

3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze

TOMÁŠ LINDA

Diplomová práce z preventivního lékařství na téma :

ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ
POZITIVNÍ A NEGATIVNÍ PŮSOBENÍ NA ZDRAVÍ, MOŽNOSTI OCHRANY

ELECTROMAGNETIC RADIATION
POSITIVE AND NEGATIVE HEALTH EFFECTS, POSSIBILITIES OF PROTECTION

OBSAH

Obsah.....	2
Souhrn.....	3
Úvod.....	3
1. CHARAKTERISTIKA ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ.....	4
1.1. Fyzikální podstata elektromagnetického záření	4
1.2. Rozdělení	7
1.3. Účinky	8
1.4. Ochrana	11
2. POJEDNÁNÍ O JEDNOTLIVÝCH ČÁSTECH SPEKTRA.....	12
2.1. Elektromagnetická pole a radiofrekvenční záření	12
2.2. Optické záření	16
2.2.1. Infračervené záření	16
2.2.2. Viditelné záření	17
2.2.3. Ultrafialové záření	19
2.2.4. Sluneční záření	21
2.3. Rentgenové a gama záření	24
Závěr.....	29
Zkratky	30
LITERATURA	31

SOUHRN

Elektromagnetické záření je procesem přenosu kvant energie elektromagnetického pole prostorem. Zahrnuje v pořadí dle rostoucí frekvence záření radiofrekvenční, infračervené, viditelné, ultrafialové, rentgenové a gama a je i složkou kosmického záření .

Elektromagnetická pole a část radiofrekvenčního záření mohou při překročení určitého prahu hustoty elektrických proudů jimi v těle indukovaných způsobit podráždění nervového systému až poruchy srdečního rytmu, u radiofrekvenčního záření je při překročení určitého prahu měrného výkonu absorbovaného ve tkáni možný i jejich ohřev, tyto prahy ale nebývají v běžných podmínkách překročeny. Infračervené záření a s ním světlo o nižších frekvencích mohou způsobit ohřev tkání s rizikem hlavně pro oko a kůži, případně i celkové přehřátí organismu . Světlo umožňuje vidění, spolu s ultrafialovým zářením je ale také možným spouštěčem fotochemických reakcí ohrožujících hlavně oko a kůži. Pozitivním efektem UV záření je tvorba vitamínu D₃, negativním je zvýšené riziko mutací a tím kožních nádorů . Rentgenové a gama záření je schopno ionizovat atomy a narušit strukturu mnoha molekul včetně DNA, vyvolat zánik buněk citlivých tkání a způsobit tím snížení imunity a plodnosti, narušit nitroděložní vývoj a také zvýšit riziko nádorů a dalších chorob. Přínosem je naopak jejich využití v diagnostice a terapii .

ÚVOD

Elektromagnetické záření je všudypřítomné, jeho výskyt stále roste s rozvojem techniky a množí se obavy z jeho zhoubného vlivu. Ne každý si uvědomuje, že fyzikální podstata např. světla i gama záření je stejná, že rozdíly v jejich účincích jsou dány odlišnou frekvencí . Cílem tohoto textu je přehled základních poznatků o celém spektru elektromagnetického záření a o jeho vlivu na člověka včetně vlivů kladných. Pro úplnost se zmiňuje i o statických elektrických a magnetických polích. Nejprve je stručně pojednáno o fyzikální podstatě elektromagnetického záření, o jeho vzniku, zdrojích, klasifikaci a hlavních možných účincích. V dalším oddíle jsou podrobněji popsány jednotlivé oblasti elektromagnetického záření v pořadí podle rostoucího kmitočtu .

1. CHARAKTERISTIKA ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ

1.1. FYZIKÁLNÍ PODSTATA ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ

Elektrické, magnetické a elektromagnetické pole

Pole je spolu s látkou základní formou hmoty. Vytváří se kolem všech částic a zprostředkuje interakce mezi nimi. Příkladem je pole gravitační a elektromagnetické.

Elektromagnetické pole, jehož prostřednictvím se uskutečňuje elektromagnetická interakce mezi elektricky nabitými částicemi, je tvořeno polem elektrickým a magnetickým.

Elektrické pole

Elektrické pole se nachází v okolí částic s elektrickým nábojem a elektricky nabitých těles. Podstatou elektrického náboje jsou elementární náboje nesené elektrony (záporný) a protony (kladný). Atom se shodným počtem protonů a elektronů je jako celek elektricky neutrální, ztrátou elektronu z atomu vzniká kation, přijetím elektronu anion. Elektricky nabitě těleso působí silou na tělesa s nábojem i na tělesa elektricky neutrální. Navzájem přitažlivě na sebe působí tělesa s opačným nábojem i těleso zelektrované a neutrální. Tělesa se souhlasným nábojem se odpuzují.

Veličiny (a jejich jednotky): Elektrický náboj Q (coulomb, C nebo ampérsekunda, A·s), elektrická síla F_e (newton, N), intenzita elektrického pole E (N/C nebo volt na metr, V/m), elektrický potenciál φ a rozdíl elektrických potenciálů, tedy elektrické napětí U (volt, V), elektrický proud I (ampér, A), permitivita ε ($C^2 \cdot m^{-2} \cdot N^{-1}$) a relativní permitivita prostředí, která srovnává příslušné prostředí s vakuem .

Elektrický náboj lze přemísťovat z povrchu tělesa na jiné těleso a lze jej přemísťovat také v jednom tělese. Vodič je látka, v níž se náboj přemísťuje snadno, nevodič (dielektrikum) je látka, v níž přemísťování náboje nenastává vůbec nebo jen v malé míře.

Polarizace dielektrika. Působením vnějšího elektrického pole dochází ke vzájemnému posunu mezi elektronovým obalem a jádrem atomů nevodiče, z atomů dielektrika se stávají elektrické dipóly. V dielektriku vzniklé elektrické pole má oproti vnějšímu poli menší intenzitu a také opačnou polaritu . Molekuly polárních dielektrik, např. vody, tvoří dipóly samovolně, tedy i bez působení vnějšího elektrického pole. Jejich dipóly jsou ale orientovány různým směrem a jejich náboj se navenek neprojeví. Většina buněk lidského těla má povahu dielektrika, náboje v nich jsou vázány na atomy a molekuly a nejsou volně pohyblivé. Působením vnějšího pole se dipóly polárních molekul orientují stejným směrem, v polárním dielektriku tak vzniká el. pole s menší intenzitou opačného směru, než má pole vnější. Pohybem nábojů v dielektriku vzniká tzv. posuvný proud, ve formě posuvného proudu je ve tkáních veden střídavý proud .

Elektrický proud (ampér, A) je uspořádaný pohyb částic nesoucích elektrický náboj vodičem, probíhající mezi místy s rozdílným elektrickým potenciálem. Nositeli elektrického náboje v kovech jsou volné elektrony, v roztocích elektrolytů (např. v tělních tekutinách) kladné a záporné ionty, v ionizovaném plynu volné elektrony a ionty (elektrický výboj v plynu).

Elektrický proud může být stálý v čase - stejnosměrný (konstantní) nebo střídavý . Kolem vodiče s časově proměnným střídavým proudem se vytváří proměnné elektrické pole.

V okolí vodiče s elektrickým proudem vzniká kromě elektrického pole též pole magnetické.

Magnetické pole

Magnetické pole, jehož vlastnosti se nemění s časem, je pole stacionární. Vytváří je proud částic či těleso s elektrickým nábojem pohybující se rovnoměrně přímočaře, nepohybující se vodič s konstantním elektrickým proudem, nepohybující se zmagnetované těleso.

Magnetické pole, jehož vlastnosti se s časem mění, je pole proměnné, nestacionární. Jeho zdrojem je proud částic či těleso s elektrickým nábojem pohybující se se zrychlením, časově proměnné elektrické pole, pohybující se vodič s elektrickým proudem, vodič s proměnným elektrickým proudem, pohybující se zmagnetované těleso.

Působení. Magnetické pole působí na pohybující se elektricky nabitá tělesa či částice a na zmagnetovaná tělesa. Proměnné magnetické pole vede ke vzniku elektrického pole.

Veličiny a jejich jednotky: Magnetická síla F_m (newton, N), magnetická indukce B (tesla, T), magnetický indukční tok Φ (weber, Wb). Permeabilita prostředí μ ($\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$) charakterizuje jeho magnetické vlastnosti, pro vakuum $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$, relativní permeabilita μ_r je poměr permeability látky k permeabilitě vakua, $\mu_r = \mu / \mu_0$, pro vakuum má hodnotu 1. Výsledný magnetický moment atomu se skládá z magnetických momentů jeho elektronů a magnetického momentu jádra. Na základě magnetických vlastností rozdělujeme látky na diamagnetické ($\mu_r \leq 1$), paramagnetické ($\mu_r > 1$) a feromagnetické ($\mu_r \gg 1$). Buňky a tkáň lidského těla mají hlavně diamagnetické vlastnosti. Působí-li na diamagnetickou látku vnější magnetické pole, indukují se v atomech a molekulách magnetické momenty opačného směru, než má vnější pole, diamagnetické látky tedy zeslabují toto vnější pole. Paramagnetické a hl. feromagnetické látky naopak zesilují vnější magnetické pole. Paramagnetické vlastnosti má díky přítomnosti kyslíkem neobsazeného železnatého kationtu deoxygenovaný hemoglobin, jeho detekci využívá vyšetřovací metoda zvaná funkční magnetická rezonance.

Elektromagnetické pole

Děje v nestacionárním magnetickém poli vždy vedou ke vzniku nestacionárního elektrického pole, obě nestacionární pole při nich společně tvoří pole elektromagnetické.

Nestacionární magnetické pole vytváří proměnné elektrické pole, proměnné elektrické pole vytváří proměnné pole magnetické (symetrie elektromagnetických dějů).

Elektromagnetické pole charakterizuje vektor intenzity elektrického pole a vektor intenzity pole magnetického.

Elektromagnetické záření

Záření (radiace) obecně je šíření energie prostorem, má podobu např. elektromagnetického vlnění nebo proudu hmotných částic (záření α , β). Elektromagnetické záření je proces neustálých přeměn elektrického a magnetického pole šířící se prostorem (vakuum nebo dielektrikem), je příkladem nestacionárního elektromagnetického pole. Je tvořeno dvěma neoddělitelnými složkami, elektrickou a magnetickou.

Energie tohoto záření je vysílána, šířena a pohlcována v podobě jednotlivých kvant energie, tzv. fotonů. Foton je elementární částice s nulovou klidovou hmotností, která zprostředkuje elektromagnetickou interakci. Šíří se prostorem rychlostí $v = 1 / \sqrt{\epsilon \mu}$, kde ϵ je permitivita a μ permeabilita prostředí. Ve vakuu a přibližně i ve vzduchu se fotony šíří rychlostí $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$ (po zaokrouhlení). Pro energii fotonu (energii kvanta záření) platí vztah $E = hf = hc / \lambda$, kde f je frekvence ($1/\text{s} = \text{Hz}$) ($f = c / \lambda$), λ vlnová délka (m) ($\lambda = c / f$), $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Planckova konstanta.

Elektromagnetické záření vykazuje tzv. korpuskulárně (částicově) vlnový dualismus. Má současně povahu vlnovou (nastává interference vlnění, ohyb..) i povahu částicovou (je to proud fotonů).

Vlnové vlastnosti elektromagnetického vlnění se uplatňují hlavně při nízkých kmitočtech (větších vlnových délkách), kvantové vlastnosti elektromagnetického záření se více projeví při vyšších frekvencích (menších vlnových délkách). Jinak řečeno, s rostoucí frekvencí (a energií fotonů) a klesající vlnovou délkou se vlnové vlastnosti zeslabují a kvantové se zvyrazňují, a naopak. Elektromagnetické záření s o mnoho řádů odlišným kmitočtem a vlnovou délkou má proto kvalitativně odlišné vlastnosti.

Z hlediska vlnových vlastností jde o postupnou elektromagnetickou vlnu, v níž jsou vektory intenzity magnetického pole H a intenzity elektrického pole E navzájem kolmé a zároveň jsou oba vektory kolmé ke směru šíření této vlny, elektromagnetické vlnění je tedy vlnění příčné. Velikost i směr vektorů E a H se mění a tyto změny přenášejí energii. Mezi velikostmi těchto vektorů platí vztah $H^2 = E^2 / 377$, kde 377 je impedance vakua (Ω).

Intenzita elektrického pole E

$E = F_e / Q$, kde F_e je elektrickým nábojem podmíněná elektrická síla a Q je velikost jiného elektrického náboje, na který tato síla působí. Jednotkou je newton na coulomb (N / C) nebo v praxi užívanější volt na metr (V / m). Druhá jednotka plyne ze vztahu $E = U / d$, kde d je vzdálenost dvou bodů mezi nimiž je napětí U . Intenzita elektrického pole klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje tohoto pole.

Magnetickou složku elektromagnetického pole charakterizuje intenzita magnetického pole H (A / m) nebo magnetická indukce B , která vyjadřuje silové působení magnetického pole na vodič s proudem. $B = F_m / I \cdot l \cdot \sin \alpha$, kde F_m je magnetická síla, I elektrický proud, l délka vodiče v magnetickém poli, α úhel mezi vodičem a magnetickými indukčními čarami. Jednotkou magnetické indukce je $N / A \cdot m = \text{tesla, T}$ (geomagnetické pole má magnetickou indukci asi 30 – 50 μT , při vyšetření nukleární magnetickou rezonancí se používá 0,5 - 2 T). Magnetická indukce klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje. Mezi zmíněnými veličinami platí vztah $B = \mu \cdot H$, kde μ je permeabilita prostředí (pro vzduch a pro diamagnetické látky lze zjednodušeně dosadit hodnotu platnou pro vakuum).

Hustota zářivého toku (výkonová hustota) S ($\text{watt na metr čtvereční, } W / m^2$) vyjadřuje velikost energie přenášené elektromagnetickou vlnou plochou $1m^2$ kolmou ke směru šíření této vlny. $S = E^2 / 377 = H^2 / 377 = (B / \mu)^2 \cdot 377 = E \cdot H = E \cdot B / \mu$. Sluneční záření při zemském povrchu má hustotu zářivého toku asi 1300 W / m^2 .

Vznik a zdroje elektromagnetického záření

Vznik: Vyšší energetický stav elektronových obalů nebo jader atomů (při vzniku záření γ) a uvolnění nadbytku energie v podobě kvant elektromagnetického záření, fotonů. Elektromagnetické vlnění vyzařují všechna tělesa s teplotou větší než absolutní nula. Jedná se o tzv. tepelné záření, vznikající v důsledku tepelného pohybu částic látky. Vnitřní energie tělesa se zmenší o energii uvolněného záření. Vyzařování a pohlcování tepelného záření je formou tepelné výměny mezi tělesy bez nutnosti jejich vzájemného kontaktu. Frekvence, a tedy i energie, tepelného záření se zvyšuje s rostoucí teplotou tělesa. Spektrum tohoto záření závisí také na chemickém složení látky, rozbor tohoto spektra lze využít ke spektrální analýze chemického složení látek a těles.

Významnými zdroji elektromagnetického záření jsou např. Slunce a další tělesa s vysokou teplotou, elektrické výboje (proudy) v ionizovaném plynu, elektromagnetické oscilátory a elektromagnetické dipóly vysílačů, radioaktivní přeměny jader. Zdroje jsou uvedeny v tabulce číslo 2 a v dalším textu .

V průběhu šíření elektromagnetického záření prostředím nastávají jevy jako je odraz od překážky podle zákona odrazu, interference odraženého vlnění s vlněním k překážce směřujícím a vznik stojatého vlnění, lom, ohyb, absorpce, polarizace vlnění. Tyto děje jsou ovlivněny vlastnostmi prostředí i překážek a také poměrem mezi vlnovou délkou záření a rozměry překážky.

1.2. ROZDĚLENÍ

Elektromagnetické záření se nejčastěji rozděluje podle vlnové délky, frekvence, zdrojů a účinku na neionizující (radiofrekvenční, infračervené, viditelné, ultrafialové) a ionizující (rentgenové, gama, elektromagnetická komponenta kosmického záření), jmenováno v pořadí podle stoupající frekvence a klesající vlnové délky. Přehledně je klasifikace spolu s příklady zdrojů uvedena v tabulce 2 . Hranice mezi jednotlivými částmi spektra jsou stanoveny uměle a jejich vymezení není jednotné, což platí zvláště pro rentgenové záření. Vlastnosti záření se s měnící se vlnovou délkou a kmitočtem proměňují plynule, vzdálené oblasti ale mají velmi rozdílné vlastnosti i z nich plynoucí účinky.

Pro úplnost jsou v tabulce 1 uvedena také statická (elektrická a magnetická) pole a s nimi od elektromagnetického záření neostře oddělená nízkofrekvenční elektromagnetická pole. Striktně vzato by měla statická pole mít frekvenci 0 Hz, ale bývají k nim řazena i proměnná pole s kmitočtem menším než 1 Hz .

Tab. 1: Statická a nízkofrekvenční elektrická a magnetická pole

f (Hz)	λ (m)	druh pole		příklad zdroje
0 < 1	- >3 · 10 ⁸	<u>STATICKÁ</u> elektrická a magnetická pole	elektrická magnetická	atmosférická elektrina, průmyslové provozy s elektrolýzou, geomagnetické pole
>1	<3 · 10 ⁸	časově <u>PROMĚNNÁ</u> elektrická a magnetická pole	velmi pomalu proměnná pole	vedení elektrické energie pro tramvaje a metro
50	6 · 10 ⁶		elektrické a magnetické pole s frekvencí elektrické energetické sítě 50Hz	rozvod elektrické energie a spotřebiče z něj napájené
50 – 10 ⁴			nízkofrekvenční pole s frekvencí 50Hz – 10 kHz	indukční pece, elektrické lokomotivy
>10 ⁴	< 3 · 10 ⁴		pole s frekvencí nad 10kHz	slaboproudá zařízení televizní obrazovky, vakuové počítačové monitory

Tab. 2 Spektrum elektromagnetického záření

f (Hz)	λ (m)	oblast záření	podoblast	příklad zdroje
N E I O N I Z U J Í C Í				
$3 \cdot 10^3$ 300GHz $= 3 \cdot 10^{11}$	10^5 1 mm $= 10^{-3}$	<u>RADIOFREKVENČNÍ</u>	velmi dlouhé vlny dlouhé vlny střední vlny krátké vlny velmi krátké vlny dm vlny cm a mm vlny	elektromagnetické oscilátory rozhlasové, televizní a jiné vysílače, mobilní telefony, průmyslové technologie, indukční ohřev, mikrovlnné trouby,
		<u>INFRAČERVENÉ</u>	C B A	všechna tělesa, Slunce,
$3,8 \cdot 10^{14}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$	<u>VIDITELNÉ</u> (světlo)	červené žluté zelené modré fialové	Slunce, rozžhavená tělesa, el. výboj v plynu laser
$7,5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-7}$	<u>ULTRAFIALOVÉ</u>	<u>A</u> <u>B</u> <u>C</u>	Slunce, el. výboj v plynu
> $1,7 \cdot 10^{15}$ I O N I Z U J Í C Í				
$3 \cdot 10^{15}$	10^{-7}	<u>RENTGENOVÉ</u>	měkké	rentgenka
$3 \cdot 10^{19}$	10^{-11}		tvrdé	
$1,5 \cdot 10^{19}$	$2 \cdot 10^{-11}$	<u>GAMA</u>		radioaktivní atomy
$3 \cdot 10^{21}$	10^{-13}			
		KOSMICKÉ (má elektromagnetickou složku)		kosmické záření a jeho interakce s atmosférou

1.3. ÚČINKY

Při interakci s tělesným povrchem nastává (může nastat) odraz vlnění, jeho vstup do těla, lom a rozptyl vlnění, absorpce a přeměna energie kvant na jiný druh energie . Hloubka pronikání do těla se velice liší u různých druhů polí a záření, rozhodně zde nejde jen o prostý nárůst či pokles pronikavosti s frekvencí, důležitý je také vztah mezi vlnovou délkou a vlastnostmi tkáňových a buněčných komponent (jejich rozměry, strukturou, chemickým složením).

Účinek závisí na záření, jeho frekvenci (energii fotonů), vlnové délce, intenzitě (amplitudě). Zejména u záření z umělých radiofrekvenčních zdrojů záleží na tvaru vlny, např. modulace amplitudová a frekvenční u rozhlasu, pulzní modulace u radaru a mobilních telefonů . Pulzní (přerušované, impulz - pauza – impulz...) záření, zejména při pravoúhlém tvaru pulzu , je označováno za biologicky účinnější než kontinuální (se stálou intenzitou) .

Záleží na době expozice , na vzdálenosti od zdroje. Na organismu, tedy na zasaženém místě, velikosti plochy vystavené záření, na citlivosti tkáně a jejím aktuálním stavu, na přítomnosti látek měnících citlivost k záření, na celkovém zdravotním stavu, na používání či nepoužívání ochranných prostředků .

Klasifikace hlavních možných účinků :

Tepelné účinky: ohřev tkání

Netepelné účinky: indukce elektrického proudu ve tkáních, fotorecepce, fotochemické účinky, změny ve struktuře molekul, ionizace atomů .

Rozdělení je do jisté míry umělé, neboť i elektrický proud ve tkáni může způsobit její ohřev.

Mechanismy účinku jednotlivých druhů polí a záření v pořadí od nejnižších kmitočtů :

STATICÁ POLE

Elektrické pole

Vnější elektrické pole mění polohu elektronu vůči jádru atomu a atomu se stává elektrický dipól se dvěma póly s nábojem opačné polarity.

Magnetické pole

Stacionární magnetické pole není tkáněmi téměř vůbec rušeno, ovlivňuje přímo pohybující se částice s elektrickým nábojem v tekutinách lidského těla (např. v krvi) a tím indukuje elektrické pole a proudy. Indukce elektrického proudu je možná také v případě, že je tělo vzhledem k magnetickému poli v pohybu . Ovlivněním molekul enzymů či koenzymů je možné i ovlivnění rychlosti enzymatických reakcí . Působením na energetické hladiny a orientaci spinu elektronů může vést k prodloužení životnosti volných radikálů .

Tzv. magnetofórzeza je možný pohyb buněk ve směru gradientu extrémně nehomogenního stacionárního pole. Uvádí se i eventuelní zpomalení proudění krve a vzestupu jejího tlaku ve velmi silných polích (magnetohydrodynamický efekt).

ELEKTROMAGNETICKÁ POLE A ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Indukce elektrického proudu ve tkáních vnějším elektromagnetickým polem. Nejcitlivější k těmto proudům je nervový systém, jeho stimulace při velkých proudových hustotách může vést k poruchám funkce mozku a poruchám srdečního rytmu. Proudů mohou být indukovány proměnnými poli a zářením o frekvencích do 10 MHz (10^7 Hz).

Nastává tzv. elektromagnetická indukce proměnného elektrického pole, vzniká napětí napříč membránami buněk a při prahové hodnotě napětí dojde ke stimulaci vzrušivých buněk .

Podmínkou vzniku indukovaného napětí je časová změna magnetického indukčního toku Φ ($\Phi = B \cdot S$, jednotkou je $T \cdot m^2 = \text{weber, Wb}$). Pro velikost indukovaného napětí platí vztah $U = - \Delta\Phi / \Delta t$, kde $\Delta\Phi$ je změna magnetického indukčního toku za čas Δt .

Napětím podmíněné elektrické proudy jsou hlavně v extracelulárním prostoru, mohou mít vliv na transport iontů působením na napěťově řízené iontové kanály v buněčné membráně.

Tepelný účinek . Nastává zrychlení tepelného pohybu molekul ve tkáni vlivem absorbované energie záření a tím i zvýšení teploty tkáně. Ohřev se týká hlavně povrchu těla a může být rizikem zejména pro oko, možné je i postižení kůže a celkové projevy hypertermie. Termální efekt má radiofrekvenční záření zhruba od kmitočtu 100 kHz (10^5 Hz) výše, nejvýraznější je u ve spektru navazujícího infračerveného záření a je také u světla nižších frekvencí .

Fotorecepce. Registrace fotonů viditelného záření fotoreceptory oční sítnice s následným vedením vzruchů a zpracováním zrakových informací, s ovlivněním biorytmů, endokrinního systému i afektivity.

Fotochemický účinek spočívá ve vyvolání chemických reakcí dodáním potřebné energie dopadajícími fotony. Může nastat již vlivem světelného záření na oční sítnici, nejvýraznější je ale u energeticky vydatnějšího ultrafialového záření, jež může více ohrozit i kůži. Kladným efektem UV záření je tvorba cholekalciferolu v epidermis .

Strukturální změny molekul může způsobit expozice fotonům vysokofrekvenční části ultrafialového záření (s rizikem hlavně pro kůži a pro oko) a zejména pak rentgenovému a gama záření. Jde např. o denuraci proteinů a narušení DNA (thyminové dimery vlivem UV, řetězcové zlomy od ionizujícího záření).

Ionizace nastane, pokud energie kvanta záření stačí k oddělení elektronu od neutrálního atomu a tím ke vzniku kanionu. Zachycením uvolněného elektronu jiným atomem vznikne aniont . Velikost energie nutné k ionizaci (ionizační energie) je různá pro atomy různých prvků . Ionizace nastává hlavně rentgenovým a γ zářením, na ionizaci navazuje tvorba tzv. volných radikálů s následným oxidativním poškozením buněčných struktur včetně DNA.

Mutace vzniklé zmíněnými mechanismy nemusí mít negativní dopad, neboť buňky jsou schopny většinu mutací rozpoznat a opravit. Na odstranění thyminových dimerů se podílí světlo modré barvy tím, že aktivuje potřebný reparační enzym. Oprava jednořetězcových zlomů je možná podle druhé (neporušené) šroubovice DNA .

Tab.3. Přehled účinků v pořadí, v jakém se objevují spolu se vzestupem frekvence .

Účinky	pozitivní účinky, význam, využití	možné negativní účinky	Druh pole či záření:
<u>indukované el. proudy</u>	pulzní magnetoterapie	poruchy funkce nervového systému, srdeční dysrytmie	proměnné s f do 10MHz
<u>tepelné</u>	diatermie, tepelná výměna, udržování tělesné teploty,	hypertermie, poškození kůže a oka , (úžeh)	radiofrekvenční s $f > 100\text{kHz}$, infračervené, sluneční, (světlo)
<u>fotorecepce</u>	vidění, biorytmy, nálada, fototerapie	oslnění, únava zraku,	světlo
<u>(foto) chemické reakce</u>	tvorba vitamínu D ₃ a přímá pigmentace v kůži	poškození oka a kůže	(světlo) ultrafialové
<u>změna struktury molekul</u>	germicidní lampy	denaturace proteinů , mutace, kancerogeneze, buněčná smrt, nemoc z ozáření...	UV
<u>ionizace</u>	aktinoterapie nádorů		$f > 1,7 \cdot 10^{15}$ (UV) rentgenové, gama, (kosmické)

1.4. OCHRANA

V případě umělých zdrojů elektromagnetických polí a záření je základem zvážení přínosů, rizik a finančních nákladů plynoucích z provozování zdroje a také proces testování a schvalování výrobků před jejich zavedením na trh . Povinnosti pro provozovatele zdrojů jsou uvedeny v § 35 zákona č. 258 / 2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví .

Jsou stanoveny hygienické limity (nejvyšší přípustné hodnoty) pro expozici osob. Cílem ochranných opatření je nepřekročení těchto limitů a tím snížení až vyloučení zdravotních rizik . Limity jsou určeny pro různé veličiny charakterizující různé druhy polí a záření a jejich působení a bývají stanoveny se značnou bezpečnostní rezervou .

Limity pro neionizující záření stanovuje Nařízení vlády č. 480 / 2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením pro interval 0 Hz až $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz , pro kmitočty do 300 GHz toto nařízení přejímá expoziční limity od ICNIRP (International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection). Základem legislativy pro ionizující záření je „Atomový zákon“ č. 18 / 1997 Sb.

Důležité je posouzení zdravotního stavu osob a při zvýšeném riziku jejich zvýšená ochrana nebo dočasné až trvalé vyloučení z expozice, důležitá je například ochrana těhotných žen před ionizujícím zářením či respektování zvýšené fotosenzitivity vlivem užívaných farmak .

Organizační opatření.

Ochrana vzdáleností vychází ze skutečnosti, že výkonová hustota záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Ochranu vzdáleností tedy uskutečníme přiměřeným umístěním zdrojů a omezením přístupu osob do blízkosti zdroje, například antény vysílače.

Ochrana časem spočívá ve zkrácení doby pobytu osob v místech s velkou intenzitou záření, čímž se docílí snížení doby expozice. Ochranu časem je možné docílit střídáním pracovišť nebo také omezením doby provozu zdroje.

Technická opatření

Technická opatření lze provést na úrovni zdroje úpravou jeho charakteristik a také pomocí ochrany stíněním , např. Faradayova klec odstiňuje vysokofrekvenční elektromagnetická pole, materiály s vysokým protonovým číslem záření γ . Stínění je možné v prostoru mezi zdrojem a okolím a přímo v ohrožených prostorách, stínění stěn, dveří, oken apod.

Individuální ochranné prostředky

Ochranné brýle, oděv, ochranné krémy proti UV záření a další prostředky dle druhu záření .

Nezbytnou součástí principů ochrany je také kontrola dodržování nejvyšších přípustných hodnot pro expozici a dalších opatření pracovníky hygienické služby.

2. POJEDNÁNÍ O JEDNOTLIVÝCH ČÁSTECH SPEKTRA

Oblasti elektromagnetického pole a záření v pořadí od nejnižších frekvencí k nejvyšším.

2.1. ELEKTROMAGNETICKÁ POLE A RADIOFREKVENČNÍ ZÁŘENÍ

STATICÁ ELEKTRICKÁ A MAGNETICKÁ POLE (s frekvencí od 0 Hz do méně než 1 Hz)

ELEKTRICKÉ pole

Zdroje

Přírodní: Atmosférická elektřina..

Umělé: Různá zeledovaná tělesa vlivem tření, přenesením el. náboje, elektrostatickou indukci...

Rizika: Možné následky jiskrového elektrického výboje ve vzduchu ionizovaném silným elektrostatickým polem. Zasažení bleskem. Požár nebo exploze v hořlavém nebo ve výbušném prostředí .

Využití : Elektrostatické odlučovače popílku, průmyslové postupy (nanášení barviv..)

Ochrana: Uzemnění, bleskosvody a další technická opatření .

MAGNETICKÉ pole

Zdroje

Přírodní: Magnetické pole Země, nerost magnetit...

Umělé: Permanentní magnety, vodiče a elektromagnety s konstantním proudem. Průmyslové provozy s elektrolýzou, magnetickou defektoskopií, výrobou a montáží permanentních magnetů .

Geomagnetické pole lze považovat za stacionární, i když v malé míře kolísá, některá kolísání jsou pravidelná (např. při střídání dne a noci), jiná nepravidelná, fluktuace. Fluktuace je však vzhledem k intenzitě geomagnetického pole zanedbatelná, i největší fluktuace (magnetické bouře) mění intenzitu magnetického pole Země většinou jen o zlomky procent . Fluktuace souvisí s aktivitou Slunce, se slunečními erupcemi a se vznikem tzv. slunečního větru, který mění elektrické vlastnosti ionosféry v atmosféře Země. Magnetická indukce geomagnetického pole v naší zeměpisné šířce je asi 50 μ T.

Negativní vliv fluktuací geomagnetického pole na zdraví člověka není prokázán. Současně však bývá zemské magnetické pole označováno za jednoho ze zevních synchronizátorů endogenních biorytmů .

Možné negativní působení silnějších polí bylo zmíněno v obecné části textu .

Využití magnetického pole: Vyšetření pomocí nukleární magnetické rezonance (NMR) používá kombinaci silného stacionárního magnetického a pulzního elektromagnetického pole .

PROMĚNNÁ ELEKTROMAGNETICKÁ POLE A RADIOFREKVENČNÍ ZÁŘENÍ s frekvencí do 300 GHz ($3 \cdot 10^{11}$ Hz) a vlnovou délkou nad 1mm (10^{-3} m)

Přírodní zdroje:

Sluneční aktivitou mohou v zemské atmosféře vznikat vlny o frekvencích 10 – 50 kHz. Radiovlny ve formě pulzních vln se vyskytují na čele studených front a za bouří . Existují i rádiové zdroje z kosmu .

Umělé zdroje:

Rozvody elektrické energie, transformátory, elektricky poháněné stroje či přístroje. Průmyslové technologické procesy, indukční ohřev. Elektromagnetické oscilátory (zdroje) a elektromagnetické dipóly (antény vysílačů), vysílače užívané v radiotelekomunikaci k bezdrátovému přenosu informací a k radiolokaci, generátory mikrovln. Maser (laser tvořící mikrovlny).

ÚČINKY

Zdravotní rizika mohou plynout ze dvou zdrojů : z indukce elektrického proudu ve tkáni (netepelný účinek) a / nebo z jejího ohřevu (tepelný účinek).

Negativní vliv na člověka však nehrozí při jakékoliv expozici záření z tohoto frekvenčního intervalu, ale až při překročení určitého známého prahu pro vyvolání škodlivých účinků.

Princip ochrany: nepřipustit překonání prahu .

1.) Pole s frekvencí do 100 kHz (10^5 Hz) a s vlnovou délkou nad 3 km může působit zejména prostřednictvím **indukce el. proudů**. Při překročení určité prahové hodnoty hustoty indukovaných proudů (A / m^2) může dojít k negativnímu ovlivnění nervového systému. Tento efekt nastává téměř okamžitě, bez zpoždění, proto nesmí dojít ani ke krátkodobému překonání prahu . Vliv na nervový systém se dostaví při mnohem nižších hodnotách proudu, než jsou hodnoty potřebné pro významný ohřev tkáně.

Ve tkáních se proud šíří cestou nejmenšího odporu, tedy podél obalů nervových vláken, podél cév a mezibuněčným prostorem .

Možné účinky proudu s frekvencí 4 Hz – 1 kHz při různých proudových hustotách:

0,01 – 0,1 A / m^2 : Vizuální efekty (magnetofosfeny), možnost ovlivnění nervového systému, (snadnější hojení zlomenin?)

0,1 – 1 : Změny v dráždivosti nervového systému, práh stimulace – možná zdravotní rizika.

> 1 : Nebezpečí extrasystol a fibrilace srdečních komor – nesporná zdravotní rizika .

Při frekvenci > 1 kHz účinnost indukovaného proudu na nervový systém prudce klesá .

2.) **Termální účinky** se začínají více uplatňovat u frekvencí nad 100 kHz (10^5 Hz), tedy při vlnové délce pod 3 km . S rostoucí frekvencí záření se dále zvyrazňují, zatímco **indukované proudy** postupně začínají ztrácet na významu . V intervalu do 10 MHz (10^7 Hz) (30 m) se hodnotí expozice podle tepelného i netepelného účinku . Netepelný účinek se opět hodnotí podle hustoty indukovaných proudů .

Tepelný účinek je úměrný té části dopadajícího zářivého toku, která je absorbována v těle.

Hodnotí se podle měrného absorbovaného výkonu (SAR, specific absorption rate), to jest výkonu absorbovaného v 1 kg lidského těla , jednotkou je proto W / kg .

Na rozdíl od indukce proudů se termální účinek rozvíjí pozvolna, tělesná teplota stoupá asi prvních 6 minut a pak se (i přes pokračující expozici) dále nezvyšuje.

3.) Při frekvencích nad 10 MHz (10^7 Hz) , při $\lambda < 30$ m zcela převažují účinky tepelné, jež jsou charakteristické pro záření „zbytku“ této části spektra i pro navazující infračervené záření .

a) V intervalu 10 MHz - 10 GHz (10^7 - 10^{10} Hz), tedy 30 m – 3 cm, se expozice hodnotí rovněž podle měrného absorbovaného výkonu, i pro vzestup tělesné teploty platí totéž co již bylo uvedeno - nastává během 6 min, teplota se pak ustálí na vyšší hodnotě a dále nestoupá .

V tomto intervalu vysílá např. VKV rozhlas, televize a mobilní telefony, dochází zde tedy k velkému nárůstu počtu zdrojů .

Expozice obyvatel záření ze sítě základových stanic (antén) pro mobilní telefony je stejná nebo menší než od televizních a rozhlasových vysílačů, u kterých se za několik desetiletí jejich provozu neprokázal negativní vliv na zdraví . Intenzita záření je nejvyšší v blízkosti vysílačů, přístup k nim je však veřejnosti znemožněn .

Není prokázáno ani žádné narušení zdraví zářením vysílaným z mobilního telefonu. Mobilní telefon je zvláštní tím, že nevysílá spojitě, ale v krátkých pulzech nesoucích kódovaný hlas, mezi pulzy je jeho vysílač vypnut (TV a rozhlasové vysílání je kontinuální). Zářivý výkon mobilního telefonu je velmi nízký, ohřátí hlavy je nepatrné .

b) Radiofrekvenční záření v intervalu 10 - 300 GHz (10^{10} – $3 \cdot 10^{11}$ Hz), (3 cm - 1 mm), který je využíván např. radary, se vyznačuje zvláštními rysy. Jeho frekvence i vlastnosti se již blíží infračervenému záření. Pohlcuje se v tenké vrstvě tělesného povrchu a čas potřebný k ustálení zvýšené teploty se s rostoucí frekvencí záření zkracuje od 6 min (při 10 GHz) až po 10 s (při 300 GHz). Expozice tomuto záření se hodnotí podle hustoty zářivého toku (W / m^2). Ohřev povrchu těla může ohrozit nejspíše oko.

OCHRANA

Nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot pro expozici osob. Tyto limity jsou stanoveny pro hustotu indukovaných proudů, měrný absorbovaný výkon a u posledního zmíněného intervalu pro hustotu zářivého toku . Nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance i pro ostatní osoby (většinou 5 x nižší) jsou hluboko pod prahem rizika pro zdraví .

Škodlivé účinky dlouhodobě působících velmi slabých poli ve frekvenčním intervalu 0 Hz – 300 GHz nejsou prokázány. Existence tzv. elektromagnetické hypersenzitivity u osob, které přisuzují elektromagnetickým polím vinu za své potíže, je sporná a zřejmě se jedná spíše o symptomy psychosomatické .

Využití :

Nukleární magnetická rezonance. Pulzní magnetoterapie. Diatermie (vazodilatace a zlepšení trofiky tkáně, urychlení resorpce výpotků, analgézie, spasmolytický účinek na hladké svaly) např. u chronických revmatologických chorob. Mikrovlnné trouby (absorpce molekulami vody a následný ohřev). Hypertermická terapie nádorů (kombinovaná s radioterapií).

Poznámka

I při dodržení hygienických limitů pro expozici osob nelze vyloučit možnost ovlivnění implantovaných elektronických přístrojů, jako jsou například kardiostimulátory.

Tab. 4. Přehled radiofrekvenčního záření

f (Hz)	λ (m)	oblast záření	možné účinky	zdroje a využití
$3 \cdot 10^3$ $3 \cdot 10^4$	10^5 10^4	velmi dlouhé vlny, VDV	<u>indukované el. proudy</u>	geofyzikální průzkum, speciální komunikace,
$3 \cdot 10^5$	10^3	dlouhé (kilometrové) vlny, DV	indukované el. proudy <u>tepelné</u> (od asi 3km, tedy asi 100kHz)	DV rozhlas
$3 \cdot 10^6$	10^2	střední vlny, SV	indukované el. proudy tepelné	Rozhlas SV, radionavigační a amatérské vysílače. Indukční ohřevy, obloukové svářečky, zařízení k rafinaci polovodičových materiálů.
$3 \cdot 10^7$	10	krátké vlny, KV	tepelné, indukované el. proudy (asi do 30m, 10MHz)	Rozhlas KV, amatérské vysílače. Zařízení pro klížení a sušení dřeva, vysokofrekvenční ohřev, diatermie
$3 \cdot 10^8$	1	velmi krátké (metrové) vlny, VKV	tepelné	Rozhlas VKV (FM), vysílače policejní, hasičské, záchranné služby. Dielektrický ohřev,
$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	decimetrové (ultrakrátké) vlny	tepelné	Televizní vysílání, mobilní telefony, další vysílače. Diatermie
$3 \cdot 10^{10}$	10^{-2}	centimetrové vlny	tepelné	Družicové spoje, radary. Mikrovlnné trouby
$3 \cdot 10^{11}$	10^{-3} m	= 1 mm	hranice s <u>infračerveným</u> zářením	

(300GHz)

Poznámka k rozdělení: kromě zatím uvedených se lze setkat ještě s těmito pojmy pro oblasti této části spektra záření, vymezení jejich intervalů ale není zcela jednotné.

Nízkofrekvenční záření (nf): $3 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^4$ Hz

Vysokofrekvenční záření (vf): $3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^8$ Hz

Velmi vysoké frekvence (v vf): $3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{11}$ Hz

Rádiové vlny : radiofrekvenční záření o kmitočtu do $3 \cdot 10^8$ Hz (nebo do $3 \cdot 10^9$ Hz), oblast rádiových vln tedy přibližně odpovídá vf .

Mikrovlny: radiofrekvenční záření s frekvencí nad $3 \cdot 10^8$ Hz (nebo nad $3 \cdot 10^9$ Hz), pásmo mikrovln se tedy zhruba kryje s vvf .

2.2. OPTICKÉ ZÁŘENÍ (INFRAČERVENÉ, VIDITELNÉ, ULTRAFIALOVÉ)

Optické záření zahrnuje části spektra mezi radiofrekvenčním a rentgenovým zářením, leží v intervalu $3 \cdot 10^{11}$ až $3 \cdot 10^{15}$ Hz (n. $1,7 \cdot 10^{15}$), 10^{-3} až 10^{-7} m . Patří sem infračervené (IR), viditelné a ultrafialové (UV) záření . Pro optické záření platí zákony optiky.

Přehled účinků optického záření.

1.) Přejít mezi radiofrekvenční a infračervenou oblastí není spojen s žádným zlomem ve vlastnostech záření, jediným rizikem pro zdraví zůstává ohřev tkáně a jeho důsledek. Tyto **tepelné účinky** jsou typické zejména pro infračervené záření a také pro světlo s nižší frekvencí .

2.) U viditelného záření se navíc začíná uplatňovat aktivace zrakových receptorů oční sítnice umožňující **vidění** a také potenciálně rizikový **účinek fotochemický** , k němuž je rovněž nejcitlivější (k registraci fotonů přizpůsobená) sítnice oka. Míra fotochemického působení dále roste se stoupající frekvencí (a tedy i energií kvant) záření a nejvíce je proto vyjádřena u ultrafialového záření.

3.) V oblasti UV navíc nastupuje riziko **narušení struktury molekul** , opět stoupající s frekvencí záření.

4.) Frekvence $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz , náležící ještě konci UV spektra, je hranicí mezi (zatím popisovaným) neionizujícím zářením a zářením ionizujícím, od této hranice nastupuje možnost ionizace, oddělení elektronu od neutrálního atomu .

Pojednání o jednotlivých oblastech optického záření.

2.2.1. INFRAČERVENÉ záření , IR ($3 \cdot 10^{11} - 3,8 \cdot 10^{14}$ Hz) ($10^{-3} - 7,8 \cdot 10^{-7}$ m)

(„horní“ hranice intervalu je uváděna různě v důsledku různého vymezení světla)

Zdroje

Zdrojem jsou všechna tělesa včetně člověka. Sálání infračerveného záření je hlavním mechanismem výdeje tepla z lidského těla a má tedy význam pro udržování tělesné teploty, nadměrný výdej tepla však může vést až k podchlazení (hypotermii).

Frekvence a energie tepelného záření stoupá s růstem teploty tělesa, nejvydatnějšími zdroji jsou proto tělesa s vysokou teplotou včetně Slunce (IR tvoří 45 % slunečního záření) či roztaveného skla či kovu v průmyslu . Frekvence záření zde stoupá natolik, že je emitováno i záření viditelné (čehož se využívá např. u žárovky) a ultrafialové (ze Slunce).

Umělým zdrojem je solux a také některé lasery.

Rozdělení, vlastnosti (a možná rizika) : Infračervené záření, zaujímající široký interval elektromagnetického spektra, lze rozdělit na tři podoblasti.

IRC (1 000 000 - 3000 nm) , dlouhovlnné pásmo, je nejbližší k radiofrekvenčnímu záření. Je pohlcováno sklem a vodou . Absorbuje se v povrchu těla (možnost popálení kůže nebo rohovky).

IRB (3000 - 1400 nm), střední pásmo IR . Je o něco pronikavější, je pohlcováno vodou, rovněž se absorbuje zejména povrchem těla (možnost popálení kůže nebo oka), (katarakta?).

IRA (1400 - 780 nm), krátkovlnná část, hraničí s viditelným zářením červené barvy. Zdrojem je hl. Slunce. Je nejpronikavější, proniká do podkoží (popálení, přehřátí) a v oku (katarakta) k sítnici (popálení sítnice) stejnou cestou jako světlo, část sítnicí prochází a pohltí se až v hlubších vrstvách.

Účinky, rizika,

Zvýšení teploty tělesného povrchu, je-li výrazné, je rizikem hlavně pro zrakový orgán a kůži. Na kůži se dostavuje pocit tepla, dochází k vasodilataci (možnost poklesu krevního tlaku), k pocení, ke vzniku erytému, může se dostavit bolest, může dojít k poškození molekul a buněčných struktur teplem až k nekróze buněk . Dlouhodobá nebo častá expozice (např. u sklářů a hutníků) zřejmě zvyšuje riziko šedého zákalu čočky (žárová katarakta). Krátkovlnná část IR proniká až k sítnici a může ji poškodit teplem. IRA proniká také do podkoží, kromě lokálního působení je možné i celkové přehřátí organismu (hypertermie) a jeho důsledky. Infračervená složka slunečního záření se významně podílí na vzniku úžehu (insolace) při vystavení hlavy a šíje Slunci .

Význam: Zprostředkování bezkontaktní tepelné výměny a tím i podíl na udržování stálé tělesné teploty.

Využití:

Zvýšení prokrvení kůže, podpora vstřebávání exsudátu, analgetický a spasmolytický účinek . Bezkontaktní termografie. Optické soustavy pro orientaci ve tmě (infračervený dalekohled, infralokátor – IR proniká např. mlhou či znečištěným vzduchem lépe než světlo). Vytápění (infrazářič), laser .

Ochrana : Zabránění nadměrné expozici, oděv, ochrana zraku brýlemi. Dostatek tekutin, fungující termoregulace organismu, dobrá funkce srdce a celkově dobrý zdravotní stav.

2.2.2. VIDITELNÉ ZÁŘENÍ, SVĚTLO ($3,8 \cdot 10^{14}$ - $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz) ($7,8 \cdot 10^{-7}$ - $4 \cdot 10^{-7}$ m)

Úzká oblast spektra, na níž je citlivá sítnice lidského oka. Nachází se mezi infračerveným a ultrafialovým zářením, hranice viditelného záření nejsou vymezeny jednotně, různí lidé mají různou citlivost sítnice.

Zdroje

Přírodní: Slunce (světlo tvoří 50 % slunečního záření) a další hvězdy, rozžhavená tělesa, elektrický výboj v ionizovaném plynu (blesk, koróna), plamen, někteří živočichové. Umělé: Plamen, rozžhavená tělesa (včetně vlákná žárovky), výboj v plynu a luminiscence (výbojky plněné plynem nebo parami kovu, svařování elektrickým obloukem), laser.

Fotometrické veličiny a jejich jednotky : světelný tok (lumen, lm), svítivost (kandela, cd), osvětlení (lux, lx).

Dělení: Podle rostoucí frekvence a účinku na oko se rozlišuje světlo pěti barev, (monochromatické světlo získáme rozkladem bílého světla optickým hranolem) :

Červené, sousedící s infračervenou oblastí, má nejmenší úhel lomu, použití: výstražný signál.
Žluté
Zelené
Modré,
Fialové, sousedící s ultrafialovým zářením, láme se pod největším úhlem.

Kombinací těchto barev v určitém poměru vzniká světlo bílé (bezbarvé). Barva denního světla se mění v průběhu dne. Oko je nejcitlivější na žlutozelené světlo s vlnovou délkou kolem 550 nm .

Účinky, význam, rizika

Tepelný (fototermický) účinek zejména červeného světla se podílí spolu s IR na celkovém tepelném účinku záření Slunce nebo jiných žhavých těles.

Vidění. Zrakem vnímáme dvě kategorie objektů – zdroje světla a tělesa světlo odrážející. Fotorecepce je zajištěna fotosenzitivními sloučeninami tyčinek a čípků v oční sítnici, následné vedení optickou dráhou a zpracování zrakových informací mozkovou kůrou je nástrojem poznávání světa a je důležité i pro postnatální vývoj mozku.

Biorytmy. Díky napojení kolaterál zrakové dráhy na hypothalamus dochází k synchronizaci endogenního cirkadiálního rytmu (asi 25 h) se zevním čtyřadvacetihodinovým světelným cyklem střídání dne a noci. Je ovlivněn cyklus spánek – bdění, endokrinní systém (rytmická uvolňování hypothalamických hormonů a její vliv na žlázy s vnitřní sekrecí, útlum tvorby melatoninu v epifyze světlem, menstruační cyklus), psychika (sezónní afektivní porucha při zkracování doby denního světla).

Negativní účinky: únava zraku, snížená zraková ostrost, oslnění jasně, oslnění kontrastem, překrvení a podráždění spojivek, bolest hlavy, možné narušení spánku světlem v nevhodný čas.

Fotochemický účinek. Absorpce kvant energie světla (hl. modrého) může spustit chemickou reakci, která je rizikem zejména pro sítnici. Na sítnici se však může projevit kvantově již červené světlo s vlnovou délkou 760 nm.

Stavy se zvýšenou citlivostí na světlo.

Fotosenzibilizace: Přítomnost fotodynamicky aktivní látky v kůži, excitace této látky energií světelného záření a spuštění fotooxidačních procesů . Fotosenzibilizátory jsou např. porfyriny při některých typech porfyrií, látky získané kontaktem s rostlinami, některé léky. Fotoalergie: Podpora aktivace alergenu světlem a následná alergická reakce.

Využití:

Fototerapie sezónní afektivní poruchy, zkouší se u dalších neuropsychických chorob. Léčba novorozenecké žloutenky (využívající modrozeleného světla, které urychluje odbourávání nekonjugovaného bilirubinu). Fotometrické metody pro určování koncentrace látek . Mnohočetné využití mají lasery.

Ochrana:

nehledět přímo do zdroje světla a na objekty silně světlo odrážející, zrakový odpočinek, brýle.

2.2.3. ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ , UV ($7,5 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{15}$ Hz) ($4 \cdot 10^{-7}$ - 10^{-7} m)

Úzká oblast spektra mezi světlem a rentgenovým zářením, s ne zcela jednotně vymezenou hranicí .

Zdroje

Přírodní: Tělesa s velmi vysokou teplotou, např. Slunce (sluneční záření při zemském povrchu obsahuje 5% UV)

Umělé: Elektrický výboj v plynu (svařování elektrickým obloukem, rtuťová výbojka), laser.

Dělení a vlastnosti: Podle vlnové délky, účinků a zdrojů se vyčleňují tři až čtyři podoblasti .

UVA (400 - 315 nm), „černé světlo“, sousedí s fialovým světlem. Zdrojem je hlavně Slunce. Nejlépe proniká do kůže, 40 % až do šikarý, podporuje pigmentaci kůže. Proniká rohovkou do oka, pohlcuje se čočkou (katarakta?) a nitrooční tekutinou, ale dlouhovlnná složka zčásti prochází až k sítnici (snížení zrakové ostrosti).

UVB (315 – 280 nm), erytémové pásmo. Pochází hlavně ze Slunce. Do kůže proniká hůře, do šikarý projde nejvýše 15 %, stimuluje pigmentaci a tvorbu vitamínu D₃, (solární dermatitis), (mutace). Prochází rohovkou (keratitis?), je pohlceno nitrooční tekutinou a čočkou (katarakta).

UVC (280 - 200 nebo 100 nm), baktericidní či germicidní pásmo, je hlavně z umělých zdrojů (ze slunečního záření je odstraněno ozónem v atmosféře). Je nejméně pronikavé, absorbuje se zcela v epidermis (proteiny a nukleovými kyselinami - riziko mutací) (erytém) i v povrchu oka (konjunktivitis, keratitis).

Někdy se uvádí ještě UVD (100 - 10 nm), vakuové, sousedící s rentgenovým zářením, z umělých zdrojů.

Účinky, význam, rizika

(Foto)chemický účinek UV je kvůli vyšší energii fotonů výraznější než u světla, podílí se na vzniku solární dermatitidy, poškození sítnice oka a asi i na šedém zákalu čočky . Pozitivním efektem je tvorba cholekalciferolu v kůži a v jistém smyslu i pigmentace epidermis, chráníci hlavně před pronikáním UVA, (ale také před tvorbou cholekalciferolu).

Strukturální změny molekul působí nejvíce UVC, jde o denaturaci bílkovin, porušení DNA tvorbou pyrimidinových (hl. thyminových) dimerů a vyšší riziko kancerogeneze.

Postižení kůže (solární dermatitis, aktinická elastóza, kožní nádory) a zrakového orgánu (konjunktivitis, keratitis, katarakta, postižení retiny) jsou zmíněna u rozdělení pásem UV a v textu věnovaném slunečnímu záření .

Stavy se zvýšenou citlivostí kůže k UV : Malé množství melaninu, albinismus, xeroderma pigmentosum, systémový lupus erythematosus, porfyrie, užívání některých léků .

Ionizace atomů je možná u elektromagnetického záření přibližně o kmitočtu nad $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz, jež je tradičně ještě řazeno k UV.

Využití: V dermatologii v léčbě psoriázy a akné, k fotodynamické léčbě nádorů po předchozím podání např. porfyrinů, k usnadnění hojení proleženin, pomalu se hojících ran . Germicidní lampy k dezinfekci prostředí na operačních sálech (UVC).

Ochrana před UV zářením

Stín, oděv, brýle s UV filtrem, krémy s ochrannými faktory. Běžně používané sklo UV záření z velké části pohlcuje.

Tab.5. Přehled optického záření

f (Hz)	λ (m)	oblast záření	podoblast	možné účinky	zdroj	
					přírodní	umělý
$3 \cdot 10^{11} =$	10^{-3}	= 1 mm				
300GHz		<u>INFRAČERVENÉ</u>	C 1 mm - 3000 nm	ohřev	všechna tělesa, Slunce,	solux, (laser)
	B 3000 - 1400 nm					
	A 1400 - 780 nm					
$3,8 \cdot 10^{14}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$	= 780 nm				
		<u>VIDITELNÉ</u> (světlo)	červené	ohřev, vidění, fotochemický	Slunce, rozžhavená tělesa, el.výboj,	rozžhavená tělesa, žárovka, el.výboj, luminiscence, laser
			žluté			
			zelené			
			modré			
			fialové			
$7,5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-7}$	= 400 nm				
		<u>ULTRAFIALOVÉ</u>	A 400-315 nm („černé světlo“)	(foto) chemický, změny struktury molekul mutace	Slunce	Hg výbojky (laser)
			B 315-280 nm (erytémové)			
			C 280-200x100nm (baktericidní, germicidní)			
			D 100-10 nm (vakuové)			
$>1,7 \cdot 10^{15}$	ionizace		
$3 \cdot 10^{15}$	10^{-7} m	= 10 nm hranice s rentgenovým zářením				

(Poměr intervalů jednotlivých částí spektra je jiný, než jak se jeví z tabulky, IR oblast je rozsáhlejší.)

2.2.4. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Samostatný oddíl o slunečním záření je do značné míry souhrnem a zároveň rozšířením toho, co bylo dosud o optickém záření uvedeno.

Slunce je plynná koule s jádrem z plazmatu a s teplotou povrchu kolem 5770 K, v níž probíhají termonukleární reakce, při kterých z vodíku a helia vznikají prvky z vyšší atomovou hmotností .

Složení slunečního záření dopadajícího na zemský povrch se liší od záření emitovaného Sluncem, při kontaktu se součástmi atmosféry včetně nečistot nastává odraz, absorpce a rozptyl záření .

Atmosférou nejlépe prochází viditelné záření (a rádiové vlny), o něco více je pohlcováno infračervené záření (zejména vodními parami). Ještě více je zachycováno ultrafialové záření ozónem ve stratosféře, nejrizikovější UVC zcela, UVB z velké části .

Intenzita a skladba slunečního záření dopadajícího na určité místo povrchu Země je ovlivněna tloušťkou a složením atmosféry a změnami vzájemné polohy Slunce a Země v průběhu roku i během dne, proto má toto záření v různém čase na různých místech a v různé nadmořské výšce poněkud rozdílné vlastnosti (např. intenzita UV roste o 4 % při vzestupu o 300 m).

Sluneční záření dopadající na zemský povrch, má zhruba toto složení :

50 % světlo,

45 % infračervené záření (hlavně IRA),

5 % ultrafialové záření

(z toho 90-99 % UVA a 1-10 % UVB). Oblačnost snižuje intenzitu UV jen asi o 20 - 40 % .

Na organismus sluneční záření dopadá přímo nebo nepřímo po odrazu od vody, sněhu, ledu, skla, písku a dalších objektů včetně povrchu Měsíce.

Význam slunečního záření: Umožňuje život na Zemi . Je hlavním zdrojem energie pro celou biosféru, dodává světlo umožňující vidění a hlavně fotosyntézu sinic a zelených rostlin a tím tvorbu organických látek (glukózy) z anorganických (CO₂ a vody) a také tvorbu kyslíku, dodává teplo, je motorem koloběhu vody mezi povrchem Země a atmosférou ...

Ultrafialovému záření je přisuzována možná úloha při vzniku prvních aminokyselin v dávné historii vývoje života na Zemi, jeho pohlcování ozónem je ale asi podmínkou pro život na souši. UVB podmiňuje neenzymovou fotolytickou reakci, při níž se v epidermis tvoří ze 7-dehydrocholesterolu vitamín D₃, který je prekurzorem kalcitriolu, hormonu podporujícího resorpci vápníku a fosfátu ze střeva a působícího tak proti vzniku rachitis a osteomalacie.

Rizika plynoucí z expozice slunečnímu záření jsou dána zejména působením ultrafialového záření, ale ani vliv světla a infračerveného záření nelze opomenout .

1.Rizika pro povrch těla

Kůže

Sluneční záření je kůží odráženo, rozptylováno, pohlcováno. Na absorpci se účastní keratin (hl. ve stratum corneum), melanin, sekret mazových žláz, kyselina urokánová v potu, nukleové kyseliny, ve škáře i hemoglobin, bilirubin a beta karoten .

Pronikavost slunečního záření: IR(A): do podkoží. Světlo: do podkoží . UV: UVA ze 40 % do škáry, (UVB max. z 15 %). Záleží na množství melaninu v kůži a na schopnosti zvýšení jeho tvorby v reakci na ozáření .

Účinky slunečního záření: Fototermický-vazodilatace, popálení (IR a světlo). Fotochemický účinek (světlo a hlavně UV). Strukturální změny molekul (UVB), DNA (thyminové dimery), proteinů, koenzymů .

Tíže projevů závisí na intenzitě záření, době expozice, míře pigmentace a stavu kůže.

Solární dermatitis je přisuzována hlavně vlivu UVB (erytémové pásmo). Asi 2 až 12 hodin od počátku expozice vzniká erytém, mohou se objevit i puchýře.

Fotoprotektivní reakce kůže:

a) Pigmentace

Přímá (okamžitá), fotooxidací již přítomného melaninu hl. vlivem UVA , začíná během minut a přetrvává hodiny až dny. Nepřímá (pozdní) pigmentace je novotvorba melaninu způsobená hlavně UVB, objevuje se za 2 až 3 dny po expozici a přetrvává několik měsíců . Vyšší stupeň pigmentace znamená ale zároveň i nižší tvorbu vitamínu D₃ .

b) Hyperplázie epidermis, hlavně vlivem UVB nastává zesílení všech vrstev pokožky, více keratinu znamená větší ochranu .

Vliv na imunitu

Hlavně UVB vyvolává lokální imunopresi, funkční a strukturální změny až snížení počtu antigen prezentujících Langerhansových buněk, snížení buněčné imunity. Zvyšuje se tím tolerance k nádorům indukovaným UV. Sluneční záření někdy aktivuje v organismu perzistující herpetické viry. Lze se setkat i s údaji o podpurném vlivu Slunce na imunitu .

Aktinická elastóza (fotoaging kůže) – chronické změny v množství a struktuře elastických a kolagenních vláken .

Narušení kožní mikrocirkulace- dilatace, pokroucení a postupná redukce cév.

Kancerogeneze:

Zvýšený výskyt spinocelulárního a basocelulárního karcinomu souvisí hlavně s chronickou aktinickou zátěží, například u osob pracujících pod širým nebem. Prekancerózou spinaliomu je aktinická keratóza. Riziko maligního melanomu, který vzniká z melanocytárních névů, navíc stoupá i vlivem krátkodobých intenzivních expozic vedoucích ke spálení kůže.

Mutagenní a kancerogenní efekt je přisuzován hlavně UVB.

Stavy se zvýšenou citlivostí kůže ke slunečnímu záření:

Dětský věk, mokrá kůže po pobytu ve vodě, nízká tvorba melaninu až albinismus, xeroderma pigmentosum, systémový lupus erythematosus. Přítomnost fotodynamicky aktivních látek v kůži, například porfyrinů, rostlinných furokumarinů (psoralenů), kamenouhelného dehtu, těžších destilačních podílů ropy, některých kosmetických přípravků a léků . Fotoalergie s aktivací alergenu slunečním zářením.

Léčebné využití slunečního světla:

Prevence rachitidy, mohou se zmírnit projevy akné a psoriázy.

Ochrana kůže

Neopalovat se. Neopalovat se kolem poledne. Při opalování a jiné delší expozici používat ochranné prostředky s UV filtry, volené s ohledem na fototyp kůže a dobu slunění. Ochranné prostředky je zvykem dělit na fyzikální (odrážející záření) a chemické (absorbující energii záření). Respektovat stavy a situace se zvýšenou citlivostí kůže.

Oko a spojivka

Průnik slunečního záření do oka nastává tzv. optickou cestou, přes rohovku, čočku ...

Pronikavost záření: IR(A) k sítnici i dál. Světlo skrz sítnici po pigmentovou vrstvu cévnatky. UVA a UVB jsou pohlcovány čočkou a nitrooční tekutinou, ale dlouhovlnná část UVA proniká až k sítnici (u osob s implantovanou umělou čočkou může k sítnici pronikat i UVB). (UVC, jež se snad může uplatnit ve velkých nadmořských výškách se pohlcuje v rohovce). Účinky na oko: fototermický (IR, světlo), fotochemický (světlo a UV), strukturální změny molekul (UV).

Konjunktivitida je nejnáze vyvolána vlivem UVC (260 nm), ale může ji vyvolat také UVB a světlo.

Keratitida : nejúčinnějším vyvolavatelem je opět UVC (270 nm) při dlouhodobém působení, ale i význam má i UVB. Existuje forma povrchní a hluboká, hrozí až ztráta transparence nebo vznik vředu .

Katarakta vzniká následkem fotochemických reakcí (UVA,UVB) a zřejmě i působením tepla (IR, světlo). Zákal má velmi pomalý rozvoj, zvýšené riziko je při užívání fotosenzibilizujících léků .

Poškození sítnice působí hlavně světlo a UVA svým fotochemickým působením a možná i IRA svým termickým efektem . Následkem jsou poruchy barvocitu a vidění za šera . Vyšší riziko je při umělé čočce, kdy se přidává vliv UVB.

Ochrana zraku

Pokrývka hlavy stínící oči. Vyvarovat se pohledu do Slunce a na odrazné plochy . Brýle. Skleněné brýle bez UV filtru pohltní UV asi do 320nm. Brýle s UV filtrem pohltní zcela UVB a C, UVA pak minimálně z 97 – 98 % , mají-li odraznou vrstvu, pohltní min. 99,5 % UVA . Brýle chrání i před nadměrným působením infračerveného a viditelného záření .

2) Rizika celkového působení slunečního záření

Tepelným působením infračerveného záření a světla nastává zvýšení prokrvení kůže a pocení, je zde tedy riziko poklesu krevního tlaku z redistribuce krve a z dehydratace a s tím spojené větší nároky na srdce. Může dojít i k celkovému přehřátí se vzestupem tělesné teploty nebo k úžehu z přehřátí hlavy.

Ochrana:

Oděv, pokrývka hlavy, dostatek tekutin, zátěž jen v míře přiměřené zdravotnímu stavu .

Tab.6

Důsledky a následky působení slunečního záření.	
Kladné	Záporné
podmínky pro život na Zemi	
tvorba vitamínu D, (pigmentace)	
světlo (vidění, biorytmy, nálada)	oslnění, únava zraku, fotosenzibilizace, fotoalergie,
teplo,	úžeh, celkové přehřátí, poškození kůže a oka
dezinfekce, (podpora imunity)	imunosuprese poškození oka a kůže

2.3. RENTGENOVÉ A GAMA ZÁŘENÍ (Ionizující elektromagnetické záření)

Ionizující záření je tradičně rozdělováno na korpuskulární (proud hmotných částic) a na elektromagnetické (proud fotonů). Tento text je zaměřen na druhou kategorii, většina zde uvedeného je však platná na oba druhy záření .

Fotony rentgenového a gama záření se pohybují vyšší rychlostí a mají i mnohem větší dolet a pronikavost než částice korpuskulárního záření . Korpuskulární záření (α a β) má zase větší schopnost přímé ionizace, nebezpečné je hlavně při vnitřní kontaminaci .

VZNIK , ZDROJE A VYUŽITÍ

Rentgenové záření ($3 \cdot 10^{15}$ - $3 \cdot 10^{19}$ Hz , 10^{-7} - 10^{-11} m)

Základním zdrojem je evakuovaná trubice zvaná rentgenka . Další zdroje: speciální laser, rentgenové zdroje v kosmu . Rentgenové záření vzniká i při druhu radioaktivní přeměny β zvaném záchyt elektronu .

Rentgenové záření lze rozdělit na brzdné (užívané v diagnostice) a charakteristické (pro strukturální analýzu), na měkké a tvrdé, které má vyšší frekvenci, pronikavost a schopnost ionizace.

Rentgenová diagnostika využívá průchod záření tělem, rozdílnou absorpci v různých tkáních, luminiscenci a působení na citlivou vrstvu filmu. V menší míře se rentgenové záření užívá k terapii povrchově uložených nádorů .

Gama záření ($f > 3 \cdot 10^{19}$ Hz, $\lambda < 10^{-11}$ m)

Provází jaderné děje spojené se vznikem α nebo β záření, jeho zdrojem je excitované jádro izotopu vzápětí po jeho vzniku z nestabilního radionuklidu. Lze připravit i čisté zářiče gama a existuje i laserový zdroj tohoto záření (tzv.graser). γ záření má mimořádnou pronikavost .

Pro radioterapii nádorů je zdrojem např. kobalt ^{60}Co , užívaný i v Leksellově gama noži. Při využití v nukleární medicíně se podává do těla pacienta radiofarmakum značené čistým gama zářičem a detekuje se jeho záření scintilačním detektorem, význam je hlavně diagnostický a výzkumný.

Sekundární kosmické záření, vznikající při interakci primárního kosmického záření s atmosférou Země, má ionizující elektromagnetickou složku .

Veličiny a jednotky

Aktivita radionuklidu, tedy zdroje gama záření (becquerel, Bq = 1/s).

Emise zdroje, tedy počet fotonů emitovaných za čas (1/s).

Energie fotonů (eV).

Kerma, tj. Kinetic Energy Released in Matter, (joule, J/kg = Gy, gray).

Expozice (coulomb,C/kg).

Absorbovaná dávka (Gy = J/kg).

Dávkový ekvivalent (sievert, Sv = J/kg) je součin dávky a jakostního činitele pro příslušný druh záření z hlediska biologického účinku (pro fotony = 1).

Ekvivalentní dávka (Sv) je součin střední absorbované dávky a radiačního váhového faktoru (pro fotony = 1).

Efektivní dávka (Sv) je součin ekvivalentní dávky a tkáňových váhových faktorů (0,20 pro gonády, 0,12 pro červenou kostní dřev ... 0,01 pro kosti).

Na základě ekvivalentní a efektivní dávky jsou definovány limity pro ozáření udávané v mSv.

Místa a situace s expozicí rentgenovému nebo γ záření:

Rentgenová diagnostika (hlavně CT, koronární angiografie), radioterapie nádorů, nukleární medicína , exponování jsou nejen pacienti, ale i personál (nejvíce například při PTCA).

Rentgenová defektoskopie.

Přirodní radionuklidy emitující gama záření ve stavebních materiálech a v podloží .

Elektromagnetický podíl kosmického záření .

Jaderné elektrárny a jejich okolí. Výzkumná pracoviště pracující se zdroji záření .

Zkoušky a použití jaderných zbraní.

ÚČINKY

MECHANISMUS účinku

ionizujícího záření není přesně známý. Dvě nejčastěji uváděné hypotézy jsou :

a) Zásahová hypotéza (přímý účinek) – narušení struktury DNA jednořetězcovými nebo dvouřetězcovými zlomy a dalšími typy mutací . Tímto mechanismem však působí zejména korpuskulární záření .

b) Radikálová hypotéza (nepřímý účinek) – vznik tzv. volných radikálů a jimi způsobované oxidativní poškození nukleových kyselin, membránových lipidů, strukturálních i enzymaticky aktivních proteinů. Při průchodu fotonů cytoplazmou dochází k excitaci elektronů a k jejich oddělení od atomu, tedy k ionizaci. Vznikají iontové páry (kation + elektron), jež v reakci s buněčnou vodou produkují H^{\cdot} a OH^{\cdot} , které pak tvoří H_2O_2 . Přítomnost kyslíku ve tkáni usnadňuje tvorbu radikálů a tím i zvyšuje citlivost tkáně hlavně k elektromagnetickému ionizujícímu záření .

Následkem těchto procesů je porucha struktury a funkce buněk až jejich zánik, nebo vznik přetrvávající somatické nebo gametické mutace .

Citlivost buněk a tkání k ionizujícímu záření

Nejcitlivější jsou proliferující buňky ve stádiu mitózy a na konci G_1 fáze buněčného cyklu, nejzranitelnější tkáň je proto hemopoetická a zárodečná (a také nádorová), po nich pak epitel střeva a epidermis. Nejodolnější je tkáň vazivová, svalová a poměrně odolná je v dospělosti i nervová tkáň. Děti jsou asi 3x senzitivnější než dospělí.

Ve tkáních z nižší proliferační aktivitou jsou po ozáření hlavně poruchy funkce, někdy se následky ozáření projeví s velkým odstupem. Na rozvoji některých pozdních následků se podílí produkce růstových faktorů (např. fibroblastového bFGF a destičkového PDGF- β) a jimi podmíněná postiradiační přestavba cév s fibrózou .

ROZDĚLENÍ účinků

Účinky ionizujícího záření můžeme rozdělit podle doby manifestace na časné a pozdní nebo dle typu postižených buněk na somatické a gametické.

Podle vztahu dávky ionizujícího záření a jeho následků pro organismus rozlišujeme účinky deterministické (nestochastické) a stochastické.

Při intenzivním ozáření tkání se současně rozvíjejí buněčné změny, jež mohou vést k oběma typům účinku . Záleží na podmínkách ozáření, vlastnostech zasažených tkání a na časovém faktoru, která chorobná změna bude pro zdravotní stav rozhodující . U osob, které přežijí deterministické účinky, se mohou poté uplatnit účinky nestochastické.

1.) DETERMINISTICKÉ (NESTOCHASTICKÉ) ÚČINKY

Dochází k poškození a smrti velkého množství buněk .

Tyto účinky jsou prahově závislé. Existuje prahová dávka záření, po jejímž překročení se účinky projeví. Čím více je prahová dávka překonána, tím větší je mezi ozářenými podíl postižených (zvyšuje se pravděpodobnost účinku) a tím závažnější je jejich postižení (zvyšuje se intenzita účinku).

Podstatou ochrany před deterministickými účinky je zabránění dosažení prahové dávky během života jedince. Nestochastickým účinkům tedy lze zabránit.

Druhy postižení:

a) AKUTNÍ NEMOC Z OZÁŘENÍ (AKUTNÍ (post) IRADIAČNÍ SYNDROM)

Je důsledkem celotělového ozáření nebo ozáření velké části těla dávkou záření vyšší než 2(1) Gy. V závislosti na dávce mohou vzniknout 3 formy postižení, které probíhají ve 3 fázích, t.j. ve fázi prodromální, latence a vlastního onemocnění. V ideálním případě může být čtvrtou fází rekonvalescence s náhradou zničených buněk (nastává hlavně u krevní formy).

Prodromální fáze s nechutenstvím, nauzeou, zvracením.

Latentní fáze je bez příznaků, s vyšší dávkou se zkracuje.

Hemopoetický syndrom (krevní či dřevňová forma) vzniká při dávce nad 2 až 5 (10) Gy. Je nejčastější formou nemoci z ozáření, může nastat i jako nežádoucí efekt protinádorové terapie. Nejprve nastává imunosuprese včele s lymfopenií a její důsledky, po ní je možný rozvoj poruch hemostázy z trombocytopenie, později i anemie. Tato forma má nejlepší prognózu .

Gastrointestinální syndrom (střevní forma) vzniká při dávce nad 6 až 10 Gy.

Zvracení, průjemy, dehydratace a rozvrat vnitřního prostředí a jejich následky. Poškození střevní stěny a sepse. Prognóza je špatná . Při přežití se rozvíjí porucha hemopoetického systému .

Neuropsychický syndrom (nervová forma) při dávce nad (10) 15 až 50 Gy.

Apatie a poruchy vědomí nebo naopak podrážděnost, hyperreflexie a epileptiformní křeče. Hypotenze, srdeční arytmie, šok . Smrt nastává během hodin až dnů .

b) AKUTNÍ LOKÁLNÍ POSTIŽENÍ

Kůže: Radiační dermatitis. Nejprve časný erytém, poté období klidu, následně pozdní erytém a epilace. Mohou vzniknout puchýře, eroze, eventuálně až vředy.

Gonád:

U mužů: Spermatogeneze je zranitelnější než oogeneze, je oligospermie až azospermie a neplodnost, ale tvorba testosteronu Leydigovými buňkami zůstává zachována .

U žen: Oocyty jsou relativně (oproti spermii) odolnější, ale nastává výpadek produkce ženských pohlavních hormonů a předčasná menopauza .

Akutní postižení jiných orgánů: sliznice úst a nosohltanu po ozáření hlavy, radiační pneumonitis.

c) INTRAUTERINNÍ POŠKOZENÍ EMBRYA NEBO FÉTU

Má různé následky v různých kritických obdobích vývoje. Asi do 3. týdne platí pravidlo vše nebo nic, dojde k náhradě ztracených buněk proliferací těch nepoškozených a regeneraci nebo nastane smrt plodového vejce. V období organogeneze mohou vznikat malformace, například anencefalie, mikrocefalie . Následkem pozdější expozice může být např. mentální retardace.

d) POZDNÍ NENÁDOROVÁ POSTIŽENÍ

Oční : Zákal čočky.

Kůže : Chronická radiační dermatitis , atrofického nebo hypertrofického typu .

Další postižení : Hypothyreóza, leukoencefalopatie, enteropatie .

2.) STOCHASTICKÉ ÚČINKY (mají stochastický = statistický, náhodný, charakter)

Nastává poškození genomu (mutace) jedné nebo několika buněk .

Nejčastěji jsou označovány jako bezprahové. Vyšší dávka záření zvyšuje pravděpodobnost postižení. (lineární bezprahová závislost).

Stochastickým účinkům nelze zcela zabránit, lze je však omezit.

(O existenci či neexistenci prahu jsou spory. Existuje i teorie hormeze, podle které mají být malé dávky záření dokonce prospěšné.)

Ke stochastickým účinkům řadíme genetické a somatické (hlavně kancerogenní) účinky.

Vzniklá postižení se neliší od postižení vzniklých bez souvislosti s ozářením.

NÁDORY, jejichž riziko zvyšuje ionizující záření jsou například :

akutní a chronická leukemie, myelom, karcinom štítné žlázy, karcinom prsu, karcinom kůže, karcinom plic, karcinom slinných žláz .

OCHRANA

Deterministické účinky vyloučíme zajištěním nepřekročení prahové dávky během života jedince. Stochastické účinky omezíme pomocí systému limitování dávek, který je založen na následujících principech:

Zdůvodnění činností vedoucích k ozáření. Přínos musí převážit nad rizikem a nad náklady na provoz a ochranu .

Optimalizace těchto činností tak, aby expozice byla v rámci možností co nejnižší .

Nepřekročení limitů dávkového ekvivalentu pro dané podmínky chránící jednotlivce .

Zajištění bezpečnosti zdroje záření .

Základní roční limity jsou stanovené zvlášť pro profesionální expozici a pro obyvatelstvo, s přihlédnutím k nejcitlivějším tkáním. Dále jsou tzv. odvozené limity pro vnitřní ozáření inkorporovanými radionuklidy.

Pro vyšetřované pacienty limity neplatí, snahou je ale co nejnižší možná expozice v dané klinické situaci, s individuálním zvážením rizik a přínosů, s vyvarováním se zbytečného opakování rentgenových vyšetření, s respektováním kontraindikací a dáním přednosti metodám bez radiační zátěže, jako je například ultrasonografie .

ZÁVĚR

S přihlédnutím k podmínkám běžného života, nebereme-li v úvahu možný útok nukleárními zbraněmi či havárii atomové elektrárny, lze říci, že pokud jde o elektromagnetické záření, největší potenciální riziko pro zdraví člověka plyne z expozice dobrovolně vyhledávanému slunečnímu záření (hlavně jeho ultrafialové části) a na druhém místě pak v diagnostice hojně užívanému rentgenovému záření.

U velmi diskutovaných elektromagnetických polí v okolí vodičů elektrického proudu ani u záření stále více používaných mobilních telefonů nelze považovat možnost jimi způsobeného poškození zdraví za prokázanou, výzkum nejen v této oblasti ale nadále pokračuje .

Zkratky

A	ampér
B	magnetická indukce
C	coulomb
CO ₂	oxid uhličitý
CT	počítačová tomografie
DNA	deoxyribonukleová kyselina
eV	elektronvolt
E	intenzita elektrického pole
f	frekvence
F	síla
Gy	gray
H	intenzita magnetického pole
H [·]	reaktivní forma vodíku s jedním elektronem navíc
H ₂ O ₂	peroxid vodíku
Hz	hertz
I	elektrický proud
IR	infrared (radiation), infračervené záření, IRA, IRB, IRC jsou jeho pásma
K	kelvin
λ	vlnová délka
m	metr
m ²	čtvereční metr
N	newton
OH [·]	hydroxylový radikál
PTCA	perkutánní transluminální koronární angioplastika
T	tesla
U	elektrické napětí
UV	ultraviolet (radiation), ultrafialové záření, UVA,UVB,UVC jsou jeho podoblasti
V	volt
W	watt

LITERATURA

- Jeřábek, J., Musil, J.: Člověk a neviditelná pole, strach z vysokonapěťových vedení, Technický magazín 7, 1993.
- Jeřábek, J., Musil, J.: Elektrické, magnetické a elektromagnetické pole. In: Provazník, K. et al.: Manuál prevence v lékařské praxi III., Státní zdravotní ústav Praha, Fortuna, 1996.
- Jírová, D., Přibáňová, H.: Sluneční záření. In: Provazník, K. et al.: Manuál prevence v lékařské praxi III., Státní zdravotní ústav Praha, Fortuna, 1996.
- Klener, V. et al.: Hygiena záření, Avicenum, Praha, 1988
- Mareček, Z. et al.: Poškození z fyzikálních příčin: záření. In: Klener, P. et al.: Vnitřní lékařství, Galén, Praha, 2001.
- Maršálek, P.: Elektromagnetické pole. In: Nečas, E. et al.: Obecná patologická fyziologie, Karolinum, Praha, 2000.
- Navrátil, L., Rosina, J. et al.: Medicínská biofyzika, Grada Publishing, Praha, 2005.
- Pekárek, L.: Konec elektromagnetické hypersenzitivity. Available from: <http://www.hygpaha.cz/odbory/nrl/nrl14.htm>
- Pekárek, L.: Rizika z expozice neionizujícímu elektromagnetickému záření. Available from: http://www.sisyfos.cz/skeptikon/skeptikon_materialy_2005/pekarek1_rizika_expozice_emf.doc
- Rameš, J.: Elektromagnetické pole. In: Bencko, V. et al.: Hygiena, Karolinum, Praha, 1998.
- Svoboda, E. et al.: Přehled středoškolské fyziky, Prometheus, Praha, 1996.
- Šulc, K.: Ionizující záření. In: Nečas, E.: Obecná patologická fyziologie, Karolinum, Praha, 2000.
- Vosmík, F. et al.: Dermatovenerologie, Karolinum, Praha, 2001.
- WHO Fact Sheet N^o 304, May 2006. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs304/en/index.html>
- Další texty Národní referenční laboratoře pro neionizující elektromagnetická pole a záření na internetových stránkách Hygienické služby hlavního města Prahy, dostupné na <http://www.hygpaha.cz/odbory/oddeleni1.htm>
- Geomagnetické pole a jeho vliv na zdraví, 2000. Magnetická pole v okolí vodičů protékajících elektrickým proudem s frekvencí 50 Hz, 2002.