



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
КАТЕДРА „ТОПЛОЕНЕРГЕТИКА И
ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА“

ДОКЛАД

РАДИАЦИЯТА И ЧОВЕКЪТ

ВИКТОРИЯ ЯНАКИЕВА
ФАК. №041209007

2014Г.

Радиацията е природно явление, на чието въздействие сме изложени постоянно. Например, космическата радиация, навлизаща в земната атмосфера от космоса и радиацията от естествени радиоактивни материали в почвите и скалите. Поради това може да се каже, че и досега човекът и други живи същества са били "потопени" в естествен радиоактивен фон и в известен смисъл са приспособени към него. Нещо повече - съществува мнение, че естественият фон, предизвиквайки известни мутации в организмите, е фактор в еволюцията на организмите и една "стерилна" в радиационно отношение среда би била възпиращ фактор в еволюцията.

Освен естественият радиационен фон обаче, хората са подложени и на въздействието на различни изкуствени, създадени от тях източници. Най-съществен пример е експлоатирането на ядрени съоръжения, което неизбежно е свързано с дадени радиационни рискове. Основният риск е потенциалното изхвърляне на вещества, които са източник на йонизиращо лъчение. Освен енергийните ядрени съоръжения, съществуват и други техногенни източници на радиоактивно лъчение, като рентгеновите медицински апарати, димните противопожарни детектори, добив и изгаряне на каменни въглища, нефт, газ и други. Въпреки, че ядрената индустрия е сравнително млада, работата с подобни съоръжения вече е добре усвоена и съществува ясна регулаторна рамка.

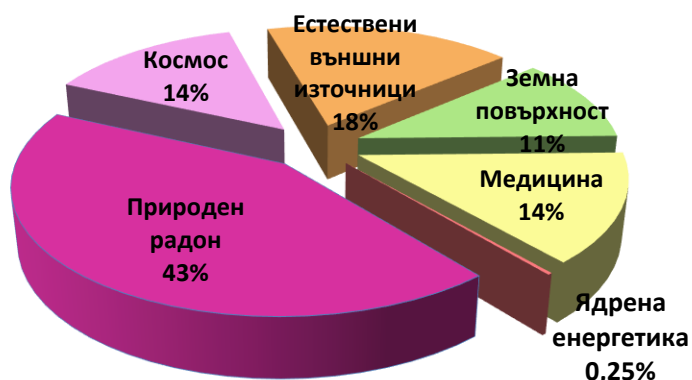


Таблица №1: Източници на йонизиращо лъчение

Основната единица на биологичната тъкан е клетката, която има контролен център наречен ядро. Около 80% от клетката се състои от вода, а останалите 20% са комплексни биологични съставляващи. Когато йонизиращата радиация премине през клетъчна тъкан, тя произвежда заредени водни молекули, при което могат да се получат свободни радикали – високо реактивни химикали, които могат да променят важни молекули в клетката. Една такава молекула е дезоксирибонуклеинова киселина (ДНК), намираща се главно в ядрото на клетката. ДНК контролира структурата и функционирането на клетката. Повечето от начините, по които радиацията уврежда клетките, включват изменение на ДНК. Има два начина, по които това може да стане – радиацията може да йонизира ДНК молекула, водейки директно до химична промяна или ДНК може да бъде изменена косвено при взаимодействието със свободен радикал, получен във водата на клетката в резултат на радиацията. И в двата случая химичната промяна може да доведе до вреден биологичен ефект, водещ до развитието на ракови образувания или наследствени генетични дефекти.

Най-важното свойство на различните видове радиация е тяхната способност да проникват в материята. Дълбочината на проникване за определен тип радиация се увеличава с нейната енергия, но варира от един тип радиация до друг за едно и също количество енергия. При заредени частици като α и β – частици, дълбочината на проникване също зависи от масата на частицата и нейния заряд. При еднакви енергии, β – частица ще проникне до по-голяма дълбочина от α – частица, докато α – частицата може само минимално да проникне в мъртвия, външен слой на човешката кожа. Следователно радионуклидите, които ги изпускат не са опасни, освен ако не попаднат в организма чрез вдишване, поглъщане или наранена кожа. От своя страна β – частиците проникват на около сантиметър в

тъканите, което означава, че радионуклидите, които ги изпускат, са опасни за повърхностните тъкани, но не и за вътрешните органи (освен, ако не попаднат в организма). За косвените, недиректни йонизиращи лъчения, като γ - лъчи и неутрони, степента на проникване зависи от приридата на взаимодействие с тъканите, но тъй като те могат да преминават през тялото, радионуклидите, които ги изпускат, могат да бъдат опасни независимо дали облъчването е външно или вътрешно.

Външното облъчване се дължи основно на гама - лъчите, които преминават лесно през дрехите и не могат да бъдат спрени от кожата, естествения радиационен фон, рентгенова диагностика, лъчева терапия в медицината и други техногенни източници, докато вътрешното се получава при вдишване и/или поглъщане на радиоактивни вещества, съдържащи се във въздуха, храната и водата.

Вътрешното облъчване може да бъде равномерно - от радиоактивни вещества, които се разпределят в целия организъм или ограничено - когато радиоактивните вещества се натрупват избирателно в определен орган. При равномерно вътрешно облъчване страдат най-чувствителните тъкани - костният мозък и половите клетки. При изолирано вътрешно облъчване страда съответният орган. Най-често тумори възникват именно от радионуклиди, проявяващи избирателност при разпределението си в организма. Неразтворимите радиоактивни вещества не могат да проникнат в организма. Те облъчват стомашно-чревния тракт (ако са попаднали с храната) или белите дробове (ако са попаднали във въздуха).

Хората могат да бъдат облъчени, да погълнат или вдишат радиоактивно вещество без първични усещания, т.к. те нямат сетива, които да възприемат радиацията. Установяването на йонизиращите лъчения става чрез

дозиметрични прибори или по вторични белези – биологичния ефект.

Дозата погълната радиация (отношението на средната енергия, предадена от йонизиращото лъчение на веществото в елементарен обем, към масата на веществото в този обем) се измерва в **грей**, като 1 грей е равен на джаул радиационна енергия, абсорбиран от един килограм енергия. В медицинската практика се използва **милигрей (mGy)**, т.к. стандартната единица е прекалено голяма. Една рентгенова снимка например, облъчва човека с 1,4 mGy.

Сиверт е мерна единица за дозата, свързана с радиационен риск от облъчването. С нея се цели да се даде количествен израз на биологичното влияние на радиацията. В тази единица се измерват две величини – еквивалентна доза и ефективна доза.

- **Еквивалентната доза** е погълнатата доза, осреднена за даден орган или тъкан, умножена със съответния радиационен коефициент. Тя отчита както количеството енергия, която организма получава, така и начинът, по който тази енергия се разпределя в тъканите.
- **Ефективната доза** е сумата от произведенията на еквивалентните дози в органите и/или тъканите със съответен тъканен коефициент. Тази величина се въвежда за оценка на биологичните последици от облъчването на човешкото тяло, т.к. различните органи и тъкани са с различна лъчечувствителност по отношение на последициите от облъчването.

	IAEA <i>International Atomic Energy Agency</i>	ICRP <i>International Commission of Radiological Protection</i>	EU	България
Население	$\leq 1 \text{ mSv/yr}$	$\leq 1 \text{ mSv/yr}$	$\leq 1 \text{ mSv/yr}$	$\leq 1 \text{ mSv/yr}$
Работници (над 18 години)	$\leq 20 \text{ mSv/yr}$	$\leq 20 \text{ mSv/yr}$	$\leq 100 \text{ mSv}$ в продължение на 5 последователни години	$\leq 100 \text{ mSv}$ в продължение на 5 последователни години, като максималната ефективна доза за всяка година не може да надхвърля 50 mSv.

Таблица №2: Граници на ефективната доза според различни регулаторни органи

Радиационни дози с различна големина доставени на различни части от тялото могат да окажат различни ефекти върху организма по различно време. Много висока доза получена от цялото тяло може да причини смърт в рамките на седмици. Например, погълнатата доза от 5 gray или повече получена мигновено най-вероятно би била фатална, заради увреждането на костния мозък и стомашно-чревния тракт, освен ако не се предприеме някакво лечение.

Адекватно медицинско лечение може да спаси живота на човек изложен на 5 gray, но доза за цялото тяло, да речем от 50 gray, почти сигурно ще бъде фатална, дори и при медицинска намеса. Много висока доза получена от малка област от тялото може да не се окаже фатална, но могат да възникнат други ранни ефекти. Например, моментално погълнатата доза от 5 gray от кожата най-вероятно би предизвикала еритмия (болезнено зачервяване на кожата) в рамките на

седмица, но подобна доза на репродуктивните органи би причинила стерилност. Тези типове ефекти се наричат **детерминистични ефекти**: те се появяват само тогава, когато дозата или дозовото натоварване е по-голямо от определена прагова стойност, а ефектът се появява по-рано и е толкова по-силно изразен, колкото е по-голяма дозата. Съществуват обаче и детерминистични ефекти, които се появяват дълго време след излагане на лъчението и обикновено не са фатални. Най-добре познатите примери са катаракта (непрозрачност в лещите на окото) и увреждане на кожата (изтъняване и язви).

Ако дозата е по-малка или ако е получавана през по-дълъг период от време, има много голяма вероятност клетките на тялото да се възстановят и да не се появят ранни признаци на дадена болест. Дори и при такъв случай, тъканите биха могли все още да са повредени и ефектите да възникнат по-късно през живота на индивида (десетилетия по-късно) или дори при бъдещето поколение на заразения човек. Тези типове ефекти се наричат **стохастични** или вероятностни ефекти: за тях не е сигурно, че ще възникнат, но вероятността това да се случи се увеличава с увеличаване на дозата. Особеното тук е, че времето на поява и сериозността на ефектите не зависят от дозата. Тъй като радиацията не е единствената позната причина за повечето от тези ефекти е почти невъзможно да се определи клинично дали индивидуален случай е резултат от радиационно излагане или не.

Най-важният от стохастичните ефекти е рака, който винаги е сериозен и често фатален. Въпреки, че точната причина за повечето форми на рак остава неизвестна или слабо разбрана, излагането на агенти като цигарен дим, азбест и ултравиолетова радиация, както и йонизиращата радиация, се знае, че играят роля в индуцирането на определени форми на рак. Развитието на рак е комплексен, многоетапен процес,

който обикновено отнема много години. Радиацията обикновено играе роля още на начален етап чрез нанасяне **на** определени мутации в ДНК на нормалните клетки и тъкани, като тези мутации позволяват на клетката да започне процес на аномален растеж, който понякога може да доведе до развитието на злокачествено заболяване.

Изхождайки от това, че не можем да направим разлика между случаите на рак, получени от радиационно лъчение и тези получени в резултат на други причини, се използва епидемиология – статистическо проучване на случаи (броя на случаите и тяхното разпределение) на специфично заболяване при определени групи от населението. Като се предполага, че знаем броя на хората в заразената група и дозите, които са получили, чрез наблюдение на случаите с рак в тази група и сравнявайки ги с дозите и случаите на рак, очаквани в подобна, но необлъчвана група, можем да оценим възникналия риск за рак към единица доза. Това често се нарича **риск** **фактор**. Особено важно при провеждане на подобни анализи е да се включи информация за големи групи от хора, за да се минимизира статистическата несигурност в оценките.

Не всички случаи на рак са фатални. Средната смъртност от рак на щитовидната жлеза, предизвикан от радиационно лъчение, е около 10%, от рак на гърдите е около 50%, от рак на кожата е 1%. Общият риск от индуциране на рак при облъчване от нееднородно лъчение на цялото тяло е около половината от големината на риска от индуциране на фатална форма на рак.

Повечето от оцелелите от атомните бомбардировки в Япония и други изследвани групи, подложени на облъчване, са получили високи дози за кратък период от време. Изследването на разпространението на раковите заболявания в тези групи, отчитайки получените дози, показва, че при високи дози и дозови

натоварвания съществува линейна връзка между дозата и риска.

От години съществува едно мнение, възприето в световен мащаб, че връзката между дозата и риска има линейна форма, непрекъсната и за ниските дози до нулева стойност (известна като линейна безпрагова хипотеза). Това означава, че всяка една радиационна доза може да има пагубен ефект, независимо от това колко е малка.

Някои радиобиологични експерименти обаче водят до предположението, че ниските дози на радиация нямат пагубен ефект, тъй като тялото може ефективно да възстанови щетите, причинени от радиацията или дори, че ниските дози радиация могат да стимулират регенеративните процеси в клетките до такава степен, че да помогнат за предотвратяването на рак. Други експерименти са използвани като основа на теориите, че ниските дози радиация са по-опасни (на единица доза) от високите или че наследствените увреждания причинени от радиацията могат да стават все по-тежки от поколение на поколение.

След обстоен преглед на биологичните ефекти от ниските дози йонизираща радиация, UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) стига до заключението, че *„... увеличението на риска от рак пропорционално на радиационната доза остава постоянно с развиването на науката и остава, съответно, най-научно защитимото приближение за връзката между ниските дози и риска.“*. Също така се допълва и че *„... строго линейна връзка между дозата и риска не трябва да се очаква при всякакви обстоятелства“*.

За някои типове силна йонизираща радиация като α -частиците, рисковият фактор е същия за малките дози както и за големите. За по-слаби йонизиращи лъчения като γ -лъчите има значителни радиобиологични доказателства, че зависимостта е много по-сложна. За

тези типове радиация линейната хипотеза е добро представяне на връзката между малките дози и големите дози към риска, но риска за единица доза (кривата на линейната хипотеза) е по-малък за ниските дози в сравнение с високите.



Фигура №1: Линейна безпрагова зависимост

В действителност риска за човек при определена доза ще зависи и от възрастта на този човек по време на облъчването с радиация, а също така и от неговия пол. Например, ако човек получи доза късно през живота си, то този човек може да почине поради друга причина още преди да се развие рак вследствие на облъчването. Също така рискът от рак на гърдите е практически равен на нула при мъжете и 1 на 250 за жените. В допълнение последните научни открития показват, че риска от рак след облъчване може да бъде повлиян и от генетичния „състав“ на даден човек. Към настоящия момент можем да определим само изключително редки случаи на хора и фамилии, които носят повишен

риск, но в бъдеще експертите ще са в състояние да вземат под внимание такива наследствени характеристики.

Рисковите фактори се различават и за различното население. Това е основно, защото различното население има различно разпределение на възрастта. Например, тъй като средната възраст на работещата част от населението е принципно по-висока (следователно тяхната очаквана продължителност на живота е по-ниска) в сравнение с населението като цяло, рисковия фактор на последните е доста по-нисък от този на работещите. Международната комисия по радиационна защита оценява рисковия фактор за работещото население на около 4×10^{-2} . Различните рискови фактори могат да бъдат в резултат и от различия в преобладаващата честота на регистриране на различни форми на рак от всякакви причини, защото риска от радиация се възприема, че е свързан с тази преобладаваща честота. Например, рисковият фактор за страни с относително високи нива на смъртност от рак (развитите страни) ще бъде по-висок от стойностите му за страни, където раковите заболявания са по-рядко срещани (развиващите се страни). Такива различия обаче са сравнително малки в сравнение с несигурността в рисковите фактори като цяло и затова тези стойности, които се основават на характеристиките на 5 коренно различни населения могат да бъдат логично използвани в международен план.

Главният източник на информация за допълнителния риск за възникването на ракови заболявания, вследствие излагането на цялото тяло на γ - лъчение, са изследвания на оцелелите от атомните бомбардировки в Хиросима и Нагазаки през 1945 година. Тъй като значителен брой хора, оцелели при бомбардировките са живи и днес, е необходимо да се предскаже колко случаи на рак евентуално ще бъдат открити в

облъченото население. За целта са използвани различни математични модели, но това неизбежно е още един източник на неточност при оценка на риска. Допълнителна неточност в анализите се получава и от факта, че е невъзможно да бъдат определени точно дозите, получени от оцелелите.

Тъкан или орган	Рисков фактор ($10^{-2} Sv^{-1}$)
Пикочен мехур	0.30
Костен мозък	0.50
Костни тъкани	0.05
Гърди	0.20
Дебело черво	0.85
Черен дроб	0.15
Бял дроб	0.85
Хранопровод	0.30
Яйчници	0.10
Кожа	0.02
Стомах	1.10
Щитовидна жлеза	0.08
Други	0.50

Таблица №3: Рискови фактори на МКРЗ

Други оценки на риска от излагане на различни органи и тъкани на γ - и рентгенови лъчи идват от хората, изложени на външно облъчване чрез медицински процедури с диагностична цел за различни състояния, както и от населението на Маршалските острови, изложени на атмосферното замърсяване в резултат от тестовите с ядрено оръжие. Информация за ефектите от α -изпускащи радионуклиди идват и от миньори, изложени на облъчването на радона и неговите дъщерни продукти, от работници, изложени на облъчването от радий-226 в

отразяващите бои, от някои пациенти, лекуващи се от заболявания на костите с радий-224 и други.

Информация от това естество е оценявана периодично от UNSCEAR и от Международната Комисия по Радиационна Защита (ICRP) с цел да се направят най-адекватни оценки на рисковете. В случая на Международната Комисия по Радиационна Защита (ICRP), тези рискови оценки са развити с цел разработване на препоръки за защита. Освен това, МААЕ изгражда свои стандарти за радиационна безопасност, вземайки под внимание съветите на UNSCEAR и ICRP.

Важно последствие на приемането, че риска е пропорционален на дозата е това, че колективната ефективна доза става показател на комуналната (общата) вреда. При тази концепция няма никаква аритметична разлика дали в общество от 50 000 човека всеки получава ефективна доза от 2 mSv или в общество, състоящо се от 20 000 човека, всеки получава 5 mSv. И в двата случая колективната доза е 100 manSv и платената цена ще бъде около 5 смъртни случая от рак и един тежък наследствен дефект в следващо поколение. Членове на по-малко общество изпитват по-голям индивидуален риск от фатална форма на рак.

Освен раковите заболявания съществуват и други основни късни ефекти от радиацията. Такива могат да бъдат наследствените увреждания, при които, подобно на раковите заболявания, вероятността, но не и сериозността, зависи от дозата. Генетичните увреждания произхождат от облъчване на тестисите и яйчниците. Йонизиращата радиация е причина за мутации в тези клетки или в зародиша им, който ги формира. Това представляват мутации, които могат да доведат до поява на генетично увреждане в бъдещи поколения. Мутациите се появяват като резултат от структурни промени в ДНК в единични зародишни клетки, които впоследствие пренасят наследствената информация от

ДНК и през следващи поколения. Наследствените заболявания, които могат да бъдат причинени от радиацията, могат да бъдат от относително незначителни скелетни аномалии и по-маловажни метаболитни смущения до ранна смърт и сериозни ментални увреждания.

Въпреки, че мутациите се появяват в живите организми без видима причина, естествената радиация, както и различни вещества в околната среда, могат да предизвикват възникването им и да допринесат за честата поява на наследствени увреждания. Няма окончателни и убедителни доказателства в човешките потомства за наследствени увреждания, които да могат да се отдадат на облъчването от естествена или изкуствена радиация. Разширени изследвания на потомците на оцелелите от атомните бомбардировки в Япония не са доказали еднозначно съществуването на връзка между облъчването и появата на наследствени увреждания.

Провеждани са големи експериментални изследвания за оценка на наследствените увреждания от йонизираща радиация при животни, предимно мишки. Тези изследвания са покрили широк спектър от дозови натоварвания и ясно демонстрират, че йонизиращата радиация наистина причинява мутации. Резултатите също така са показали и колко често наследствените увреждания са се пораждали от известни дози. Стига се до извода, че тази информация ни позволява да оценим наследствените рискове и при хората.

Въпреки че всички живи същества са изложени на естествения радиационен фон, можем да различим две отделни групи, които са изложени в различна степен на източниците на радиация, създадена от човека: *лица от населението* и *професионално облъчван персонал*. Източниците на техногенната радиация, които могат да причинят облъчване на лица от населението са: *тютюневите изделия, телевизията, рентгенови лъчи в*

медицински изследвания, димните противопожарни детектори, светлинни апарати, уредите на ядрената медицина и строителните материали. Основен източник на облъчване е медицинската апаратура, използвана в рентгеновата диагностика, ядрената медицина и радиационната терапия. Някои от главните изотопи, използвани в медицината са: $^{131}_{53}\text{I}$, $^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$, $^{60}_{27}\text{Co}$, $^{192}_{77}\text{Ir}$, $^{137}_{55}\text{Cs}$ и други. В по-малка степен населението се излага на радиация от хранителните продукти, такива като тютюневите изделия ($^{210}_{84}\text{Po}$), строителни материали, горива (газ, въглища, ...), оптични стъкла, телевизия, светещи часовници и циферблати (тритий), рентгеновите системи на летищата, димните детектори ($^{241}_{95}\text{Am}$), материалите за пътни конструкции, електронно-лъчеви тръби, стартери на флуоресцентните лампи, светлинни апарати (торий) и др.

Персоналът може да получи професионално облъчване, работейки в: предприятията на ядрения горивен цикъл, промишлената радиография; медицинските отделения по радиология, радиационна онкология и ядрена медицина; АЕЦ; изследователски лаборатории. Облъчването на професионалните работници по време на работа е подложено на внимателно наблюдение и контрол. Някои от изотопите, които причиняват това облъчване са: $^{60}_{27}\text{Co}$, $^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{241}_{95}\text{Am}$ и др.

Известно е, че всеки четвърти човек умира от рак (1 от 4, 25%). Следователно можем да кажем, че приблизително 1 на 25 от всички случаи на смърт е резултат от естествена или изкуствена радиация. За тези, които работят в ядрената индустрия, вероятността за фатален край вследствие на радиацията е с 50% по-голяма, но това е само малка част от общата вероятност за смърт от рак – повишението е от 25% на 25,5%.

Във всяка страна има установени норми и принципи за радиационна защита, съобразени с изискванията на Международната комисия по радиационна защита (МКРЗ).

Радиационната защита представлява комплекс от технически, физически, санитарно-хигиенни и организационно-административни мероприятия, които се резлизират на всеки етап от проектирането, строителството, пуска и експлоатацията на АЕЦ, с цел осигуряване и гарантиране на безопасността на персонала и населението и ограничаване на облъчването им до най-ниските възможни нива. Основни задачи на радиационната защита са да предотврати появяването на ранните детерминистични ефекти от облъчването и да намали риска от поява на късни стохастични последици.

Според МКРЗ принципите за ограничаване на дозите са:

- Обстановка на практическото приложение – приложението на източници на радиация в дадена дейност е допустимо само при наличието на реална полза.
- Оптимизация на радиационната защита с цел снижаване до минимум дозата на облъчване.
- Установяване на граници на облъчване т.е. определяне на максимално допустими дози за съответните категории от хора и контрол за недопускане на превишаването им.

Проведените изследвания недвусмислено показват, че радиационното въздействие върху живите организми крие съществени рискове. Трябва обаче да се подхожда внимателно при провеждане на оценките на въздействието на ниските стойности на дозите, тъй като не могат да се намерят убедителни доказателства за тяхното вредно въздействие, а често става въпрос дори и за обратното – възможни положителни ефекти от ниските радиационни въздействия.