

2. FYZIKÁLNE PRÍČINY PORÚCH ZDRAVIA

Rácz Oliver a Ništiar František

2.1. VPLYV MECHANICKEJ ENERGIE NA ORGANIZMUS

Úrazy a poranenia

Ak sa ľudské telo zrazí s iným telesom (živým telom alebo neživým predmetom), môže mať kinetická energia stretu za následok rôzne **úrazy** (*trauma*), **rany** (*vulnus*) a v krajnom prípade **náhlu smrť**. V ekonomicky vyspelých krajinách sú úrazy najčastejšou príčinou predčasnej smrti a invalidity mladých ľudí. Následky úrazov, ktoré vedú k trvalej invalidite, predstavujú obrovský lekársky a spoločenský problém na celom svete. Približne jedna tretina všetkých úmrtí súvisiacich s úrazmi je zapríčinená dopravnými nehodami, druhá tretina inými náhodnými príčinami (predovšetkým pádmi z výšky) a tretia tretina násilnými činmi (zabitie a samovražda)¹.

Ošetrovaním a liečbou úrazov a rán sa zaoberá **traumatológia** (úrazová chirurgia), ale poskytovanie základnej (laickej a odbornej) prvej pomoci je povinnosťou každého občana a zdravotníckeho pracovníka. Špeciálnymi aspektmi tejto oblasti sa zaoberá urgentná medicína, medicína katastrof a oxiológia.

Niektoré typické formy poranení sú uvedené v tabuľke 2.1. Ďalšie delenie poranení je možné podľa rôznych hľadísk (napr. na zatvorené a otvorené, podľa lokalizácie, atď.)

TAB. 2.1.
HLAVNÉ FORMY PORANENÍ

Pomliaždenie	Contusio
Odrenina	Abrasio
Natrhnutie	Laceratio
Zlomenina	Fractura
Vykĺbenie	Luxatio
Rezná rana	Vulnus scissum
Sečná rana	Vulnus sectum
Bodná rana	Vulnus punctum
Hryzná rana	Vulnus morsum
Strelná rana	Vulnus sclopetarium

Následky poranení môžu byť veľmi rozdielne – od zanedbateľných prechodných nepríjemností až po trvalú invaliditu alebo smrť. Najbežnejším príznakom poranení je **bolesť**, ktorá je zapríčinená iritáciou extero- a interoreceptorov, produktmi deštrukcie tkanív a neskôr zápalom poškodeného tkaniva.

Skoro každé poranenie vedie k **strate krvi**. Malé straty krvi neohrozujú cirkuláciu a sú rýchlo nahradené. Ak dôjde k strate veľkého množstva krvi (10 – 30 % celkového objemu, t.j. 0,5 – 1,5 litrov u dospelých ľudí), dochádza k artériovej hypotenzii, ktorá môže vyústiť do **traumatického šoku**. V patogenéze šoku pri úrazoch okrem hypovolémie hrajú úlohu aj iné činitele, ako bolesť, účinok samotnej traumy na organizmus, psychické faktory a i.

Do poškodených ciev sa môžu dostať vzduchové bubliny alebo častice tuku z poškodených tkanív. Tieto môžu upchať kapiláry v orgánoch vzdialených od poranenia a zapríčiniť v nich poruchu zásobovania kyslíkom (**vzduchová a tuková embólia**). Penetrujúce rany hrudníka vedú k **pneumotoraxu** a v horšom prípade k **tamponáde srdca**.

Otvorené rany sú miestami, cez ktoré sa choroboplodné zárodky ľahko dostanú do organizmu (miesto najmenšieho odporu – **locus minoris resistentiae**). Najvážnejšie nebezpečenstvo vzniká, ak rany kontaminované anaeróbnymi plynotvornými baktériami (spravidla z pôdy) nie sú včas správne

¹ Platí to predovšetkým pre krajiny Európskej únie a USA

ošetrené. Následkom môže byť rozmnoženie týchto baktérií v poškodených tkanivách a **plynová gangréna** s následnou **sepsou**. Plynová gangréna bola častá v ére pred objavom antibiotík u vojnových poranení.

V nekrotických tkanivách okolo poranení (niekedy sú to malé, na prvý pohľad zanedbateľné rany) sa môžu rozmnožiť zárodky *Clostridium tetani*, ktoré nezapríčiňujú gangrénu a sepsu, ale produkujú **tetanotoxín**. Tetanotoxín je jeden z najsilnejších jedovatých látok, účinkuje na nervový systém a vedie k bolestivým kontrakciám svalov. Pri neliečenom **tetane** môže smrť nastať udusením kvôli kŕčom dýchacích svalov. Očkovanie a preočkovanie, ktoré je potrebné robiť každých 5 rokov poskytuje ochranu pred tetanom. Nebezpečenstvo infekcie je mimoriadne vysoké pri pohryzení zvieratom a jeden z možných následkov je **besnota** (rabies).

Údery do hlavy často vedú ku krátkotrvajúcemu bezvedomiu aj vtedy, ak nedochádza k zlomeninám kostí lebky (**otras mozgu – commotio cerebri**). Následky sú krátkodobé, ako amnézia (poranený sa nepamätá na to, ako došlo k úrazu), nauzea a zvracanie, ale môže vzniknúť aj vážna neskorá komplikácia – **posttraumatická epilepsia**. Opakované malé úrazy hlavy a mozgu sú charakteristické pre päťarsky šport. Údery pravdepodobne vedú k mikroskopickým krvácaniam do mozgu a k dočasnému poklesu metabolickej aktivity neurónov a synáps. Roky po ukončení športovej kariéry sa poškodenie mozgu manifestuje poruchami koordinácie pohybov a trasom (**parkinsonský syndróm**) a v ťažkých prípadoch aj poklesom duševných schopností, demenciou.

Mimoriadne závažným následkom úrazov (pády, dopravné nehody) sú **poranenia miechy** a z toho rezultujúce **obrný**. Obrnny vznikajú aj po poškodení nervov pri úrazoch končatín.

Blast a crush syndróm

Blast syndróm je zapríčinený tlakovou vlnou explózií. Po výbuchu vzniká v krátkom slede niekoľko vln zvýšeného a zníženého tlaku, ktoré sa šíria do okolia. Tieto vlny poškodzujú bubienok a jemné štruktúry stredného ucha, trhajú alveoly pľúc a vedú ku krvácaniu do pľúc a k vzduchovej embólii. Tlakové vlny poškodzujú aj orgány brušnej dutiny, hlavne tie, ktoré obsahujú vzduch (žalúdok a črevá). Blast syndróm je spravidla spojený s inými poraneniami spôsobenými pádom, nárazom tela na rôzne predmety, projektilmi, letiacimi predmetmi a i.

Cielená a koncentrovaná tlaková vlna, šíriaca sa v tekutine, sa používa na rozdrvenie žľzných kameňov a kameňov v močových cestách (**mimotelová litotripsia**, obr. 2.1).

Crush syndróm (syndróm zo zasypania) sa vyvíja u ľudí zasypaných pod lavínami alebo pod troskami budov pri zemetraseniach a iných nešťastiach. Kompresia mäkkých tkanív vedie k zastaveniu krvného obehu v postihnutých orgánoch. Po vyslobodení postihnutých a po dekompresii stlačených končatín sa krvný obeh obnoví, ale ak kompresia trvala príliš dlho, má to za následok poškodenie endotelu. Cez poškodenú cievnu stenu dochádza k nekontrolovanému výstupu tekutín z ciev do intersticiálneho priestoru a vzniká **edém**. V krvnom riečisku dochádza k hypovolémii, zvyšuje sa hustota a viskozita krvi. Toxické produkty uvoľnené z poškodených tkanív a rôzne vazoaktívne látky (napr. histamín a prostaglandíny) ďalej zhoršujú cirkuláciu. Ak sa kompresia neuvoľní včas a nezačne sa s intenzívnou protišokovou liečbou (ktorú možno robiť už pred vyslobodením postihnutého), vzniká **hypovolemický šok** a **obličková nedostatočnosť**. Množstvo moča klesá a dochádza k rozvratu vnútorného prostredia. Crush syndróm môže viesť k smrti v **urémii** aj bez vážnejších vonkajších zranení a straty krvi.

Vibrácie, hluk a ultrazvuk

Človek vníma vibráciu vo frekvenčnom pásme 25 – 8 200 Hz, pomalšie kmity vníma ako otrasy a rýchlejšie ako zvuk. Vplyv vibrácie na organizmus sa môže prejavíť ako **vibračná choroba**. K príznakom patria bolesti končatín a chrbtice, hyperestézia a vazomotorické poruchy prstov. V pokročilejších štádiách sa pripoja trofické zmeny kože a svalstva, ako aj osteoporóza končatín a chrbtice. Príznaky a bolesti sa vystupňujú vplyvom chladu.

Vibrácie medzi 16 – 20 kHz sú ľudským uchom vnímané ako **zvuk**. Zvuk prekračujúci určitý individuálny limit sa považuje za **hluk**. Za hluk sa považuje teda každý zvuk, ktorý vnímame rušivo. Citlivosť na hluk je subjektívna. Pre organizmus škodlivá intenzita huku sa začína od 50 dB (na

križovatke je asi 50 dB, na diskotéke 100 dB, normálna hlasitosť reči je okolo 10 dB). Škodlivý účinok hluku sa prejavuje **sluchovou únavou** a pri chronickom pôsobení **nedoslýchavosťou**.

Ultrazvuk tvoria vysokofrekvenčné mechanické kmity o frekvencii viac ako 18 kHz, ktoré nie sú počuteľné ľudským uchom. Intenzita ultrazvuku používaná v diagnostike nemá na ľudský organizmus škodlivé účinky a nepoškodzuje ani plod vyvíjajúci sa v maternici. Intenzita ultrazvuku aplikovaného pri fyzikálnej terapii, kde sa využíva práve tepelný efekt absorbovanej energie, je už vyššia (diatermia). Ešte vyššie intenzity pôsobia na ľudský organizmus škodlivo, a to mechanicky a termicky. U ľudí, ktorí dlho pracujú v prostredí s vysokou intenzitou ultrazvuku, sa objavujú podobné príznaky, ako pri expozícii hlukom alebo vibráciami.

2.2. ÚČINKY ZRÝCHLENIA A GRAVITÁCIE NA ĽUDSKÉ TELO

Akcelerácia a decelerácia

Akcelerácia alebo zrýchlenie je **zmena rýchlosti** (alebo zmena smeru) **pohybu**. Pohyb pri stálej rýchlosti a bez zmeny smeru nemá žiadne účinky na telo a bez vizuálnej kontroly nie je ho možné vnímať. Pri zmene smeru alebo rýchlosti sa telo správa podľa zákona o zotrvačnosti – má tendenciu pohybovať sa v pôvodnom smere pôvodnou rýchlosťou. Práve na tom princípe sa zakladá činnosť vestibulárneho orgánu vnútorného ucha – pri zmene pohybu tela prúdi endolymfa zotrvačnosťou v pôvodnom smere a podráždi nervové zakončenia vestibulárneho aparátu.

Zmeny rýchlosti môžu byť rôzneho charakteru a rôznej intenzity. Zrýchlenie sa môže udávať v SI jednotkách ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), ale často sa udáva v násobkoch gravitačného zrýchlenia ($1\text{ G} = 9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Účinky zrýchlenia a spomalenia je možné najlepšie pochopiť na základe príkladov z bežného života:

Zrýchlenie a spomalenie vo výťahu. Vo výťahu, ktorý sa pohne smerom nahor, (obr 2.2) na krátku dobu vzniká pozitívne zrýchlenie (cestujúci cítia svoju váhu vyššiu ako normálne). Potom necítiť nič zvláštne – rýchlosť výťahu je stála. Pred príchodom na horné poschodie výťah spomaľuje, čo vedie k negatívnemu zrýchleniu – cestujúci sú nadľahčení. Cestou nadol sa tieto udalosti opakujú v opačnom slede. Najprv je nadľahčenie tela v momente, ak sa výťah pohne smerom nadol, potom je preťaženie pri brzdení na prízemí. Z príkladu výťahu je možné pochopiť vzťah medzi smerom zrýchlenia a silami, ktoré pri zrýchlení vznikajú².

Zrýchlenie a spomalenie v dopravných prostriedkoch. Pretekárske auto dosiahne niekoľko sekúnd po štarte rýchlosť okolo 200 km/h. Pre šoféra to znamená pozitívne zrýchlenie v predozadnom smere (je zatlačený do sedadla), ale tento typ zrýchlenia znáša organizmus pomerne dobre³.

Najhorší typ spomalenia v dopravných prostriedkoch sa vyskytuje pri haváriách, keď za zlomok sekundy dôjde k extrémnym, väčšinou negatívnym zrýchleniam (obr 2.3). Správna konštrukcia karosérie áut, bezpečnostné pásy, vzduchové vankúše a iné nové bezpečnostné prvky sú schopné absorbovať veľkú časť kinetickej energie nárazu pri havárii a zabrániť ťažkým poraneniam a smrti cestujúcich.

Zrýchlenia v letectve a astronautike (obr 2.4). Ak lietadlo robí premet (looping) smerom nahor, ide o zrýchlenie smerom nahor a krv sa zotrvačnosťou hromadí v dolných častiach tela. Ak sily zrýchlenia prekonajú adaptačné schopnosti cirkulácie, dôjde k nedokrveniu mozgu a zároveň aj retiny oka, čo sa prejaví najprv poruchou videnia – tzv. **čierna clona** a potom môže dôjsť aj k strate vedomia. Podobné sily účinkujú na telo kozmonautov po štarte rakety.

Ak pilot lietadla začína premet smerom nadol (looping dopredu), krv sa hromadí v hlave a hyperémia očného pozadia vedie k poruche videnia, ktorá sa nazýva **červená clona**. Ide o zrýchlenie smerom nadol a sily pri takom zrýchlení sa znášajú horšie ako pri zrýchlení smerom nahor. Špeciálne sedadlá a obleky konštruované pre pilotov vojenského letectva a pre kozmonautov znižujú nebezpečné účinky náhlych zmien rýchlosti. V tabuľke 2.2 sú uvedené základné údaje o tom, ako ľudské telo znáša rôzne formy zrýchlenia.

² Ide len o príklad na pochopenie základných pojmov. V bežných výťahoch je zrýchlenie a spomalenie slabé, (zlomky G). V rýchlovýťahoch už cítiť zrýchlenie a spomalenie, ale bez závažného účinku na organizmus.

³ Ani to nie je veľké preťaženie – ak auto 10 sekúnd po štarte dosiahne rýchlosť 200 km/h, je to len o niečo viac ako 0,5 G.

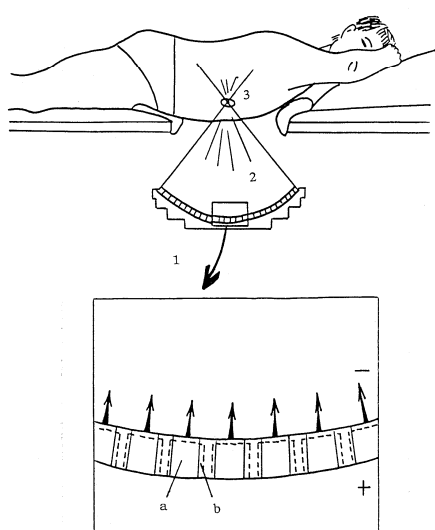
TAB.2.2
VPLYV PREŤAŽENIA NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS

Zrýchlenie, G	Tolerancia zrýchlenia	Efekt
+ 2,0	Desiatky minút	Oťaženie končatín, pocit pripútania k sedadlu
+ 2,5	Niekoľko minút	Náhle oťaženie tela, vstať zo sedu je takmer nemožné, sťažené dýchanie. Bledosť tváre, zahmlenie pred očami
+ 4,0	Sekundy	Strata periférneho videnia „ čierna clona “, tachykardia, inspiračná dýchavica, kŕče v lýtkových svaloch, strata vedomia
- 1,0	Niekoľko minút	Pociťovanie tlaku remeňov, ktorými je človek pripútaný (k sedadlu, k padáku) pocit ľahkého tlaku v rôznych častiach hlavy
- 2,0	10 sekúnd	Silný tlak v oblasti temena, tlak na diafragmu, bolesť v očiach, slzotok, závrat
- 2,5	Sekundy	Pulzujúci tlak v hlave, sťažené dýchanie vyvolané tlakom na diafragmu, začervenanie zrakového poľa
- 4,0	Do 1 sekundy	Porucha funkcií mozgu „ červená clona “, bezvedomie

Uhlové zrýchlenie. Ak sa nejaké teleso otáča okolo vlastnej osi stálou rýchlosťou (napr. rotor centrifúgy alebo telo krasokorčuliara pri piruete) vzniká zrýchlenie zmenou smeru pohybu a sila zodpovedajúca takému zrýchleniu sa volá centrifugálna sila. Účinkom tejto sily dochádza k sedimentácii častíc v centrifúge a taká istá sila umožňuje hod kladivom na veľkú vzdialenosť v porovnaní s obyčajným vrhom guľou.

Účinky gravitácie a bezváhového stavu na ľudský organizmus

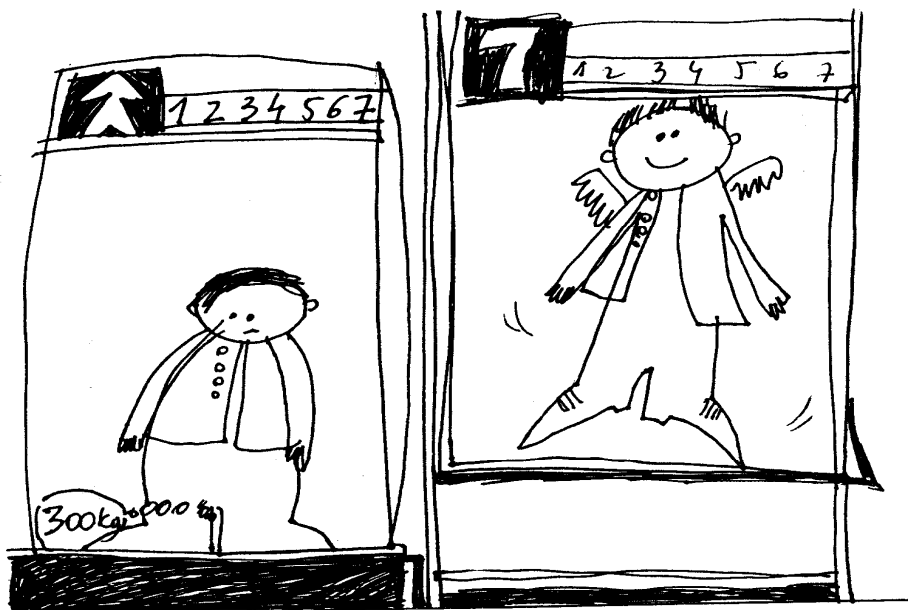
Naše telo (podobne ako všetky predmety) je priťahované k Zemi **gravitačnou silou**, ktorá sa rovná zrýchleniu $9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Gravitačná sila má ten istý účinok na telo ako sily vznikajúce pri zrýchlení a spomalení⁴. V bežných polohách tela (stoj, sed, ľah) si túto silu neuvedomujeme a regulačné mechanizmy kardiovaskulárneho systému zabezpečujú adekvátnu dodávku krvi do každého orgánu, napriek tomu, že krv v tele má tendenciu klesať smerom nadol, do dolných končatín. Gravitačná sila sa nemení ani vtedy, ak sa postavíme na hlavu, ale táto poloha je vnímaná ako by to bolo negatívne zrýchlenie o intenzite -1 G, a krv sa hromadí v hlave.



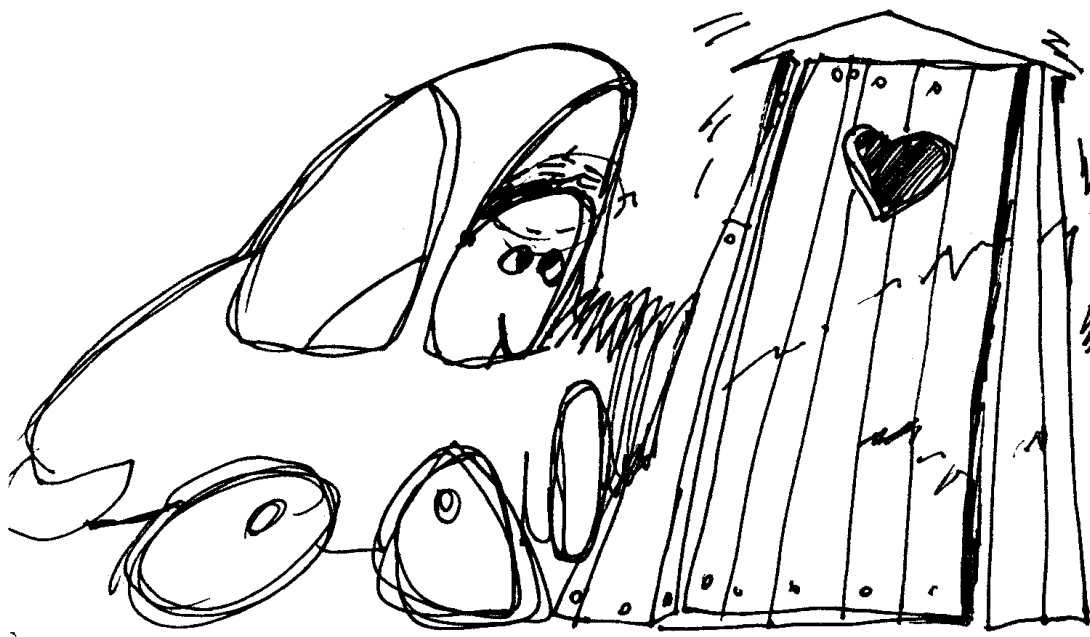
OBR. 2.1.
MIMOTELOVÁ PIEZOELEKTRICKÁ LITOTRIPSIA

- 1 – Piezoelektrické keramické kryštály, ktoré účinkom elektrických impulzov menia svoj tvar.
 - 2 – Zaostrená a koncentrovaná tlaková vlna, ktorá sa šíri v tekutom prostredí.
 - 3 – kameň v žlčníku.
- Inzert: a,b – zmena tvaru piezoelektrických kryštálov.
Trvanie tlakových vln je niekoľko milisekúnd a sú opakované frekvenciou 1 – 1,5 Hz. Na rozdrvenie kameňov v žlčníku a v močových cestách je potrebné spravidla 500 – 3000 impulzov.

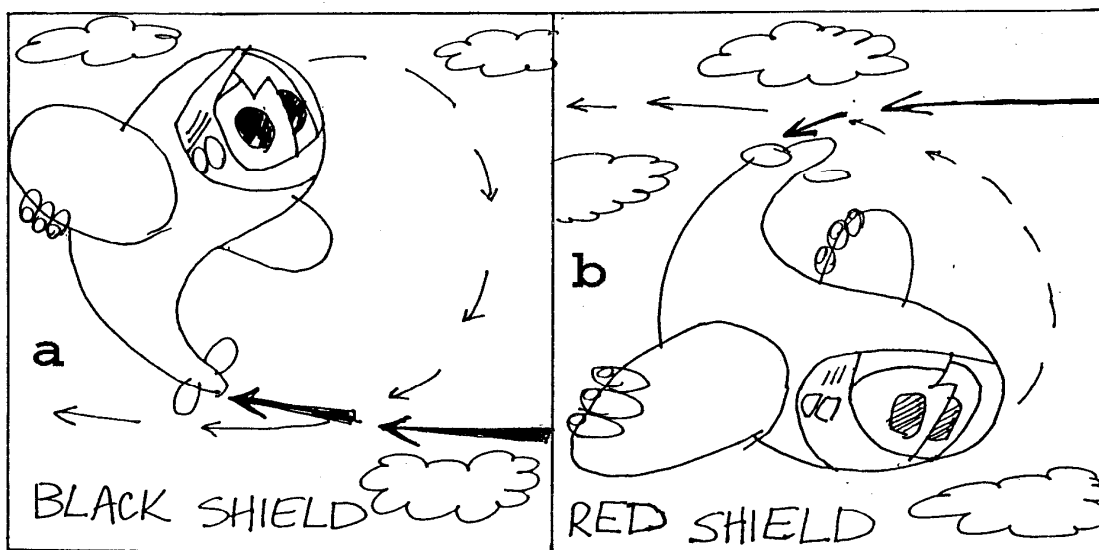
⁴ Podľa Einsteinovej teórie relativity obidva typy síl sú rovnocenné. Preto je možné zrýchlenie vyjadriť aj v jednotkách G.



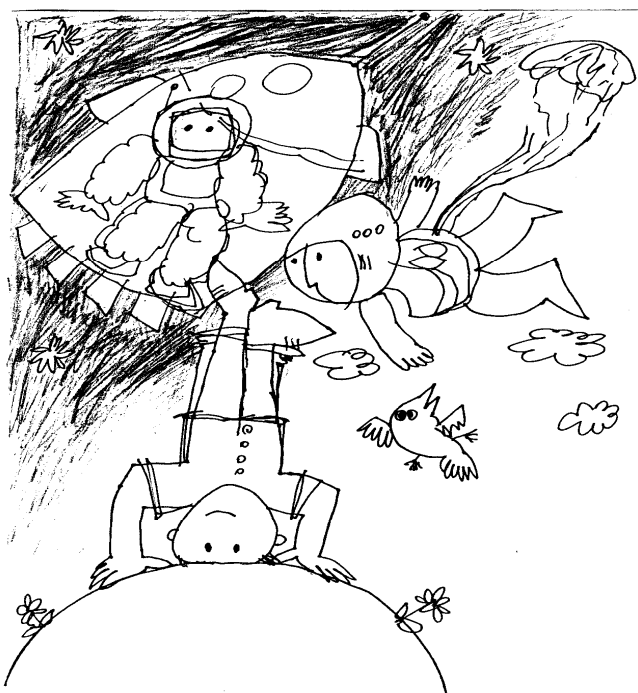
Obr. 2.2.
ZRÝCHLENIE A SPOMALENIE VO VÝTAHU



Obr. 2.3.
VELMI NEPRÍJEMNÉ NEGATÍVNE ZRÝCHLENIE



Obr. 2.4.
ČIERNÁ A ČERVENÁ CLONA PRI PREMETOCH LIETADLOM



Obr. 2.5.
GRAVITÁCIA A BEZVÁHOVÝ STAV

Bezváhový stav vzniká vtedy, ak je gravitačná sila vyrovnaná zrýchlením. Najjednoduchším príkladom bezváhového stavu je voľný pád (napríklad pád parašutistu pred otvorením padáka alebo pri „bungee jumping“). Dlhotrvalý bezváhový stav sa vyskytuje v astronautike. Ak sa kozmická loď pohybuje bez zapnutia motorov, jej zrýchlenie sa rovná gravitačnej sile a vo vnútri lode vzniká bezváhový stav. Môže to byť na orbitálnej dráhe okolo Zeme, keď uhlové zrýchlenie je rovnaké ako gravitačná sila Zeme, alebo pri lete medzi planétami (obr 2.5).

Účinky pobytu vo vesmíre na ľudský organizmus. Preťaženie pri štarte rakety Mercury s astronautom Johnom Glennom v roku 1962 bolo 7,7 G. Ten istý John Glenn v roku 1998 (vo veku 78 rokov) sa vrátil do kozmu, ale pri štarte Discovery musel čeliť len preťaženiu 3 G.

Počas letu naruší bezváhový stav činnosť vestibulárneho orgánu a vznikajú príznaky podobné morskej chorobe. Orientácia v priestore je sťažaná, lebo chýbajú adekvátne signály z vnútorného ucha a porušená je aj presná koordinácia pohybov. U dobre trébovaných zdravých ľudí sú tieto ťažkosti prechodné. Pobyt v kozme desynchronizuje normálne biorytmy ľudského organizmu. "Deň" a "noc" kozmonautov sú časované z pozemného riadiaceho centra.

Chýbanie gravitačnej sily vedie k presunu krvi z dolných končatín do hornej časti tela, k zmene frekvencie srdca (najprv k tachykardii, potom k bradykardii) a k výkyvom krvného tlaku. Počas dlhodobých letov dochádza k demineralizácii kostí a k zvýšeniu hladiny vápnika v krvi. Našťastie pri dlhých letoch sa tento proces spontánne zastaví po strate 20 % celkového vápnika, ale straty vápnika môžu byť limitujúcim faktorom pri plánovaní veľmi dlhých pobytov v kozme. Atrofia svalov dolných končatín počas dlhých pobytov v kozme (viac ako 1 rok) môže dosiahnuť až 40 % pôvodnej hmoty. Pravidelným cvičením a použitím špeciálnych odevov je možné zabrániť závažnejším zmenám svalov a kostry.

Konštrukcia vesmírnych lodí poskytuje dobrú ochranu pred kozmickým žiarením. Závaž by mohla prekročiť únosnú mieru pri plánovaných dlhodobých medziplanetárnych letoch. Práca v skafandroch mimo kozmickej lode je limitovaná z toho istého dôvodu.

Organizmus sa dobre prispôsobí pobytu v kozme a bezváhovému stavu, ale po návrate na Zem vznikajú prechodné ťažkosti, lebo regulačné systémy nie sú zvyknuté na normálnu gravitačnú silu.

Morská choroba (kinetóza)

Krátke prudké zmeny rýchlosti v rôznych smeroch iritujú otolitový aparát vnútorného ucha. Chaotické signály z utrikula sú prenesené do vegetatívnych centier predĺženej miechy a mozočka spolu so signálmi zo svalových vretienok a šlachových receptorov. Narušenie činností motorických centier blúdivého nervu a vestibulárnych jadier je príčinou príznakov morskej choroby, ako je bledosť, nevoľnosť, nauzea, zvýšené slinenie, zvracanie, zmeny frekvencie srdca, zmeny tonusu svalov, poruchy koordinácie pohybov a iné. Sklon ku kinetóze je individuálny. Niektorí ľudia nemajú ťažkosti ani pri plavbe na rozbúrenom mori, iní sú ťažko chorí pri každej ceste loďou, autom alebo lietadlom. Pomalé a hlboké dýchanie a vizuálna kontrola pohybu občas pomáha prekonať príznaky kinetózy.

2.3. ÚČINKY NÍZKEHO A VYSOKÉHO ATMOSFERICKÉHO TLAKU NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS

Atmosferický tlak na povrchu Zeme je 101,3 kPa (760 torr alebo mmHg). Malé fluktuácie (± 3 až 4 kPa) atmosferického tlaku sa vyskytujú v súvislosti so zmenami počasia. Tieto výkyvy majú určitý vplyv na fyziologické funkcie a zdravotný stav človeka, ale nie je možné ich chápať ako priame fyzikálne účinky. Štúdiom meteorologických a klimatických podmienok na ľudský organizmus sa zaberá **bioklimatológia** a **meteoropatológia**.

Hypobária

Atmosferický tlak klesá pri výstupe do výšky a nad 3 km sa môže objaviť **horská choroba**. Príčinou horskej choroby je nedostatok kyslíka (formy a následky **hypoxie** sú opísané v 4. kapitole).

Hypobária môže ohroziť organizmus okrem nedostatku kyslíka aj poškodením dutých orgánov rozpínaním plynov, ktoré sú v nich uzavreté. Počas letu vo väčších výškach bez pretlakovej kabíny sa objavujú napríklad bolesti stredného ucha a prínosových dutín, ak ich komunikácia s okolím je

blokovaná. Plynové bubliny v kariéznych alebo zle ošetrovaných zuboch môžu zapríčiniť ich akútne bolesti. Plyny v tráviacom trakte pri expanzii podráždia receptory v črevnej stene a môžu zapríčiniť kŕče i zvýšenú črevnú peristaltiku.

Hyperbária

Zvýšený atmosferický tlak nepoškodzuje organizmus, ale fyzická práca za týchto okolností je veľmi vyčerpávajúca. Trénovaní zdraví ľudia sú schopní žiť a pracovať v prostredí, kde je tlak pomerne vysoký. Pomocou ľahkého potápačského výstroja je možné dosiahnuť hĺbku okolo 40 m. Ľudský život je však možný aj pri tlaku 5 000 kPa (50 atmosfér), čo zodpovedá hĺbke 500 metrov pod vodou⁵.

Dusík pri parciálnom tlaku 400 kPa a viac má narkotické účinky na nervový systém a preto za týchto okolností sa na dýchanie nepoužíva stlačený vzduch, ale zmes kyslíka a hélia. V hustej héliovej atmosfére dochádza k sťaženému dýchaniu a k skresleniu ľudského hlasu – frekvencia sa posúva k vyšším hodnotám a ľudská reč je nezrozumiteľná.

Umelá hyperbária s **hyperoxiou** sa používa v liečbe otravy oxidom uhoľnatým a pri iných situáciách, keď je potrebné zvyšovať koncentráciu fyzikálne rozpusteného kyslíka v krvi.

Choroba z dekompresie (kesonová choroba, choroba potápačov)

Pri ponáraní sa do vody tlak rastie o 101 kPa na každých 10,3 metrov hĺbky. Rozpustnosť plynov v tekutinách závisí od tlaku, a preto pri hyperbárii v krvi, v telesných tekutinách a v cytoplazme buniek sa rozpustí väčšie množstvo kyslíka a dusíka ako pri normálnom tlaku. Ide o fyzikálny fenomén a množstvo kyslíka viazaného na hemoglobín sa nemení.

Ak dôjde k náhlemu poklesu zvýšeného tlaku, plyny sa uvoľňujú vo forme bubliniek, ktoré poškodzujú bunky a upchávajú malé kapiláry (**plynová embólia**) a zhoršujú perfúziu orgánov. Hlavné príznaky dekompresnej choroby sú bolesti kĺbov, svrbenie kože a parestézie (bubliny v podkoží a koži), cyanotické škvryny na koži, zrýchlené dýchanie, suchý kašeľ a poškodenie CNS. V najzávažnejších prípadoch dochádza k strate vedomia a smrti. U potápačov, ktorí opakovane nedodržia pravidlá dekompresie, môže dôjsť po dlhšom čase k difúznemu poškodeniu mozgu.

Prevenencia choroby je jednoduchá – pomalá dekompresia ponecháva dost' času na to, aby uvoľnené plyny nevytvárali bubliny. Prvá pomoc je založená na tom istom princípe: rekompresia v tlakovej komore a potom pomalá dekompresia.

Podobný pochod ako pri kesonovej chorobe sa odohráva v tom prípade, ak k dekompresii dôjde vo veľkej výške – napr. pri porušení celistvosti pretlakovej kabíny lietadla. Tlak klesá veľmi rýchlo (vo výške 10 km je hodnota atmosferického tlaku 27 kPa) a vzniká **explozívna dekompresia** so vzduchovou embóliou, rozpínaním a prasknutím dutých orgánov kombinovaná s **akútnou hypoxiou**.

2.4. ÚČINKY TEPLA A CHLADU NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS

Ideálna teplota pre funkciu enzýmov a činnosť buniek je pri teplote 37 °C. Pri vyšších teplotách sa zvyšuje rýchlosť enzýmovej katalýzy, ale zároveň dochádza k denaturácii bielkovín. Pri teplote okolo 50 °C dochádza ku koagulácii cytoplazmy buniek. Nízke teploty nepoškodzujú štruktúru bielkovín, ale klesá alebo úplne sa zastavuje rýchlosť enzýmovej katalýzy klesá. Zmrazené bunky a tkanivá sú poškodené aj kryštálkami ľadu.

Následky pôsobenia vysokej alebo nízkej teploty delíme podľa toho, či ide o **lokálne** alebo **celkové** pôsobenie abnormálnej teploty. Lokálny účinok veľmi vysokej alebo nízkej teploty vedie k **popáleninám (combustio)** resp. k **omrzlinám (congelatio)**. Vysoká alebo nízka celková teplota okolia môže viesť k zlyhaniu termoregulácie s následnou zmenou teploty ľudského tela (**hypotermia a hypertermia**).

⁵ Svetový potápačský rekord je 534 m, ale v pretlakovej komore boli ľudia vystavení tlaku, ktorý zodpovedá hĺbke 700 m. Najväčšia hĺbka dosiahnutá veľrybami (ktoré sú cicavce) je 2,5 km, ale život existuje aj v 11 kilometrovej hĺbke Mariánskej priekopy.

Telesná teplota sa mení aj pri **horúčke**, ale v tomto prípade nie je zmena teploty zapríčinená vonkajšími výkyvmi teploty, ale preladením nastavenej hodnoty telesnej teploty v termoregulačnom centre.

Popáleniny

Lokálne účinky teplôt nad 50 °C vedú k tepelnému poškodeniu v závislosti na stupni a veľkosti postihnutého povrchu tela. Popáleniny majú aj celkové príznaky. Malé popáleniny spôsobujú bolesť, leukocytózu a prechodné zvýšenie telesnej teploty. Cez obnažený povrch kože sa do tela môžu dostať patogénne mikroorganizmy, a pretože je súčasne oslabená aj imunita, ľahšie vzniká infekcia, ktorá môže vyústiť až do **sepsy**. Pri väčších popáleninách hrozí vznik **popáleninového šoku**, čo je špeciálna forma **hypovolemického šoku**.

Popáleniny nevznikajú len pri požiaroch a pri dotyku s horúcimi predmetmi. Najčastejšie sú **obareniny**, ktoré vznikajú spravidla v domácnostiach a veľmi často postihujú malé deti a starých ľudí. Popáleniny vznikajú aj pri úrazoch elektrickým prúdom, pri príliš dlhom pobyte na slnku a účinkom žieravín.

Základné delenie popálení je podľa stupňa poškodenia:

1. stupeň popálení - **combustio erythematosa**. Poškodená je len pokožka. Dochádza k odumieraniu keratinocytov, sčervenaniam a bolestiam kože. Hojí sa bez jazvy.

2. stupeň popálení - **combustio vesiculosa** môže byť povrchový (postihnutá je len pokožka) alebo hlboký, keď je poškodená pokožka a koža. Koža je opuchnutá, vznikajú pľuzgiere a tkanivo je infiltrované lymfocytmi a neutrofilmi. Obyčajne sa hojí bez jazvy ale po hojení môže zostať hyperpigmentácia kože.

3. stupeň - **combustio escharotica** niekedy poškodzuje len kožu, ale inokedy aj tkanivá pod kožou (svaly a kosti). Koža a kožné adnexe sú zničené, vznikajú pľuzgiere, chrasty, edém, zápalová infiltrácia. Hojí sa jazvami.

4. stupeň – **carbonisatio** je úplne zničenie, zuhoľnatenie tkaniva.

Druhým dôležitým činiteľom prognózy popálení je ich rozsah, vyjadrený v percentách celkovej plochy tela (*BSAB – body surface area burned*). Z ďalších faktorov najvýznamnejšie postavenie majú **inhalácia dymu** a **popáleniny dýchacích ciest**. Inhalácia dymu môže mať za následok akútnu otravu oxidom uhoľnatým alebo kyanidmi (vznikajú pri horení niektorých umelých látok). Plameň alebo horúci vzduch vedie k podráždeniu až obštrukcii horných dýchacích ciest, pľúcnemu edému a k zápalu pľúc s následnou fibrózou.

Mortalitu pri popáleninovom úraze ovplyvňuje aj vek (malé deti a starí ľudia majú vyššiu úmrtnosť) a celkový zdravotný stav postihnutých (č. 2.3).

TAB. 2.3.

KLASIFIKÁCIA POPÁLENÍN PODĽA ZÁVAŽNOSTÍ A ROZSAHU

KLINICKÉ HODNOTENIE	% BSAB	
	CELKOVO	HLBOKÉ
MALÁ POPÁLENINA	< 20	0
STREDNE ŤAŽKÁ	20 – 25	< 10
ŤAŽKÁ	25 – 40	10 – 20
KRITICKÁ	> 40	> 20

Poznámky:

- U detí do 3 rokov sa popáleniny vždy hodnotia ako „kritické“.
- U väčších detí uvedené hranice BSAB sú nižšie o 5 – 10%.
- Popáleniny tváre, perinea, dlane, chodidla sa posudzujú prísnejšie, aj keď sú malého rozsahu.
- Popáleniny komplikované poškodením dýchacích ciest, úrazmi, atď. majú horšiu prognózu ako je to uvedené v tabuľke.

Strata tekutiny a jej presun z ciev do extravazálneho priestoru znižuje objem plazmy a zvyšuje hematokrit a viskozitu krvi. Ak sa stratené tekutiny nenahradia v dostatočnej miere a včas, môže dôjsť k **popáleninovému šoku**. Metabolická odpoveď na ťažké popáleniny spočíva vo zvýšení bazálneho metabolizmu. Mierne zvýšená teplota prostredia (32 °C) a tlmenie bolesti znižuje hypermetabolický stav, ktorý bez liečby trvá niekoľko týždňov.

V posledných 40 rokoch došlo k obrovskému pokroku v liečbe popálenín. Dnes aj postihnutí s 70 – 90 % BSAB majú reálne vyhliadky na prežitie, kým predtým popáleniny s 33 – 50 % BSAB boli väčšinou smrteľné. Tento pokrok bol dosiahnutý vďaka intenzívnej protišokovej liečbe, včasnému odstráneniu poškodených tkanív, pokrytiu obnažených častí umelou alebo prirodzenou náhradou kože a cielenej antimikrobiálnej terapie.

Omrzliny

V závislosti na teplote a dobe účinku dochádza k piloerekcii, vazokonstrikcii a bolestivosti, potom k vazodilatácii s cyanózou. Neskôr bolestivosť pominie a nastúpi parestéza alebo celková necitlivosť (anestéza). V najhoršom prípade môže dôjsť k tvorbe pľuzgierov, kožného edému a nekrózám s následnou vlhkou gangrénou. V závislosti od dĺžky a intenzity lokálneho pôsobenia chladu vznikajú tri stupne omrzlín:

- **congelatio erythematosa** sa vyznačuje konstrikciami arteriál a následnou ischemickou bledosťou, ktorá spôsobí čiastočné znecitlivenie príslušnej oblasti. Po určitom čase konstriktoria arteriál následkom vzniku vazodilatačných látok povolí a nastúpi štádium aktívnej hyperémie, ktorú sprevádzajú rôzne parestézie (štipanie a pod).

- **congelatio bullosa** sa vyznačuje väčším spazmom ciev a dlhším trvaním, následkom čoho vzniká na postihnutom mieste porucha permeability kapilár a edém. Porucha priepustnosti kapilár a výživy tkanív sa môže okrem edému prejaviť aj tvorbou pľuzgierov.

- **congelatio escharotica** je výsledkom dlhotrvajúcej intenzívnej ischemie a poklesu teploty tkaniva na -2 °C, čo spôsobuje nekrózu. Ak sa na odumierajúcom tkanive usídli a pomnožia mikroorganizmy, vzniká **vlhká gangréna**.

Hypertermia

Ľudský organizmus má štyri možnosti na odvádzanie nadbytočného tepla produkovaného samotným telom alebo absorbovaného z okolia:

1. **Radiácia tepla** je fyzikálny jav. Každé teleso vyžaruje energiu v závislosti od svojej absolútnej teploty. Týmto spôsobom je možné odovzdať teplo len smerom od teplejších telies k studenším.

2. **Kondukcia** je priame odovzdanie tepla z teplejších predmetov studeným. Studená sprcha, plávanie v studenej vode, zmrzlina alebo studené nápoje ochladzujú telo týmto spôsobom.

3. Vietor alebo prúd vzduchu z ventilátora ochladzuje **konvekciou**.

4. Najdôležitejšia cesta odovzdania tepla je spojená s potením a odparením vody z povrchu tepla. **Evaporácia** každého gramu vody, ktorý sa dostane na povrch tela, spotrebuje 2,4 kJ energie. Ak okolitá teplota je vyššia ako teplota tela je to jediný spôsob na odovzdanie tepla.

V teplom a suchom prostredí (napr. v saune a na pracoviskách s vysokou teplotou) sa zvýši prekrvenie kože a vylučovanie potu. Stála teplota tela sa udržiava pomocou odparenia vypotenej vody. Táto forma tepelnej záťaže sa dobre toleruje, kým je zabezpečená náhrada stratenej tekutiny a elektrolytov. Pot je v porovnaní s plazmou hypotonický roztok, ale silné potenie môže viesť k značnej strate solí, ak je nahradené len čistou vodou. Bez náhrady tekutín dôjde k **dehydratácii** a hypovolémii, viskozita krvi rastie, krvný tlak klesá. Neskôr začína stúpať aj telesná teplota, dochádza k **hypertermii**. Pre činnosť svalov a srdca je zvlášť nebezpečná hrozba **hypokalémie**.

Tepelný úpal – siriasis: V teplom a vlhkom prostredí, alebo ak odparenie potu je sťažené kvôli nevhodnému oblečeniu, je zablokovaný aj tento posledný spôsob termoregulácie. Teplota tela začína rásť, zvyšuje sa frekvencia srdca a dýchania a klesá krvný tlak. Keď jadrová teplota tela dosiahne 40 °C, objaví sa únava, bolesť hlavy, hučanie v ušiach, neskôr zvracanie a svalové kŕče. Pri 43 °C dôjde k strate vedomia, k zlyhaniu cirkulácie a k smrti.

Slnčný úpal – insolatio: V prípade, keď tepelná záťaž (spravidla ide o slnečné lúče) je koncentrovaná na nekrytú, zvlášť na plešivú hlavu, objavujú sa podobné príznaky ako pri hypertermii. V popredí príznakov sú bolesti hlavy, nauzea a zvracanie. Nie je prítomná dehydratácia a celková porucha termoregulácie (aj keď telesná teplota je spravidla zvýšená). Príznaky sú pravdepodobne zapríčinené lokálnym prehriatím CNS, vazodilatáciou ciev mozgových blán a mozgu. Malé deti a starí ľudia sú zvlášť náchylní na úpal.

Hypotermia

Telesná teplota **poikilotermných** zvierat kolíše v závislosti od vonkajšej teploty, kým **homoiotermné** živé bytosti udržujú jadrovú teplotu svojho tela v úzkom rozmedzí. Niektoré cicavce (**hibernanty**) v zime prežívajú v stave, pri ktorom je znížená telesná teplota, metabolizmus, frekvencia srdca a dýchanie na minimum. **Hypotermia u ľudí** je patologický stav, ktorý vzniká pri poklese jadrovej teploty tela pod 35 °C.

V studenom prostredí sa zníži prekrvenie kože a dochádza k **piloerekcii** (husia koža). Koža a piloerekciami imobilizovaná vrstva vzduchu účinkujú ako tepelná izolácia. Človek v procese fylogenézy stratil hustú sršť a preto je nútený nosiť šaty ako prídavnú tepelnú izoláciu. Druhá možnosť ochrany pred zimou je zvýšenie produkcie tepla cieľenou **svalovou prácou** alebo **triaškou**. **Tukové tkanivo** má pri ochrane pred podchladením dve rôzne úlohy: je dobrým izolátorom a dodáva energiu pre svalovú prácu. Hnedé tukové tkanivo produkuje teplo rozpojením oxidatívnej fosforylácie v mitochondriách tukových buniek v procese **netriaškovej termogenézy**.

Schopnosť adaptácie na zimu závisí od veku, zdravotného stavu a iných podmienok. Ľudia žijúci v oblastiach so studeným podnebíom (Eskimáci) majú lepšie vyvinuté mechanizmy adaptácie na zimu ako ľudia žijúci v tropických oblastiach sveta. Individuálna adaptácia na zimu sa doceli otužovaním tela. **Novorodenci** majú určité množstvo hnedého tukového tkaniva. Ide o bezpečnostný mechanizmus proti hypotermii v prvých dňoch života, keď ostatné mechanizmy termoregulácie ešte nie sú úplne vyvinuté. Napriek tomu pri nedostatočnej opatere v prvých hodinách po narodení telesná teplota novorodencov môže rýchlo klesať na veľmi nízke hodnoty. Ešte viac sú ohrození nedonosení novorodenci. Na druhej strane novorodenci lepšie tolerujú následky hypotermie ako dospelí. Termoregulácia a adaptabilita na zimu je zhoršená aj v **starobe**. Súvisí to so stareckými zmenami kože a poklesom intenzity metabolizmu u starých ľudí. **Obézni ľudia a jedinci so silnými svalmi** lepšie znášajú zimu ako chudí. Majú viac tuku a sú schopní vytvoriť väčšie množstvo tepla svalovou prácou ako chudí, podvyživení a slabí ľudia.

Priečne pruhované svaly sú schopné vytvárať teplo len dovedy, kým sa neunavia. **Vyčerpanie** (napr. u slabo trénovaných a málo aklimatizovaných horolezcov, u neskúsených turistov v horách) vedie k veľmi rýchlemu nástupu hypotermie. **Alkohol** a niektoré lieky účinkujúce na nervový systém inhibujú činnosť termoregulačného centra. Alkohol navyše rozširuje cievy (čím sa zníži izolačná funkcia kože) a dodáva falošný pocit tepla. Na základe týchto účinkov alkoholu je možné ľahko pochopiť, prečo opití ľudia umierajú na hypotermiu aj pri nie príliš nízkych teplotách okolia (8 – 12 °C).

Ak sa z hocikákeho dôvodu prekročia medze adaptability termoregulačného systému, jadrová teplota tela začína klesať. Pri jadrovej teplote 33 °C postihnutý je spravidla spavý (stuporózný) a dochádza k rigidite svalov. Klesá frekvencia srdca a dýchania. Pri 30 °C sa triaška zastaví a pri 27 °C svaly sú ochabnuté a stráca sa vedomie. Pri tejto teplote je veľké nebezpečenstvo náhlejšej smrti pre fibriláciu srdcových komôr. Pri ešte nižších teplotách smrť nastáva pre zástavu obehu a dýchania, hoci individuálne prípady prežitia boli popísané aj v prípadoch, keď jadrová teplota bola len 18 °C.

Imerzné podchladenie je špeciálny prípad hypotermie, ktorý vzniká v studenej vode. Koža sa rýchlo schladí na teplotu okolitej vody a dĺžka prežívania závisí od hrúbky podkožného tuku. Z toho dôvodu ženy lepšie znášajú imerzné podchladenie ako muži. Svalová práca (plávanie) v studenej vode paradoxne zvyšuje straty tepla – z lepšie prekrvených svalov sa stráca viac tepla. Smrť podchladením a celkovým vyčerpaním v studenej vode nastáva za niekoľko hodín.

Studené počasie zvyšuje pravdepodobnosť vírusových a baktériových infekcií dýchacích ciest. Znížené prekrvenie sliznic horných dýchacích ciest pravdepodobne znižuje ich obrannú funkciu. Zlé počasie nie je skutočnou príčinou týchto chorôb, len ich spúšťačom, ale výraz „**choroby z prechladnutia**“ (angl. „**common cold**“) sa bežne používa na ich popis dodnes.

Hypotermia znižuje metabolizmus a tým nároky na dodávku kyslíka do tkanív. Počas kontrolovanej hypotermie alebo **umelej hibernácie** krvné zásobenie mozgu môže byť prerušené na dlhšiu dobu ako pri normálnej teplote. Táto technika v nedávnej minulosti sa využívala v kardiovaskulárnej chirurgii, ale dnes je už nahradená modernými prístrojmi, zabezpečujúcimi umelú cirkuláciu.

2.5. POŠKODENIE ORGANIZMU ELEKTRICKÝM PRÚDOM

Účinok elektrického prúdu na ľudské telo závisí predovšetkým od **intenzity prúdu** a intenzita od pomeru napätia a odporu⁶. Ďalšie činitele, ktoré rozhodujú o následkoch úrazu elektrickým prúdom sú:

- **trvanie** účinku prúdu;
- **typ prúdu (striedavý je nebezpečnejší ako jednosmerný);**
- **frekvencia**, ak ide o **striedavý prúd** (najviac nebezpečné sú frekvencie medzi 30 – 150 Hz);
- **dráha prúdu v ľudskom tele.**

V domácnostiach sa používa striedavý prúd o napätí 220 V. Z Ohmovo zákona je jasné, že intenzita prúdu, ktorá bude tiecť telom pri dotyku neizolovaných vodičov bude závisí od **odporu kože**. Suchá koža je dobrým izolátorom – má odpor okolo 5 kΩ. Odpor vlhkej a zvlášť spotenej kože je oveľa nižšia. Základným pravidlom je, že prúd o intenzite 0,1 A a viac, o napätí 50 V a viac a o trvaní dlhšom ako 1 sekunda ohrozuje život.

Vo vnútri tela prúd sleduje dráhu, ktorá zodpovedá najmenšiemu odporu. Telové tekutiny, svaly a nervy sú najlepšie vodiče prúdu, lebo obsahujú vysokú koncentráciu iónov. Je samozrejmé, že najväčšie nebezpečenstvo vzniká v prípadoch, keď dráha prúdu kríži srdce alebo CNS. Elektrický prúd depolarizuje membrány buniek. To je základná príčina **svalových kŕčov, zástavy dýchania, straty vedomia a fibrilácie komôr**. Fibrilácia komôr je najväznejším následkom úrazu elektrickým prúdom, pretože znamená zástavu srdca a bez okamžitej resuscitácie vedie k smrti.

Energia elektrického prúdu pri prechode telom sa mení na teplo, čo zapríčiňuje popáleniny. Produkcia tepla závisí od odporu tkaniva a z toho dôvodu popáleniny sa objavujú predovšetkým na miestach, kde prúd vstupuje a vystupuje z tela. Úraz vysokým napätím alebo bleskom má skoro vždy za následok ťažké popáleniny tretieho stupňa. **Blesk** je vysokofrekvenčný pulz, s prúdom okolo 100 kA, o napätí 100 kV – 1 MV. Zasiahnutie bleskom je v 40% prípadov smrteľné.

Účinok elektrického prúdu na centrálny nervový systém sa využíva v liečbe niektorých psychických ochorení (**elektrošoková liečba**). Elektrošok spočíva v aplikácii striedavého prúdu o intenzite niekoľko sto mA transversálne cez lebku. Dochádza ku krátkodobej strate vedomia a ku kŕčom, ale po návrate vedomia príznaky choroby ustupujú.

Elektrický prúd môže zapríčiniť fibriláciu srdca, ale na druhej strane zástava srdca môže byť úspešne liečená krátkymi impulzmi jednosmerného prúdu pri **defibrilácii**. Energia impulzov pre dospelých je medzi 200 – 360 Joulov. Rovnaký princíp sa využíva v liečbe predsieňovej fibrilácie, ale v tomto prípade (**kardioverzia**) impulzy sú presne časované, aby nezastihli komory vo vulnerabilnej fáze. Udávače kroku srdca (**pacemakery**) vydávajú slabé elektrické impulzy, ktoré nahrádzujú chýbajúcu činnosť vodivého systému vlastného srdca.

2.6. ÚČINKY ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA NA ĽUDSKÉ TELO

Elektromagnetické žiarenie, ktoré pochádza z prirodzených a umelých zdrojov obklopuje každý predmet a každú živú bytosť na Zemi. Ak uvažujeme o biologických a prípadných škodlivých účinkoch elektromagnetických vln, nesmieme zabudnúť na základné (a zástancami nevedeckých teórií často zabudnuté) pravidlo, ktoré je veľmi jednoduché: **Len absorbované žiarenie môže mať účinok.**

Prehľad elektromagnetických vln (tab. 2.4).

Vlny, ktoré sa využívajú vo vysielaní rozhlasu a televízie sa začínajú v kilometrovej oblasti (kHz) a končia okolo niekoľko centimetrov (stovky MHz). Mobilné telefóny prijímajú a vysielajú signál na

⁶ Ohmov zákon: $I = U/R$

frekvencii 9 a 18 GHz. Človek a zvieratá vnímajú žiarenie o vlnovej dĺžke medzi 760 nm a 380 nm ako svetlo rôznej farby. Zelené rastliny využívajú energiu svetelných vln Slnka na syntézu organického materiálu z vody a oxidu uhličitého v procese fotosyntézy. Umelo generované vlny v RTG prístrojoch, γ -lúče vyžarované z rádioaktívnych látok a prichádzajúce z kozmu, majú vlnovú dĺžku menšiu ako 1 nanometer a frekvencie medzi 10^{16} – 10^{24} Hz. Energia týchto vln je veľká, patria medzi ionizujúce formy žiarenia a ohrozujú zdravie živých bytostí (p. 2.7).

TAB. 2.4
PREHĽAD ELEKTROMAGNETICKÝCH VĽN

ZDROJ	FREKVENCIA	VĽNOVÁ DĹŽKA
Striedavý prúd	16 – 60 Hz	18 000 - 6 000 km
Rádio a TV		
dlhé vlny	150 – 300 kHz	2 – 1 km
stredné vlny	500 – 2 000 kHz	600 – 150 m
krátke vlny	6 – 20 MHz	50 – 15 m
FM rádio	66 – 108 MHz	5 – 3 m
TV pásmo	49 MHz – 12,5 GHz	6 m – 24 mm
mobilné telefóny	9 a 18 GHz	33 a 17 mm
Mikrovlny a radar	0,3 – 1 000 GHz	1 m – 300 μ m
Svetlo		
Infračervené	10^{12} – $3,9 \cdot 10^{14}$ Hz	300 μ m – 760 nm
Viditeľné	$3,9$ – $7,8 \cdot 10^{14}$ Hz	760 nm – 380 nm
Ultrafialové	$7,8 \cdot 10^{14}$ – $3,0 \cdot 10^{16}$ Hz	380 nm – 10 nm
X-žiarenie	$3,0 \cdot 10^{16}$ – 10^{18} Hz	10 nm – 0,01 nm
γ -žiarenie	10^{18} – 10^{19} Hz	0,01 nm – 0,0001 nm

Rádiové frekvencie

Ľudské telo je relatívne transparentné pre tieto vlny. Absorbovaná časť radiácie má tepelný účinok, ktorý sa využíva vo fyzioterapii na liečbu bolestivých stavov svalov a kĺbov (**krátkovlnná diatermia** – používajú sa frekvencie 40,68; 27,12 a 13,56 MHz).

Mikrovlny a infračervené vlny

O účinkoch elektromagnetických vln, ktoré používajú mobilné telefóny, nie sú jednoznačné vedecké poznatky. Vzhľadom na ich rozšírenie, časté používanie a blízkosť prístrojov k telu nie je možné vylúčiť ich škodlivý účinok na činnosť srdca, nervového systému a na delenie buniek.

Každé teplé teleso vyžaruje infračervené žiarenie. Chronická expozícia infračervenej radiácie môže viesť k zákalu očnej šošovky (**katarakta fúkačov skla**). V poslednom čase sa značne rozšírili mikrovlnové prístroje v domácnostiach, ktoré vyžarujú o niečo dlhšie vlny, ako sú infračervené. Biologické štruktúry absorbujú tento typ radiácie, čo je základ ich termálneho účinku. Nebezpečenstvo vzniká z toho, že značná časť tejto radiácie prejde kožou a je absorbovaná v hlbších štruktúrach, ktoré nemajú termoreceptory. Môže tak dôjsť k prehriatiu a poškodeniu tkanív bez poplachových signálov z receptorov.

Viditeľné svetlo

Oko je optický prístroj, ktorý premieta svetlo vonkajšieho sveta na retinu. Viditeľné svetlo vysokej intenzity (Slnko pozorované ďalekohľadom bez filtra, svetlo laserov a nukleárných výbuchov) môže zapríčiniť ireverzibilné poškodenie retiny (**slepé škvrnny**). Na druhej strane liečba laserovými lúčmi v oftalmológii zachraňuje zrak mnohých chorých s diabetickou retinopatiou, glaukómom alebo trhlinami retiny. Pri krátení dňa v našich zemepisných šírkach sa popisuje tzv. sezónna porucha nálady. Zvýšená intenzita osvetlenia bežným svetelným spektrom sa využíva pri fototerapii v psychiatrii pri maniodepresívnych stavoch.

Ultrafialové svetlo

Ultrafialové (UV) pásmo je rozdelené do troch oblastí: (UV-C : 10 – 280 nm, UV-B : 280 – 315 nm a UV-A : 315 – 380 nm). Táto forma žiarenia pochádza zo Slnka, je pre ľudské oko neviditeľná, ale je dobre absorbovaná v biologických štruktúrach. Energia UV-C vln je taká vysoká, že je schopná rozbiť kovalentné chemické väzby a poškodiť aj nukleové kyseliny, bielkoviny a iné biologické makromolekuly. UV žiarenie typu C je už ionizujúce žiarenie (2.7). Našťastie ozónová vrstva ionosféry pohlcuje vlny kratšie ako 290 nm. Vodná para a prach v atmosfére filtrujú značnú časť tých UV lúčov, ktoré prejdú do nižších vrstiev atmosféry. To, čo sa dostane z UV-A a UV-B lúčov na povrch Zeme, stačí na premenu provitamínu na vitamín D v koži a na mierne podráždenie kože, čím sa aktivuje tvorba melanínu a vzniká zdravo opálená farba kože v lete.

Príliš dlhý pobyt na slnku (citlivosť je individuálna a závisí od farby kože) vedie k poškodeniu kože, ktoré sa začína bolestivým erytémom (trvá 8 – 24 hodín), potom môže dôjsť k vzniku pluzgierov (sú to povrchové popáleniny druhého stupňa). Pre hojenie procesu je charakteristické silné olupovanie a svrbenie kože. Postupné zvyšovanie dávok UV lúčov umožňuje adaptáciu kože na žiarenie a nedochádza k takýmto problémom. Pobyt vo vode nezabráni opáleniu, lebo voda chladí kožu, ale prepúšťa UV lúče. Nebezpečenstvo nie je menšie ani v horách počas lyžovačky – vo výške 1000 metrov je UV žiarenie o 20% silnejšie ako v nížinách.

Koža vystavená dlhoročnému nadmernému účinku slnečných lúčov (napr. u ľudí pracujúcich v poľnohospodárstve a u tých, ktorí preháňajú pobyt na slnku) predčasne starne, dochádza k jej degenerácii a k častejšiemu výskytu rakoviny kože. UV a slnečné lúče sú okrem toho dôležitým (ale nie jediným) činiteľom zvrhnutia pigmentových névov na maligný melanóm. Tieto riziká sa zvýraznili v uplynulých rokoch pre pokles hrúbky ozónovej vrstvy ionosféry.

2.7. ÚČINKY IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA NA ORGANIZMUS

Základné pojmy

Ionizujúce žiarenie je každé vysoko energetické elektromagnetické a korpuskulárne žiarenie (tab. 2.5), ktoré poškodzuje biologické štruktúry. Účinkami ionizujúceho žiarenia na živé systémy sa zaoberá **rádiobiológia**. Špeciálnou oblasťou rádiobiológie je dozimetria, ktorá sa zaoberá stanovením a meraním množstva energie, ktorá je vyžiarená alebo odovzdaná žiarením ožarovanému objektu. Základné veličiny rádiobiológie, ktoré majú význam v medicíne, sú v tabuľke 2.6.

Ionizujúce žiarenie môže poškodiť organizmus dvojakým spôsobom. Veľké dávky priamo poškodzujú bunky a tkanivá – majú za následok akútnu a chronickú chorobu z ožiarenia. Malé dávky poškodzujú genóm a môžu mať za následok somatické mutácie (chyby v génoch a chromozómové aberácie). Závažným následkom poškodenia génov v somatických bunkách je zvýšený výskyt zhubných nádorov. Ožiarenie pohlavných orgánov má za následok mutácie v zárodočných bunkách a tieto sa môžu dostať do ďalšej generácie. Opis mutácií a ich následkov na zdravie je v 5. kapitole.

Citlivosť tkanív na ožiarenie je rozdielna. Vo všeobecnosti sú bunky s vysokou mitotickou aktivitou citlivejšie na žiarenie ako postmitotické bunky. Senzitivita tkanív závisí aj od metabolickej aktivity tkanív a od stupňa ich diferenciacie. Na základe uvedeného rozdeľujeme tkanivá na:

- **rádiosenzitívne** – kostná dreň, lymfatické tkanivo, sliznica tenkého čreva, gonády a
- **rádioresistentné** – svaly, kostra, obličky, pečeň a endokrinné orgány okrem gonád.

Zvláštne je postavenie nervového tkaniva, ktoré je rezistentné na priame účinky ionizujúceho žiarenia, ale mimoriadne citlivé na nepriame účinky, napríklad na bioreaktívne formy kyslíka. Extrémne senzitivne na žiarenie je plod, najmä v prvých týždňoch intrauterinného života.

Dávka a dávkový ekvivalent ionizujúceho žiarenia sa vyjadrujú v jednotkách energie (Gray zodpovedá energii 1 Joule absorbovanej v 1 kg živého tkaniva.) Z toho môže vzniknúť mylný dojem, že poškodenie orgánov a tkanív pri chorobe z ožiarenia súvisí s *množstvom* absorbovanej energie. Dávka 4 Gray (LD₅₀) sa však rovná tepelnej energii, ktorá je absorbovaná telom po vypití jediného hltu horúcej kávy, alebo kinetickej energii pri zdvihnutí závažia o hmotnosti 50 kg do výšky 60 cm.

Ionizujúce žiarenie totiž poškodzuje živú hmotu *svojimi špecifickými vlastnosťami* a nie jednoducho svojou energiou.

TAB.2.5
HLAVNÉ DRUHY IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY – NEPRIAMO IONIZUJÚCE ŽIARENIE
X-lúče. Elektromagnetické vlny (fotóny) emitované rntg prístrojmi. Dobre prenikajú mäkkým tkanivom, absorbujú sa v kostiach.
γ-lúče. Elektromagnetické vlny (fotóny). Pochádzajú z prirodzeného kozmického a terestriálneho žiarenia alebo z rádionuklidov.
KORPUSKULÁRNE ŽIARENIE
ČASTICE S NÁBOJOM – PRIAMO IONIZUJÚCE ŽIARENIE
Protóny (p⁺) sa vyskytujú vo veľkom množstve vo Van Allenovej zóne okolo Zeme a sú produkované solárnymi erupciami: Sú absorbované vo vyšších vrstvách atmosféry a môžu byť nebezpečné pre kozmonautov.
Alfa častice (α²⁺) sú totožné s jadrami hélia (dva protóny a dva neutróny). Vznikajú pri spontánnom rozpade ťažkých rádionuklidov. Majú najsilnejší ionizačný účinok ale ich dolet (penetrácia tkanivom) je veľmi krátky.
Beta častice (β⁻, β⁺) sú vysoko energetické elektróny alebo pozitrony, ktoré sú emitované pri jadrových premenách rádionuklidov.
ČASTICE BEZ NÁBOJA – NEPRIAMO IONIZUJÚCE ŽIARENIE
Neutróny (n⁰) môžu vstúpiť do interakcie s hmotou len prostredníctvom zrážok. Ionizácia je nepriamym následkom týchto zrážok.

TAB. 2.6.
ZÁKLADNÉ VELIČINY V RÁDIOBIOLOGII

VELIČINA	JEDNOTKA	VYJADRENIE	CHARAKTERISTIKA
AKTIVITA	Becquerel	Bq.s ⁻¹	1 Bq = 1 rádioaktívna premena za 1 sekundu
EXPOZÍCIA	Coulomb	C.kg ⁻¹	Tá istá veličina ako v náuке o elektrine. Pri jednotkovej expozícii dôjde k vzniku iónov rovnakého znamienka s celkovým nábojom 1 C v 1 kg vzduchu
DÁVKA	Gray	Gy = J.kg ⁻¹	Jednotka absorbovanej energie. 1 Gy = absorbcia energie 1 Joule v 1 kg látky
DÁVKOVÝ EKVALENT	Sievert	Sv = J.kg ⁻¹ .RBE	Jednotka biologickej účinnosti absorbovanej energie RBE = relatívna biologická účinnosť príslušného typu žiarenia: fotóny (X,γ) a elektróny (β)=1, neutróny a protóny = 10, α-častice a ostatné ťažké častice = 20.

Účinkom absorbovaného žiarenia dochádza v elektrónovom obale atómov a molekúl k **ionizácii** a k **excitácii** atómov. Na základe toho delíme jednotlivé formy žiarenia na:

- **priamo ionizujúce**, ku ktorým patria častice α, protóny a elektróny. Tieto po zrážke s atómami vystreľujú z nich elektróny a tým ich ionizujú.
- **nepriamo ionizujúce** sú: γ žiarenie, X žiarenie a neutróny. Elektromagnetické vlny odovzdajú svoju energiu elektrónom, ktoré sa dostanú do excitovaného stavu. Ionizácia atómov a molekúl vzniká až v ďalších krokoch. Neutróny narážajú do jadra buniek.

Zdroje ionizujúceho žiarenia

Ľudský organizmus môže byť zasiahnutý ionizujúcim žiarením dvojakým spôsobom. **Vnútná kontaminácia** vzniká pri ožiarení inkorporovanými rádionuklidmi z potravy, vdychovaním (napr. pri fajčení) alebo pri iatrogénnom zásahu (izotopové vyšetrenie). **Vonkajšie ožiarenie** pochádza z prirodzeného kozmického a terestriálneho žiarenia a z umelých zdrojov.

Iné delenie zdrojov radiácie je podľa ich pôvodu na **prirodzené radiačné pozadie** a **antropogénnu záťaž**, ktorá vzniká následkom ľudskej činnosti.

Z prirodzeného pozadia sa uplatňujú najmä:

- kozmické žiarenie a kozmogénne rádionuklidy a
- terestriálne žiarenie (z rádionuklidov v horninách a v pôde: ^{40}K , ^{87}Rb , ^{235}U , ^{238}U , a ďalšie).

K radiačnej záťaži, ktorá vzniká následkom ľudskej činnosti (antropogénna záťaž) patrí:

- Expozícia pri rtg a izotopových vyšetreniach a pri rádioterapii.
- Ožiarenie z pokusných výbuchov jadrových zbraní, z havárií, z rádioaktívneho odpadu, atď.
- Hodinky s rádioaktívnymi svietielkujúcimi farbami. Obrazovky farebných televízorov (následkom brzdného rtg. žiarenia) pri pozeraní z menších vzdialeností.
- Profesionálna expozícia u ľudí, ktorí pracujú s RTG prístrojmi a rádioaktívnymi izotopmi. Expozícia kozmonautov a baníkov v uránových baniach. Pre tieto skupiny ľudí platia prísne pravidlá radiačnej hygieny a expozícia sa u nich sleduje dozimetricky.

Aká je radiačná záťaž obyvateľstva?

Hodnotenie radiačnej záťaže je mimoriadne ťažké, pretože medzi jednotlivými oblasťami Zeme sú veľké rozdiely v úrovni prirodzeného pozadia. Rozdielna je aj dávka, ktorú jedinec dostane podľa toho, ako často je podrobený rtg a izotopovým vyšetreniam, aké má povolanie atď. Radioaktívne látky majú veľmi rozdielne fyzikálne vlastnosti a rozmanité sú aj ich účinky na organizmus. Niekoľko príkladov na pochopenie rozmanitosti radiačnej záťaže:

Ožarujú nás vlastné bunky. Významným zdrojom žiarenia pre živé organizmy je ^{40}K , ktorý emituje beta žiarenie. Jeho polčas rozpadu je $1,3 \cdot 10^9$ rokov. ^{40}K predstavuje asi 0,0012% z celkového draslíka v prírode. Z toho vyplýva, že v ľudskom tele je jeho množstvo asi 1 – 2 μg . Draslík je hlavný intracelulárny kation, čo znamená, že bunky sú zdrojom ionizujúceho žiarenia. Tento zdroj predstavuje značnú časť záťaže z prírodného pozadia. Žiarenie emitované draslíkom z ľudského tela môže účinkovať na druhý organizmus v prípade tesného kontaktu medzi nimi.

V ktorej časti sveta je riziko nízke? Sú určité oblasti, kde je radiačné pozadie vyššie ako inde. Ožiarenie obyvateľov Mexico City (nadmorská výška 2240 m)⁷ kozmickým žiarením je asi 2 – 3 násobne vyššie ako je na úrovni mora. Prúd nabitých častíc lietajúcich zo Slnka je odklonený magnetickým poľom vytvoreným rotáciou Zeme. Častice sa dostanú na Zem jedine v blízkosti Severného a Južného pólu a na týchto miestach je kozmické žiarenie oveľa silnejšie, ako v rovníkovej oblasti. Dôkazom stretu ionizujúceho žiarenia s atmosférou je Severná žiara. Terestriálne žiarenie je vyššie v oblasti Denveru (USA), v oblastiach štátu Kerala a Tamil Nandu v Indii, v určitých oblastiach Francúzska, Iránu, Srí Lanky a Nigeru.

S potravou prijímajú viac rádionuklidov v niektorých oblastiach Severu – Laponci a Eskimáci, ktorí sa živia mäsom sobov. Vyššie radiačné pozadie je aj v oblastiach, kde došlo k havárii jadrového zariadenia (Černobyľ, Ukrajina), alebo v oblastiach, kde boli umiestnené experimentálne jadrové centrá (Semipalatinsk, Kazachstan a Lop Nor, Čína), alebo vykonané experimentálne jadrové výbuchy (atol Bikini).

Je radón významným faktorom vzniku rakoviny pľúc? Radón je inertný plyn s krátkym polčasom rozpadu (3,8 dní, emituje α žiarenie). Je produktom uránového rozpadového radu a zo zeme sa dostane do vzduchu a do budov. Z radónu po rozpade vznikajú iné rádioizotopy, ktoré majú dlhší polčas a nedifundujú do vzduchu. Radón a jeho štiepne produkty vážne ohrozujú zdravie baníkov v uránových baniach, menej v ostatných podzemných baniach. V sedemdesiatych rokoch bola zverejnená hypotéza, že radón a jeho štiepne produkty sa môžu hromadiť v budovách – zvlášť vtedy, ak sú dobre tepelne izolované. Táto forma radiácie bola vyhlásená za významný faktor vzniku rakoviny pľúc. Skutočnosť je pravdepodobne iná. Modely rizika vzniku rakoviny pľúc boli vypracované na základe údajov získaných od baníkov, ktorí dostávali až dvadsaťnásobnú dávku oproti tomu, čo

⁷ Zvýšenú úroveň kozmického žiarenia vo výškach 5 – 12 km skoro úplne filtruje kovový trup lietadiel.

môže byť v budovách. Model totiž nebral do úvahy ani to, že väčšina baníkov fajčí a sú vystavení aj prachu v baniach.

Fajčenie. 40 cigariet denne predstavuje významnú radiačnú dávku pre dýchacie cesty a pľúca. Táto expozícia spolu s ostatnými faktormi (p. kapitolu 3.6) už môže mať určitý podiel na vzniku rakoviny pľúc u fajčiarov.

Rtg vyšetrenia patria medzi najčastejšie indikované vyšetrenia a týkajú sa prakticky každého človeka. Vyšetrenia modernými rádiodiagnostickými prístrojmi (vrátane CT) znamenajú oveľa menšiu radiačnú záťaž ako vyšetrenia klasickými prístrojmi staršieho typu.

Celková expozícia obyvateľstva. Z uvedených príkladov vyplýva, že z prirodzeného pozadia a z umelých zdrojov obyvateľstvo dostáva dávku žiarenia v pomerne širokom rozmedzí – medzi 1 - 5 mSv. Dodnes nie je známa prahová hodnota, ktorá vedie ku genetickému poškodeniu, ale základné pravidlo je, že je potrebné vyhnúť sa akejkolvek zbytočnej záťaži. V anglickej literatúre toto pravidlo je vyjadrené skratkou „ALARA“ (as low as reasonably achievable) – tak málo, ako je to možné rozumne dosiahnuť. Bolo by totiž nerozumné nevykonať indikované rtg vyšetrenia – riziko následkov neskorej diagnózy vážnej choroby je oveľa väčšie ako riziko dávky ionizujúceho žiarenia. Aplikácia princípu ALARA je individuálna – znamená niečo iné u muža stredného veku a u mladej ženy v reprodukčnom veku. Najprísnejšie pravidlá sa vzťahujú na plod v maternici.

Hodnotenie účinku malých dávok žiarenia na živé systémy je zložitú. Teoreticky platí, že každá absorbovaná častica alebo kvantum elektromagnetického žiarenia môže vyvolať mutáciu DNA. Ak však berieme do úvahy prirodzené pozadie, odpoveď na túto otázku už nie je jednoduchá. Reparačné a kontrolné systémy zrejme eliminujú skoro každé poškodenie zapríčinené prirodzeným žiarením. K zvýšenému výskytu malignít, chromozómových aberácií a gametických mutácií dochádza len pri významne zvýšenej expozícii (následky výbuchov v Hiroshime a Nagasaky, kontaminácie rieky Techa a havárie v Černobyle).

Choroba z ožiarenia

Choroba z ožiarenia môže byť vyvolaná vonkajším ožiarением alebo vnútornou kontamináciou organizmu a môže prebiehať v akútnej alebo v chronickej forme.

Akútna choroba z ožiarenia sa vyvíja po jednorazovom ožiarení celého tela vysokými dávkami ionizujúceho žiarenia (LD_{50} je približne 3 – 5 Gy). Rozlišujeme štyri štádiá akútnej choroby z ožiarenia a tri typy v závislosti od prevládajúcich symptómov:

- Primárna reakcia - nauzea a zvracanie (po dávke 2 – 3 Gy sa môžu manifestovať len tieto symptómy), hnačky, malátnosť, iritabilita, zvýšená teplota, zrýchlené dýchanie.
- Latentné štádium - nie sú prítomné výrazné klinické príznaky, ale sú zjavné zmeny v krvnom obraze následkom inhibície hemopoézy (leukopénia, trombocytopenia, retikulopénia).
- Štádium zjavných klinických príznakov - manifestácia hemoragickej diatézy, ďalšia inhibícia hemopoézy, zvýšená permeabilita bunkových membrán, znížená imunita s následnou sepsou.
- Štádium rekonvalescencie alebo prechodu do chronickej formy, popr. smrť postihnutého jedinca.

V závislosti od klinických symptómov rozlišujeme tri formy choroby z ožiarenia:

1. **Dreňová** (alebo krvná) **forma** akútnej choroby z ožiarenia. Vyskytuje sa pri ožiarení dávkami 2 – 10 Gy. Symptómy 1.štádia ustupujú za jeden až dva dni. Po 2 – 3 týždňoch sa objaví purpura, petechie a známky poškodenej imunity (infekcie).
2. **Črevná forma.** Pri dávke okolo 10 – 30 Gy sa začínajú odlupovať epiteliálne bunky črevnej mukózy, zastavuje sa absorpcia živín a vody. Z klinického hľadiska po krátkej asymptomatickej perióde sú typické úporné hnačky a strata tekutín spolu s hematologickými symptómami a infekciami. Dávky okolo 100 Gy vyvolajú manifestáciu gastrointestinálnych príznakov okamžite. Tento typ choroby z ožiarenia končí obyčajne smrťou aj napriek moderným terapeutickým technikám (transplantácia kostnej drene).

3. **Nervová forma.** Po dávkach 20 – 50 Gy ihneď po gastrointestinálnych symptómoch nasleduje ataxia, zvýšené potenie, psychická dezorientácia a zmätenosť, niekedy kŕče alebo bezvedomie. Smrť nastáva do niekoľkých hodín alebo dní. Obrovské dávky (300 – 500 Gy) môžu vyvolať okamžitú smrť spôsobenú dysfunkciou CNS.

V diagnostike choroby z ožiarenia a pri triedení postihnutých sú nesmierne dôležité niektoré biologické markery choroby z ožiarenia z ktorých sú najvýznamnejšie pokles počtu lymfocytov v periférnej krvi a zvýšená hladina kyseliny β -izomaslovej a deoxycytidínu v moči.

Chronická choroba z ožiarenia vzniká po jednorázovom ožiarení subletálnou dávkou žiarenia alebo po opakovanom ožiarení nízkymi dávkami, resp. po vnútornej kontaminácii rádionuklidmi. Klinické symptómy sú reprezentované slabosťou, vyčerpanosťou a podráždenosťou. Dôležité sú zmeny v krvnom obraze – permanentná leukopénia, trombocytopénia, anémia a hypoplázia kostnej drene. Mesiac alebo roky po ožiarení sa môže objaviť poškodenie pečene s portálnou hypertenziou, poškodenie obličiek s proteinúriou, bolesti hlavy a pokles duševných schopností. Opakované stredné dávky žiarenia vedú k predčasnemu starnutiu.

Černobyl, 1986

Pri havárii atómového reaktora v Černobyle sa uvoľnilo 6 ton rádioaktívneho paliva o celkovej aktivite 10 Ebq (Exa = 10^{18}). Najviac bolo rádioaktívneho xenónu, jódu a cézia a teluru (Xe^{133} , I^{131} , Cs^{134} , Cs^{137} , Te^{132}). Z rádioaktívneho odpadu 40 % dostali obyvatelia európskej časti bývalého Sovietskeho zväzu 50 % obyvatelia ostatných krajín Európy.

Na mieste došlo k akútnej chorobe z ožiarenia u 134 osôb. Z nich 28 napriek intenzívnej terapii (vrátane transplantácie kostnej drene) zomrelo. Ďalším následkom bolo enormné zvýšenie výskytu rakoviny štítnej žľazy v okolitých regiónoch (tab. 2.7). I^{131} je slabý β žiarič, ale hromadí sa v štítnej žľaze a vedie k mutáciám génov, ktoré kontrolujú bunkový cyklus. Väčšine úmrtí mladých ľudí sa dalo zabrániť – stačilo podať tabletky jodidu draselného, ktoré sú k dispozícii v okolí každého jadrového reaktora. Nasýtenie štítnej žľazy nerádioaktívnym jódom zmenší vychytávanie I^{131} v organizme.

TAB. 2.7.
VÝSKYT RAKOVINY ŠTÍTNEJ ŽĽAZY PO HAVÁRII V ČERNOBYLE

OBLASŤ	1981 – 1985	1986 – 1994
mesto Gomel	1	164
Bielorusko	3	333
severná Ukrajina	1	118
Ukrajina	25	209

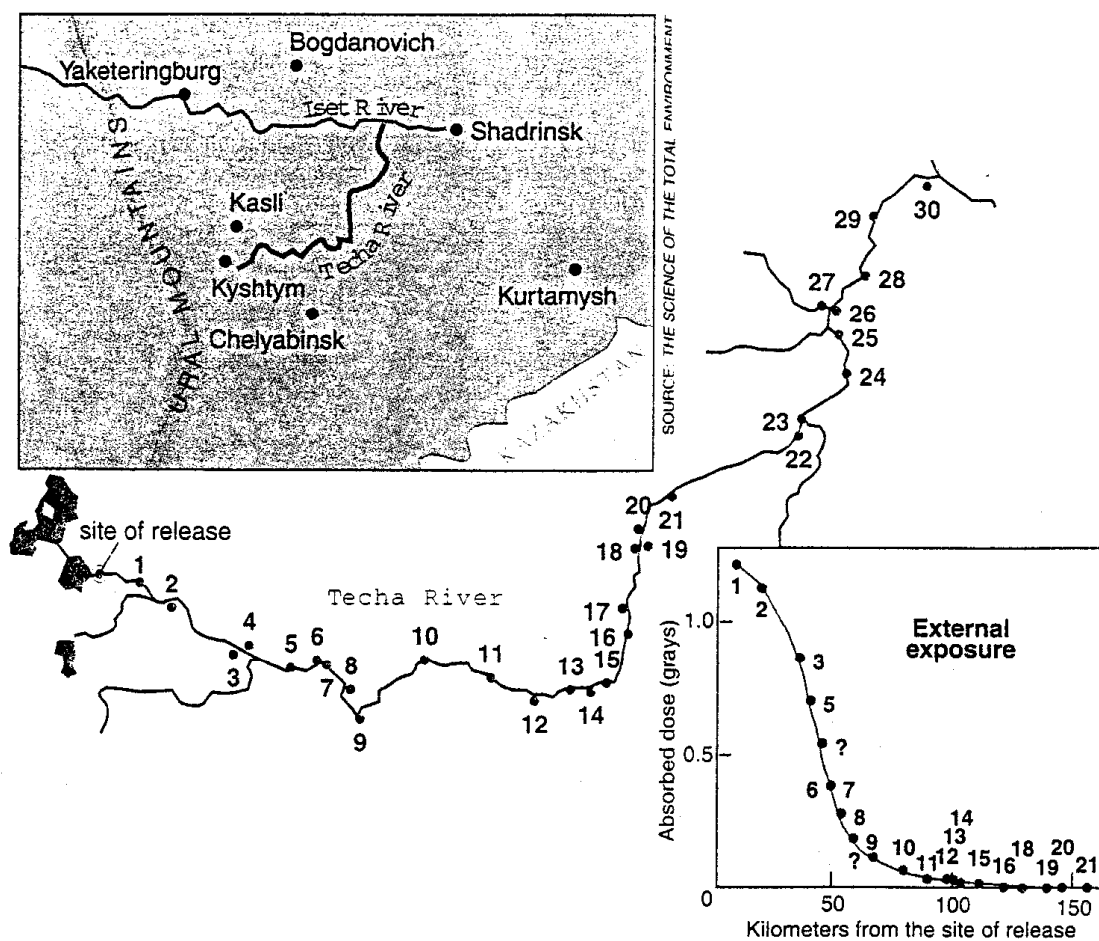
Následky havárie pre ostatných obyvateľov regiónu sa hodnotia ťažko. Výskyt malformácií a leukémií sa v niektorých krajinách zvýšilo, ale zmeny sú na hranici štatistickej významnosti. Iný spôsob hodnotenia následkov je v tabuľke 2.8. Obsahuje teoretický výpočet úmrtí, ktoré by mali nastať nad očakávanú mortalitu bez havárie. V našom regióne sme dostali tiež vyššiu dávku žiarenia, ale menej ako 7 mSv uvedených v tabuľke. Najviac to bolo v horských oblastiach Slovenska.

TAB. 2.8.
NÁSLEDKY ČERNOBYLU – OČAKÁVANÉ ZVÝŠENIE MORTALITY PODĽA TEORETICKÝCH VÝPOČTOV

POPULÁCIA	DÁVKA, mSv	ZVÝŠENIE POČTU ÚMRTÍ
Účastníci záchranných prác, 200 000	100	2200 (1/90)
Evakuovaní z oblasti, 135 000	10	160 (1/840)
Obyvatelia kontrolovanej zóny, 270 000	50	1600 (1/170)
Celý región, 6 800 000	7	5000 (1/1360)

A o čom sme dlho nevedeli

V prísne utajovanej továrni na plutónium v lokalite Mayak v rokoch 1949 – 1956 vypúšťali rádioaktívny odpad do rieky Techa, ktorá zásobovala vodou 30 dedín s celkovým počtom obyvateľov 280 000. Ľudia žijúci okolo rieky za dané obdobie dostalo priemerne 1700 násobok dovolenej expozície. Miestni lekári napriek zákazu politických orgánov zbierali a uchovali údaje o chorobnosti a úmrtnosti obyvateľstva. Následky sa začali analyzovať po zmene politického zriadenia v Rusku.



OBR. 2.6

EXPOZÍCIA OBYVATEĽOV DEDÍN OKOLO RIEKY TECHA RÁDIOAKTÍVNymi LÁTKAMI