

UNIVERSITATEA DE STAT DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„NICOLAE TESTEMIȚANU”

CATEDRA IGIENĂ GENERALĂ

Ion BAHNAREL

Aliona TIHON



Radiațiile ionizante și neionizante

Elaborare metodică pentru lucrările practice la disciplina Igiena
radiațiilor

CHIȘINĂU, 2022

**UNIVERSITATEA DE STAT DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„NICOLAE TESTEMIȚANU”**

CATEDRA IGIENĂ GENERALĂ

Ion BAHNAREL

Aliona TIHON

Radiațiile ionizante și neionizante

**Elaborare metodică pentru lucrările practice
la disciplina Igiena radiațiilor**

**CHIȘINĂU,
Centul Editorial-Poligrafic *Medicina*
2022**

CZU:

Aprobat de Consiliul Metodic Central al USMF „Nicolae Testemițanu”
din 17.12.2021, proces - verbal nr. 2

Autori:

Bahnarel ION - dr.hab.șt.med., prof.univ.

Aliona TIHON dr. med., conf. univ.

Recenzenți:

Friptuleac Grigore - dr.hab.șt.med., prof.univ.

Corețchi Liuba - dr.hab.șt.biol., conf.cercetător

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN
REPUBLICA MOLDOVA

Bahnarel Ion, Aliona Tihon Radiațiile ionizante și
neionizante: Elaborare metodică pentru lucrările practice la
disciplina Igiena radiațiilor destinată studenților facultății
Medicina Generală, Sănătate Publică, Stomatologie.

/ Bahnarel Ion, Aliona Tihon; Ministerul Sănătății al Republicii
Moldova, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie
„Nicolae Testemițanu”, Departament Medicină Preventivă
Disciplina de Igienă. – Chișinău: CEP *Medicina*, 2022. – 37 p.:
fig., tab.

Bibliogr.: p. – 50 ex.

ISBN

ISBN

CEP *Medicina*, 2022

Ion Băhnărel, **Aliona Tihon**, 2022

CUPRINS

| | |
|---|-----------|
| ABREVIERI ȘI SIMBOLURI..... | 5 |
| INTRODUCERE..... | 6 |
| SCOPUL LUCRĂRII..... | 7 |
| I. NOȚIUNI GENERALE DESPRE RADIAȚIILE IONIZANTE 8 | |
| 1. Noțiune de radiații. Expuneri la radiații și efectele..... | 8 |
| 2. Clasificarea radiațiilor. Sursele de radiații | 8 |
| 3. Proveniența radiațiilor ionizante..... | 10 |
| 4. Tipuri de radiații ionizante și puterea lor de penetrare..... | 12 |
| 5. Interacțiunea radiațiilor ionizante cu substanța..... | 14 |
| 6. Detectarea radiațiilor ionizante..... | 14 |
| 7. Tipuri de detectori de radiații ionizante | 15 |
| 8. Expunerea la radiații ionizante, surse naturale și artificiale de iradiere..... | 15 |
| 9. Efectele radiațiilor ionizante asupra sănătății..... | 17 |
| 10. Mecanismele de producere a efectelor biologice de către radiațiile ionizante..... | 17 |
| II. PRINCIPII DE BAZĂ ȘI MĂSURI DE PROTECȚIE RADIOLOGICĂ..... | 22 |
| 1. Principiile de bază ale protecției radiologice..... | 22 |
| 2. Categoriile de expunere la radiații..... | 23 |
| III. BENEFICII ȘI APLICAȚII ALE RADIAȚIILOR IONIZANTE.. | 26 |
| IV. NOȚIUNI GENERALE DESPRE RADIAȚIILE NEIONIZANTE..... | 26 |
| 1. Caracteristica radiațiilor neionizante..... | 26 |
| 2. Efectele radiațiilor neionizante..... | 28 |
| 3. Determinarea expunerii angajaților și a altor persoane la radiațiile neionizante..... | 30 |
| 4. Determinarea expunerii unui angajat și a altei persoane la radiațiile neionizante..... | 31 |
| 5. Domeniul minim de aplicare a măsurilor de protecție a sănătății angajaților care lucrează cu radiații neionizante..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 6. Domeniul minim de aplicare a informațiilor furnizate unui | |
| 7. angajat pentru protecția sănătății la locul de muncă..... | 32 |
| V. EFECTELE RADIAȚIILOR ASUPRA SĂNĂTĂȚII | 32 |
| 1. Vătămări imediate..... | 32 |
| 2. Boli maligne..... | 33 |
| 3. Defecte ereditare..... | 33 |
| 4. Riscul colectiv..... | 35 |
| 5. Evidența personalului care lucrează cu radiații..... | 36 |
| 6. Principii de bază ale sistemului de protecție radiologică..... | 36 |
| VI. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA RADIAȚIILOR..... | 37 |
| 1. Acordarea ajutorului medical în accidente cu contaminare radioactivă..... | 37 |
| 2. Alte măsuri practice de radioprotecție..... | 39 |
| 3. Principii internaționale..... | 39 |
| 4. Limite de radioprotecție pentru radiațiile ionizante..... | 40 |
| Teste..... | 41 |
| Răspunsuri la teste..... | 45 |
| BIBLIOGRAFIE..... | 46 |

ABREVIERI ȘI SIMBOLURI

| | |
|-----------------------------|---|
| ADN | - acid dezoxiribonucleic |
| ALARA | - <i>As Low As Reasonably Achievable</i> |
| dB | - decibel |
| Gy | - gray, unitate de măsură a radiațiilor ionizante |
| E_{el} | - valorile energiei electronilor |
| E_{vibr} | - energia de vibrație |
| E_{rot} | - energia de rotație |
| Hz (hertzi) | - unitate de măsură pentru frecvență |
| Sv, mSv | - unitate derivată de radiații ionizante (unitate a dozei efective) |
| TLD | - detectori termoluminiscenti |
| UV | - radiații ultraviolete |
| α | - radiații alfa |
| β | - radiații beta |
| γ | - radiații gama |
| λ | - lungimea de undă |

*„Viața pe Pământ s-a dezvoltat în prezența radiațiilor de fundal.
Nu este nimic nou, inventat de om”*

ERIC J. HALL

INTRODUCERE

Omul este expus continuu acțiunii unor multipli agenți ambientali, printre care și radiațiile ionizante. Majoritatea radiațiilor sunt de origine naturală. În ultima sută de ani, omul a adăugat, prin activitatea sa, și radiațiile artificiale. Descoperirea energiei nucleare este considerată una dintre cele mai mari realizări ale sec. al XX-lea. Însă utilizarea pe larg a radiațiilor în diferite domenii economice înseamnă și extinderea problemelor de sănătate produse de acestea, de la nivel de mediu ocupațional la cel de mediu general populațional, deci o problemă a sănătății publice.

Sursele de radiații ionizante sunt folosite practic în toate domeniile științei și tehnicii, în energetică, în industrie, în agricultură, în construcții etc. Cu părere de rău, acestea sunt folosite nu numai în scopuri pașnice, dar și la producerea armelor nucleare și termonucleare. Indiferent de sfera de utilizare, sursele de radiații ionizante prezintă un potențial risc dacă nu se respectă cerințele și normele de radioprotecție și de securitate nucleară.

În medicină, radiațiile ionizante și-au găsit o aplicare extrem de largă în diagnosticul, în tratamentul și în profilaxia mai multor boli.

Prezenta elaborare metodică se adresează persoanelor din populație, studenților, rezidenților, masteranzilor de la USMF „Nicolae Testemițanu”, facultățile Medicină Generală, Sănătate Publică și Stomatologie, având ca scop protejarea sănătății publice și prevenirea îmbolnăvirilor asociate radiațiilor. Informațiile expuse au un caracter consultativ, cu importanță în sănătatea publică cu privire la radiațiile ionizante și neionizante, efectele lor asupra sănătății și principiile de radioprotecție.

Elaborare metodică nu substituie legislația în vigoare.

SCOPUL LUCRĂRII:

- a însuși noțiunile de radiații ionizante și neionizante, efectele lor, măsurile de protecție la utilizarea radiațiilor
- a cunoaște estimarea igienică a nivelului iradierii populației și măsurile profilactice

Obiectivele elaborării metodice sunt:

- creșterea nivelului de cunoaștere de către studenții, rezidenții și masteranzii de la USMF „Nicolae Testemițanu”, facultățile Medicină Generală, Sănătate Publică și Stomatologie, a noțiunilor generale despre radiațiile ionizante, neionizante și efectele lor asupra sănătății.
- familiarizarea publicului cu beneficiile și cu riscurile pentru sănătate, asociate radiațiilor ionizante și neionizante;
- formarea și dezvoltarea unor deprinderi corecte care să promoveze sănătatea prin însușirea principiilor de bază în radioprotecție.

Elaborarea metodică este structurată în patru părți:

- · legislația în domeniu
- · noțiunile generale despre radiațiile ionizante și neionizante
- · efectele radiațiilor ionizante și neionizante asupra sănătății
- · principiile de bază și măsurile de profilaxie a iradierii

Deprinderi practice:

- Divizarea pacienților pe categorii pentru examene medicale radiologice
- Clasificarea organelor critice
- Principiile radioprotecției

Concluzii

- de apreciat expunerea populației la sursele naturale de radiații ionizante și neionizante, care reprezintă problema cheie a sănătății publice
- de cunoscut sursele naturale de radiații, care prezintă un risc real, manifestat prin stările maligne radioinduse dovadă că nivelele globale de expunere a populației la radiații continuă să crească, motiv care argumentează cunoașterea și reevaluarea periodică a dozelor de radiație

I. NOȚIUNI GENERALE DESPRE RADIĂȚIILE IONIZANTE

1. Noțiunea de radiație. Expuneri la radiații și efectele

Radiația este un fapt de viață, prezentă în natură și produsă artificial de om. Radiația de origine naturală există dintotdeauna în mediul înconjurător, pe când cea artificială este produsă și folosită de om de câteva decenii. Radiațiile naturale și artificiale nu sunt diferite nici ca tip, nici ca efect.

Radiația este inerent dăunătoare omului, de aceea populația trebuie protejată de o expunere inutilă sau excesivă la radiații. Cu toate acestea, utilizarea radiației contribuie la binele omului, la dezvoltarea medicinei și a altor științe precum și a industriei.

Efectele radiațiilor, care suscită cea mai mare îngrijorare, sunt bolile maligne provocate persoanelor expuse la radiații precum și defectele genetice moștenite de descendenții acestora. Probabilitatea apariției oricărui efect al radiației este legată de *doza* de radiație primită. *Riscul*, asociat oricărei expuneri, trebuie comparat cu beneficiile procedurilor care au provocat expunerea.

În medie, radiația de origine naturală produce expunerea cea mai mare asupra oamenilor. O bună parte din aceasta nu poate fi evitată, deși este posibil un anumit control. Stringența controlului, balanța dintre risc și beneficiu, este o problemă pe care trebuie să o soluționeze societatea.

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

2. Clasificarea radiațiilor. Sursele de radiații

În prezent, radiațiile se clasifică în raport cu natura lor și cu energia transportată. Astfel, în funcție de **natura** lor, radiațiile se împart în două categorii:

radiații electromagnetice: undele din domeniul radio, TV, radar, microundele, radiațiile infraroșii, luminoase, ultraviolete, razele X, gama, cosmice. Acest tip de radiații sunt emise și absorbite sub formă de cuante (fotoni). Fotonii sunt particule fără masă de repaus ce transportă, fiecare, o cantitate de energie ce poate fi calculată folosind expresia $E = hn$,

unde h este constanta lui Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ Js), iar n – frecvența radiațiilor. Masa lor de mișcare, m , se leagă de energie prin formula lui Einstein: $E = mc^2$, c fiind viteza luminii în vid. În prezent, energia lor se exprimă în electronvolți: $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

Spectrul radiațiilor electromagnetice este extrem de extins. În funcție de lungimile lor de undă în vid ($\lambda = c/n$), acesta se prezintă ca în *fig. 1*.

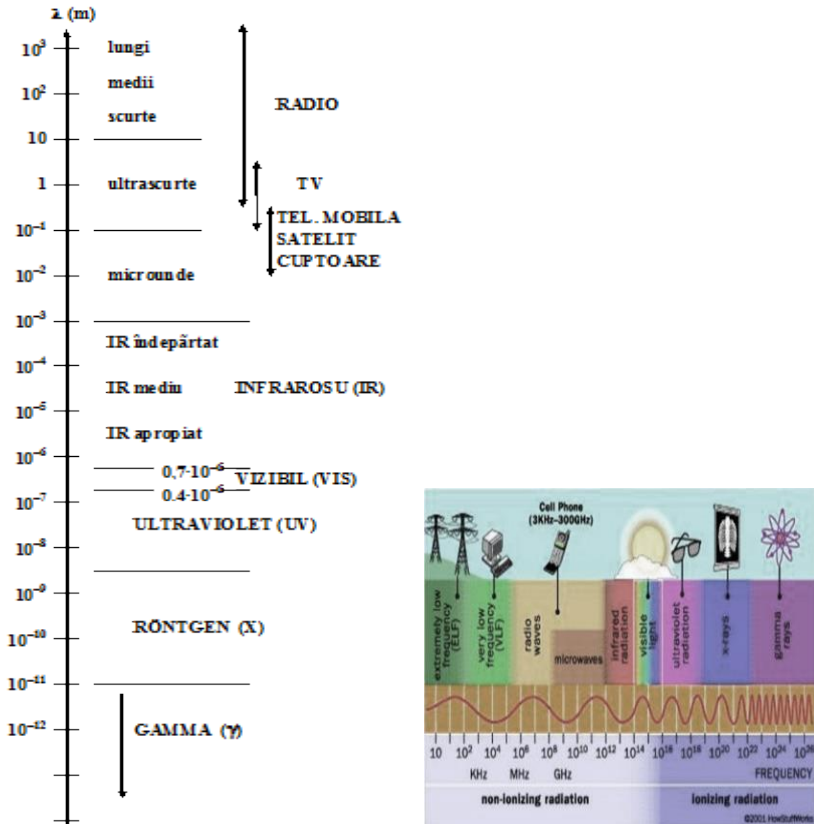


Fig. 1 Spectrul radiațiilor electromagnetice

- *radiații corpusculare*: particule de substanță cu o anumită energie cinetică (electroni, protoni, neutroni, particule alfa). Clasificarea acestui tip de radiații în funcție de sarcina și de masa particulelor transportoare ale energiei este prezentată în figura 2.

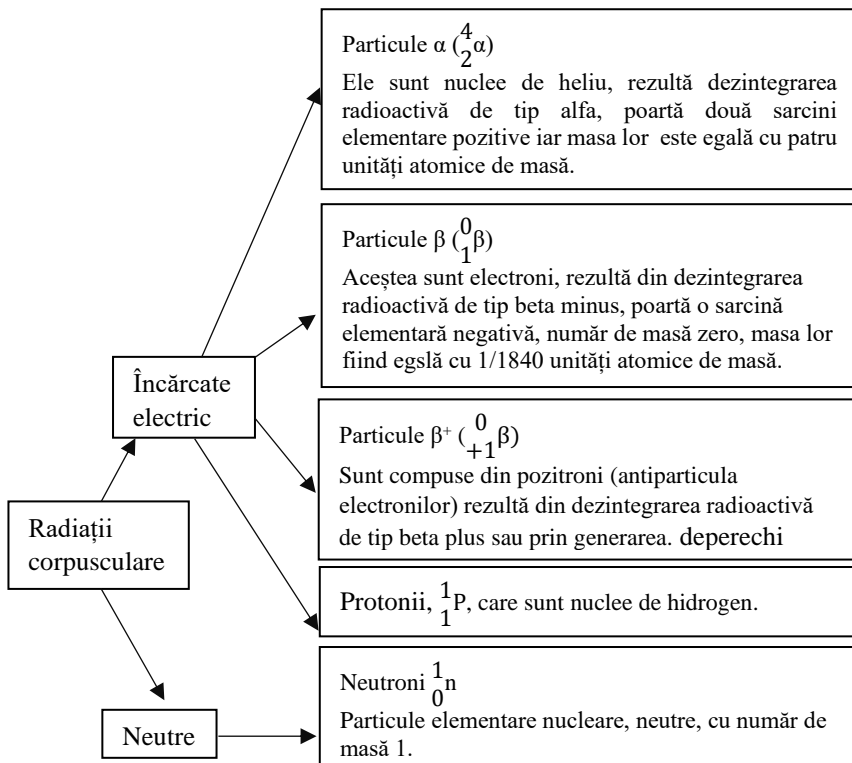


Fig. 2. Clasificarea radiațiilor corpusculare

În funcție de **energia transportată** deosebim:

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

3. Proveniența radiațiilor ionizante

Sursele de radiații ionizante sunt grupate în:

- **surse naturale:** materiale radioactive existente în mod natural în mediu

- **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 de radiații ionizante

Majoritatea radiațiilor își au originea în mediul natural, constituind 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 gama provenite din spațiul cosmic și care bombardează Pământul în mod continuu. Cantitatea (sau doza) de radiație cosmică primită de om depinde de altitudine, de condițiile atmosferice și de câmpul magnetic al Pământului;
- **radiația terestră** – are originea în elementele radioactive (uraniu, toriu și potasiu) din roci și din sol. Pe suprafața globului, doza de radiație terestră variază mult ca urmare a distribuției neomogene a elementelor radioactive naturale în scoarța pământului;
- **radonul** – element radioactiv în stare gazoasă format în urma descompunerii radioactive naturale a uraniului din roci și din sol;
- **radiația naturală din interiorul organismului** – se compune din radionuclizii pătrunși în organism prin inhalare (radon), ingestie (potasiu-40) sau prin piele.

Omul creează și o radioactivitate naturală suplimentară prin activitatea socioeconomică – exploatarea miniere, materiale de construcții.

Sursele artificiale de radiații ionizante

Sursele artificiale de radiații ionizante sunt produsul activității umane, iar radiațiile provenite din acestea acționează asupra omului ca rezultat al:

- **expunerii medicale** – radiografiile, radioscopiile și radioterapiile de orice tip sunt 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 la centralele nucleare, utilizarea industrială a radiațiilor, transportul și depozitarea materialelor nucleare etc.

Doza efectivă medie anuală din contul fondului natural de radiații este de aproximativ 2,4 mSv (media globală), ceea ce reprezintă aproximativ 80 % din doza efectivă medie totală primită de om. Diferența provine din surse artificiale de radiații ionizante.

4. Tipuri de radiații ionizante și puterea lor de penetrare

Se disting următoarele tipuri de radiații ionizante:

– **radiații alfa (α)**: radiație corpusculară formată din particule încărcate pozitiv (nuclee de heliu), compuse din doi protoni și doi neutroni, emisă de izotopi naturali (uraniu, toriu și radium) și artificiali (cesiu, plutoniu și americium).

Acest tip de radiații are următoarele caracteristici:

- nu sunt penetrante, pot pătrunde doar în stratul exterior al pielii (epidermă) (*fig.3*)
- 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)

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

- puterea de penetrare este mai mare decât a particulelor alfa, au capacitatea de a penetra pielea (*fig.3*)
- pot fi ecranate de plastic, de o foiță subțire de aluminiu
- prezintă un risc mediu la iradierea internă și externă

– **radiații gama (γ)**: radiații electromagnetice de energii înalte sau fotoni emiși din nucleul unui atom. Au următoarele caracteristici:

- sunt penetrante, pot traversa complet organismul uman (*fig.3*)
- pot fi ecranate de materiale cu Z mare (Pb)
- prezintă risc radiologic semnificativ la iradierea internă și externă

ECRANAREA RADIĂȚILOR

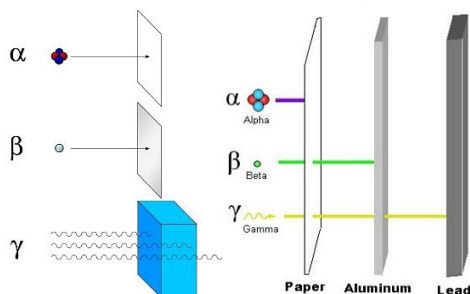


Fig. 3. Puterea de penetrare a radiațiilor ionizante în funcție de material

Aplicațiile radiațiilor gama în medicină

Radiațiile gama, fiind radiații ionizante ce pot ucide celulele vii, sunt folosite pentru tratarea tumorilor maligne cu ajutorul radioterapiei. Pentru tratamentul adânc în corp, fotoni cu energie mare sunt trimiși către tumora-țintă, fără a afecta țesuturile din jur. Radiațiile gama mai sunt folosite pentru executarea inciziilor în chirurgie.

– **razele X:** radiații electromagnetice ionizante poziționate în domeniul spectral între radiațiile gama și ultraviolete. Diferența dintre radiațiile gama și razele X constă în proveniența acestora: razele X sunt produse în afara nucleului (la nivelul învelișului electronic), iar radiațiile gama în interiorul acestuia. Razele X au, în general, energie mai scăzută și, deci, o capacitate de penetrare a țesuturilor mai mică, comparativ cu radiațiile gama (*fig.4*). În cazul organismului uman, acestea pot penetra țesuturile musculare, dar nu și oasele, de unde și utilitatea lor în medicină, în radiografie.

– **neutroni:** particule nucleare fără sarcină electrică. Pentru neutroni sunt specifice următoarele însușiri:

- sunt foarte penetranți, 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 pentru organism



Fig. 4. Puterea de penetrare a radiațiilor ionizante în funcție de material

5. Interacțiunea radiațiilor ionizante cu substanța

Principalul proces de interacțiune a radiațiilor ionizante cu substanța este **ionizarea** atomului – 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. Este posibil și procesul invers – **dezexcitare**, când 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 (radiații alfa, beta)
- **indirectă**, specifică radiațiilor gama, razelor X și neutronilor

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

- detectarea radiațiilor ionizante
- efectele biologice pe care le produc

6. Detectarea radiațiilor ionizante

Întrucât nu sunt percepute de simțurile umane, radiațiile ionizante pot fi depistate cu ajutorul detectoarelor de radiații ionizante. Aceste aparate sunt utilizate pentru a obține informații despre intensitatea radiațiilor într-un anumit loc din spațiu la un moment dat. Prin conectarea

lor la aparate de măsură (numărător electronic, ampermetru, voltmetru) se pot face măsurători cantitative.

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

- electrice (ionizarea mediilor străbătute)
- optice (scintilația, luminiscenta)
- chimice (influențarea cineticii reacțiilor, radiocatalizarea lor)
- fotochimice (impresionarea emulsiilor fotografice)

7. Tipuri de detectori de radiații

- *camere de ionizare, contoare proporționale și contoare Geiger-Mueller* - măsoară sarcina electrică rezultată în urma ionizării unui gaz;
- *detectori cu semiconductori* – folosesc fenomenul de ionizare din interiorul unui semiconductor;
- *detectori cu scintilație* – se bazează pe emiterea de radiații luminoase în urma interacțiunii radiației ionizante cu o substanță 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; procentul de înnegrire a filmului fotografic, produsă de argintul metalic rezultat, este proporțională cu cantitatea de radiații primite de emulsie;
- *detectori termoluminescenți (TLD)* – utilizează proprietățile de termoluminescență ale 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;
- *dozimetre chimice* – au la bază reacțiile chimice ale unor substanțe formate în urma iradierii.

8. Expunerea la radiații ionizante

- *Expunerea externă* a organismului își are originea într-o sursă de radiații din exteriorul acestuia.

- **Expunerea internă** are drept cauză o sursă de radiații aflată în interiorul organismului, unde a pătruns prin inhalare, prin ingerare, prin injectare sau în urma absorbției prin piele.

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

Contaminarea organismului uman se produce prin:

- **contaminarea externă:** depunerea accidentală pe piele, pe îmbrăcăminte a radionuclizilor, fixați sau absorbiți în particulele de praf din mediul înconjurător;
- **contaminarea internă:** pătrunderea accidentală a radionuclizilor în corpul omului prin:
 - **inhalare de aerosoli contaminați** apăruți după teste sau accidente nucleare;
 - **ingestie** de alimente și de apă contaminate de diverse depuneri radioactive din mediu sau transfer prin lanțul trofic;
 - **absorbția tegumentară** care este redusă în cazul tegumentelor intacte și semnificativă în prezența leziunilor tegumentare.

Radionuclizii, pătrunși în corpul uman, se concentrează în:

- sânge, urină (I-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 funcție de metabolismul țesuturilor în care se fixează, radionuclizii pot fi eliminați, recirculați în sânge și fixați din nou în țesuturi.

Exemple. *Sr-90 se fixează în oase și se elimină foarte greu; Cs-137 se fixează în organe moi, în 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. Iodul radioactiv, eliberat în urma accidentului de la Cernobîl din aprilie 1986, acumulându-se în organismul maturilor și copiilor rezidenți în zonele puternic contaminate, a dus la creșterea morbidității prin cancere tiroidiene (tab.1).*

Tabelul 1.

Acumularea radionuclizilor în organele-țintă

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

9. Efectele radiațiilor ionizante asupra sănătății

Efectele asupra organismului nostru a radiației, cu care suntem „bombardați” din aer, din pământ, din apă, din vegetație, din alimente, sunt prezentate în figura 5.

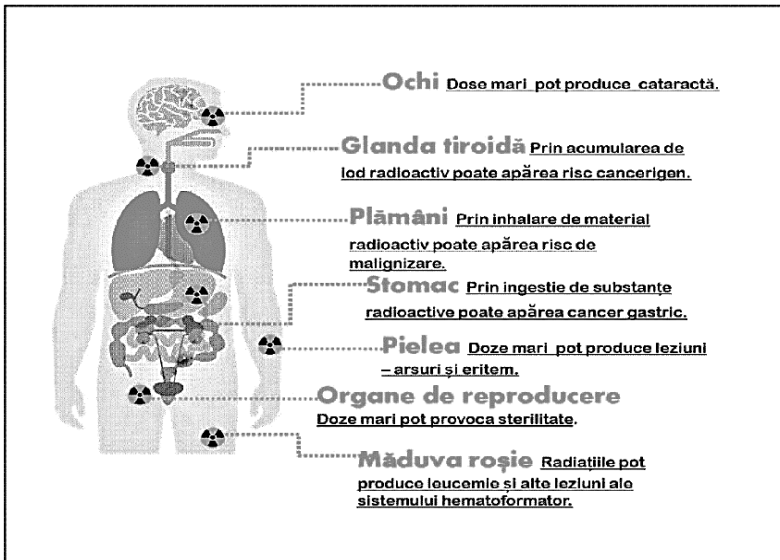


Fig. 5. Efectele radiațiilor ionizante asupra organismului uman

10. Mecanismele de producere a efectelor biologice de către radiațiile ionizante

Efectele asupra celulelor a radiațiilor ionizante, absorbite într-un material biologic, se pot dezvolta prin:

- **acțiune directă** – radiația interacționează direct cu una dintre componentele critice ale celulei, inducând microleziuni directe structurii celulei
- **acțiune indirectă** – apariția în urma interacțiunii radiațiilor cu apa din organism a unor radicali liberi și ioni cu reactivitate chimică înaltă
- **acțiune la distanță** – apariția efectelor asupra celulelor neiradiate

Principala țintă a radiațiilor ionizante este **ADN-ul**, afectarea căruia se poate solda cu moartea celulei, cu mutageneză sau cu transformare malignă (*fig.6*).

La **doze mici** de radiații, specifice 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, soldate într-un final cu moartea celulei, a țesuturilor și chiar a organismului în întregime. **Radiațiile ionizante sunt considerate agenți genotoxici clasici.**

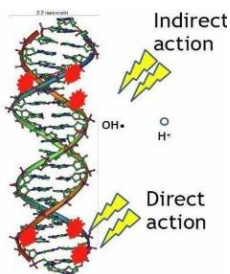
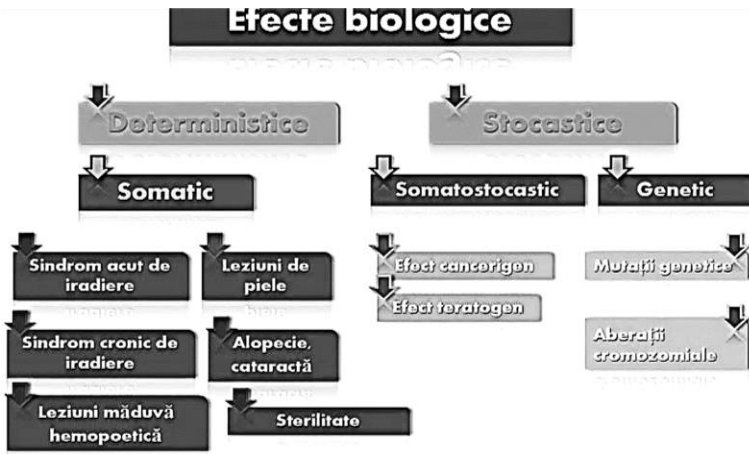


Fig. 6. Mecanismele de inducere a efectelor biologice de către radiațiile ionizante

Efectele biologice ale radiațiilor ionizante se clasifică după următoarele criterii:

1. Din perspectiva *timpului*:
 - **imediate (acute)** – apar la scurt timp după expunere
 - **tardive (cronice)** – se dezvoltă la intervale de ordinul lunilor, anilor după expunere
2. În funcție de *persoana afectată*:
 - **somatice** – apar la indivizii expuși la radiații
 - **genetice** – sunt vizați descendenții indivizilor expuși la radiații

3. În raport cu *gradul de afectare*:
- **letale** – 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
4. Din punct de vedere al *radiobiologiei*:
- **stocastice**
 - **deterministice (nonstocastice)**



Efectele deterministice ale radiațiilor ionizante

Acest tip de efecte apar după alterarea a peste 99,9 % din celulele ce compun țesuturile corpului uman. În perioada de început a utilizării radiațiilor, acestea erau frecvente, manifestându-se, în principal, sub formă de anemii și de leziuni ale pielii. După introducerea măsurilor de protecție acestea apar doar accidental.

Efectele deterministice au prag de apariție (sub acest prag nu apar efecte), iar severitatea și frecvența lor crește cu doza primită de populația compusă din indivizi cu susceptibilitate variată, în funcție de țesutul afectat. Cele mai sensibile la acțiunea radiațiilor ionizante sunt țesuturile ovarian și testicular, măduva osoasă și ochii (*tab.2*). La copii, ca urmare a sensibilității crescute a țesuturilor lor la radiații ionizante, efectele

deterministice sunt mai severe. S-a constatat că creierul lor suferă o atrofie corticală la o doză unică de 10 Gy, iar la o doză de peste 1Gy apare o retardare mentală severă de 75 %.

Tabelul 2.

lasificarea radiosensibilității organelor corpului uman

| Gradul sensibilității | | |
|-----------------------|--|---------------------------------|
| Mare | Medie | Mică |
| Cristalin | Piele, organe cu mezoderm (ficat, inimă, plămâni ș.a.) | Mușchi Oase Sistem nervos |
| Gonade | | |
| Măduvă hematogenă | | |
| Splină | | |
| Timus | | |
| Ganglioni limfatici | | |

Efectele deterministice se clasifică în:

- **sindrom acut de iradiere** – apare la un interval de ore până la luni, cu manifestări locale și generale la nivel de măduvă hematopoietică, piele, cristalin, sistem gastrointestinal;
- **sindrom cronic de iradiere** – se dezvoltă la un interval de luni până la ani ca urmare a lezării vaselor sangvine, alterării permanente a celulelor și/sau dezvoltarea de fibroză.

Efectele stocastice ale radiațiilor ionizante

Efectele stocastice ale radiațiilor ionizante apar după lezarea uneia sau mai multor celule din țesuturile/organele corpului uman. Severitatea lor nu depinde de doză, fiind declanșate și de doze foarte mici, în schimb frecvența apariției lor crește cu doza, fără existența unui prag de doză. La baza dezvoltării efectelor stocastice stau modificările de la nivelul ADN-ului și proliferarea celulelor maligne.

Efectele stocastice ale radiațiilor ionizante se grupează în:

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

I. Efectele teratogene ale radiațiilor ionizante

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

embrionului și avort spontan.

După a 90-a zi, vulnerabilitatea scade, persistând riscul leziunilor nervoase (oligofrenie, dezvoltare neuropsihică deficitară). Efectele asupra dezvoltării creierului au fost observate la copiii supraviețuitorilor bombardamentelor atomice de la Hiroshima și Nagasaki. Aceștia prezentau retardare mintală, scor de inteligență redus și dificultăți de învățare. După vârsta de 7 ani, iradierile externe sau interne ale uterului pot duce și la creșterea incidenței leucemiilor infantile și a unor tumori solide.

II. Efectele genetice ale radiațiilor ionizante

Aceste efecte au un caracter aleatoriu și sunt consecințe clinice tardive, manifestate la prima și următoarele generații, atingând echilibrul la a 20-a generație. Din acest grup fac parte aberațiile cromozomiale și mutațiile.

Aberațiile cromozomiale se produc prin acțiunea radiațiilor ionizante asupra gameților și constau în translocare, rupere, pierdere sau adădire de cromozomi supranumerar. Gradul de manifestare a aberațiilor cromozomiale este atât de înalt încât este imposibilă formarea oului sau embrionul format nu este viabil.

Mutațiile, modificări ale informației genetice, pot fi *letale*, viabilitatea indivizilor purtători de astfel de gene fiind redusă, și *neletale* care produc la generațiile următoare un număr mare de anomalii genetice. Studiile experimentale au evidențiat o relație liniară între doză și efectul mutagen, deci nu intervine nici un proces reparator. Prin urmare, orice doză joasă de radiație, primită de țesutul germinal, produce efecte mutagene care se pot suma cu dozele 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, malformații recesive și diminuarea capacității imunobiologice. Riscul genetic individual se ia în calcul în cazul dozelor ridicate. La doze mici, efectul se estimează pe populație în totalitate, generând modificarea structurii genetice a întregului grup afectat.

II. PRINCIPII DE BAZĂ ȘI MĂSURI DE PROTECȚIE RADIOLOGICĂ

Protecția radiologică reprezintă totalitatea metodelor de reducere a efectelor nocive ale radiațiilor ionizante asupra organismului omului. Pornind de la efectele radiațiilor asupra sănătății umane, protecția radiologică presupune:

- **în caz de efecte deterministice** - producerea lor trebuie evitată întotdeauna, în limita posibilului
- **în caz de efecte stocastice** - incidența lor trebuie redusă la un nivel acceptabil

Acceptabilitatea radiațiilor trebuie definită prin balanța risc-beneficiu, atât în cazul expunerii potențiale, cât și la utilizarea acestora în scop medical sau industrial.

1. Principiile de bază ale protecției radiologice:

- **Justificarea** – introducerea unei activități, care utilizează radiațiile ionizante, este justificată dacă **beneficiile** pentru persoane și pentru societate, în ansamblu, **sunt mai mari decât efectele negative posibile asupra sănătății**. Deciziile de introducere sau de modificare a unei căi de expunere la radiații, pentru situațiile de expunere existente și 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 cu scopul de a păstra **mărimea dozelor individuale, probabilitatea expunerii și numărul persoanelor expuse la un nivel cât mai scăzut posibil**, ținând cont de stadiul actual al cunoașterii tehnice, 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 la expunerea în scopuri medicale (*tab. 3*).
- **Intervenția** – acțiuni de atenuare a consecințelor negative grave ale

expunerii la radiații pentru sănătatea și pentru securitatea ființelor umane, pentru calitatea vieții, pentru proprietăți sau pentru mediu, sau un risc care ar putea genera asemenea consecințe negative grave.

2. Categoriile de expunere la radiațiile ionizante

Expunerea la radiații ionizante a întregii populații se clasifică în mai multe grupe, după cum urmează.

I. Expuneri profesionale, medicale și publice:

- **expunerea profesională** – expunerea lucrătorilor, ucenicilor și studenților pe parcursul activităților desfășurate de aceștia;
- **expunerea medicală** – expunerea pacienților sau persoanelor asimptomatice cu scopul diagnosticării sau tratamentului medical/stomatologic, expunerea la care au fost supuse persoanele implicate în îngrijirea și în susținerea pacienților sau voluntarii din cercetarea medicală ori biomedicală;
- **expunerea publică** – expunerea persoanelor, exceptând expunerea profesională sau medicală. Radiațiile, în acest caz, descind din surse naturale și artificiale precum și din radioactivitatea naturală generată de activitatea umană.

II. Expuneri normale și potențiale:

- **expunere normală** – expunerea susceptibilă de a avea loc în condiții normale de exploatare a unei instalații sau de desfășurare a unei activități autorizate (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** – 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.

III. Expuneri în situații de urgență (profesionale și accidentale)

- **expunere în situații de urgență** – situație sau 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** – expunerea lucrătorilor într-o situație de urgență
- ✓ **expunere accidentală** – expunerea unor persoane, altele decât lucrătorii, în situații de urgență, ca urmare a unui accident

Tabelul 3.

Limite anuale ale dozei de radiații 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 | 20 mSv | 15 mSv | 15mSv |
| Cristalin | | | |
| Doză echivalentă | 500 mSv | 150 mSv | 50 mSv |
| Piele ⁽²⁾ , extremități | | | |

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.

Măsurile de protecție împotriva radiațiilor ionizante diferă în funcție de natura surselor de radiații (fig.8).

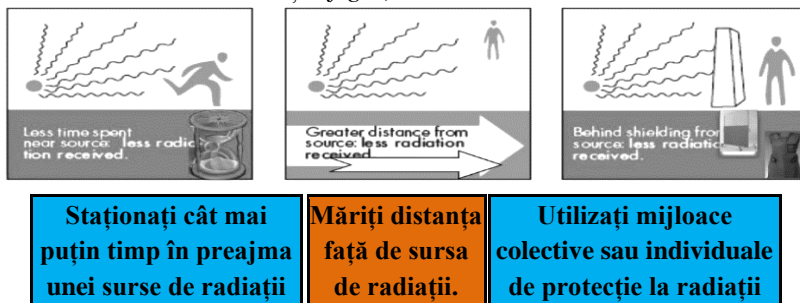


Fig. 8. Mijloace de protecție fizică împotriva radiațiilor ionizante

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

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

2. **protecția chimică** - administrarea înainte sau după iradiere a unor substanțe chimice (ex. cistamina, gamafos) care scad efectul nociv;

3. **protecția biochimică** - administrarea imediat după iradiere a unor preparate și macromolecule biologice (ex. sânge, plasmă, omogenate de organe) care au efect de refacere celulară;

4. **protecție biologică** – efectuarea, imediat după iradiere, a unui transplant de celule viabile de măduvă roșie hematoformatoare pentru restabilirea funcției hematopoietice.

În risc de contaminare internă a organismului cu diferiți radionuclizi este mai eficient de a se acționa prin controlul riguros al contaminării factorilor de mediu, cu care omul vine în contact, sau a produselor alimentare, pe care le consumă. În risc de contaminare directă se acționează nemijlocit asupra radionuclizilor la poarta de intrare sau la nivelul lichidelor interne, înainte ca aceștia să se fixeze în organe critice, unde se poate acționa doar cu efect minim.

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

- **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 dietilen-triaminopentaacetic;
- **diluție izotopică** – administrarea diferitor substanțe. De exemplu, a iodurii de potasiu împotriva iodului radioactiv pentru a preveni cancerul de tiroidă, un consum mare de apă pentru a reduce fixarea tritiului în corpul uman.

III. BENEFICII ȘI APLICAȚII ALE RADIAȚIILOR IONIZANTE

În pofida numeroaselor efecte negative, radiațiile ionizante au aplicații largi:

- **În medicină** – în radiologia de diagnostic, în proceduri intervenționale și în radioterapie, beneficiul major fiind creșterea calității actului medical. În tratamentul oncologic al tumorilor maligne se utilizează efectele radiațiilor ionizante în scopul distrugerii țesuturilor maligne
- **în industrie** – utilizarea la scară largă a metodei mutației genetice prin iradiere pentru mărirea randamentului producerii penicilinei și streptomycinei de către ciupercile din genurile *Penicillium* și *Streptomyces*. Metoda constă în iradierea sporilor acestor ciuperci cu radiații gama până la distrugerea lor aproape totală. Radiațiile gama sunt utilizate și ca agenți sterilizatori pentru distrugerea microorganismelor dăunătoare din alimente și din alte produse utilizate în viața cotidiană.

Radiațiile ionizante se mai folosesc la:

- iradierea obiectelor de artă în scopul restaurării și protejării lor;
- datarea osemintelor și picturilor din peșteri;
- determinarea vârstei rocilor;
- producerea detectorilor foarte sensibili pentru prevenirea incendiilor.

IV. NOȚIUNI GENERALE DESPRE RADIAȚIILE NEIONIZANTE

1. Caracteristica radiațiilor neionizante

Radiațiile neionizante reprezintă radiații de natură electromagnetică, cu lungimea de undă cuprinsă în domeniul 150 nm și undele centimetrice. Radiațiile electromagnetice sunt oră de propagare în spațiu a energiei unui câmp electric E și a unui câmp magnetic B , ai căror vectori oscilează cu aceeași perioadă T sau cu frecvența, în plan perpendicular unul pe celălalt și care sunt perpendiculare pe direcția de propagare a undei cu viteza „ v ”.

Orice radiație electromagnetică poate fi considerată atât undă, cât și corpuscul (foton). În funcție de frecvența undelor, se manifestă cu

precădere fie unul, fie celălalt aspect. La frecvențe joase (unde radio, TV, microunde) predomină caracterul ondulatoriu, iar pentru radiațiile cu frecvență mare (infraroșii, vizibile, ultraviolete) începe să se manifeste și caracterul corpuscular.

Specific pentru radiațiile neionizante este faptul că nu au suficientă energie ca prin interacțiunea cu materia vie să rupă legăturile dintre molecule sau să smulgă un electron din atom.

Radiațiile neionizante ocupă prima parte a spectrului electromagnetic (fig.9).

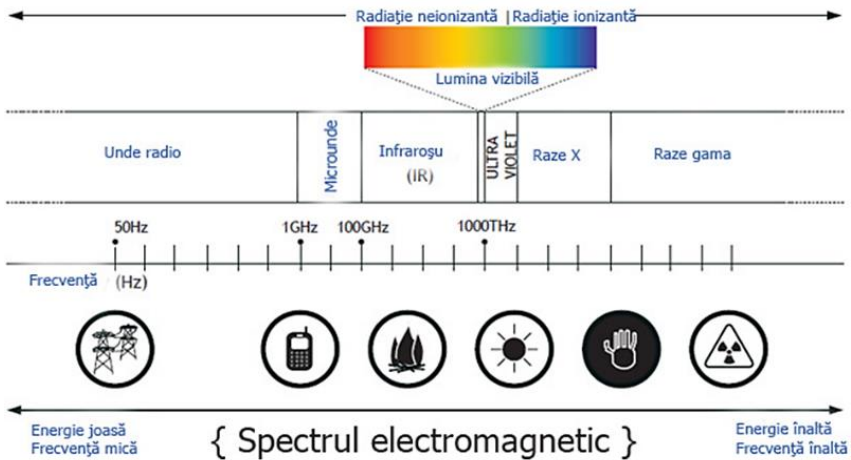


Fig. 9 Spectrul electromagnetic

Spectrul radiațiilor neionizante cuprinde:

- câmpuri electrice și magnetice statice (0 Hz);
- câmpuri electrice și magnetice variabile în timp (până la 100 kHz, câmpuri de joasă frecvență);
- câmpuri electromagnetice (de radiofrecvență, 100 kHz-300 GHz);
- radiația infraroșie (300 GHz-400 THz sau în funcție de lungimea de undă, între 1 mm - 750 nm);
- radiația vizibilă (luminoasă) (între 790-400 THz sau între 380 nm-760 nm);
- radiațiile ultraviolete (400 nm-100 nm).

Spectrul ultraviolet este împărțit în 3 benzi spectrale:

- ultraviolete C (100-280 nm),
- ultraviolete B (280-315 nm)
- ultraviolete A (315-400 nm).

2. Efectele radiațiilor neionizante

Pentru explicarea interacțiunii radiațiilor electromagnetice cu substanța (efect fotoelectric, reacții fotochimice, împrăștiere) se impune considerarea caracterului corpuscular (flux de fotoni), principalul fenomen fizic rezultat în urma acestei interacțiuni fiind absorbția de energie. Efectele radiațiilor neionizante sunt determinate de absorbția acestora, de timpul de viață al stărilor excitate, de reacțiile fotochimice și de randamentul fotochimic.

Absorbția radiațiilor electromagnetice de către atomi determină tranziții ale electronilor de pe nivelele energetice de bază pe nivele mai ridicate, trecând astfel din starea fundamentală în cea excitată. Dacă cuanta de energie absorbită (cantitatea transportată în intervalul unei perioade de oscilație) este superioară energiei de legătură a electronului în atom, electronul va fi smuls, atomul devenind ion pozitiv. Valorile cuantelor de energie ale radiațiilor UV, vizibile, IR și ale microundelor sunt mai mici decât energia necesară ionizării atomilor (energia de ionizare este de 13,34 eV pentru hidrogen, 13,57 eV pentru oxigen, 11,24 eV pentru carbon, 14,51 eV pentru azot, în timp ce energia radiațiilor UV este cuprinsă între 12,4-3,1 eV, a radiațiilor vizibile între 3,1-1,65 eV, a radiațiilor IR între $1,65-1,2 \cdot 10^{-3}$ eV, iar pentru microunde între $10^{-3}-10^{-5}$ eV.

În cazul moleculelor formate din cel puțin doi atomi, nivelele energetice ale unei molecule nu sunt date (ca în cazul atomilor) numai de valorile energiei electronilor (E_{el}), ci și de energia de vibrație (E_{vibr}) și de energia de rotație (E_{rot}) a atomilor din moleculă.

Valorile E_{vibr} și E_{rot} sunt tot cuantificate, ca și E_{el} , iar între aceste nivele sunt posibile mult mai multe tranziții decât în cazul nivelelor electronice. Tranzițiile între nivelele electronice se fac cu absorbția sau cu emisia unor cuante de energie, corespunzând radiațiilor UV și celor vizibile. Tranzițiile vibratorotaționale corespund domeniului IR, iar tranzițiile de rotație pură fie

domeniului IR îndepărtat, fie celui al microundelor. ΔE_{el} este de ordinul 1eV, $\Delta E_{vibr} - 10^{-1}eV$, iar $\Delta E_{rot} - 10^{-2}eV$

În ansamblu, pentru o moleculă precum cea descrisă:

$$\Delta E = \Delta E_{el} + \Delta E_{vibr} + \Delta E_{rot}$$

Într-un atom (sau moleculă), doi electroni pot ocupa simultan același nivel energetic (să se găsească pe același orbital), cu condiția să aibă **spinul** opus (*prin spin se înțelege momentul cinetic propriu al electronului datorită rotației în jurul axei proprii. Spinul electronic poate avea numai două valori egale în modul, dar opuse ca semn*). Atunci când un electron absoarbe o cantă de energie electromagnetică, el trece pe un nivel energetic superior (este excitat) și, de regulă, nu-și schimbă starea spinului. Respectiva stare excitată este numită **singlet**. Odată cu excitarea, electronul poate, cu o probabilitate mai mică, să-și inverseze și spinul, respectiva stare numindu-se **triplet**.

Timpul de viață al stărilor excitate este, în general, foarte scurt ($10^9 \div 10^{-8}s$), ca urmare a tendinței spontane a electronului de a reveni în starea fundamentală. Deoarece tranziția din starea triplet în starea fundamentală înseamnă iarăși o inversare de spin, timpul de viață al stării triplet este mai mare (între 10^{-5} și câteva secunde) decât cel al stării singlet. În acest interval de timp mai lung este posibil ca molecula excitată să transmită surplusul de energie altei molecule (prin ciocniri) și să-l emită sub formă de radiație electromagnetică.

Deci, dezexcitarea moleculei se poate face prin **tranziții neradiative** și, respectiv, **tranziții radiative** (fluorescența, fosforescența).

Reacțiile fotochimice. Radiația absorbită posedă energie suficientă pentru a determina transformarea moleculelor pe baza reacțiilor fotochimice $M^* + A \rightarrow D$ și cazuri particulare ale acestora: reacții de dimerizare $M^* + M \rightarrow MM$ și reacții de fotosensibilizare $M^* + N \rightarrow M + N^*$

Randamentul fotochimic este raportul dintre numărul de molecule transformate și numărul de cuante de energie absorbite. De regulă, acesta este subunitar, deoarece radiația absorbită nu duce în mod obligatoriu la

o reacție fotochimică (absorbția fotonilor constituie numai etapa primară, urmată de o succesiune de alte etape secundare ce duc la transformarea fotochimică propriu-zisă).

Procesele fotobiologice sunt foarte diverse și încă incomplet studiate.

3. Determinarea expunerii angajaților și a altor persoane la radiațiile neionizante

Expunerea la radiații neionizante se determină prin calcul sau prin măsurarea intensității modificate a unui câmp electric indus în corpul persoanei expuse, a producției absorbite, măsurată în corpul persoanei expuse, a fluxului de radiații și a densității radiațiilor spectrale, a intensității câmpului electric, a inducției magnetice, a densității fluxului radiat sau a curentului de contact.

- Nedepășirea valorilor de referință garantează că valorile maxime admise de radiații neionizante nu au fost depășite. Dacă compararea valorilor calculate sau măsurate ale cantității relevante indică că valorile de referință sunt depășite, trebuie dovedit, prin calcul sau prin măsurare, că valorile maxime admise nu vor fi depășite.
- Prin compararea expunerii unui angajat sau unei alte persoane cu valori maxime admise sau cu valori de referință, incertitudinea cauzată de erorile de calcul, aproximările modelului teoretic sau erorile de măsurare ale instrumentului utilizat și condițiile de măsurare sunt incluse după cum urmează:
 - ✓ dacă eroarea relativă medie de calcul sau de măsurare a cantității relevante este mai mică de 1 dB sau 12,5 % pentru intensități de câmp, iar 25 % pentru cantități de energie, valoarea maximă admisă sau valoarea de referință se consideră a nu fi fost depășită dacă valoarea calculată sau măsurată este egală sau mai mică decât valoarea maximă admisă sau valoarea de referință;
 - ✓ dacă eroarea relativă medie a cantității determinate este mai mare de 1 dB, valoarea maximă admisă sau valoarea de referință se consideră a nu fi fost depășită dacă valoarea calculată sau măsurată din cantitatea relevantă este mai mică decât valoarea maximă

admisă sau valoarea de referință redusă cu suma decibelilor prin care eroarea relativă medie depășește 1 dB

4. Determinarea expunerii unui angajat și a altei persoane la radiațiile neionizante

La evaluarea expunerii unui angajat și a altei persoane la radiații neionizante în diapazonul de frecvențe de la 0 Hz până la $1,7 \times 10^{15}$ Hz, în afară de valorile maxime admise ale radiațiilor neionizante și de valorile de referință, sunt luate în considerare:

- efectele biofizice directe;
- intensitatea radiației, spectrul de frecvențe, durata și tipul expunerii;
- expunerea la câmpuri și la radiații cu diferite frecvențe și expunerea la surse multiple de radiații neionizante;
- informațiile furnizate de către producătorul de echipament care produce radiații neionizante, inclusiv clasificarea laserelor;
- efectele biofizice indirecte cum ar fi:
 - ✓ interferența cu dispozitive electronice și echipamente, pacemaker și alte instrumente medicale electronice;
 - ✓ riscurile de la eliminarea obiectelor feromagnetice de către un câmp magnetic static cu inducție magnetică mai mare de 3 mT;
 - ✓ pericolul de aprindere a detonatoarelor controlate electric;
 - ✓ incendiul și exploziile cauzate de aprinderea materialelor inflamabile de către echipamentele optice, scânteile induse de curenții de contact sau de descărcarea de supratensiune;
 - ✓ riscurile interacțiunii dintre echipamentele optice și substanțele chimice cu efecte de fotosensibilizare sau riscurile de orbire temporară cauzată de echipamentele optice;
- toate efectele asupra sănătății și securității angajaților periclitați în mod specific, în special angajații cu instrumente medicale electronice implantate și angajatele însărcinate;
- informațiile obținute de un furnizor de servicii medicale la locul de muncă, în timpul supravegherii periodice la locul de muncă, trebuie să se concentreze pe stabilirea și pe evaluarea factorilor de risc.

5. Domeniul minim de aplicare a măsurilor de protecție a sănătății angajaților care lucrează cu radiații neionizante

Dacă evaluarea expunerii indică faptul că un angajat este sau ar putea fi expus la radiații neionizante care depășesc valorile maxime admise, trebuie luate următoarele măsuri pentru a proteja sănătatea acestuia:

- se specifică o procedură de lucru care reduce riscul de expunere la câmpuri electromagnetice;
- se asigură că locul de muncă este organizat pentru a limita expunerea angajaților la câmpul electromagnetic.

6. Domeniul minim de aplicare a informațiilor furnizate unui angajat pentru protecția sănătății la locul de muncă

Înainte de a începe lucrul, care implică expunerea la radiații neionizante în diapazonul de frecvențe de la 0 Hz până la $1,7 \times 10^{15}$ Hz, angajatorul trebuie să furnizeze angajatului informațiile cu privire la:

- valorile maxime admise ale radiațiilor neionizante, modul în care acestea pot fi determinate și riscurile posibile rezultate din depășirea acestora;
- efectele directe și indirecte asupra sănătății;
- modul de recunoaștere și de raportare a efectelor dăunătoare;
- procedurile de lucru adoptate;
- măsurile de protecție a sănătății la locul de muncă
- utilizarea corectă a mijloacelor de protecție radiologică personală la locul de muncă.

V. EFECTELE RADIAȚILOR

1. Vătămări imediate.

Dacă se expune întregul organism la o doză foarte puternică de radiație, decesul poate surveni în câteva săptămâni: *o doză absorbită instantaneu de 5 Gy sau mai mult ar fi, probabil, letală.* Dacă doar o mică parte a organismului s-ar expune pentru un timp scurt la *o doză foarte puternică, decesul poate să nu survină, dar pot apărea alte efecte imediate: o doză absorbită instantaneu de 5 Gy sau mai mult primum numai de piele va*

produce înroșirea acesteia cam într-o săptămână, iar o doză similară primită de testicul sau ovare ar putea provoca sterilitate. Dar dacă aceeași doză totală ar fi primită într-un timp mult mai lung s-ar putea să nu apară imediat semne de vătămare. Totuși, pot apărea defecte și ele se pot manifesta ulterior la persoana iradiată sau la urmașii acesteia.

2. Boli maligne.

Cel mai grav efect latent al iradierii este cancerul, îndeosebi cel cu consecințe fatale. Procesele fundamentale, prin care radiația induce cancerul, nu sunt elucidate pe deplin, dar o *incidență* mare a diferitor boli maligne, în special a cancerului, s-a observat la grupele de oameni expuși la doze mari de radiații. Dar nu toate persoanele expuse radiațiilor contractează cancer, deoarece acesta are multiple cauze. Totuși, persoana iradiată are o probabilitate destul de mare de a-l contracta și această probabilitate depinde mult de doza primită. Dacă este cunoscut numărul persoanelor dintr-un grup iradiat și dozele pe care le-au primit, și dacă numărul cazurilor de boli canceroase, efectiv observate în acest grup, este mai mare decât numărul de cazuri așteptate într-un grup similar neiradiat, atunci numărul în exces de cazuri de boli canceroase poate fi atribuit radiației. Astfel putem calcula riscul apariției cancerului pe unitatea de doză efectivă, numit *factor de risc*.

Exemplu de calculare a factorului de risc. Dacă dintr-un grup de 50 000 de persoane fiecare a primit o doză de 2 Sv pentru un anumit organ și dacă au apărut cu 100 de cazuri de boli canceroase mai mult la acel organ decât într-un grup similar neexpus, factorul de risc ar fi de $100/(50000 \times 2)$, care este 1 la 1000 per Sv sau 10 la -3 Sv la -1 în notație științifică.

3. Defecte ereditare.

Probabilitatea defectelor ereditare, dar nu și pericolozitatea lor, depinde de doza de radiație primită. Acestea apar la iradierea gonadelor: testiculelor la bărbați și ovarelor la femei. Radiațiile ionizante induc în celulele sexuale (spermatozoizi și ovule) sau la precursorii lor *mutații*, de regulă maligne. Procesele exacte prin care apar mutațiile nu sunt cunoscute, dar ele presupun modificări chimice ale ADN-ului. Defectele ereditare induse de radiații sunt

destul de variate, de la grave, precum retard mintal sever, până la banale, cum ar fi pete la nivelul pielii (*tab. 4*).

Tabelul 4.

Principalele efecte dăunătoare ale radiațiilor

| <i>Efecte</i> | | <i>Condiții de apariție</i> | <i>Surse de informare</i> | |
|---------------|---------------------------|--|--|-------------------------|
| Imediate | Deces | Doze și debite ale dozelor foarte mari | Date din diferite surse | |
| | Eritem | | | |
| (Precoce) | Sterilitate | Celei mai mari părți ale corpului | Date privind riscul, prin extrapolare limitată din zona dozelor sau a debitelor mari ale dozelor | |
| Ulterioare | Boli maligne | | | |
| | | Suprafața pielii | | |
| | | Testiculele și ovarele | | |
| (Tardive) | Defecte ereditare | Orice doză sau debit al dozelor | Sensibilitate diferită a organelor | |
| | Modificări nemaligne | Probabilitatea depinde de doză | Date referitoare la oameni prin comparare cu datele obținute în experimentele pe șoareci | |
| | Modificări de dezvoltare | | Se manifestă peste ani | Cazuri înregistrate |
| | | | Orice doză sau debit al dozelor | |
| | | | Probabilitatea depinde de doză | |
| | | | Manifestată la descendenți | Date din diferite surse |
| | | | Doză foarte mare. | |
| | | | Diferite perioade de manifestare | Date limitate |
| | | Iradieră embrionului | | |
| | Se manifestă după naștere | | | |

La populația umană apar mutații și în mod spontan, adică fără o cauză aparentă, dar radiația naturală poate contribui la aceasta. Nu există o evidență directă a defectelor ereditare determinate fie de radiația naturală, fie de cea artificială. Studii extensive ale urmașilor supra-viețuitorilor bombardamentelor de la Hiroshima și Nagasaki n-au demonstrat o creștere statistic semnificativă a defectelor ereditare, dar au reușit să estimeze factorii de risc ai acestor defecte.

Iradieră gonadelor este potențial dăunătoare dacă intervine înainte sau în timpul perioadei de reproducere. Pentru cei care nu vor avea copii nu există, prin definiție, nici un risc ereditar. Procentul de persoane ale unui grup, pentru care iradierea gonadelor are semnificație ereditară, depinde de vârsta persoanelor și, corespunzător, de numărul probabil de copii, dar o valoare de 0,4 ar fi potrivită pentru toată populația în general. Astfel, riscul mediu al unor defecte ereditare serioase în primele două generații ar fi de 1 până la 250 *per Sv*.

4. Riscul colectiv.

Dacă acceptăm o relație liniară între doză și risc, fără existența vreunui prag, doza colectivă devine un indicator al riscului colectiv. În termeni de colectivitate, n-are nici o importanță dacă într-o comunitate de 40 000 de persoane fiecare primește o doză efectivă echivalentă de 2 mSv sau dacă într-o comunitate de 20 000 de persoane fiecare primește 4 mSv: doza colectivă în fiecare comunitate este de 80 Sv-om și prețul colectiv, plătit de fiecare comunitate, poate fi o moarte de cancer. Totuși, în termeni individuali, membrii mai tineri ai comunității suportă un risc mai mare.

Iradieră în timpul sarcinii. Trebuie acordată o atenție specială riscului de iradiere a copiilor în uter. Dacă un embrion se expune la radiații se pot induce defecte de creștere, cum ar fi o reducere a diametrului capului sau întârziere mintală, dacă expunerea are loc în perioada formării organelor, sau dezvoltarea unor tumori maligne în timpul copilăriei. Chiar dacă factorul de risc în acest caz este nesigur, el este estimat la circa 1 din 40 *per Sv* și este de două ori mai mare decât riscul total de cancer al unei persoane medii. Din acest motiv, femeile însărcinate trebuie să facă radiografiile ale abdomenului doar când există motivații clinice, iar pentru femeile fertile sau însărcinate

există restricții stricte a dozelor pe care le pot primi atunci când lucrează în mediu cu radiații.

5. Evidența personalului care lucrează cu radiații.

Din cauza modului în care au fost obținuți, factorii de risc folosiți în protecția radiologică pot fi abordați ca aproximativi. De aceea, este esențial să folosim orice împrejurare pentru a testa valabilitatea actualelor estimări. O modalitate ar fi studierea incidenței bolilor maligne fatale în rândul persoanelor care, prin profesiunea lor, sunt expuse la radiații în condiții controlate.

Pe măsură ce se acumulează, această informație se analizează pentru a descoperi diferențele ce apar între mortalitatea în rândul celor ce lucrează cu radiații și în alte grupe precum și între grupele ce lucrează cu radiații, dar cu doze cumulate diferite. În particular, se ține evidența cazurilor de cancer în exces și se estimează limitele în care sunt cuprinși factorii de risc.

6. Principii de bază ale sistemului de protecție radiologică.

Modul de abordare a protecției contra radiațiilor este cam același în toată lumea grație Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică, organizație științifică autonomă care publică, de peste o jumătate de secol, recomandări privind protecția radiologică.

Principiile centrale ale protecției radiologice lansate de Comisia Internațională de Protecție Radiologică se formulează astfel:

- Nici un procedeu nu va fi adoptat dacă introducerea sa nu va aduce un beneficiu.
- Toate expunerile la radiații vor fi ținute la un nivel cât mai jos posibil, luând în considerare factorii economici și sociali.
- Echivalentul dozei individuale de radiație nu trebuie să depășească limitele recomandate de Comisie pentru circumstanțele respective.

În fiecare din aceste principii apar considerente sociale, în primele două explicit, în ultimul implicit. Prin urmare, există spațiu suficient de intervenție pentru factorii de decizie.

VI. PROTECTIA ÎMPOTRIVA RADIAȚIILOR

1. Acordarea ajutorului medical în accidentele cu contaminare radioactivă.

Evaluarea contaminării externe a pielii se face cu contaminometrul/dozimetrul portabil sau prin ștergerea locului presupus contaminat cu un tampon de vată sau tifon înmuiate în alcool medicinal și apoi măsurarea contaminării cu o instalație dozimetrică. Dacă valorile măsurate se situează cu mult peste cele ale fondului natural de iradiere, atunci zona măsurată este considerată contaminată radioactiv.

Decontaminarea pielii sau a rănilor ușoare se poate face prin spălarea zonei cu apă și cu săpun, la temperatura corpului, până când controlul dozimetric arată valori reduse. Aceste spălări, doar cu apă sau cu ser fiziologic, se pot face și la nivelul gurii, nasului și, eventual, al ochilor. Cu cât cantitatea de radionuclid de la aceste porți de intrare este mai mică, cu atât mai puțin radionuclid va pătrunde în organism.

Evaluarea contaminării interne se face direct, prin măsurarea radioactivității organismului (metoda contorizării întregului corp) sau a unor produse de excreție (urină, fecale), sau indirect, prin măsurarea radioactivității aerului, apei de consum sau a alimentelor. Metoda evaluării indirecte a contaminării omului presupune monitorizarea continuă a factorilor de mediu, a apei și a alimentelor, ceea ce face posibilă evitarea contaminării a unui număr mare de persoane după un accident nuclear.

În caz de contaminare internă, primul ajutor constă în administrarea de substanțe decontaminante digestive, mai ales când radionuclizii se află în tractul gastrointestinal. Principalele substanțe cu acțiune decontaminantă sunt: pansamentele gastrice de tipul fosfatului de aluminiu, sulfatului de magneziu, hidroxidului de aluminiu (antidoși ai stronțului, radiului, fierului, bariului etc.), ferocianurii ferice, numită și albastru de Berlin (antidot al cesiului). Substanțele decontaminante enumerate reduc absorbția intestinală a radionuclizilor, asigură fixarea lor prin adsorbție, prin schimb ionic sau prin formarea de compuși metalici insolubili, eliminarea radionuclizilor realizându-se prin fecale.

Depunerea unor radionuclizi în organele de elecție poate fi redusă prin saturarea sângelui cu compuși stabili ai izotopului radioactiv, cum este cazul reducerii fixării în tiroidă a iodului radioactiv prin administrare de iod stabil sau prin consumul de cantități mari de apă, pentru reducerea tritiului din organism.

Decontaminanții (mai puțin ai iodului stabil) precum și decorporatorii împotriva plutoniului și alte medicamente, indicate în acest caz, se administrează numai în clinici de specialitate sub control medical, ceea ce presupune transportarea de urgență a persoanei contaminate la cea mai apropiată instituție medicală specializată.

Acordarea primului ajutor în caz de contaminare radioactivă după un accident nuclear sau în laboratoarele în care se lucrează cu soluții radioactive, presupune existența unor truse medicale cu instrucțiuni de decontaminare, inclusiv cu antidoși ai principalilor radionuclizi cu importanță radiobiologică mare pentru om (iod, cesiu, stronțiu etc.) (tab. 5.).

Tabelul 5.

Antidoși administrați ca prim ajutor sau în clinici de specialitate

| Radionuclid | Antidot | Mod de administrare | |
|---|---|--|---|
| | | piele | inhalar, ingestie |
| Tritiu | - | se consumă 3- 4 litri de apă + furosemid | |
| Iod-131 | 100-300 mg KI | se bea un comprimat de KI cu apă | |
| Stronțiu-90, 89 | fosfat sau hidroxid de aluminiu | - | cca 10 g pe zi, de trei ori, cu purgativ ușor |
| | decontaminant cationic | se spală pielea sau plaga contaminată | - |
| Cesiu-137, 134 | ferocianură ferică, comprimate a câte 1 g | - | se administrează de trei ori pe zi |
| | decontaminant cationic | se spală pielea sau plaga contaminată | - |
| Pământuri rare, plutoniu, transplutoniene | DTPA-Zn1) spray sau soluție | se spală pielea sau plaga contaminată | - se inhalează DTPA-Zn - perfuzie |

| | | | |
|--------|--------------------------------------|--|--|
| | | | intravenoasă lentă 1/zi, mai multe zile |
| Uraniu | Bicarbonat de Na soluție 8,4 % | se spală pielea sau plaga contaminată | perfuzie intravenoasă |

2. Alte măsuri practice de radioprotecție.

Oamenii se pot proteja împotriva radiațiilor prin păstrarea distanței față de sursă, combinată sau nu cu ecranarea față de aceasta, astfel încât nivelul radiațiilor să scadă pe măsură îndepărtării de sursă. Ne putem proteja și prin limitarea la maxim a timpului petrecut în apropierea unei surse.

Atunci când radionuclizii ajung în organism, de exemplu prin respirarea aerului contaminat sau prin consumul de apă și de alimentele care conțin radionuclizi, doza nu poate fi redusă prin nici una din aceste măsuri. În consecință, principala modalitate de a controla acest tip de expunere la radiații constă în prevenirea ingerării sau inhalării de radionuclizi. Prevenirea eliberării radionuclizilor în aer, în apă și în alimente (acestea sunt căile de pătrundere în organism) presupune un spectru larg de măsuri, începând cu controlul și monitorizarea emisiilor de „rutină” de radionuclizi în mediu și ajungând, bineînțeles, până la prevenirea accidentelor din industria nucleară.

Dacă radionuclizii sau sursa de radiații se află într-un loc bine definit, de exemplu în sol sau într-un container, oamenii se pot proteja prin blocarea radiațiilor. Această formă de protecție se numește ecranare, iar tipul și grosimea materialului de ecranare depind de tipul și de intensitatea radiației. Pentru radiații foarte intense, provenind dintr-o centrală nucleară sau dintr-un container în care se transportă combustibil nuclear uzat, ecranarea poate consta în câțiva metri de ciment sau zeci de centimetri de oțel sau câțiva centimetri de plumb.

3. Principii internaționale.

Întrucât se presupune că orice doză de radiații generează anumite riscuri și că întotdeauna în natură există un anumit nivel de radiații de fond, nu este posibil să eliminăm toate riscurile asociate cu radiațiile. Pentru a menține acest risc la un nivel cât mai scăzut, permițând, în același timp, utilizarea benefică a radiațiilor și a materialelor radioactive, au fost elaborate

o serie de principii de protecție pentru activități ce duc la creșterea dozelor primite de oameni:

- aceste activități trebuie desfășurate numai dacă efectele pozitive le depășesc pe cele negative, adică în cazul în care beneficiile rezultate din aceste practici vor fi mai mari decât riscurile generate;
- riscurile de iradiere, dintr-o anumită activitate, nu trebuie să depășească limitele specificate.

Chiar și sub aceste limite, riscurile de iradiere trebuie menținute la cel mai scăzut nivel rezonabil posibil - ALARA (din engleză *As Low As Reasonably Achievable*), adică trebuie luate măsuri pentru a reduce riscurile cât mai mult, cu excepția cazului în care acestea sunt prea costisitoare sau dificile, în comparație cu posibila reducere a dozei.

4. Limite de radioprotecție pentru radiațiile ionizante.

În cazul surselor de radiații controlabile există limite pentru dozele pe care populația le poate primi. Un individ nu trebuie să primească mai mult de 1 mSv/an de la toate unitățile nucleare și de la alte activități generatoare de radiații, cu excepția dozelor primite din sursele naturale de radiații sau în scopuri medicale. Un lucrător, care lucrează cu radiații, nu trebuie să primească mai mult de 20 mSv pe an din activitatea respectivă. Există restricții speciale referitoare la femeile însărcinate care lucrează cu radiații, pentru a garanta protecția fătului.

Acestea sunt limite superioare, însă nu este suficient să ne limităm la conformarea la aceste limite. Dozele trebuie menținute la o valoare cât mai joasă posibil în limite rezonabile, ceea ce înseamnă că sunt cu mult sub aceste limite. De fapt, numai un număr limitat de persoane, care trăiesc în apropierea facilității respective, pot primi doze aproape de limitele prevzute pentru populație, însă pentru cea mai mare parte a populației dozele de la acele facilități vor fi mult mai reduse. Majoritatea lucrătorilor din industria nucleară de asemenea nu primesc mai mult de câțiva mSv/ an, iar lucrătorii din alte domenii, cum ar fi personalul de pe liniile aeriene sau personalul medical, primesc doze similare în activitatea lor profesională.

TESTE

1. Radiologice sunt următoarele secții:

- a) secții de rontghenodiagnostic;
- b) secții de radiodiagnostic cu surse „închise”;
- c) secții de radioterapie cu surse „închise”;
- d) secții de radiodiagnostic cu surse „deschise”;
- e) secții de radioterapie cu surse „deschise”.

2. În aer radiațiile ionizante formează:

- a) ozon (O_3);
- b) oxigen (O_2);
- c) oxizi de azot;
- d) oxizi de metale;
- e) azot.

3. Efecte biologice somatice nestocastice ale radiațiilor ionizante sunt:

- a) leucopenia;
- b) osteosarcomul;
- c) cancerul pielii;
- d) cancerul tiroidian;
- e) anemia aplastică.

4. La iradierea internă a organismului, cele mai periculoase sunt următoarele radiații:

- a) alfa;
- b) fluxul de protoni;
- c) beta;
- d) razele X;
- e) gama.

5. În timpul lucrului cu surse închise de radiații ionizante nu se aplică următorul principiu de radioprotecție:

- a) protecția cu cantitatea;
- b) protecția cu timpul;
- c) protecția cu distanța;

- d) protecția cu ecrane;
- e) folosirea mijloacelor de protecție individuală pentru radiațiile ultraviolete.

6. Dozele maxime admise de iradiere de 1 mSv/an sunt normate pentru următoarele grupe de persoane:

- a) persoanele expuse profesional din industrie;
- b) persoanele expuse profesional din domeniul medicinei;
- c) persoanele care locuiesc în apropierea centralelor nucleare;
- d) populația în ansamblu;
- e) pacienții.

7. În procesul de dezintegrare radioactivă a elementelor apar următoarele tipuri de radiații:

- a) radiații alfa;
- b) radiații beta;
- c) radiații gama;
- d) radiații cu neutroni;
- e) radiații ultraviolete.

8. Densitatea minimă de ionizare a substanței este dată de următoarele tipuri de radiații:

- a) radiații alfa;
- b) radiații beta;
- c) radiații gama;
- d) radiații cu neutroni;
- e) radiații X.

9. Densitatea maximă de ionizare a substanței este asigurată de următoarele tipuri de radiații:

- a) radiații alfa;
- b) radiații beta;
- c) radiații gama;
- d) radiații cu neutroni;
- e) radiații X.

10. Caracter fizic al radiațiilor X este:

- a) fluxul de electroni;
- b) fluxul nucleelor de heliu;
- c) undele electromagnetice (fotoni de energie);
- d) fluxul de pozitroni;
- e) fluxul de neutroni.

11. Caracter fizic al radiațiilor α este:

- a) fluxul de electroni;
- b) fluxul nucleelor de heliu;
- c) undele electromagnetice (fotoni de energie);
- d) fluxul de pozitroni;
- e) fluxul de neutroni.

12. Distanța parcursă de razele- γ în aer se măsoară în:

- a) micrometri;
- b) milimetri;
- c) centimetri;
- d) metri;
- e) [x] sute de metri.

13. Activitatea substanțelor radioactive se măsoară în:

- a) roentgen;
- b) curie;
- c) dezintegrări /sec;
- d) mg-echivalent Ra;
- e) becquereli.

14. Acțiunea radiației ionizante asupra organismului uman se soldează cu:

- a) efect somatic direct;
- b) efect somatic indirect;
- c) efect teratogen;
- d) efect genetic;
- e) nu sunt efecte.

15. Doza de expoziție se măsoară în:

- a) roentgen;
- b) rad;
- c) jouli/kg;
- d) curie;
- e) culon/kg.

16. La confecționarea ecranelor de protecție contra radiațiilor ionizante se folosesc următoarele materiale:

- a) metale grele;
- b) metale ușoare;
- c) mase plastice;
- d) beton;
- e) sticlă.

17. Doza admisă de iradiere a personalului medical, conform NRP internaționale, este de:

- a) 20 mSv/an;
- b) 30 mSv/trimestru;
- c) 5 mSv/an;
- d) 0,5 mSv/an;
- e) 0,1 mSv/an.

18. Capacitatea de penetrare a razelor- β în mediu biologic se măsoară în:

- a) microni;
- b) milimetri;
- c) centimetri;
- d) metri;
- e) sute de metri.

RĂSPUNSURI LA TESTE

- | | | |
|---------|---------|----------|
| 1. CDE | 7. ABCD | 13. BCDE |
| 2. AC | 8. CE | 14. ABCD |
| 3. ABCD | 9. A | 15. AE |
| 4. A | 10. C | 16. AD |
| 5. E | 11. B | 17. A |
| 6. D | 12. E | 18. B |

BIBLIOGRAFIE

1. Al-Zoughool M., Krewski D. *Health effects of radon: a review of the literature*. In: International Journal of Radiation Biology, 2009.
2. Bahnarel I., Corețchi L., Moldovanu M. *Aspecte medico-biologice ale acțiunii accidentului nuclear de la Cernobîl asupra populației Republicii Moldova*, Chișinău, Ch.:Î.S.F.E.P., Tipografia Centrală, 2005, 152 p.
3. Bulbuc G., Corcimaru I., Bahnarel I. et al. *The biological effects of low doses of ionizing radiation: Chernobyl Nuclear accident and spreading of Hemoblastoses in Moldova*. In: International Conference held in Seville. Spain, 1997
4. Cojocaru Oleg, *Accidentele industriale care au reamintit de Hiroshima // Revista Bilant*, nr.17, 2006
5. Gharbi F. et. al. *Exposure to radiation from the natural radioactivity in Tunisian building materials*. In: Radiat. Prot. Dosimetry. 2012
6. Harb S. et al. *Specific activities of natural rocks and soils at quaternary intraplate volcanism north of Sana'a, Yemen*. In: J. Med. Phys. 2012.
7. Kapdan E. et. al. *A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey*. In: Radiat Prot Dosimetry. 2012.
8. Ostrofeț Gh., Bahnarel I., Corețchi L., și coautorii *Igiena Radiațiilor. Manual*. C.E.P. Medicina, 2009. 400p.
9. Stochioiu A., Sahagia M., Tudor I. *TLD System for the monitoring of the environmental radioactivity*. In: Rom. Journ. Phys., 2009.
10. UNEP, 2016, *Radiation effects and sources*, 55 p. ISBN: 978-92-807-3517-8. 27. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Available online: http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html, vizitat 20.X.2015.
11. *Norme Fundamentale de Radioprotecție, Cerințe și Reguli Igienice* nr. 06.5.3.34 din 27 februarie 2001. În: Monitorul Oficial Nr. 40-41 art Nr : 111, 05.04.2001 Chișinău
12. *NFRP-2000. Norme fundamentale de radioprotecție. Cerințe și reguli igienice*. Nr. 065334 din 27.02.2001. Monitorul Oficial Nr. 40-41 art Nr: 111.
13. ICRP Publication 103, *The 2007 Recommendation of the International Commission on Radiological Protection*. In: Annals of ICRP, 2007. https://www.elsevier.com/wps/find/bookdescription.cws_home/713998/description#description.

14. ICRP Publication 105. ed.: Jack Valentin, București: Anima, 2012. ISBN 978-973-7729-72-9. 136.
15. UNSCEAR 2006 REPORT Vol. I. *Effects of ionizing radiation*. In: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes A and B.
16. <https://www.icrp.org>
17. <https://www.iaea.org>
18. <http://www.unscear.org>
19. <http://www.nrc.gov>
20. <http://www.who.int>

USMF „Nicolae Testemițanu”

Centrul Editorial-Poligrafic *Medicina*

Formatul hârtiei 60x84 ¹/₁₆ Tiraj: 50 ex.

Coli de autor: 1,8 Comanda nr. 47

Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 165