

MINISTERUL SĂNĂTĂȚII
INSTITUTUL NAȚIONAL DE SĂNĂTATE PUBLICĂ



CE ESTE NECESAR SĂ ȘTIM DESPRE RADIAȚIILE
IONIZANTE ȘI EFECTELE LOR ASUPRA OMULUI

*GHID DE EDUCAȚIE PENTRU SĂNĂTATEA
POPULAȚIEI*

EDIȚIA 1 – 2016

Elaborat de:

Dr. Rita Burkhardt

fiz. Teodora Dan

fiz. Loredana Bogdan

Laboratorul de Igiena Radiațiilor Ionizante, Centrul Regional de Sănătate Publică Cluj

Sub coordonarea Centrului Național de Monitorizare a Riscurilor din Mediul Comunitar
(CNMRMC)

Material elaborat în cadrul Programul Național de Monitorizare a Factorilor Determinanți în
Mediul de Viață și Muncă, Obiectivul 2 - Protejarea sănătății și prevenirea îmbolnăvirilor
asociate radiațiilor ionizante

CUPRINS

	pagina
1. Introducere	3
2. Legislația națională și comunitară în domeniu	4
3. Noțiuni generale privind radiațiile ionizante	4
3.1. Ce sunt radiațiile ionizante?	4
3.2. De unde provin radiațiile ionizante?	5
3.3. Ce este radioactivitatea?	7
3.4. Care sunt tipurile de radiații ionizante?	8
3.5. Cum interacționează radiațiile ionizante cu substanța?	10
3.6. Cum se pot detecta radiațiile ionizante?	11
3.7. Care sunt mărimile și unitățile de măsură a radiațiilor ionizante?	12
3.8. Care sunt modurile de expunere la radiații ionizante?	13
4. Efecte ale radiațiilor ionizante asupra sănătății umane	15
4.1. Care sunt mecanismele de producere a efectelor biologice?	15
4.2. Efectele biologice	16
5. Principii de bază și măsuri de protecție radiologică	24
5.1. Principii de bază ale protecției radiologice	24
5.2. Categoriile de expunere	25
5.3. Măsuri de protecție radiologică	27
5.4. Organisme internaționale și naționale cu rol în protecția radiologică	28
6. Beneficii și aplicații ale radiațiilor ionizante	29
7. Bibliografie	30

1. INTRODUCERE

Omul trăiește pe Pământ supus continuu acțiunii unor multipli agenți ambientali, printre care se numără și radiațiile ionizante. Majoritatea radiațiilor sunt de origine naturală la care omul a adăugat în ultima sută de ani și pe cele artificiale datorate propriei activități. Descoperirea energiei nucleare este considerată una din cele mai mari realizări a secolului XX, însă utilizarea radiațiilor în multiple domenii economice în prezent înseamnă și extinderea problemelor de sănătate produse de aceste radiații, de la nivel de mediu ocupațional la cel de mediu general populațional, cu alte cuvinte o problemă de sănătate publică. După accidentul nuclear de la Cernobîl (Ucraina) în aprilie 1986 a crescut preocuparea și interesul societății civile pe glob, deci și la noi, privind efectele asupra sănătății induse de expunerea la radiații ionizante. Această situație a impus căutarea și adoptarea de măsuri cu eficiență maximă în protejarea individuală și colectivă împotriva acestor radiații.

Acest ghid se adresează persoanelor din populație, având ca scop protejarea sănătății publice și prevenirea îmbolnăvirilor asociate radiațiilor ionizante. El conține informații consultative cu importanță în sănătatea publică cu privire la radiațiile ionizante, efectele lor asupra sănătății și principii de radioprotecție. Ghidul nu înlocuiește legislația în vigoare.

Obiectivele prezentului ghid sunt:

- creșterea nivelului de cunoștințe a persoanelor din populație cu privire la noțiunile generale despre radiațiile ionizante și efectele lor asupra sănătății;
- conștientizarea publicului privind beneficiile și riscurile pentru sănătate asociate radiațiilor ionizante;
- formarea și dezvoltarea unor deprinderi corecte care să promoveze sănătatea prin însușirea principiilor de bază în radioprotecție.

Ghidul este structurat în patru părți:

- legislația în domeniu
- noțiunile generale privind radiații ionizante
- efectele radiațiilor ionizante asupra sănătății
- principii de bază și măsuri de radioprotecție.

2. LEGISLAȚIA NAȚIONALĂ ȘI COMUNITARĂ ÎN DOMENIU

- Legea nr. 111/1996 privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare, republicată, cu modificările ulterioare;
- HG 1414/18.11.2009 - pentru înființarea, organizarea și funcționarea INSP;
- Normele Fundamentale de Securitate Radiologică (NSR-01), aprobate prin Ordinul CNCAN nr. 14 din 24 ianuarie 2000 și publicate în Monitorul Oficial al României nr. 404 bis din 29 august 2000;
- Directiva 2013/59/Euratom a Consiliului de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante și de abrogare a Directivelor 89/618 Euratom, 90/641 Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom și 2003/122 Euratom.

3. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND RADIAȚIILE IONIZANTE

3.1. Ce sunt radiațiile ionizante?

RADIAȚIA reprezintă energia emisă de o sursă și transmisă prin spațiu sub formă de unde sau particule.

În viața de zi cu zi întâlnim diferite tipuri de radiații atât neionizante - cum ar fi lumina, undele radio, microunde - cât și ionizante - razele X, gamma, etc.

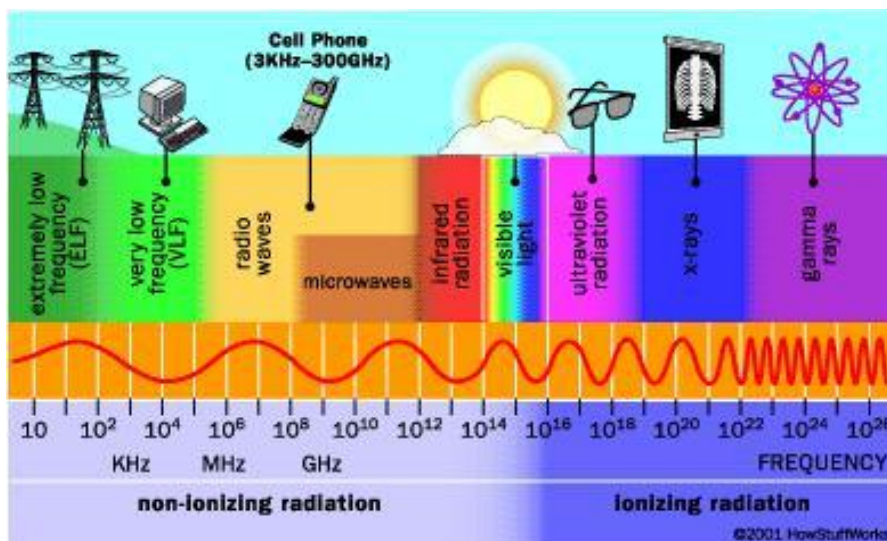


Fig.1 Spectrul electromagnetic

După de natura lor, radiațiile se împart în două categorii:

- **radiații electromagnetice:** undele din domeniul radio, TV, radar, microunde, infraroșii, luminoase, ultraviolete, razele X, gamma, cosmice;
- **radiații corpusculare:** electroni, protoni, neutroni, alfa.

După energia transportată, radiațiile pot fi:

- **radiațiile neionizante:** undele din domeniul radio, TV, radar, microunde, infraroșii, luminoase, ultraviolete;
- **radiațiile ionizante:** particule sau unde electromagnetice cu o lungime de undă de maximum 100 nanometri (o frecvență de minimum 3×10^{15} Hertz) capabile să producă ioni, direct sau indirect - razele X, gamma, radiații cosmice.

Informațiile oferite în continuare se referă doar la **RADIAȚIILE IONIZANTE**, acele radiații care au proprietatea de a ioniza materia cu care interacționează.

3.2. De unde provin radiațiile ionizante?

Radiațiile ionizante apar atunci când există o **sursă de radiații**. Sursele de radiații ionizante sunt grupate în două mari categorii: **surse naturale** - materiale radioactive existente în mod natural în mediu și **surse artificiale** - materiale radioactive produse artificial sau generatoarele de radiații – dispozitive capabile să genereze radiații ionizante, precum raze X, neutroni, electroni sau alte particule încărcate.

Sursele naturale

Majoritatea radiațiilor își au originea în mediul natural și constituie **fondul natural de radiații**. Astfel omul este permanent expus la următoarele radiații ionizante naturale:

- **radiația cosmică** – particule de energie înaltă (nuclee grele, particule alfa, protoni și electroni) și radiații gamma provenite din spațiul cosmic, care bombardează Pământul în mod continuu. Cantitatea (sau doza) de radiație cosmică primită este influențată de altitudinea, condițiile atmosferice și câmpul magnetic al Pământului;
- **radiația terestră** – se datorează substanțelor radioactive (uraniu toriu și potasiu), care există în roci și sol. Doza de radiații din surse terestre variază mult pe suprafața globului datorită distribuției neomogene a elementelor radioactive naturale în scoarța pământului neperturbată;

- **radon** – element radioactiv în stare gazoasă, existent în mediu, care are o contribuție majoră la fondul natural terestru de radiații;
- **radiația naturală din interiorul organismului** – radionuclizi pătrunși în organism prin inhalare (radon), ingestie (potasiu-40) sau prin piele.

Este important de semnalat faptul că însuși omul creează o radioactivitate naturală suplimentară prin activitatea socio-economică – exploatarea miniere, materiale de construcții.

Sursele artificiale

Expunerea la radiații provenite din surse artificiale este rezultatul:

- **expunerii medicale** – include expunerea persoanelor supuse examinărilor de diagnostic, procedurilor intervenționale și radioterapiei. Utilizarea radiațiilor în medicină constituie cea mai importantă sursă artificială de expunere la radiații a populației;
- **expunerii la alte surse** create de activitatea umană cum ar fi testarea armamentului nuclear în atmosferă, producerea energiei electrice, utilizarea industrială a radiațiilor, transportul și depozitarea materialelor nucleare, etc.

Doza efectivă medie anuală datorată fondului natural de radiații este de aproximativ 2,4 mSv pe an (medie globală) și reprezintă aproximativ 80% din doza efectivă medie totală primită de om. Diferența provine din surse artificiale de radiații ionizante.

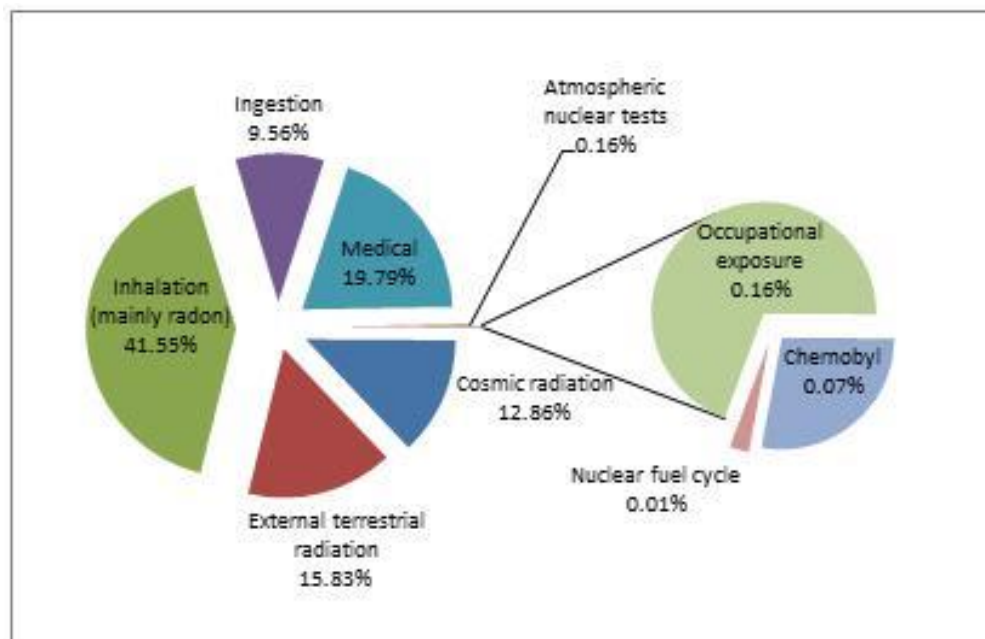


Fig.2 Contribuția la doza medie anuală conform [UNSCEAR report of 2008](#)

3.3. Ce este radioactivitatea?

Radioactivitatea reprezintă proprietatea unor nuclee instabile de a se dezintegra și de a emite spontan radiații.

Pentru a înțelege noțiunile legate de radioactivitate este util să înțelegem **structura atomului**.

Materia se compune din elemente chimice care la rândul lor sunt formate din atomi.

Atomul, cea mai mică particulă a unui element care nu poate fi divizată prin metode chimice și care păstrează toate proprietățile chimice ale elementului respectiv este format din:

- **nucleu** constituit din **protoni p** (cu sarcină pozitivă) și **neutroni n** (fără sarcină) și
- **înveliș electronic - electroni e**, cu sarcină negativă.

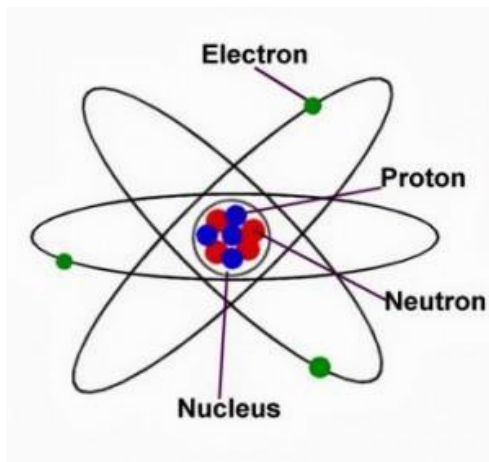


Fig.3 Structura atomului

În mod normal, numărul sarcinilor pozitive din nucleu (protonii) este egal cu numărul sarcinilor negative (electronii) din jurul nucleului, atomul fiind neutru din punct de vedere electric.

Un element chimic conține atomi care au același număr de protoni (Z), însă numărul de neutroni poate fi diferit. Atomii aceluiași element care au un număr diferit de neutroni se numesc **izotopi** (ex. $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$).

Unii izotopi sunt radioactivi și sunt denumiți radioizotopi sau radionuclizi, asta înseamnă că au un exces de energie nucleară, fiind instabili. Un nuclid instabil se transformă spontan într-

un alt nuclid tot instabil sau stabil, prin emiterea de radiații ionizante, proces numit **dezintegrare radioactivă**. Prin dezintegrare radioactivitatea nuclizilor scade.

Toți radionuclizi sunt identificați, în mod unic, prin tipul de radiație emisă, energia radiației emise și timpul de înjumătățire.

Timpul de înjumătățire a unui element radioactiv este timpul necesar pentru ca jumătate din atomii săi să se dezintegreze.

Tabel 1. Exemple de timpi de înjumătățire:

Element	Izotop	Timp de înjumătățire
Uraniu	^{238}U	4,47 miliarde ani
Uraniu	^{235}U	704 milioane ani
Toriu	^{232}Th	14,05 miliarde ani
Potasiu	^{40}K	$1,277 \times 10^9$ ani
Carbon	^{14}C	5730 ani
Radon	^{222}Rn	3,8 zile
Radiu	^{226}Ra	1600 ani
Cesiu	^{137}Cs	30,17 ani
Tritiu	^3H	12,36 ani
Cobalt	^{60}Co	5,27 ani
Iod	^{131}I	8,02 zile

3.4. Care sunt tipurile de radiații ionizante?

Cele mai cunoscute tipuri de radiații ionizante sunt: radiațiile alfa, radiațiile beta, radiațiile gamma, razele X și neutronii.

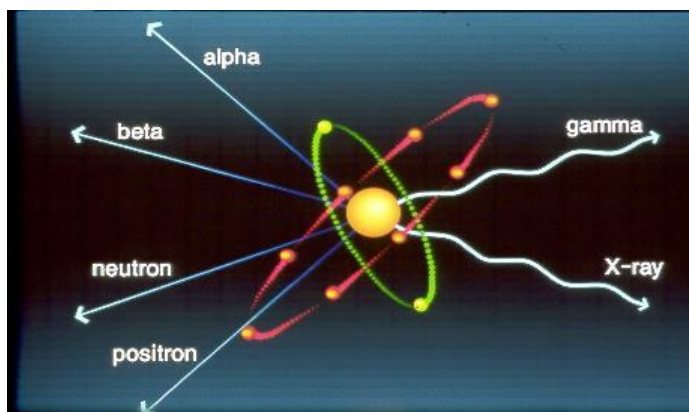


Fig.4 Tipuri de radiații ionizante

Radiația alfa (α) – radiație corpusculară formată din particule încărcate pozitiv (nuclee de heliu), compuse din doi protoni și doi neutroni, emisă de izotopi naturali (cum ar fi uraniu, toriu și radiu) și artificiali (cum ar fi cesiu, plutoniu și americiu). Are următoarele caracteristici:

- nu sunt penetrante, pot pătrunde doar în stratul exterior al pielii (epidermă),
- parcursul în aer este de 3 - 4 cm,
- pot fi ecranate de o foaie de hârtie,
- prezintă un risc sever la iradierea internă (prin pătrunderea radionuclizilor emițători alfa în organism).

Radiația beta (β) – fascicule de electroni sau pozitroni cu următoarele proprietăți:

- puterea de penetrare este mai mare decât a particulelor alfa, având capacitatea de a penetra pielea,
- pot fi ecranate de plastic, foiță subțire de aluminiu
- prezintă un risc mediu la iradierea internă și externă

Radiațiile gamma (γ) sunt radiații electromagnetice de energii înalte sau fotoni emiși din nucleul unui atom.

- sunt penetrante, au capacitatea de a traversa complet organismul,
- pot fi ecranate de materiale cu Z mare (Pb),
- prezintă risc radiologic semnificativ la iradierea internă și externă

Razele X sunt radiații electromagnetice ionizante situate în domeniul spectral dintre radiațiile gamma și ultraviolete.

Diferența între radiațiile gamma și razele X constă în proveniența acestora. Mai exact, razele X sunt produse în afara nucleului (la nivelul învelișului electronic), iar radiațiile gamma sunt produse în interiorul nucleului. Razele X, care în general au energii mai mici, au o capacitate de penetrare a țesuturilor mai mică, comparativ cu radiațiile gamma.

Neutronii sunt particule nucleare fără sarcină electrică care:

- sunt foarte penetrante, pot parcurge distanțe mari în aer

- pentru ecranare sunt necesare materiale foarte groase cu conținut de hidrogen (beton apă sau parafină)
- prezintă risc radiologic mare asupra organismului.

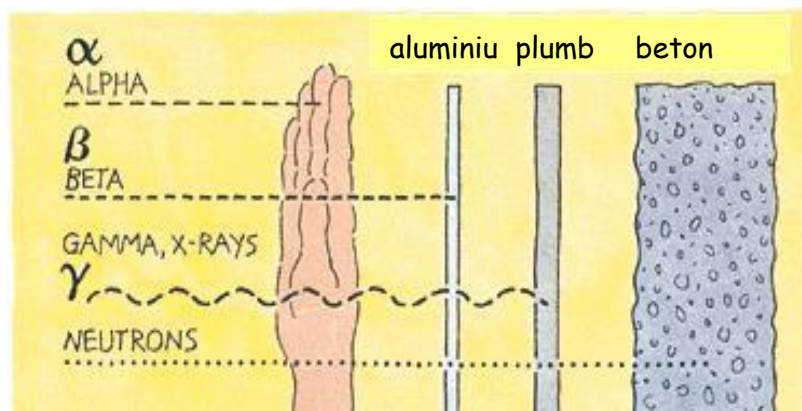


Fig.5 Puterea de penetrare a radiațiilor ionizante

3.5. Cum interacționează radiațiile ionizante cu substanța?

La trecerea radiației printr-o substanță are loc cedarea de energie atomilor cu care interacționează.

Principalul proces de interacțiune a radiațiilor ionizante cu substanța este **ionizarea** atomului, adică smulgerea unui electron din atom. Atomul rămas fără electron devine încărcat electric pozitiv, adică ion pozitiv. Electronul smuls din atom, care preia energia cedată de radiație, poate la rândul său să ionizeze alți atomi sau molecule.

Există cazuri în care la interacțiunea radiației cu atomul, electronul nu este smuls din atom ci, preluând o cantitate de energie, trece pe un nivel energetic superior. Acest proces se numește **excitarea** atomului. Prin **dezexcitare**, atomul emite surplusul de energie sub formă de radiație și revine la starea stabilă.

Energia necesară excitării unui atom este mai mică decât energia necesară pentru ionizarea lui ($W_{excitare} < W_{ionizare}$).

Ionizarea substanței este:

- **directă** în cazul particulelor încărcate electric (radiația alfa, beta) și
- **indirectă** în cazul radiațiilor gamma, razelor X și neutroni.

Interacțiunea radiațiilor ionizante cu substanța pe care o străbat interesează din două puncte de vedere:

- detectarea radiațiilor ionizante;
- efectele biologice pe care le produc.

3.6. Cum se pot detecta radiațiile ionizante?

Radiațiile ionizante nu pot fi percepute de simțurile umane, dar pot fi detectate cu ajutorul detectoarelor de radiații ionizante, aparate utilizate pentru a obține informații despre intensitatea radiațiilor într-un anumit loc din spațiu, la un moment dat. Ele sunt conectate la aparate de măsură (numărător electronic, ampermetru, voltmetru) și, astfel, se pot face măsurători cantitative.

Detectarea radiațiilor ionizante se bazează pe următoarele fenomene produse în urma interacțiunii lor cu substanța:

- 1) electrice (ionizarea mediilor străbătute);
- 2) optice (scintilație, luminiscentă);
- 3) chimice (influențarea cineticii reacțiilor, radiocatalizarea lor);
- 4) fotochimice (impresionarea emulsiilor fotografice).

Tipuri de **detectori de radiații**:

- *camerele de ionizare, contoarele proporționale și contoarele Geiger-Mueller* - a căror funcționare are la bază măsurarea sarcinii electrice rezultată în urma ionizării unui gaz;
- *detectori cu semiconductori* – se bazează tot pe fenomenul de ionizare ce are loc, însă, în interiorul unui semiconductor;
- *detectori cu scintilație* – se bazează pe emiterea de radiații luminoase în urma interacției radiației ionizante cu o substanță care poate fi sub formă solidă (cristalul de iodură de sodiu) sau lichidă (solvenți organici în care se adaugă substanțe scintilante);
- *filme fotografice* – utilizează efectul chimic de înnegrire a filmului fotografic ca rezultat al ionizării microcristalelor de halogenură de argint din emulsia filmului; cantitatea de înnegrire produsă de argintul metalic rezultat este proporțională cu cantitatea de radiații primite de emulsie;

- *detectori termoluminescenți (TLD)* – utilizează proprietățile de termoluminescență a unor cristale solide prin care energia absorbită de acestea în urma iradierii este eliberată sub formă de lumină la încălzirea lor peste o anumită temperatură;
- *dozimetrele chimice* – utilizează reacțiile chimice ale unor substanțe produse în urma iradierii.

3.7. Care sunt mărimile și unitățile de măsură a radiațiilor ionizante?

Deoarece radiațiile pot penetra materiale și pot ioniza atomii din interiorul materialului, ele pot fi detectate și măsurate chiar și la niveluri foarte scăzute. Prin măsurarea cantității de radiații prezente, se pot identifica sursele de radiații și se pot lua măsurile necesare pentru a evita sau de a reduce expunerea la radiații.

Mărimile dozimetrice sunt importante în multe aspecte ale utilizării radiațiilor ionizante. Cea mai importantă aplicație a mărimilor dozimetrice este protecția împotriva radiațiilor. Cuantificările efectelor radiației sunt necesare pentru a determina riscurile și beneficiile, a optimiza practicile și a lua decizii documentate în ceea ce privește expunerile la radiații ionizante.

Tabelul 2. Principalele mărimi și unități de măsură ale radiațiilor ionizante

Mărime	Definiție	Unitate de măsură în SI	Unitate veche de măsură	Relații de transformare / Factori de conversie
Radio-activitate	numărul dezintegrărilor radioactive în unitatea de timp	Becquerel Dezintegrări /s (s^{-1})	Curie	$1\text{Bq}=27,03\times 10^{-12}\text{Ci}$ $1\text{Ci}=3,7\times 10^{10}\text{Bq}$ $=37\text{GBq}$
Expunere (X)	valoarea absolută a sarcinii totale a ionilor de același semn, produși în aer, atunci când toți electronii eliberați de fotoni, pe unitatea de masă de aer, sunt complet absorbiți în aer.	$\frac{C}{\text{kg aer}}$	R	$1\text{C/kg}=3876\text{R}$ $1\text{R}=2,58\times 10^{-4}\text{C/kg}$ $=258\mu\text{C/kg}$
Doza absorbită (D)	cantitatea de energie absorbită, din fasciculul de radiație, de unitatea de masă	$1\text{Gy}=1\frac{J}{\text{kg}}$	1rad	$1\text{Gy}=100\text{rad}$ $1\text{rad}=10^{-2}\text{J/kg}$ $=10^{-2}\text{Gy}$

KERMA	raportul dintre suma energiilor cinetice inițiale ale tuturor particulelor ionizante încărcate pe care le produc particulele neîncărcate într-un element de volum al unei substanțe și masa acelui element de volum	$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	1rad	1Gy=100rad 1 rad = $10^{-2}\text{J} / \text{kg}$ = 10^{-2} Gy
Doza echivalentă (H)	doza absorbită în țesutul sau organul T, ponderată pentru tipul și calitatea radiației R	1Sv	1rem	1Sv=100rem 1 rem = 10^{-2} Sv
Doza efectivă (E)	suma ponderată a dozelor echivalente absorbite de toate țesuturile și organele organismului din expunere internă și externă	1Sv	1rem	1Sv=100rem 1 rem = 10^{-2} Sv

Expunerea, sau, mai precis, doza de expunere, astfel cum a fost definită de către ICRU în 1957, este legată de capacitatea unui fascicul de fotoni de a ioniza aerul. În ultimii ani, utilizarea acestei cantități a fost înlocuită cu kerma, o cantitate mai generală, care este recomandată în scopul calibrării dozimetrelor. Cu toate acestea, doza absorbită este cantitatea care indică mai bine efectele radiațiilor asupra materialelor sau asupra organismului uman, în consecință, toate mărimile fizice legate de protecția la radiații se bazează pe ea.

3.8. Care sunt modurile de expunere la radiații ionizante?

Expunerea externă a organismului se datorează unei surse de radiații din exteriorul acestuia.

Expunerea internă are drept cauză o sursă de radiații aflată în interiorul organismului și care a pătruns prin inhalare, prin ingerare, prin injectare sau datorită absorbției prin piele.

Ambele tipuri de expuneri pot fi produse de surse de radiații închise sau deschise. Doar în cazul surselor deschise de radiații, putem vorbi de contaminare.

Contaminarea organismului umane produce prin:

- **contaminarea externă** care constă în depunere accidentală pe piele, pe îmbrăcăminte a radionuclizilor fixați sau absorbiți în particulele de praf din mediul înconjurător omului;
- **contaminarea internă** se realizează prin pătrunderea accidentală a radionuclizilor prin:
 - Inhalare de aerosoli contaminați care apar după teste sau accidente nucleare;
 - Ingestie digestivă este prin consum de alimente și apă contaminate de diverse depuneri radioactive în mediu sau transfer prin lanțul trofic;
 - Absorbția tegumentară mult redusă ca importanță în cazul tegumentelor intacte și mai semnificativă în cazul leziunilor tegumentare.

Radionuclizii pătrunși în corpul uman se detectează prin sânge, urină (Iod 131, Cs 134 și Cs 137), materii fecale (Sr 90). Radionuclizii din sânge trec în țesuturi, iar restul se elimină prin fecale, urină și chiar transpirație. În raport de metabolismul țesuturilor în care se fixează, radionuclizii pot fi eliminați, recirculați în sânge și fixați din nou în țesuturi.

Exemple: Stronțiu 90 se fixează în oase și se elimină foarte greu; Cs-137 se fixează în organe moi, mușchi, se metabolizează puternic, eliminându-se destul de ușor; I-131 se fixează preponderent în tiroidă și poate produce în timp efecte grave cum ar fi cancerul tiroidian. Se știe că iodul radioactiv a fost componenta majoră eliberată la accidentul de la Cernobîl în aprilie 1986, care s-a acumulat în organismul populației, în special al copiilor rezidenți în zonele puternic contaminate și a dus la dezvoltarea în număr mare de cancere tiroidiene la copii.

Tabel. 3. Acumularea radionuclizilor în organele țintă

Radionuclizi	Organ țintă, țesut afectat
I-131	Tiroida
Sr-90	Măduva hematopetică, oase
Cs-137	Mușchi, organe moi
H-3 (tritiu)	Fluide corporale
C-14	Țesuturi grase

4. EFECTE ALE RADIAȚIILOR IONIZANTE ASUPRA SĂNĂȚĂȚII

Suntem „bombardați” cu radiații din aer, pământ, apă, vegetație, alimentație, dar ce efecte produc acestea asupra organismului nostru?

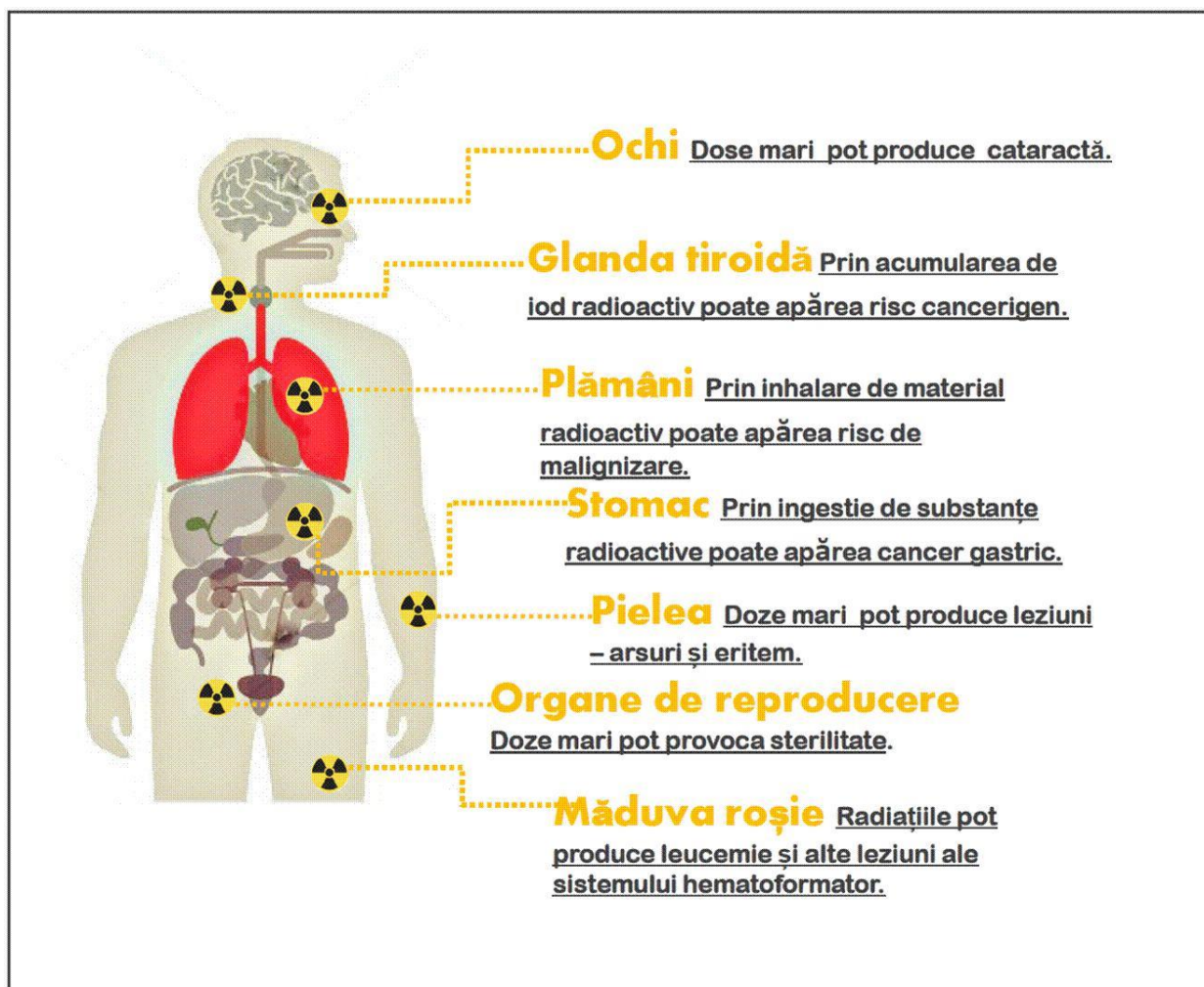
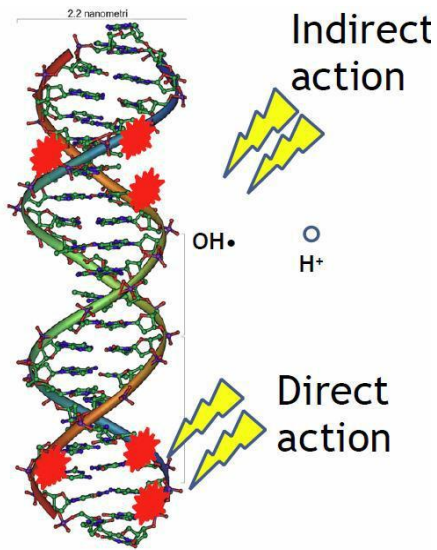


Fig. 6. Efectele radiațiilor ionizante

4.1. Care sunt mecanismele de producere a efectelor biologice?

Când radiațiile direct ionizante sunt absorbite într-un material biologic, efectele asupra celulelor pot să apară prin două mecanisme de acțiune:

- **acțiune directă** – radiația interacționează direct cu una din componentele critice ale celulei ducând la microleziunile directe ale structurii celulei;



- **acțiune indirectă** – se datorează inducerii unor radicali liberi și ioni cu reactivitate chimică mare apăruiți în interacțiunea radiațiilor cu apa din organism;
- **acțiune la distanță** – duce la apariția efectelor asupra celulelor neiradiate.
- Principala țintă a radiațiilor ionizante este **ADN-ul**. Ca rezultat al afectării **ADN-ului celular** apar moartea celulei, mutageneza și transformarea malignă.

Fig. 7. Mecanisme de inducere a efectelor biologice

La doze mici de radiații, specific fondului natural de radiații omul reacționează în limite fiziologice normale sau apare uneori chiar o stimulare temporară a metabolismului.

Dozele mari peste fondul natural duc la dereglări metabolice urmate de distrugeri celulare, iar în final moartea celulei, a țesuturilor și chiar a organismului în întregime. Se consideră că **radiațiile ionizante sunt agenți genotoxici clasici**.

4.2. Efectele biologice

Efectele biologice se clasifică:

- din perspectiva timpului:
 - **imediate (acute)** – apar la scurt timp după expunere
 - **tardive (cronice)** – apar la intervale de ordinul lunilor, anilor după expunere
- în funcție de persoana afectată:
 - **somatice** – apar la indivizii expuși la radiații
 - **genetice** – apar la descendenți indivizilor expuși
- după gradul de afectare:
 - **letale** – sunt ireversibile, duc la moartea celulei

- **subletale** – pot fi reparate
- **potențial letale** – pot fi reparate în cazul în care celula nu este în stare de diviziune
- din punct de vedere al radiobiologiei
 - **stocastice**
 - **deterministice (non stocastice)**

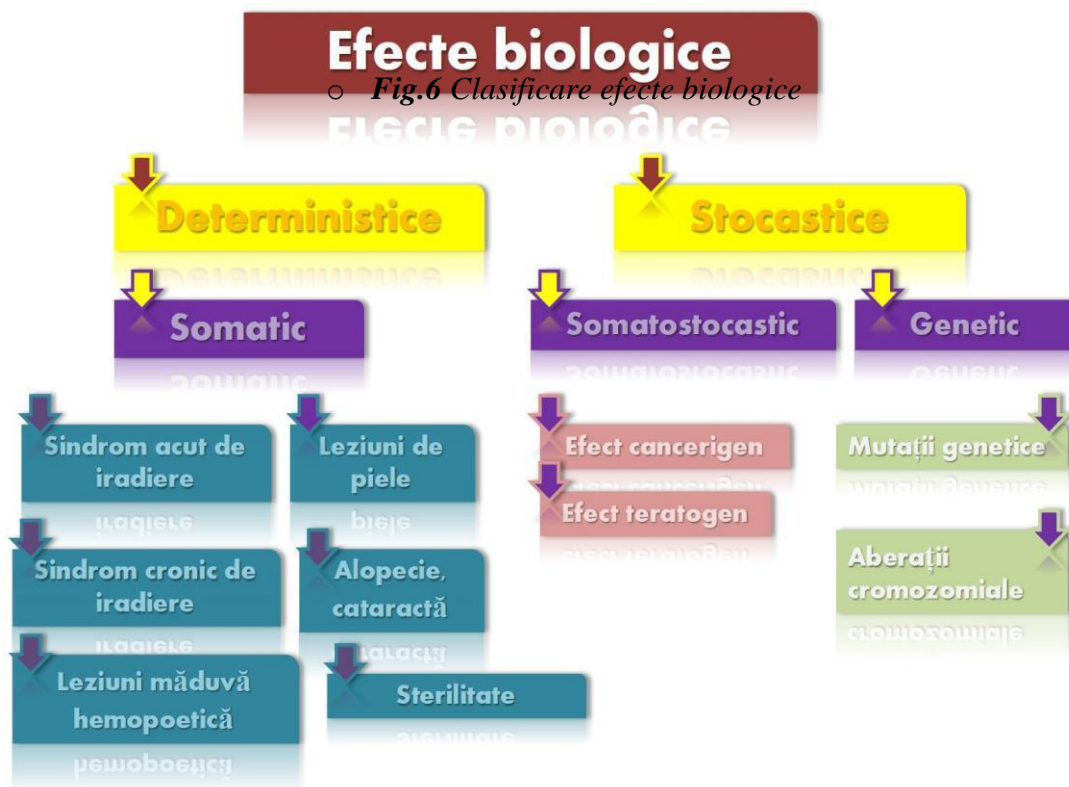


Fig. 8 Clasificarea efectelor biologice

4.2.1. Efectele deterministice

Apar după alterarea a peste 99,9% a celulelor ce compun țesuturile corpului uman. Efectele deterministice erau frecvente mai ales în perioada de început a utilizării radiațiilor, în principal anemii și leziuni de piele. După introducerea măsurilor de protecție în mod preventiv ele au devenit mai rare, azi apărând doar în cazuri accidentale.

Ele au prag de apariție (sub acest prag nu apar efecte), cu doză-prag de ordinul a câțiva Gy. Severitatea efectelor și frecvența crește cu doza primită de populația compusă din indivizi cu

susceptibilitate variată, în funcție de țesutul afectat. Cele mai sensibile țesuturi la acțiunea radiațiilor nucleare sunt țesutul ovarian, țesutul testicular, măduva osoasă și ochiul.

Tabel 4. Clasificarea radiosensibilității țesuturilor

Mare	Medie	Mica
Cristalin	Piele	Mușchi
Gonade	organe cu mezoderm (ficat, inimă, plămân...)	Oase
Măduva hematogenă		Sistem nervos
Splina		
Timus, ganglioni limfatici		

Aceste efecte se clasifică în:

- Sindromul acut de iradiere care apare la un interval de ore până la luni, cu manifestări locale și generale la nivel de măduvă hematopoetică, piele, cristalin, sistem gastro-intestinal;
- Sindromul cronic de iradiere - apare la un interval de luni până la ani ca urmare a lezării vaselor sanguine, alterării permanente celulare și/sau dezvoltare de fibroză.

Sindromul acut de iradiere

Apare în expuneri la doze ridicate unice sau doze repetate la scurt interval de timp și diferă după iradierea segmentului corporal. Astfel la iradierea întregului corp cu o doză de 0,25 Gy apar modificări hematologice reversibile - leziuni ale seriei limfoide și mieloide (leucopenia). De la 1Gy apar semnele bolii de iradiere acută, de la 2 Gy decese prin leziuni ireversibile ale seriei hematologice și la peste 5 Gy probabilitate de 100% a decesului. La peste 10 Gy apare alterare nervoasă cu agitație intensă urmată de comă profundă.



Boala de iradiere acută a întregului organism se produce excepțional în cazuri de expuneri accidentale. La început apar fenomene nervoase – adinamie, inapetență, stare alterată apoi o scurtă perioadă de remisiune, depinzând de doza primită, urmată de perioada de stare caracterizată de următoarele 3 sindroame:

1. Sindromul hematologic 1 Gy < Doză < 10 Gy
2. Sindromul gastrointestinal 10 Gy < Doză < 100 Gy
3. Sindromul neuro-vascular Doză > 100 Gy.

1. Sindromul hematologic dominat de distrugerea definitivă a sistemului sanguin (mieloid, limfoid). Ca urmare apar leucopenie, anemie, trombocitopenie și hemoragii mari frecvent letale. După expunere numărul de **limfocite scade** în decursul **primelor ore**, iar **trombocitele și granulocitele scad** în primele **zile sau săptămâni**, în timp ce **eritrocitele** încep să scadă lent doar **după câteva săptămâni**. De multe ori apar și distrugerii ale altor țesuturi cu rol în imunitatea organismului cum este timusul, care duc pe lângă hemoragii și la alterarea gravă a imunității generale.

2. Sindromul gastrointestinal ale cărui manifestări apar la câteva ore după expunere: greață, vomă severe și diaree apoasă cu crampe abdominale. Persoana iradiată nu prezintă simptome câteva ore sau zile, apoi apare o astenie marcată, oboseală, deshidratare mare. Mai târziu se instalează perioada de manifestare clinică intensă cu vărsături cu febră, diaree sanguinolentă cu deshidratare foarte marcată cu șoc și moarte, dacă nu se intervine medical foarte eficient și urgent.

3. Sindromul neuro-vascular având cauza majoră afectarea celulelor endoteliale vasculare. La început în câteva minute după expunere apare senzația de arsură, grețuri, vărsături și stare de confuzie, prostrație. Urmează o aparentă îmbunătățire a stării generale pentru câteva ore, persoana iradiată devine lucidă, fără dureri, dar este astenică, ca apoi să se instaleze rapid o diaree apoasă, tulburări respiratorii, semne de afectare a SNC și hipotensiune cu puls accelerat, stare de șoc cu colaps total. Moartea survine prin hemoragii masive acompaniate frecvent de septicemie datorată florei intestinale proprii.



Iradieră cu doze mari a unor segmente corporale (doze mult mai mari ca la boala de iradiere acută a corpului în întregul lui) se produce la manipulări greșite a unor surse de radiații și apar lezări ale pielii (radiodermită acută), alopecie, leziuni oculare, sterilitate.

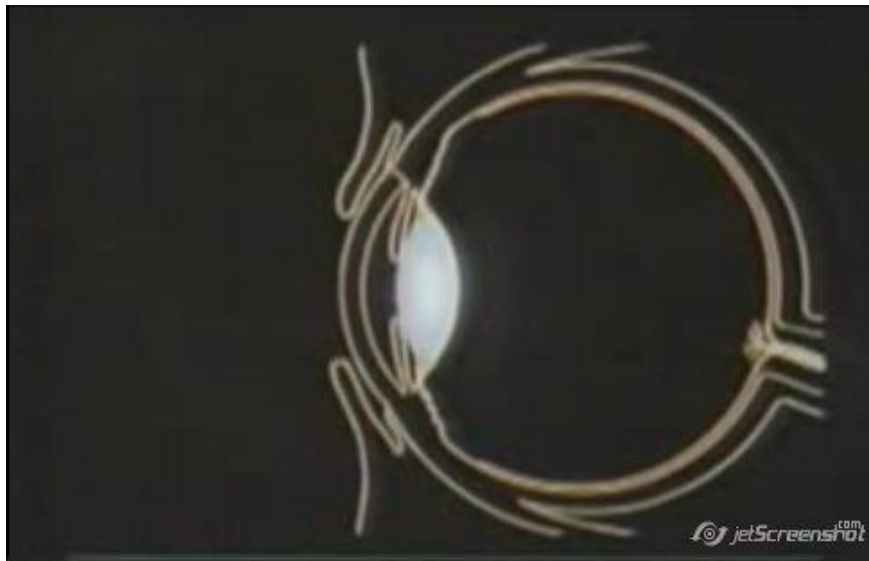
1. Pielea este unul din cele mai mari organe ale corpului nostru și este cea mai importantă **barieră fizică de protecție** față de factorii de risc din mediul înconjurător, ea controlează pierderea de lichide și electroliți și protejează împotriva infecțiilor.

Cele mai sensibile celule la acțiunea radiațiilor ionizante sunt celulele din stratul bazal al epidermului.

Leziuni ale pielii corelate cu doza de iradiere în radiodermita acută sunt: eritem și epilare la peste 3 Gy; descuamare, ulcerare și necroză la doze mai mari de 15-25 Gy.



2. Cristalinul are radiosensibilitate crescută, coagularea proteinelor la acest nivel apare la doze mai mari de 0.5 Gy (ICRP 2012). Nu există mecanisme de refacere a celulelor. Celulele afectate migrează la polul posterior producându-se în prima etapă diverse corpuri opace care scad funcționalitatea normală a ochiului, iar în timp apare cataractă.



3. Celulele germinale ale aparatului reproducător uman sunt puternic radiosensibile. Sterilitatea temporară cu durată de mai multe săptămâni apare la o doză-prag de 0,15 Gy pentru

bărbați și de aproximativ 5 ori mai înaltă pentru femei. Perioada de recuperare este dependentă de doză și durează câțiva ani. Sterilitatea permanentă este provocată de o doză minimă de respectiv 3,5 Gy pentru bărbat și 2,5 Gy pentru femei.

4.2.2. Efecte stocastice

Apar după lezarea uneia sau mai multor celule care alcătuiesc țesuturile/organele corpului uman. Severitatea efectului este independentă de doză, apar și la doze foarte mici.

Frecvența de apariție a efectului crește cu doza, fără a se demonstra existența unui prag de doză. Se datorează modificărilor celulare de la nivel de ADN și proliferărilor celulare maligne. Se clasifică în:

- **Efecte somatostocastice** - cancerul radioindus, efecte teratogene
- **Efectele genetice** – mutații genetice, aberații cromozomiale

Cancere radioinduse

Cancerul de orice etiologie se definește ca o alterare patologică a sistemelor de control și reglare a diviziunii celulare, o multiplicare permanentă și anarhică a celulelor. Radiațiile ionizante pot fi cancerigene fiind puternic imunosupresoare, pot activa viruși latenți endogeni, perturbă chiar și balanța endocrină.



Cancerul radioindus nu apare obligatoriu la toate persoanele expuse radiațiilor și nu toate aceste cancere sunt fatale, astfel mortalitatea pentru cancerul de sân este sub 50%, față de cancerul tiroidian de numai 5%. Este totuși greu de estimat riscul cancerului radioindus deoarece populația este expusă pe perioada vieții la radiații ionizante la nivele apropiate sau sub nivelele fondului natural.

Cancerul radioindus a fost descris pentru prima dată la medicii radiologi și anume cancer cutanat la mâini cu frecvență mai mare ca la alți medici; cancer pulmonar la minerii din minele uranifere; cancer osos la muncitorii care lucrau cu cadrane luminescente. Mai târziu s-a descris relația dintre frecvența crescută a leucemiilor la supraviețuitorii bombelor atomice de la Hiroshima și Nagasaki; creșterea cazurilor de cancer tiroidian (epiteliom) la adulții iradiați în copilărie în regiunea gâtului. Studiile efectuate privind efectele tardive a unei explozii nucleare consideră apariția cancerului un efect major care poate fi decelat la 2-4 ani de la accident, cum este cazul leucemiilor, dar și până la 35 ani în cazul tumorilor solide. Pentru evaluarea cancerului fatal radioindus se utilizează termenul „factor de risc”, adică factorul de proporționalitate dintre apariția bolilor maligne și doza absorbită. Se estimează că o iradiere de 0,5 Gy a corpului poate produce un exces semnificativ a incidenței canceroase în general. Studiile de oncogeneză indusă de radiații ionizante (Life Span Study) arată cum cancerelor pentru care a fost determinat un exces de risc semnificativ sunt multiple, în primul rând leucemia, cancerul tiroidian, cancerul pulmonar, cancerul tegumentar, apoi chiar și cancerul de sân, vezică urinară, colon, ficat, stomac, esofag, ovar, mielom multiplu. În principal, cancerul tiroidian și tegumentar sunt două localizări cu o incidență semnificativ crescută în rândul populației expuse la radiații ionizante.

Efectele teratogene

Apar în urma iradierii în uter a embrionului/fătului. Perioada maximă de vulnerabilitate este între a 8 a și 90 a zi de la fecundare. Doze mari de iradiere externă pot duce la malformații minore/grave până la moartea embrionului și avort spontan.

20 weeks



După a 90 a zi vulnerabilitatea scade rămânând riscul leziunilor nervoase (oligofrenie, dezvoltare neuropsihică deficitară). Efectele asupra dezvoltării creierului au fost observate la supraviețuitorii copiilor de la Hiroshima și Nagasaki, astfel ei prezentau retardare mentală, scor de inteligență redus și dificultăți de învățare. Efectele deterministice sunt mai severe la copii datorită sensibilității crescute a țesuturilor la radiații ionizante. Astfel creierul lor suferă o atrofie corticală la o singură doză de 10 Gy; la doza de peste 1Gy apare o retardare mentală severă de 75%.

De asemenea iradierile externe sau interne ale uterului pot duce la o frecvență crescută a leucemiilor infantile după vârsta de 7 ani și a altor tumori solide.

Efecte genetice

Au caracter aleatoriu, sunt consecințele clinice tardive, manifestate la prima și următoarele generații atingând echilibrul la a 20-a generație.

Aberațiile cromozomiale

Se produc prin acțiunea asupra gametilor cu afectarea materialului ereditar, provocând alterări cromozomiale care constau în translocare, rupere, pierdere sau adădire la aparatul cromozomial normal de care depinde creșterea în viitor a celulelor. Ele pot fi de diferite grade, uneori, atât de mari, încât este imposibilă formarea oului sau viabilitatea embrionului format.

Mutațiile

Sunt modificări ale informației genetice, care pot fi letale, viabilitatea indivizilor purtători de astfel de gene este redusă și neletale care produc număr mare de anomalii genetice la generațiile următoare. Studiile experimentale au evidențiat că există o relație liniară între doză și efectul mutagen, deci nu intervine nici un proces reparator. În concluzie orice doză joasă primită de țesutul germinal produce efecte mutagene care se pot suma cu doze anterioare și ulterioare. Aceste efecte sunt legate de probabilitatea ca o celulă germinală purtătoare a mutației să participe efectiv la fecundație.

La prima generație efectele genetice produse de radiații sunt: reducerea natalității, malformații congenitale și ereditare, iar la următoarele generații afectarea fondului genetic al populației, malformațiile recesive și diminuarea capacității imunobiologice. Riscul genetic individual se ia în calcul în cazul dozelor ridicate, în timp ce la doze mici efectul se estimează pe populație în totalitate, ducând la modificarea structurii genetice a întregului grup afectat.

Pentru a evita posibilitatea apariției anomaliilor congenitale induse de radiații, întreruperea sarcinii ar trebui să fie luată în considerare numai în cazul în care doza fetală a depășit 0,1Gy.

5. PRINCIPII DE BAZĂ ȘI MĂSURI DE PROTECȚIE RADIOLOGICĂ

Protecția radiologică este totalitatea metodelor de reducere a efectelor nocive ale radiațiilor ionizante. Pornind de la efectele acestor radiații asupra sănătății umane putem spune că, în cazul:

- efectelor deterministice - producerea lor trebuie evitată întotdeauna, în limita posibilului;
- efectelor stocastice - incidența lor trebuie redusă la un nivel acceptabil. Acceptabilitatea trebuie definită prin balanța risc-beneficiu privind radiațiile, atât în cazul expunerii potențiale, cât și în utilizarea lor în scop medical, industrial.

5.1. Principiile de bază ale protecției radiologice sunt:

- **Justificarea** - introducerea unei activități care utilizează radiații ionizante este justificată dacă **beneficiile** care rezultă de pe urma practicii pentru persoane și societate în general **sunt mai mari decât efectele negative asupra sănătății** pe care le poate avea. Deciziile de introducere sau de modificare a unei căi de expunere pentru situațiile de expunere existentă și pentru situațiile de expunere de urgență se justifică, în sensul că acestea ar trebui să facă mai mult bine decât rău.
- **Optimizarea** - protecția radiologică a persoanelor sau a populației se optimizează în scopul de a păstra **mărimea dozelor individuale, probabilitatea expunerii și numărul persoanelor expuse la un nivel cât mai scăzut posibil** ținând seama de stadiul actual al cunoașterii tehnice și de factorii economici și sociali (**principiul ALARA**).
- **Limitarea dozelor** – în situațiile de expunere planificată, suma dozelor la care este expusă o persoană nu depășește limitele de doză prevăzute pentru expunerea profesională sau pentru expunerea publică. Limitele de doză nu se aplică în cazul expunerilor în scopuri medicale.
- **Intervenția** - acțiunile efectuate pentru a atenua consecințele negative grave pentru sănătatea și securitatea ființelor umane, pentru calitatea vieții, pentru proprietăți sau pentru mediu, sau un risc care ar putea genera asemenea consecințe negative grave.

5.2. Categoriile de expunere

Expunerea la radiații ionizante a întregii populații se clasifică în:

1. expuneri profesională, medicală și publică;
2. expuneri normală și potențială;
3. expuneri în situații de urgență (profesională de urgență și accidentală);

De-a lungul secolului valorile acestor tipuri de expuneri au prezentat o largă variație.

Tabel 5. Expunerea individuală medie/an (microSivert) în perioada 1900-1995, înainte și după Cernobil

Anul	Expunere naturală	Expunere publică	Expunere medicală	Expunere profesională
1900	2400	0	0	0
1965	2400	80	300	10
1985	2400	10	500	20
1986	2400	1250	500	20
1987	2400	400	500	20
1988	2400	250	500	20
1989	2400	80	500	20
1990	2400	50	500	20
1995	2400	19	500	20

În cadrul primei categorii de expunere a omului se încadrează:

- **expunerea profesională** care înseamnă expunerea lucrătorilor, a ucenicilor și a studenților, pe parcursul activităților desfășurate de aceștia;
- **expunerea medicală** reprezintă expunerea la care sunt supuși pacienții sau persoanele asimptomatice ca parte a diagnosticării sau a tratamentului medical sau stomatologic efectuat pentru îmbunătățirea sănătății, precum și expunerea la care au fost supuse persoanele implicate în îngrijirea și susținerea pacienților sau voluntarii din cercetarea medicală ori biomedicală.
- **expunerea publică** se referă la expunerea persoanelor, exceptând expunerea profesională sau expunerea medicală. Ea se datorează surselor naturale și artificiale, precum și exacerbării radioactivității naturale datorată activității omului.

Din a doua categorie fac parte:

- **expunerea normală** înseamnă expunerea susceptibilă de a avea loc în condițiile normale de exploatare a unei instalații sau de desfășurare a unei activități autorizate (inclusiv întreținere, inspecție, dezafectare), inclusiv incidente minore care pot fi ținute sub control, de exemplu cele apărute în timpul exploatării normale și incidentele operaționale anticipate;
- **expunere potențială** este acea expunere care nu survine cu certitudine, dar care poate rezulta dintr-un eveniment sau o serie de evenimente cu caracter probabil, inclusiv ca urmare a deficiențelor echipamentelor sau a erorilor de exploatare;

A treia categorie se referă la o **situație de expunere de urgență**, definită ca o situație sau un eveniment excepțional implicând o sursă de radiație care necesită o intervenție rapidă, pentru a atenua consecințele negative grave pentru sănătatea și securitatea ființelor umane, pentru calitatea vieții, pentru proprietăți sau pentru mediu, sau un risc care ar putea genera asemenea consecințe negative grave. Cele două componente ar fi:

- **expunere profesională de urgență** înseamnă expunerea la care este supus un lucrător într-o situație de expunere de urgență
- **expunere accidentală** înseamnă expunerea unor persoane, altele decât lucrătorii în situații de urgență, ca urmare a unui accident

Tabel 6. Limite anuale de doză pe categorii de persoane expuse

	Persoane expuse profesional	Ucenici, studenți (16-18 ani)	Populație / femei însărcinate expuse profesional
Doză efectivă totală	20 mSv	6 mSv	1 mSv⁽¹⁾
Doză echivalentă Cristalin	20 mSv	15 mSv	15 mSv
Doză echivalentă Piele⁽²⁾, extremități	500 mSv	150 mSv	50 mSv

(1) În condiții speciale se acceptă o doză de până la 5 mSv într-un singur an, cu condiția ca doza medie în 5 ani consecutivi să nu depășească 1 mSv/an.

(2) Această limită se aplică dozei medii pentru orice suprafață a pielii de 1 cm², indiferent de suprafața expusă.

5.3. Măsurile de protecție împotriva radiațiilor ionizante diferă în funcție de natura surselor de radiații:

Protecția împotriva **surselor externe** de radiații cuprinde :

- **Protecția fizică** – realizată prin mijloace de reducere a dozei de expunere cum sunt **timpul de expunere, distanța față de sursă, ecranarea**, cât și **măsuri de organizare** a lucrului cu surse în unități nucleare;



Fig. 9. Mijloace de protecție fizică împotriva radiațiilor ionizante

- **Protecția chimică** - administrarea unor substanțe chimice (ex. cistamina, gamafos) înainte sau după iradiere care duc la scăderea efectului nociv;
- **Protecția biochimică** - administrarea imediat după iradiere a unor preparate și macromolecule biologice (ex. sânge, plasmă, omogenate de organe) care au efect de refacere celulară;
- **Protecție biologică** - efectuarea imediat după iradiere a unui transplant de celule viabile de măduvă roșie hematofomatoare pentru restaurarea funcției hematopoetice.

În cazul riscului contaminării interne a organismului cu diferiți radionuclizi este mai eficient de a se acționa prin controlul riguros a contaminării factorilor de mediu cu care omul vine în contact sau a produselor alimentare pe care le consumă. În cazul riscului contaminării directe umane atunci se acționează direct asupra radionuclizilor la poarta de intrare sau la nivelul lichidelor interne înainte ca ei să se fixeze în diverse organe critice, unde se mai poate acționa doar cu efect minim.

Reducerea gradului de **contaminare internă** se obține prin diverse măsuri:

- **Metode de decontaminare** - îndepărtarea izotopilor radioactivi din tubul digestiv cu anumite substanțe (alginat de sodiu, fosfat de aluminiu) sau din aparatul respirator prin spălături cu ser fiziologic din abundență;
- **Metode de decorporare** - eliminarea izotopilor fixați în diverse organe critice cu sare de zinc sau de calciu a acidului dietilentriaminopentaacetic,
- **Diluție izotopică** - de exemplu administrarea de iodură de potasiu împotriva iodului radioactiv (accidentul de la Cernobîl 1986), astfel poate fi prevenit cancerul la tiroidă. Explicația constă în faptul că iodul are particularitatea de a satura tiroida, iodul radioactiv nemaiputând atunci să se fixeze în glandă. Pentru un rezultat optim, acesta trebuie să fie administrat în prima jumătate de oră după expunerea la radiații. Un alt exemplu constă într-un consum mare de apă care poate reduce fixarea tritiului în corpul uman.

5.4. Organisme internaționale și naționale cu rol în protecția radiologică

- Comitetul Științific al Națiunilor Unite privind Efectele Radiațiilor Atomice (**UNSCEAR**)
- Comisia Internațională de Protecție Radiologică (**ICRP**)
- Comisia Europeană prin Comunitatea Europeană a Energiei Atomice (**EURATOM**)
- Agenția Internațională pentru Energie Atomică (**IAEA**)
- Organizația Mondială a Sănătății (**WHO**)
- Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN)
- Ministerul Sănătății (MS) prin Institutul Național de Sănătate Publică și Direcțiile de Sănătate Publică Județene (Laboratoarele de Igiena Radiațiilor Ionizante)
- alte ministere ca Ministerul Afacerilor Interne, Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale, Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, etc.

6. BENEFICII ȘI APLICAȚII ALE RADIAȚIILOR IONIZANTE

În ciuda numeroaselor efecte negative, utilizarea radiațiilor ionizante a reprezentat o inovație în special în medicină și industrie.

Radiațiile ionizante au aplicații largi **în medicină** - în radiologia de diagnostic, proceduri intervenționale și în radioterapie – beneficiul major fiind creșterea calității actului medical. De subliniat faptul că în tratamentul oncologic al tumorilor maligne se utilizează efectele radiațiilor ionizante în scopul distrugerii țesuturilor maligne.

În industrie, utilizarea radiațiilor ionizante este de asemenea benefică, un exemplu ar fi utilizarea la scară largă a metodei mutației genetice prin iradiere pentru mărirea randamentului producerii penicilinei și streptomisinei de către ciupercile penicilinum și streptomicetes. Metoda constă în iradierea sporilor acestor ciuperci cu radiații gama până la distrugerea aproape totală a lor. O altă utilizare a radiațiilor gama este ca și agent sterilizator pentru distrugerea microorganismelor dăunătoare din alimente și alte produse utilizate în viața cotidiană.

Printre alte aplicații ale radiațiilor ionizante se pot menționa:

- iradierea cu radiații gama a obiectelor de artă în scopul restaurării și protejării lor;
- radioactivitatea permite datarea osemintelor și picturilor din peșteri;
- radioactivitatea rocilor permite determinarea vârstei acestora;
- detectori foarte sensibili folosiți ca alarmă pentru prevenirea incendiilor.

În viața noastră prezența radiațiilor ionizante trebuie redusă la un nivel acceptabil. Acceptabilitatea este definită prin balanța risc-beneficiu privind aceste radiații.

*„Fără radiații nu am fi fost și nu am putea fi,
dar cu prea multe radiații nu putem trăi” - Pierre Curie*

7. Bibliografie

1. <https://www.icrp.org>
2. <https://www.iaea.org>
3. <http://www.unscear.org>
4. <http://www.nrc.gov>
5. <http://www.who.int>
6. ICRP Publication 103 - The 2007 Recommendations of The International Commission on Radiological Protection, 2007, www.icrp.org/.../ICRP_Publication_103
7. Rita Burkhardt, Evaluarea riscului cancerigen al radiațiilor ionizante, teză doctorat, Cluj-Napoca, 2000