

**RADIAȚIILE NEIONIZANTE: RADIAȚIA SOLARĂ, RADIAȚIILE INFRAROȘII, LUMINOASE, ULTRAVIOLETE. SURSE ȘI RELAȚIE CU STAREA DE SĂNĂTATE  
RADIAȚIILE IONIZANTE: RADIOACTIVITATE NATURALĂ ȘI IRADIAREA NATURALĂ/AN/INDIVID; RADIOACTIVITATE ARTIFICIALĂ; RADIOECOLOGIE: ACUMULAREA RADIOIZOTOPILOR ÎN FACTORII DE MEDIU, EFECTE ECOLOGICE PRIMARE ȘI SECUNDARE. RADIOGENETICĂ: RADIOSENSIBILITATEA ȚESUTURILOR; EFECTE BIOLOGICE; RADIOPROTECȚIA**

Radiațiile constituie un **factor fizic al habitatului uman**, în cea mai mare parte de **origine naturală**.

Radiațiile reprezintă emisia sau propagarea în spațiu a unor unde sau particule însoțită de transport de energie, și care produc efecte fizice, chimice și biologice asupra corpurilor iradiate.

**Proprietățile fizice** ale radiațiilor sunt lungimea de undă, viteza de propagare, frecvența, amplitudinea, energia radiantă, determinând **penetrabilitatea** și **efectele biologice** ale radiațiilor.

Prin absorbția energiei de către corpul străbătut, **radiațiile pierd din energie**, iar lungimea de undă se mărește. **Energia corpului străbătut crește**.

Prin energia lor, radiațiile sunt **determinante în apariția vieții**, în menținerea și în progresul ei. Omul suferă influența radiațiilor de-a lungul existenței sale și ele s-au integrat în evoluția speciei umane. Fără radiații, omul n-ar fi și n-ar putea trăi. Cu prea multe radiații, omul n-ar supraviețui. Dintre toate viețuitoarele, omul este cel mai sensibil la radiații.

Radiațiile au fost clasificate de către ISO (International Standard Organization) în **radiații ionizante**, cele care produc ionizarea în corpurile străbătute, și **radiații neionizante**. Dacă în cazul radiațiilor ionizante lipsește orice efect sanogen, în cazul radiațiilor neionizante, efectele benefice sanogene predomină.

## **RADIAȚIILE NEIONIZANTE**

Cea mai importantă **sursă naturală, constantă și nepoluantă** de radiații neionizante este soarele.

Energia solară rezultă din reacții termonucleare: transformarea nucleilor de hidrogen în nuclei de heliu. Pe suprafața solului ajunge a doua miliardă parte din totalul radiației solare, suficientă pentru menținerea vieții.

- **Componentele radiației solare**
  - radiația ultravioletă:  $\lambda$  10-400 $\mu$ m, 1% la nivelul solului
  - radiația luminoasă:  $\lambda$  400-800  $\mu$ m, 35% la nivelul solului
  - radiația infraroșie:  $\lambda$  800-3000  $\mu$ m, 64% la nivelul solului.

#### ▪ **Iradierarea solară globală**

**Iradierarea solară globală** pe o suprafață orizontală este definită prin două componente: radiația solară **directă**, componentă nemodificată care ajunge pe suprafața pământului, și radiația solară **difuzată** de către diferiți componenți atmosferici, din toate direcțiile de pe bolta cerească.

Iradierarea pe suprafața solului depinde de incidența fluxului de radiații, înălțimea soarelui deasupra orizontului, durata iradierii, transparența atmosferei (vapori și picături de apă, particule de praf și alte impurități), amplasarea geografică, anotimpul.

Străbătând aerul atmosferic, **o parte a radiației solare se pierde pentru pământ** prin:

- **absorbție:** 99% din radiația ultravioletă cu lungime de undă scurtă este absorbită la nivelul ozonoferei și de către vapori de apă și impurități; o parte a radiației calorice este absorbită de vaporii de apă și dioxid de carbon
- **reflexie**, de către nori.

Radiația solară ajunsă pe pământ este **parțial absorbită, parțial reflectată**. Radiația absorbită este transformată în energie radiantă și transmisă aerului. Capacitatea de reflexie a pământului se exprimă prin raportul procentual dintre radiația solară reflectată la nivelul pământului și cea incidentă și se numește **Albedo**. Cea mai crescută valoare caracterizează zăpada proaspătă, 85-95%, iar cea mai scăzută, pământul negru, umed și proaspăt arat, 12-13%.

Intensitatea energiei radiante se numește **constantă solară** și are valoarea de circa 2 calorii mici/cm<sup>2</sup>/minut, la limita superioară a atmosferei. La suprafața solului ea este în medie de 1,5 calorii mici/cm<sup>2</sup>/minut, și variază cu latitudinea, anotimpul.

#### ▪ **Importanța ecologică**

Ca factor ecologic, radiația solară are **efecte benefice**, condiționând existența și sănătatea viețuitoarelor. Ea asigură energia pentru fotosinteză și alte sinteze organice.

**Acțiunea** radiației solare este **complexă și combinată**, determinată de cele trei componente, sub formă de radiație directă și radiație difuzată.

Totodată, componentele radiației solare au proprietăți fizice distincte cu **efecte specifice**.

## **RADIAȚIILE INFRAROȘII**

### **Surse**

**Soarele** este sursa naturală. Radiațiile infraroșii sunt produse și de **surse artificiale** - toate corpurile care nu sunt în echilibru termic cu mediul înconjurător și a căror temperatură este mai mare de zero absolut (0°K = -273,15°C).

Adultul cu greutate medie, **cedează** mediului zilnic 3000 kcal rezultate din procesele fiziologice. În același timp, corpul uman **acceptă** pe suprafața sa radiație calorică până la 8 calorii mici/cm<sup>2</sup>/minut, timp limitat.

### **În relație cu starea de sănătate**

- **Acțiunea generală** este favorabilă.

Prin acțiunea **directă**, radiațiile infraroșii asigură energia necesară desfășurării proceselor vitale, favorizează funcțiile metabolice, stimulează procesele de oxidare, microcirculația, glandele endocrine și sistemul nervos, favorizează evoluția pozitivă în tulburările de nutriție.

Prin intervenția **indirectă**, radiațiile infraroșii constituie un factor generator de climă și de microclimat.

- **Acțiunea locală** variază în raport cu lungimea de undă.

**La nivelul tegumentelor**, radiațiile infraroșii cu lungime de undă între 800-1400  $\mu\text{m}$  **pătrund** în profunzimea tegumentelor, în timp ce radiațiile infraroșii cu lungimea de undă peste 1400  $\mu\text{m}$  sunt **reținute** în straturile superficiale. Pielea pigmentată absoarbe 50-60% din radiațiile infraroșii, iar cea nepigmentată, 20-30%.

Reacțiile reversibile constau în creșterea debitului sanguin și a temperaturii locale, creșterea activității glandelor sudoripare, stimularea terminațiilor nervoase.

Aceste efecte stau la baza folosirii radiațiilor infraroșii în **procedee fizioterapice** recomandate în durerile postoperatorii (și cu regenerarea celulelor), articulare, toracice, abdominale.

Radiațiile infraroșii pot produce și **leziuni**: eriteme, arsuri, fenomene degenerative.

În caz de expuneri prelungite sau intense apare eritemul patologic. La repetarea expunerii, pot apare dermatite cu fenomene vasculare neurologice și imunologice, punct de plecare pentru fenomene degenerative benigne sau maligne.

**La nivelul ochiului**, radiațiile infraroșii cu lungimea de undă între 800-1400  $\mu\text{m}$  pot determina **opacifierea cristalinului**: cataracta suflătorilor de sticlă, cu apariție după 10-20 de ani de expunere; cataracta senilă; cataracta cu caracter geografic în zona tropicală.

Radiațiile infraroșii cu lungimea de undă peste 1400  $\mu\text{m}$  sunt **reținute** de conjunctivă și corneă.

La expuneri repetate, pot fi **lezate** structurile anatomice cu apariție de conjunctivite, leziuni superficiale sau opacifierea corneei, paralizia sfîcterului pupilar, atrofia irisului.

Pentru prevenirea acestor leziuni se recomandă utilizarea ochelarilor cu lentile cu oxizi metalici care rețin 80-90% din radiațiile infraroșii.

**Insolația** apare sub acțiunea radiațiilor infraroșii cu lungimea de undă de 800-1000  $\mu\text{m}$ , ce străbat cutia craniană și **afectează meningele**. Intensitatea modificărilor umorale și celulare, cu exudat și chiar hemoragii meningiene, determină tulburări de intensitate variabilă: cefalee, greață, alterarea stării generale, până la tulburări circulatorii și nervoase grave, comă, exitus.

**Măsuri de profilaxie**, mai ales la cei care au prezentat insolație în antecedente și care sunt susceptibili la recăderi: acoperirea capului, umbrire parțială, chiar evitarea expunerii.

## RADIAȚIILE LUMINOASE

### Surse

Alături de **soare**, sursa naturală, radiațiile luminoase pot fi produse de **surse artificiale** incandescente și fluorescente.

**Lumina naturală** este un complex policromatic rezultat din 7 culori monocromatice, roșu - portocaliu - galben - verde - albastru - indigo - violet, în proporții diferite. Cea mai mare reprezentare o are culoarea galbenă și pentru care ochiul are cea mai mare sensibilitate. Îmbinarea proporțională a celor 7 culori determină lumina albă de zi.

Lumina naturală prezintă oscilații diurne: la răsărit 1000 lx, la zenit și pe cer senin 100000 lx, noaptea cu cer senin 0,001- 0,002 lx, noaptea cu lună 0,2 lx.

**Lumina artificială** este indispensabilă când lumina naturală este insuficientă: noaptea, în încăperi în care nu pătrunde lumina naturală. Sursele incandescente oferă o lumină dominant galbenă. Sursele fluorescente dau o lumină variabilă, chiar albă, apropiată de cea naturală.

Lumina este un **factor ecologic vital** cu rol în fotosinteză, și determinantă pentru **bioritmuri**.

## În relație cu starea de sănătate

### ▪ Acțiunea generală

Constă în creșterea tonusului general al organismului, prin stimularea sistemului nervos central, a metabolismelor, glandelor endocrine, circulației.

Radiațiile luminoase favorizează **evoluția psihointellectuală a omului**.

Utilizarea medicală a luminii, **fototerapia**, este posibilă cu lumină naturală, helioterapie, și cu lumina artificială de tip incandescent, finsenterapie. Helioterapie, în care efectele radiațiilor solare se combină, se recomandă la copii în profilaxia și terapia rahitismului, în terapia plăgilor atone, a ulcerului varicos, a tuberculozei osoase.

Absența expunerii la lumina solară duce la **fotocarență** cu tulburări grave ale homeostaziei organismului.

### ▪ Acțiunea locală

#### La nivelul ochiului

Lumina **acționează direct** asupra ochiului. Funcția ochiului se îndeplinește începând cu 0,01 lx până la 100000 lx.

**Lumina insuficientă** afectează structurile și funcționalitatea ochiului: miopie, hipermetropie, dar și sistemul nervos: tulburări de comportament cu stări depresive (în zonele polare), cefalee, scăderea capacității de muncă fizică și intelectuală, creșterea riscului de accidentare.

**Lumina prea intensă** poate determina fototraumatismul retinian, cu imagini strălucitoare în câmpul vizual, scotom central, reflex de închidere a pleoapelor, iar în cazurile grave, îngustarea câmpului vizual și scăderea acuității vizuale.

#### La nivelul tegumentelor

Lumina poate declanșa fenomene de **fotosensibilizare** datorită prezenței unor substanțe fotodinamice de origine externă (gudroane, smoală, extracte de plante, produse cosmetice, medicamente) sau de origine internă (porfirine, derivați indolici).

Pe suprafețele cutanate neacoperite, după 1-2 ore de expunere, se semnalează eritem, edem, vezicule ce se pot ulcera. Ulterior, apare o pigmentație neuniformă, cicatrici, atrofii. Leziunile se pot croniciza în timp cu apariția hiperkeratozei. Se pot asocia și fenomene generale, cefalee, febră, dureri oculare.

## RADIAȚIILE ULTRAVIOLETE

### Surse, clasificare

Sursa naturală este **soarele**. La nivelul solului, radiațiile ultraviolete reprezintă 1% și au **lungimea de undă** între 240-400 μm. Rareori se poate pune în evidență radiație ultravioletă cu lungime de undă sub 240 μm, numai pe munți înalți și transparență foarte accentuată a atmosferei.

În atmosferă joasă, radiația ultravioletă este **absorbită** parțial de vapori de apă, nori, impurități, suprafețe de culoare închisă. Bolta cerească **reflectă** radiația ultravioletă.

**Sursele artificiale** de radiații ultraviolete sunt corpurile cu temperatura peste 1000°C: aparate de uz casnic (cuptoare cu microunde), lămpi cu cuarț utilizate în scop medical și cosmetic, proiectoare cu arc voltaic.

## Clasificarea radiațiilor ultraviolete

Radiațiile ultraviolete se clasifică după lungimea de undă și acțiunea biologică:

- Radiație ultravioletă A, cu lungime de undă de 320-400  $\mu\text{m}$  și cu producere de pigmentare.
- Radiație ultravioletă B, cu lungime de undă de 240-320  $\mu\text{m}$  și cu producere de eritem și favorizarea sintezei vitaminei D.
- Radiație ultravioletă C, cu lungime de undă sub 240  $\mu\text{m}$ , bactericidă.

## În relație cu starea de sănătate

**Insuficiența și excesul** de radiații ultraviolete produc efecte negative.

### ▪ Efecte directe generale

La baza **acțiunii biologice** stă **efectul fotochimic**: modificarea compoziției unor substanțe proteice de la nivelul pielii supuse iradierii, urmată de **reacții generale și locale**.

Dintre fenomenele biochimice, mai importante sunt: producerea de histamină și de alte substanțe vasodilatatoare; formarea de radicali liberi; alterarea acizilor nucleici, a lizozomilor cu eliberare de enzime proteolitice.

Noile substanțe generate în piele determină **efecte generale, la distanță** în țesuturi și organe:

- În sânge au loc modificări în dinamică: dezvoltarea de antigeni; modificarea VSH-ului și coagulării; variații ale numărului elementelor figurate; creșterea anticorpogenezei, a neutralizării substanțelor toxice.
- Glandele endocrine: intensificarea activității hipofizei, tiroidei, pancreasului, corticosuprarenalei.
- Sistemul nervos central: excitare.
- Sistemul cardiovascular: intensificarea pulsului, creșterea tensiunii arteriale, posibil stare de șoc.
- Aparatul digestiv: creșterea secrețiilor și a motilității digestive.
- Ficatul: hepatotoxicitate.

### ▪ Efecte locale la nivelul tegumentelor

**Eritemul** este generat de substanțe histaminice eliberate de mastocite, și îmbracă două forme:

- eritemul imediat, cu apariție la aproximativ o oră de la expunere, maxim la 3 ore, de culoare roz
- eritemul tardiv, cu apariție după 6 ore de la expunere, maxim la 24-48 ore, cu durată de 3-5 zile, de culoare purpurică, urmat de pigmentare.

Caracteristicile eritemului depind de **factori individuali**: pigmentația naturală, aria cutanată expusă, sexul, vârsta, starea fiziologică și patologică, anotimpul.

**Pigmentația** este rezultatul formării de **melanină** în melanocitele stratului bazal dermic. Melanina odată formată, migrează în stratul cornos în decurs de 48 de ore (la negri melanină este prezentă permanent în stratul cornos).

**Pigmentația are efect de protecție a pielii față de radiația ultravioletă**: direct, prin pigmentare, și indirect, prin îngroșarea stratului cornos cu reținere parțială de radiație ultravioletă.

Pigmentația este de două feluri:

- fără eritem, cu durată de 8-10 zile

- cu eritem, cu apariție după 7-8 zile de la expunere, cu durată de luni de zile.

**Acțiunea antirahitică** se datorește radiației ultraviolete cu lungimea de undă de 240-320  $\mu\text{m}$  care **transformă provitamina D din piele în vitamină D activă** cu rol în osteogeneză.

Acțiunea antirahitică este satisfăcătoare la majoritatea populațiilor din zona caldă și temperată.

Riscul rahitismului apare în zone reci, perioade reci cu imposibilitatea expunerii pielii descoperite la soare; la copii ținuti în încăperi întunecoase și cu corpul excesiv acoperit. În aceste cazuri se va suplini artificial radiația ultravioletă și se va administra preventiv vitamina D.

**Acțiunea nocivă la nivelul pielii** are loc la expunere excesivă, intempestivă și fără adaptare progresivă la radiație ultravioletă.

Apare la persoane cu piele cu funcționalitate normală, sub formă de **arsuri**, și la persoane cu deficiențe anatomo-funcționale, sub formă de **fotodermatoze, cancer cutanat**.

- ✓ **Arsurile**, denumite și eriteme actinice sau solare, depind de doza de iradiere și sensibilitatea individuală. Ele pot prezenta patru trepte de intensitate: eritemul roz; eritemul roșu viu și creșterea temperaturii locale cutanate; eritemul roșu aprins și edem; eritemul roșu aprins, edem, fliclene, fenomene generale. Pentru prevenirea eritemelor actinice se recomandă expunerea progresivă la soare, cu durata de 5-10 minute pe zi, cu creșterea la 1-2 zile a duratei cu 5-10 minute, în funcție de toleranță.
- ✓ **Fotodermatozele** au la bază mecanisme fototraumatice cu alterări celulare și necroze, și mecanisme fotoalergice. Pentru prevenirea fotodermatozelor, inclusiv profilaxia cancerului cutanat, se recomandă adaptarea lentă și progresivă la radiație ultravioletă, cu creșterea expunerii cu câte 1 minut pe zi, folosirea de îmbrăcăminte protectoare, aplicații locale de soluții, unguente, pudre, care rețin radiația ultravioletă cu lungimea de undă de 240-320  $\mu\text{m}$ .

#### ▪ **Acțiunea locală a radiațiilor ultraviolete la nivelul ochiului**

Acțiunea este **exclusiv nocivă**, cu apariție rară în **condiții naturale**, la alpiniști, la exploratori polari, și mai frecventă în **condiții artificiale**, determinată de aparate de sudură, lămpi de ultraviolete.

Se produce **fotooftalmia** cu apariție la 2-6 ore de la expunere, cu dureri intense în globii oculari, senzație de nisip în ochi, vedere neclară, fotofobie, cefalee. La examenul obiectiv se evidențiază edemul pleoapelor, hiperemia conjunctivală, secreția lacrimală abundentă, blefarospasmul.

Protecția ochilor este posibilă cu ochelari de protecție.

#### ▪ **Efecte indirecte**

Radiațiile ultraviolete au rol în asanarea și autopurificarea mediului prin:

- ✓ Acțiune bacterică a radiației ultraviolete pentru microorganismele din mediile naturale, aer, apă, sol. Pentru aceleași efecte în încăperi, bazine de apă, unități medicale, colectivități de copii, industrie alimentară, avicolă, zootehnică, se vor folosi surse artificiale de radiația ultravioletă.
- ✓ Ionizarea și ozonizarea aerului, în special în zonele montane.
- ✓ Neutralizarea unor poluanți prin reacții fotochimice.

## **RADIAȚIILE IONIZANTE**

## Definiție, clasificare, efect ionizant, unități de măsură

Prin radiații ionizante, atomice, nucleare, radioactive, se înțeleg radiațiile care au capacitatea de a dislocui electroni din atomii materiei iradiate, cu producere de ioni.

### ▪ Istoric

- Descoperirea radiațiilor X de către W.K. Roentgen, 1895.
- Descoperirea radioactivității uraniului de către H. Bequerel, 1896.
- Separarea radiului din minereul de uraniu și descoperirea radioactivității sale (emisie spontană de radiații alfa, beta, gamma), de către soții Curie, 1898.
- Obținerea de radioizotopi artificiali, soții Joliot-Curie, 1934.
- Descoperirea fusiunii de către O. Hahn, L. Meitner, O. Frisch, 1938.
- Punerea în funcțiune a primului reactor nuclear *Chicago Pile Nr. 1*, E. Fermi, 1942.

### ▪ Clasificarea radiațiilor ionizante

#### ➤ Radiații ondulatorii (unde)

#### **Radiațiile X sau Roentgen**

Sursa: aparat generator

Emisie: pe durata funcționării generatorului, fără radiații remanente

#### **Radiațiile gamma**

Sursă: substanțe radioactive

Emisie: continuă, pe toată durata dezintegrării nucleare și cu scăderea intensității în funcție de reducerea numărului de atomi prin dezintegrare.

#### ➤ Radiații corpusculare (particule)

Sursă: substanțe radioactive (ca și sus)

Cuprind radiațiile **alfa, beta, electroni, protoni, neutroni**.

### ▪ Efectul ionizant

- Puternic ionizant: radiațiile alfa, beta, protoni.
- Slab ionizante și penetrabilitate mare: radiațiile X și gamma.
- Ionizare indirectă și penetrabilitate mare: neutron, protoni.

### ▪ Unități de evaluare cantitativă a radiațiilor ionizante în sistemul internațional

**Activitatea unui radionuclid** reprezintă viteza de dezintegrare a atomilor componenți și se exprimă în bequereli: 1 bequerel (Bq) =  $\text{sec}^{-1}$  (1 dezintegrare/sec).

**Expunerea la radiațiile din aer (X și gamma)** se exprimă prin suma ionilor de un semn al sarcinii electrice dintr-un volum de aer la 0°C și presiune atmosferică de 760 mmHg, în Coulomb/Kg (C/Kg).

**Doza absorbită** este energia medie transferată materialului iradiat și calculată prin formula:  $D=W/m$ , unde D=doza absorbită, W=energie absorbită, m=masa materialului iradiat. Se măsoară în Gray (Gy), respectiv Joule/kg.

**Doza biologică** (echivalentul dozei absorbite, H) este produsul dintre doza absorbită (D), un factor de calitate (Q) variabil în funcție de tipul de radiație și factori modificatori (N):  $H=D \times Q \times N$ . Se măsoară în Sievert (Sv).

## RADIOACTIVITATEA NATURALĂ

Radioactivitatea naturală denumită și fond natural de radiații, se datorește radiațiilor cosmice și conținutului factorilor de mediu în substanțe radioactive = izotopi radioactivi naturali.

Ea este **inevitabilă** pentru **om** și **mediul său de existență**.

Cele mai importante elemente radioactive naturale aparțin familiilor: Uraniu 238, Radium 226, Thorium 232, Potasiu 40.

### Radiațiile cosmice

**Radiațiile cosmice primare**, de origine galactică sau solară se formează în spațiul cosmic, în afara granițelor terestre, și **cad continuu** în atmosferă.

Sunt formate în principal din **protoni** (83-89%), **radiații alfa** (10-15%). La nivelul solului ajunge doar o mică parte, majoritatea radiațiilor cosmice primare fiind absorbite în zecimea superioară a atmosferei.

**Radiațiile cosmice secundare** se produc continuu prin reacții nucleare în cascadă cu atomii din aer, în urma pătrunderii radiațiilor cosmice primare în atmosferă.

Radioelementele formate astfel și producătoare de radiații cosmice secundare, preponderent **radiații beta**, sunt: **Tritiu 3, Beriliu 7, Sodiu 22, Fosfor 32 și 33, Clor 36, Carbon 14.**

Radiațiile cosmice au o **energie imensă**, neobținută artificial.

**Penetrabilitatea** este variabilă. Unele pătrund printr-un strat de plumb cu grosimea de 10 cm, așa numitele radiații dure, altele au o capacitate de pătrundere redusă, radiațiile moi.

**Intensitatea** radiațiilor cosmice este influențată de altitudine, fiind maximă la 15000-20000 m altitudine, și de latitudine, mai mare la poli decât la ecuator.

### Radioactivitatea pământului (sol, roci)

Izotopii radioactivi naturali se găsesc în sol în cantități mici, răspândite neuniform și cu formare de **zăcăminte**.

Au avut dintotdeauna un rol primordial în **menținerea vieții**: asigură de milioane de ani temperatura constantă a planetei; determină apariția și evoluția fenomenelor geologice, formarea munților, activitatea vulcanilor.

Trei familii de elemente radioactive sunt mai importante: **Uranium 238** (Radium 226 și Radon 222), **Thorium 232** (cu Thoron 220) și **Uranium 235** (cu Actiniu 231 și Actinon 219).

### Radioactivitatea aerului

Radioactivitatea aerului este determinată în special de **Radon 222 și Thoron 220** rezultați din sol. Producții activi de dezintegrare ai acestor gaze se leagă de impuritățile din aer, ceea ce explică creșterea fondului radioactiv în condiții de inversiune termică, ceață, precipitații.

### Radioactivitatea apei

Radioactivitatea apei este determinată în principal de **Radium 226 și Radon 222**, pentru apele subterane; **Radium 226, Potasiu 40, Tritiu**, pentru apele dulci; **Potasiu 40** pentru apa de mare.

### Radioactivitatea produselor alimentare

Prin circuitul sol - apă - regn vegetal - regn animal, în țesuturile vegetale și animale se întâlnesc elemente radioactive, în principal **Potasiu 40**, apoi **Radium 226 și Carbon 14.**



### **Radioactivitatea corpului uman**

Toate elementele radioactive din mediul înconjurător pătrund și în organismul uman prin **inhalare, ingerare** sau prin **piele**.

Pe primul loc se situează **Radiu 226**, în întregul organism și mai ales în oase, mușchi, organe interne; **Uranu 238** în organele interne, mușchi, sânge; **Thoriu 232** în țesutul osos; **Potasiu 40** în oase, mușchi, organe interne, sânge; **Radon 222 și Thoron 220** în umori și țesut adipos.

### **Iradieră naturală/an/individ**

Comitetul Națiunilor Unite pentru Studiul Efectelor Radiațiilor Atomice (UNSCEAR) raportează valorile medii anuale pe glob și pe individ, pentru doza biologică (echivalentul dozei absorbite), determinate în laboratoare de profil, ultimul raport publicat fiind cel din 2010. În cadrul expunerii naturale totale de 2,5 mSv/an/individ, peste ½ revine radonului și produșilor de dezintegrare.

### **RADIOACTIVITATEA ARTIFICIALĂ**

Radioactivitatea artificială este **produsă în laborator** prin activarea unor nuclee stabile cu neutroni sau particule accelerate, prin reacții de fisiune sau de fuziune, obținându-se peste 1200 izotopi radioactivi artificiali.

**Poluarea radioactivă** înseamnă prezența materialelor radioactive artificiale în interiorul sau pe suprafața factorilor de mediu și a organismelor, cu **depășirea conținutului radioactiv natural și cu efecte negative** asupra omului și mediului.

### **Radioexpunerea medicală**

Este cea mai importantă sursă de iradiere artificială, după cea naturală, și care poate fi controlată de om.

#### **▪ Radiații ionizante folosite în medicină**

Distrugerea celulelor maligne constituie **efectul primar**, iar radiocancerizarea, **efectul secundar** al radiațiilor ionizante.

Radiațiile ionizante folosite în medicină sunt:

- Radiațiile X
  - Fascicule de electroni produse de aparate electrice
  - Alte tipuri de particule utilizate excepțional
  - Radiațiile gamma emise de radioelemente.
- 
- **Utilizarea în radiologie**
  - **Radiodiagnostic** cu radiații X (radioscopia și radiografia medicală)
  - **Radioterapia**
    - Roentgenterapie cu radiații X
    - Betaterapie cu particule beta
    - Terapie cu particule altele decât fotoni și electroni (protoni, neutroni)
    - Telecobaltoterapia, cu radiații emise de Cobalt 60
    - Curieterapie cu radiații beta și gamma.

- **Radiologie de intervenție** care permite evitarea actului chirurgical (montare de sonde vasculare sub control radiologic, ghidarea de material de puncție).
- **Utilizare în medicina nucleară**
  - Acte diagnostice
  - Acte terapeutice, antireumatismale, în afecțiuni tiroidiene.
- **Reducerea radioexpunerii medicale**
  - Recomandarea radiodiagnosticului și radioterapiei numai de către medic, în scris, dacă soluțiile neiradiante au fost epuizate, dacă beneficiul scontat întrece riscurile asumate de pacient, ținând seama de numărul și tipul iradierilor la care a fost expus pacientul anterior.
  - Renunțarea la examene inutile, prea frecvente.
  - Eliminarea tehnicilor depășite sau defectuoase.
  - Ameliorarea echipamentelor.
  - Formarea și perfecționarea personalului în radioprotecție.
  - Folosirea surselor de radiații nucleare pentru radiodiagnostic și radioterapie umană cu *aviz de necesitate și de procedură* elaborat de Ministerul Sănătății.
  - Efectuarea de radiodiagnostic și radioterapie numai în unități avizate în acest scop.

***Minimum de iradiere:***

- În radiodiagnostic
  - limitarea numărului examenelor
  - parametri optimi de lucru
  - protecția abdomenului cu șorțuri plumbate
  - optarea pentru radiografie, mai puțin iradiantă comparativ cu radiosopia: limitarea numărului de filme/examen; filme radiologice de mare sensibilitate; filme de dimensiune minimă necesară pentru mărirea organului investigat
  - pentru femei în perioada de procreere: examen în absența sarcinii; examen în primele 10 zile ale ciclului menstrual; excluderea examenului în primele trei luni de sarcină, riscul teratogen scăzând mult după luna a 4-a, dar fără ca nici o perioadă de sarcină să nu fie lipsită de riscuri pentru făt; se preferă examenul cu ultrasunete pentru diagnosticul și supravegherea sarcinii și pentru diagnostic în patologia asociată.
- În radioterapie
  - interzicerea radioterapiei la copii și tineri; dacă este singura posibilitate, numai pe bază de protocol scris care justifică opțiunea.
- În medicina nucleară
  - limitarea activităților
  - folosirea radioelementelor cu perioadă de dezintegrare scurtă și emițătoare de radiații gamma pure
  - activitate în unități avizate, cu protecție pentru populație conform normativelor; cu spații de spitalizare și izolare pentru pacienții tratați; cu sisteme autorizate de eliminare a deșeurilor radioactive
  - externarea pacienților numai după scăderea concentrației substanței radioactive la normele de radioprotecție
  - interzicerea experimentelor cu radiofarmaceutice pe omul sănătos și a investigărilor în masă.

**Iradieră profesională** a persoanelor din unități nucleare medicale, energetică nucleară, de cercetare, industriale, agricole.

**Iradieră populației prin produse de larg consum** ce conțin generatoare de radiații: televizoare, cadrane luminescente.

**Iradieră populației prin explozii nucleare** produse în atmosferă sau în subteran, pentru perfecționarea armelor nucleare și în scop pașnic (teste experimentale desfășurate în perioada 1952-1968; încetarea experimentelor după 1968, conform acordurilor internaționale); prin **deșeurii radioactive**; prin **accidente la centrale nucleare electrice în exploatare**.

În era nucleară, inaugurată cu prima explozie nucleară (iulie 1945, la New-Mexico -SUA), s-au produs o serie de accidente.

#### ▪ Politici actuale

Deoarece accidente la centralele nucleare pot să aibă loc indiferent de progresul tehnologic (centrala de la Cernobîl era mai actuală, comparativ cu Fukushima), **multe state ale lumii și-au manifestat aprobarea sau dezinteresul față de dezvoltarea industriei nucleare**. Astfel, unele state (Germania, Suedia, Spania) au limitat durata de viață a centralelor și au interzis construcția unor noi reactoare, altele (Austria, Grecia, Danemarca, Irlanda, Luxemburg, Italia, Portugalia) au decis să nu folosească energia nucleară.

În procesul de producție al energiei nucleare, **cele mai periculoase sunt deșeurile** care afectează mediul și sănătatea prin radioactivitate, scurgeri de apă acidă care mobilizează metalele grele, nori de praf. Cel mai periculos este combustibilul uzat cu un nivel de radioactivitate foarte ridicat.

**În vederea minimalizării impactului acestor deșeurii**, pot fi luate o serie de măsuri:

- depozitarea treptată a deșeurilor pe fundul oceanelor
- trimiterea deșeurilor în spațiu
- păstrarea în cadrul centralelor nucleare până li se va găsi o utilizare în viitor (soluția fiind utilizată în prezent).

În prezent, se discută în rândul specialiștilor și despre fitoremediere (decontaminarea cu marijuana). Procedul a fost recomandat pentru Fukushima de către administratorul general al Comisariatului Francez pentru Energie Atomică, primele experiențe fiind făcute în anul 1998 la Cernobîl, cu unele rezultate favorabile. Cu ajutorul acestei plante, s-a demonstrat că solurile pot fi restaurate grație rădăcinilor care absorb deșeurile de orice fel, și s-a constatat o purificare a perimetrului contaminat cu 80%.

### Efectele radiațiilor ionizante asupra organismului. Radiogenetica

#### Modul de acțiune al radiațiilor ionizante

**Teoria țintei** sau teoria acțiunii directe, explică moartea celulară prin acțiunea radiațiilor ionizante asupra unor porțiuni radiosensibile din celulă, numiți **centrii vitali**, un rol important revenind dozei și naturii radiației.

**Teoria radicalilor liberi** sau teoria acțiunii indirecte, indică **reacții primare cu apa** din organism, ionizând-o. Rezultă radicali radiolitici de tip hidroxil (HO) și hidroxiperoxidic (HO<sub>2</sub>) foarte activi care declanșează reacții secundare.

### **Relația doză-efect**

**Relația liniară doză-efect** constă în:

- absența unui prag, efectul apărând la orice expunere
- creșterea proporțională a intensității efectului biologic cu doza de iradiere
- cumul de doză și de efecte
- doză totală cumulată cu rol determinant
- timpul de iradiere indiferent
- lipsa de manifestare a factorilor de regenerare.

### **Radiosensibilitatea sub aspect morfologic și funcțional**

Din punct de vedere morfologic, cele mai sensibile țesuturi sunt cele cu **diferențiere biologică mică și viteză de diviziune mare**: țesutul hematoformator, țesutul genital, epiteliul gastrointestinal, țesutul embrionar, timusul, splina.

Din punct de vedere **funcțional**, radiosensibilitatea țesuturilor variază invers, raportat la aspectele morfologice. Astfel, țesutul nervos este cel mai radiosensibil.

### **Efectele biologice ale radiațiilor ionizante**

Efectele biologice rezultate în urma expunerii la radiații ionizante sunt de două tipuri:

- efecte precoce, obligatorii, expresia unui prag, cel mai adesea reversibile, cu gravitate dependentă de doză
- efecte cronice, cu probabilitatea apariției proporțională cu doza și a relației liniare doză-efect, cu evoluție lentă, aparent aleatorii, grave, cel mai frecvent nereversibile.

- **Efectele precoce** sunt efecte somatice interesând individul radioexpus.

**Radioexpunerea externă globală** la doze crescute, peste 1 Gy, timp de câteva minute până la câteva ore, duce la boala acută de iradiere caracterizată astfel:

**Faza prodromală** cu durată de câteva ore, caracterizată prin grețuri, vărsături, diaree, senzație de rău, oboseală.

**Faza de latență** în care persoana radioexpusă nu prezintă niciun simptom. Durata este dependentă de doză și de natura formei clinice ulterioare.

**Tabloul clinic** prezintă simptome aparținând sindroamelor cu manifestare în următoarea ordine: 1-2 Gy, reacție generală ușoară cu astenie, stare de rău, remisiune după 24 h; 2-4 Gy, reacție hematopoietică: limfocite <, leucocite <, trombocite <, anemie, remisiune după 4-6 luni; 4-6 Gy, reacție hematopoietică gravă = atingere severă a funcției medulare; 6-7 Gy, reacție gastrointestinală; 8-10 Gy, reacție pulmonară; peste 10 Gy, reacție cerebrală, deces în 14-36 h.

Boala acută de iradiere apare **numai în situații speciale**, accidentale, la persoane aflate în imediata apropiere a accidentului nuclear (bombardamentele de la Hiroshima și Nagasaki; lichidatorii de la Cernobîl).

**Radioexpunerea externă localizată** determină manifestări patologice în funcție de regiunea expusă:

**Leziunile cutanate** sunt cele mai frecvente leziuni și apar la nivelul mâinilor și degetelor sub formă de eritem precoce, la câteva ore după expunere.

Manifestările cutanate depind de doză:

- căderea temporară a părului la doză de 4 Gy; epilarea definitivă la 16-20 Gy
- radiodermită eritematoasă, la expuneri la doze de 6-12 Gy
- radiodermită exsudativă
- radiodermită necrozantă, la doze peste 25 Gy.

**Leziunile oculare** apar la expuneri la doze de 2 Gy și la nivelul componentei cu cea mai mare radiosensibilitate, **cristalinul**: opacifiere rapid progresivă; conjunctivită acută de gravitate moderată.

**Leziunile gonadelor** se datoresc radiosensibilității celulelor germinale.

- La bărbat: spermatogoniile sunt cele mai radiosensibile; sterilitate tranzitorie începând cu doza de 0,3 Gy, și definitivă, începând cu 5 Gy; celulele endocrine puțin radiosensibile, rămân îndemne, fără castrare.
- La femeie: sterilitate prin distrugerea ovocitelor și tulburări ale ciclului menstrual prin distrugerea celulelor endocrine; castrare la 6-8 Gy.

### **Efecte asupra dezvoltării embrionului uman**

De importanță majoră pentru embriogeneza sunt **primele 6-7 săptămâni** de gestație. Dacă în această perioadă are loc o radioexpunere chiar redusă, sub 0,1 Gy, pot apare malformații congenitale la nivelul creierului (anencefalie, hidrocefalie, atrofie cerebrală, arierație mintală), ochiului (anoftalmie, microoftalmie, retinoblastom), scheletului (nanism, craniostenoză, spina bifida, malformații ale extremităților). Cea mai mare radiosensibilitate o au **neuroblastele**, în toată perioada de gestație și în primele luni după naștere.

În stadiul fetal, radiosensibilitatea este mai scăzută.

În caz de radioexpunere inoportună, întreruperea de sarcină este legiferată în funcție de doza de expunere și vârsta gestației.

#### ▪ **Efectele tardive**

Sunt efecte stocastice (probabile), **somatice**, interesând individul expus, și **genetice**, interesând descendenții. Ele sunt asociate unor expuneri la doze mici și pe perioade îndelungate de timp. Datele existente se bazează pe studii epidemiologice la grupuri expuse radioactivității naturale crescute, la grupuri expuse profesional, pe pacienții supuși iradierii medicale, pe supraviețuitori ai bombardamentelor din Japonia, la populația ex-URSS.

**Efectele stocastice somatice** se datoresc unor doze foarte diferite, apar la intervale variabile de la luni la ani, cu interesarea tuturor țesuturilor și organelor.

**Scăderea duratei de viață.**

### **Carcinogeneza**

- Cancerele cutanate, în caz de radioexpunere locală importantă la raze X sau gamma, cu doze de zeci de Gy, după o perioadă de latență de 12-50 ani.
- Tumorile osoase datorate Radiului 228, cu o latență medie de 15 ani.
- Leucemiile pot fi induse de radiațiile ionizante, exceptând leucemia cronică limfoidă.
- Cancerele tiroidiene au cunoscut o creștere a frecvenței la supraviețuitorii de la Hiroshima și Nagasaki, la copiii din Belarus după accidentul de la Cernobîl, la subiecți radioexpuși în copilărie pentru hipertrofie timică.

- Tumorile pulmonare, au o frecvență crescută la mineri din minele de uraniu expuși la Radon 222.

**Cataracta**, cu debut la polul posterior al cristalinului, apare după radioexpunerea ochilor mai ales la neutroni, după o latență de 6 luni până la câțiva ani.

**Radiodermitele cronice** apar în cadrul radioterapiei.

**Efectele stocastice genetice**, rezultatul atingerii cromozomilor celulelor sexuale, interesează descendenții indivizilor radioexpuși.

### **Efectele radiațiilor ionizante asupra mediului ambiant. Radioecologia**

Într-un mediu ambiant radioactiv (radiactivitate naturală și radioactivitate artificială) are loc o concentrare a radioizotopilor în substanța vie și în mediu. În economia biosferei, radioizotopii cu durată lungă de viață sunt mai importanți, pe primul loc situându-se Stronțiu 90, cu perioada de înjumătățire de 28 de ani.

După **acumularea preferențială**, radioizotopii se clasifică astfel:

- **hidrotropi** (în apă): Brom, Sulf
- **echitropi** (în apă și substanță vie): Iod 131, Stronțiu 90
- **pedotropi** (în sol, măr, apă): Cesium 134, Cesium 137
- **biotropi** (în substanța vie): Fosfor 32, Cadmiu.

**Radioactivitatea mediului** este mai mare în:

- provincii uranice, cu zăcămintele naturale de Radium 226, Uranium 238, Thorium 232
- zone unde se depozitează pulberea și ploaia radioactivă
- zone unde au avut loc explozii atomice
- în jurul unor centrale electrice nucleare (În România, la Cernavodă, centrală electrolucleară de tip CANDU 700 PWR = canadian, cu uraniu natural și deuteriu ca accelerator. Este cel mai sigur sistem din lume. România este singura țară fostă comunistă în care este folosit).

**Efectul ecologic al radiației ionizante** poate fi primar sau secundar.

**Efectul primar** duce la eliminarea totală din ecosistem a speciilor cu slabă radiorezistență.

**Efectul secundar** determină transformări structurale. Efectele radiațiilor ionizante sunt parțial înlăturate prin **mecanisme de reparare**, cu păstrarea sistemului ecologic ca întreg, și mai eficiente când iradierea nu este importantă.

### **Radioprotecția**

**Normele de radioprotecție** au ca obiectiv **reducerea expunerii la radiații ionizante**

- la limite rațional posibile
- cu beneficii maxime
- cu minim de risc.

**Doza maximă admisă (DMA)** este doza primită de organism sau de un organ sau țesut, și care nu produce efecte somatice decelabile asupra organismului iradiat sau efecte genetice la descendenți.