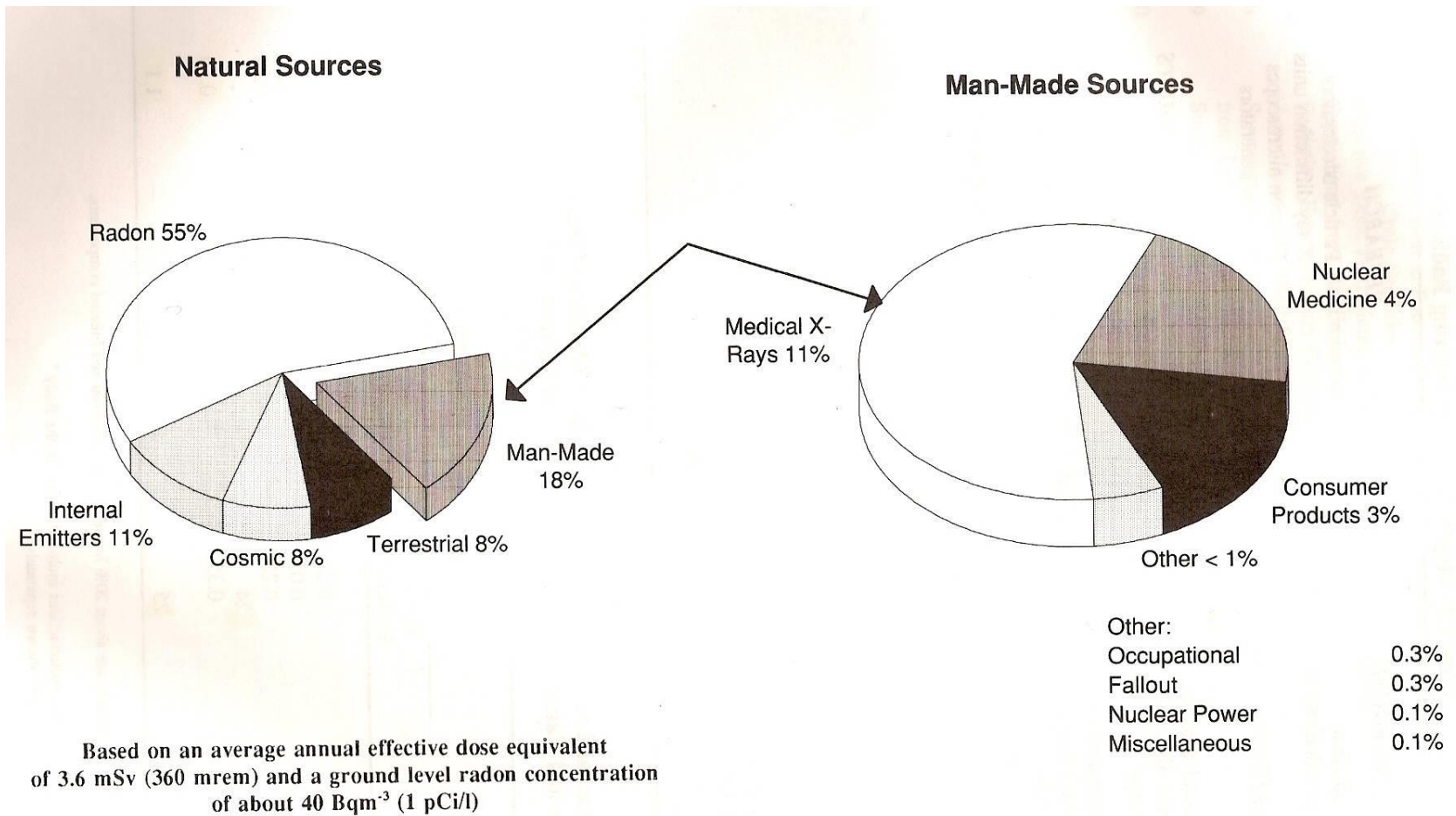
Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Особена група представляват *ин виво-ин витро* методите в радонуклидната диагностика, които се използват за хематологични изследвания. При тях радиофармацевтиците се въвеждат в организма на пациента преди вземането на кръвната проба. Този метод се прилага например, за определяне на обема на циркулиращата кръв.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения

Развитието на медицинската и компютърната техника в последните години доведоха до създаването на т.нар. *комбиниран образ*. Той съчетава детайлната анатомична информация, получавана от МРТ (магнитно-резонансната томография) и от СТ (рентгеновата компютърна томография), с данните от функционалните изследвания и с методите на радионуклидната диагностика.

Техногенни източници на йонизиращи лъчения



Благодаря за вниманието!