

UČINKI SEVANJA NA ORGANIZEM

(Izvleček iz diplomske naloge z naslovom: Varstvo prebivalstva pred ionizirajočim sevanjem.)

Obvladanje teoretičnega znanja o zaščiti prebivalstva pred ionizirajočim sevanjem in praksa nam omogoča, da se dobro seznanimo z negativnimi učinki, ki jih ima sevanje na organizem in da znamo te učinke zmanjšati na primeren način.

Vsaka napaka, ki izhaja iz neznanja oziroma nemarnosti radioloških delavcev, lahko privede do posledic, ki se pokažejo v krajšem oziroma daljšem časovnem obdobju.

Vsaka rentgenska in izotopska preiskava naj bo zato dobro pripravljena, da se izognemo ponavljanjem in s tem ponovnim obremenitvam bolnika z ionizirajočim sevanjem.

Način, po katerem ionizirajoče sevanje vpliva na snov, je edinstven. Ta posebnost se kaže v tem, da dopajanja, ki na nivoju atoma in molekule trajajo veliko manj časa kot mikrosekundo, povzročajo spremembe na bioloških strukturah celice, na celici sami, na tkivih in organih ter končno na organizmu samem. Te spremembe se manifestirajo na zunaj šele po mesecih, letih, desetletjih ali celo v naslednji generaciji.

Nadaljnja posebnost učinka sevanja na živo snov je v relativno majhni energiji, ki povzroča nesorazmerno velike spremembe. Tako bi energija, ki jo nosi s seboj 1,25 C/kg, to je doza, ki je letalna za odrasli človeški organizem, spremenjena v toploto pomenila spremembo temperature odraslega, komaj za desetinko stopinje.

V živem organizmu dosežemo učinek po stopničastem sistemu, od učinka na atom vodne molekule z nastajanjem prostih radikalov do učinka na makromolekule kot sta DNA in RNA ter na celične sestavine, to je na jedro in

Tanja Nežič, v. rtg. tehnik, diplomantka oddelka za radiologijo, Višja šola za zdravstvene delavce, Ljubljana, Poljanska 26 a

citoplazemske organele.

Radiološki efekti so posledica vnašanja viška energije v živ organizem. Če so zadete molekule, katerih je neločljiva integriteta nujna za normalno delovanje celice, potem je vsaka sprememba na taki celici lahko vzrok za njeno smrt.

Molekule so lahko poškodovane direktno, to je tako, da jih zadene sam foton ali indirektno z delovanjem sevanja na molekulo, kot je na primer molekula vode.

Efekti sevanja v biološkem sistemu so odvisni od količine absorbirane energije in njene prostorske razporeditve, odvisno od linearnega prenosa energije (LET). Večja ko je količina absorbirane energije, gostejše so ionizacije v danem volumnu, tem težje bodo nastale poškodbe. Sevanja z visokimi LET vrednostmi (alfa, nevtroni, protoni) povzročajo 10- do 20-krat večje okvare v tkivih, kot sevanja z nizkimi LET vrednostmi (X, beta, gama žarki).

Za teoretični model, ki povezuje primarno radiolezijo na delu molekule in različne biološke efekte kot posledico, se velikokrat uporablja Leenhaustova in Chadwickova molekularna teorija, ki izhaja iz sledečih predpostavk:

- 1) efekte sevanja je najlažje opisati, če se predpostavlja, da vsi izhajajo iz enega tipa okvare.
- 2) molekula DNK, ki nosi genetske informacije v celici je najvažnejša molekula, katere integriteta je potrebna za delitev celice.
- 3) sevanje najverjetneje izzove prekinitve v verigah DNK, vendar je najbolj kritičen dvoverižni zlom DNK, ki predstavlja popolno prekinitvev integritete molekule.
- 4) različni efekti sevanja, ki so jih dobili pri različnih eksperimentih, so v zvezi s številnimi dvoverižnimi zlomi DNK, ki so nastali in ostali učinkoviti.
- 5) število nastalih dvoverižnih zlomov je odvisno od fizikalno kemičnih procesov prenosa energije in kompeticije radikala, kateri so zopet odvisni od kemijskih okoliščin DNK celice v času sevanja.

6) število dvoverižnih zlomov v DNK, ki so nastali in ostali učinkoviti, je odvisno od biokemičnega popravljanja poškodb v DNK, na katerega lahko vplivajo metabolični procesi med in po sevanju.

Pri sevanju se molekula DNK cepi na več mestih. Najpogostejša mesta cepitve so med fosfati in dezoksiribozi, kot tudi v vezeh teh dveh spojin. Poleg tega pa se molekula trga tudi na eni ali obeh letvah. Prekinitev ene letve je pogostejša, do nje pride pri nižjih količinah energije in se hitreje in pogosteje popravi.

Dvoverižni zlom lahko nastane na dva načina. Foton lahko s prehodom tik ob molekuli DNK simultano deluje na obe verigi DNK in s tem izzove dvoverižni zlom. V tem slučaju bo število nastalih zlomov direktno odvisno od absorbirane doze. Dvoverižni zlom lahko nastane tudi pri neodvisnem delovanju dveh kvantov, od katerih bo vsak izzval zlom na eni verigi DNK. V tem slučaju je število nastalih dvoverižnih zlomov sorazmerno kvadratu absorbirane doze sevanja. Manj zlomov povzroči direktno delovanje sevanja na molekulo DNK. Večina zlomov pa je posledica interakcije vodnih radikalov, ki nastanejo kot posledica sevanja v bližini molekule DNK ali v sami molekuli.

Čeprav je trajanje neposrednih sprememb v celici časovno zelo kratko, traja metabolični učinek sevanja razmeroma dolgo. V tem času se spremembe, ki so nastale na atomih in molekulah prenesejo v metabolizem celice in vplivajo na morebitne kasne spremembe. Kolikšen bo učinek sevanja v celici je odvisno od procesov, ki se v tem času, to je v urah po obsevanju dogajajo. Ti procesi so na eni strani takšne narave, da pripeljejo do sprememb, ki se ne skladajo z življenjem celice. Semkaj sodijo mutacije, skrajšanje življenjske dobe celice in njene sposobnosti za delitev. Na drugi strani pa se pojavijo procesi, ki skušajo popraviti po sevanju nastalo škodo. Popravljanje teh sprememb zavisi od metaboličnih zmognosti celice in od okolja v katerem celica živi.

Večina celic s pomočjo encimov zelo učinkovito popravlja verižne zlome v DNK, nastale zaradi sevanja, brez sprememb v genetski šifri. Coory in Cole pa sta

na podlagi eksperimentiranja dokazala, da lahko celice popravijo tudi dvo-
veržne zlome. Opaženo je, da je popravljanje dvoveržnih zlomov po obse-
vanju z nizkim LET-om boljše, kot pa pri obsevanju z visokim LET-om.
Popravljanje dvoveržnih zlomov se odvija težje kot pa popravljanje enoverž-
nih zlomov. Tako je na primer za popravilo enoveržnega zloma v DNK ce-
lice mišje levkemije obsevane z žarki X, pri 100 Gy potrebnih 13 minut,
za popravilo dvoveržnega zloma pri 200 Gy pa je potrebnih 116 min.
Resnick je prikazal model, ki bi lahko pojasnil mehanizem popravljanja dvo-
veržnih zlomov. Med dvema homolognima kromosomoma - enega z dvove-
rižnim zlomom in drugega, ki je v homologni regiji intakten, prihaja do re-
kombinacije. S tem nastaja heterodupleks med eno intaktno verigo DNK z
enim oziroma obema verigama prelomljenega kromosoma.

Opazovanja iz radioterapije so dokazala, da frakcionirano sevanje "ščiti"
celice in organe, to pomeni, da je preživetje celic večje, če se skupna doza
razdeli na več frakcij. To bi lahko pojasnili s pomočjo molekularne teorije.
Če celico obsevamo najprej z X oziroma gama žarki s polovično dozo namesto
s celo in inkubiramo pri 37°C, nato ponovno obsevamo z drugim delom doze,
bo preživetje veliko večje, kot pa če obsevamo s celo dozo naenkrat. Razen
subletalnih, celice sesalcev zelo efikasno popravljajo tudi potencialno letalne
poškodbe, pri katerih pa velikokrat pride do spremembe v genetski šifri in
do mutacij.

Sevalni učinki na vodni molekuli igrajo pomembno vlogo pri radiobiološkem
učinku. Molekula vode izgubi pod vplivom sevanja elektron. Tako nastajajo
prosti radikali, ki reagirajo z biološkimi molekulami. Sama obstojnost pro-
stih radikalov je zelo kratkotrajna 10^{-5} sekunde, kar kaže na njihovo veliko
nestabilnost.

Učinek sevanja na celični ciklus in na metabolične procese, ki potekajo v ce-
lici je različen.

Glede na faze mitoze je celica v G1 fazi relativno radiorezistentna. S faza
je zmerno radiorezistentna, lahko pa pride do zavore tvorbe DNA in podaljš-
anja S faze. Obsevanje v G2 fazi preprečuje vstop celice v mitozo in jo

podaljšuje. Sevanje pa povzroča predvsem preskoke iz faze v fazo z nepravilno podvojenostjo DNA, včasih se celo početverji. Celice se izredno povečajo, postanejo radiorezistentne in nesposobne za celičev.

Sinteza RNA je veliko rezistentnejša kot sinteza DNA. Tudi sinteza proteinov je radiorezistentna, nanjo lahko vplivamo samo z velikimi dozami npr. 250 C/kg. Od organel so najbolj občutljivi kromosomi, na katerih se po obsevanju pojavljajo aberacije. Pri obsevanju z visokimi dozami se kromosomi nepravilno in slučajno porazdele po nitih delitvenega vretena, ne pa na dve točno enaki polovici.

Mentor diplomske naloge: Spiller dr. Božidar

L i t e r a t u r a :

Baretič - Kolar E., S. Hernja, V. Janežič "et al":

Naše okolje 3 - 4/77

Žarkovna obremenitev populacije v diagnostični rentgenologiji

Kralj A.: Osnove medicinske elektrotehnike. Ljubljana 1983

Plesničar S.: Radioterapija in onkologija, Ljubljana 1977

Petrovič D., M. Osmak, A. Ferle - Vidovič:

Stanična oštećenja nakon ionizirajočeg žarčenja - Molekularna teorija.

Radiol. Jugosl. 17: 617 - 631, 1983

Spiller B.: Rentgenska fototehnika, Ljubljana 1982

Uradni list SFRJ 62/84: Zakon o zaštiti pred ionizirajoćimi sevanji

Uradni list 40/86: Predpisi v zvezi z zakonom

Uradni list SRS 9/81: Pravilnik o strokovni izobrazbi, delovnih izkušnjah ter obveznem izpopolnjevanju in usposabljanju delavcev, ki delajo z viri

ionizirajočih sevanj ali v službah varstva pred sevanji ter o načinu ugotavljanja njihove usposobljenosti

IAEA: What the general practitioner (MD) should know about medical handling of overexposed individuals