

## **Protónová terapia (Môže protónová terapia vyliečiť rakovinu?)**

V princípe nám protónová terapia môže ponúknuť významnú klinickú výhodu oproti konvenčnej fotónovej terapii. Je to z dôvodu, že protónová terapia má vynikajúce priestorové rozloženie dávok u pacienta. Poskytuje vysoko konformné a rovnomerné dávky nádoru. (Mohan and Grosshans 2017).

História protónovej terapie siaha až do roku 1946, kedy Robert Wilson publikoval dôležitý článok, v ktorom navrhol používať urýchľovačom vyrobené lúče protónov k liečbe hlboko „zakorenených“ nádorov u ľudí. Vysvetľoval v ňom biofyzikálne zdôvodnenie protónovej terapie a taktiež aj kľúčové inžinierske techniky dodávania lúčov. V roku 1954 bol prvý človek liečený pomocou protónových lúčov. O liečbu týmto spôsobom sa snažili rôzne inštitúcie. V priebehu rokov bolo dosiahnutého veľkého pokroku a v dnešnej dobe nájdeme viacej centier zaoberajúcich sa touto liečbou (Newhauser and Zhang 2015).

V zásade sú všetky tkanivové bunky tvorené molekulami s atómami (stavebné kamene). V strede každého atómu máme jadro. Okolo jadra atómu obiehajú záporne nabité elektróny. Ak energeticky nabité protóny prechádzajú v blízkosti obiehajúcich elektrónov, kladný náboj protónov môže pritiahnúť záporne nabité elektróny a tak ich „vytiahnuť“ z ich obežnej dráhy. Tento stav voláme ionizácia => menia sa vlastnosti atómu a tým pádom následne celý charakter molekuly, kde sa atóm nachádza. Ionizáciou sa poškodzujú molekuly v bunkách - hlavne DNA. Poškodená DNA ničí špecifické funkcie => hlavne schopnosť sa deliť alebo proliferovať. Pokým „normálne“ bunky prechádzajú týmto opravným procesom, schopnosť rakoviných buniek opraviť molekulárne poškodenie je často náročnejšie. Výsledkom je, že tieto bunky utrpia trvalejšie poškodenie a následnú bunkovú smrť. ([Science of Proton Therapy: How It Works - NAPT \(proton-therapy.org\)](#))

Protóny dokážu interagovať s hmotou rôznymi spôsobmi avšak predovšetkým pomocou Coulombových interakcií s atómovými elektrónmi (Jones 1998), Coulombových interakcií s jadrom (Wilson 1946) a jadernými interakciami (Tobias et al. 1958). Najviac energie strácajú pri interakcii s elektrónmi. Delta lúče (sekundárne elektróny) cestujú na veľmi krátke vzdialenosti od dráhy protónu, zatiaľ čo ionizujúcu energiu ukladajú. Energia, ktorá je uložená protónom na jednotku ujdenej vzdialenosti (LET) sa zvyšuje inverzne ako druhá mocnina rýchlosti protónu. Preto protóny v rovnomernom médiu cestujú na dobre definovanú vzdialenosť a strácajú energiu rastúcou rýchlosťou = než zastavia. Tento jav nám

vytvorí charakteristickú Braggovu krivku. Keďže protón je ťažší ako elektrón, jeho interakcia s elektrónmi nevedie k odchýlke od pôvodného smeru. Ak nám protón preletí blízko jadra a ak je vzdialenosť medzi jadrom a protónom dostatočne veľká, odkloní sa tzv. Coulombovým odpudzovaním, avšak nestratí žiadnu energiu. Taktiež by mohlo dôjsť k tzv. Coulombovmu rozptylu, ktorý by mohol viesť k bočnému šíreniu protónov. Ak je vzdialenosť malá, protóny by mohli prejsť rozptylom cez jadro. Každopádne v porovnaní s Coulombovými interakciami je pravdepodobnosť jaderných interakcií malá. V jaderných interakciách primárny protón predáva veľkú časť svojej energie jadru a tá sa môže rozptýliť. Tieto interakcie môžu byť dvoch druhov a to: elastická a neelastická. Pri elastickom rozptyle sa jadro iba nabije a energia v ňom ostane konzervovaná. Pri neelastickom rozptyle jadro absorbuje len časť energie a tak môže podľahnúť rôznym typom sekundárnych procesov, ako je rozpad na menšie fragmenty, emisia rýchlych gama lúčov... „Elastické“ jadrá a ťažšie fragmenty sú absorbované v podstate hneď v mieste interakcie. Rozptýlené protóny a hlavne sekundárne neutróny však môžu cestovať na relatívne veľké vzdialenosti a tak produkovať “halo” nízkych dávok (Mohan and Grosshans 2017).

Pre dosiahnutie protónovej liečby využívame dva prístupy: pasívny rozptyl k zaisteniu pasívne rozptýlenej terapie a magnetické skenovanie „lúčov“ protónov = modulovaná protónová terapia. Najčastejšie sú protóny pre terapeutické aplikácie akcelerované pomocou cyklotronu alebo synchrotronu (Mohan and Grosshans 2017). Cyklotrony sú kompaktnějšíe a majú vyššiu intenzitu lúčov. Protóny sa urýchlia na maximum energie cyklotronu a požadované nižšie energie sú dosiahnuté elektromechanickým vložením degradátoru energie do cesty protónov medzi urýchľovačom a ošetrovňou. Synchrotrony urýchľujú dávky protónov na požadovanú energiu a akonáhle má dávka potrebnú energiu je extrahovaný a prenesený cez „lúčovú čiaru“ do ošetrovne (Mohan and Bortfeld 2011).

Protónová liečba má veľký potenciál na to aby vyliečila rakovinu. Je to z dôvodu, že táto liečba nám umožňuje zacieliť priamo na nádor a tak znižuje nežiadúce ožiarenie => minimalizuje riziko vzniku nežiaducich účinkov. Táto liečba nám môže s najväčšou pravdepodobnosťou zaistiť veľkú nádej pre vyliečený a kvalitný život.

JONES, D. T. L. Present status and future trends of heavy particle radiotherapy. *Cyclotrons and their Applications*, 1998, 13-20.

MOHAN, R. AND T. BORTFELD Proton therapy: clinical gains through current and future treatment programs. *IMRT, IGRT, SBRT*, 2011, 43, 440-464.

MOHAN, R. AND D. GROSSHANS Proton therapy – Present and future. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2017, 109, 26-44.

NEUHAUSER, W. D. AND R. ZHANG The physics of proton therapy. *Physics in Medicine & Biology*, 2015, 60(8), R155.

TOBIAS, C. A., J. H. LAWRENCE, J. L. BORN, R. K. MCCOMBS, et al. Pituitary irradiation with high-energy proton beams a preliminary report. *Cancer research*, 1958, 18(2), 121-134.

WILSON, R. R. Radiological use of fast protons. *Radiology*, 1946, 47(5), 487-491.

[Science of Proton Therapy: How It Works - NAPT \(proton-therapy.org\)](http://proton-therapy.org)