

Denzitometrie

Samostatná práce



Tento článek je editován studenty 2. LF UK v rámci plnění jejich studijních povinností (seminární práce – vypracování zkuškových otázek z biofyziky). Ostatní uživatele prosíme, nezasahujte výrazněji do jeho tvorby až do doby, než bude práce odevzdána (s výjimkou malých editací – opravy překlepů, pomoci s formátováním apod.). Máte-li nějaké náměty či připomínky, uveďte je prosím v diskusi (<https://www.wikiskripta.eu/w/Diskuse:Denzitometrie>). V případě potřeby kontaktujte autory stránky – naleznete je v historii (<https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Denzitometrie&action=history>). Stránka byla naposledy aktualizována v sobotu 18. 6. 2022 v 22.54.

Denzitometrie je metoda, která určuje hustotu minerálů v kosti (Bone mineral density-BMD) a hustotu kostní tkáně. Vše je vyhodnoceno především na základě množství kalcia v kostech. Vyšetřovací metoda je rychlá, pacienta nezatěžuje a je bezbolestná. Díky denzitometrickému vyšetření je lékař schopen odhadnout, jak velká jsou rizika zlomenin spojených s osteoporózou.

Fyzikální princip RTG kostní densitometrie

Absorpce EM záření

Při interakci rtg záření, což je druh elektromagnetického záření o vlnových délkách mezi 10 nm až 1 pm, s tkání dochází ke dvěma jevům, díky kterým se snižuje intenzita procházejícího záření. Prvním z nich je fotoelektrická absorpce. Při tomto jevu dojde k předání celé energie fotonu RTG na elektron atomu v tkáni. Druhým jevem, ke kterému dochází, je Comptonův rozptyl. Zde dochází k předání pouze části kinetické energie elektronu a foton díky tomu změni svůj směr a má nižší energii.

Pro intenzitu monoenergetického záření procházejícího materiálem (v našem případě tkání) existuje vztah

$$I_r = I_i (-vx),$$

kde I_r je intenzita prošlého záření (transmitted), I_i je intenzita záření v před průchodem (incident), v je charakteristika materiálu tzv. lineární absorpční koeficient a x je tloušťka tkáně.

Lineární absorpční koeficient je závislý na hustotě materiálu, na počtu elektronů ve slupce jednotlivých atomů (tzn. na chemickém složení) a také na původní energii fotonů. Důležité je uvědomit si, že v těle je více druhů tkání, které mají odlišné charakteristiky. Většina měkkých tkání má podobný absorpční koeficient. Minerální složka kosti je tvořena hydroxyapatitem, který má absorpční koeficient výrazně odlišný (atomy fosforu a vápníku). Organická složka kosti jako je dřev a kolagenní síť jsou považovány za měkkou tkáň.

Pokud tedy počítáme s rozdílem v koeficientech měkké tkáně a minerální složky kosti, lze vytvořit vztah pro intenzitu procházejícího záření

$$I_r = I_i (-v_b x_b - v_s x_s),$$

kde index b označuje kostní minerální složku (bone mineral) a index s označuje měkkou tkáň (soft tissue).

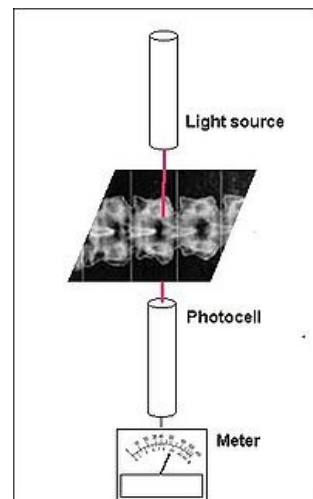
Tloušťku x lze nahradit tzv. plošnou hustotou, vycházíme-li ze vztahu

$$x = \frac{1}{\rho} \frac{m}{A},$$

kde ρ je hustota, m je hmotnost tkáně a A je plocha svazku paprsků. Díky tomu lze nahradit součin vx součinem μM , kde μ (v/ρ) je hmotnostní absorpční koeficient a M (m/A) je již zmíněná plošná hustota.

Jednoenergieová denzitometrie

Při použití fotonů o jedné energii stále zůstává problém jedné rovnice a dvou neznámých (plošná hustota minerální složky kosti a měkké tkáně). Při využití jednoenergieové se měřená část těla ponoří do vody v nádobě o přesně známých rozměrech. Díky tomu vypadne z rovnice jedna neznámá, protože absorpční koeficient vody a měkké tkáně je téměř totožný a díky tomu známe přesný rozměr x_s .



Princip denzitometrie: bodové měření optické hustoty.

Zjištění plošné hustoty minerální složky kosti docílíme tím, že první měření se provede skrz vodu, měkkou tkáň a kost a druhé měření těsně vedle kosti. Tím pádem jsme schopni porovnat rozdíl a tím pádem zjistit požadované parametry kosti (plošná hustota minerální složky kosti, případně i lineární hustotu minerální složky kosti).

Dvouenergiová denzitometrie

Při použití fotonů o dvou různých energiích odpadá potřeba ponořovat část těla do vody. Dvojím měřením při dvou energiích záření lze totiž porovnat výsledky, pomocí modifikované rovnice pro intenzitu procházejícího záření, a díky tomu zjistit opět požadované parametry kosti. Pro dvouenergiovou denzitometrii se v počátcích používaly přirozené radioaktivní zářiče emitující dvě diskrétní energie (např. ^{153}Gd , fotony o 44 keV a 103 keV). Díky časové, finanční a (především) bezpečnostní náročnosti se ale přešlo na generování fotonů pomocí RTG trubice.

Kvantitativní výpočetní tomografie

Kvantitativní výpočetní tomografie spojuje možnosti moderních zobrazovacích technik (CT, případně i MRI) a technik a principů klasické RTG denzitometrie. Díky tomu je měření přesnější, protože lze kost vyšetřovat jako celek a díky tomu zjistit některé lokální fenomény, případně se vyhnout chybě, protože jsme schopni zjistit kde přesně měříme. V rámci jedné kosti se totiž charakteristika minerální složky mění díky anatomické stavbě (rozdíl mezi kompaktní a spongiózní atd.).

Denzitometrické metody

Rentgenová denzitometrie

Dvouenergiová rentgenová absorpciometrie neboli DXA (dual-emission X-ray absorptiometry), je standardní pro vyšetření a sledování osteoporózy. Rentgenový denzitometr používá slabé rentgenové záření o dvou energiích. Každá energie záření je jinak pohlcena kostí a jinak svalovinou a tukem. Toto pravidlo zajišťuje přesné odlišení kosti od okolní měkké tkáně. V praxi se hustota kostní hmoty měří obvykle ve dvou místech, zpravidla to bývá bederní páteř a horní část stehenní kosti.

Toto vyšetření trvá několik minut – pacient leží na speciálním lůžku, je oblečen, a skener zachycuje jednu nebo více oblastí kosti.

Kvantitativní výpočetní tomografie QCT

Umožňuje měření objemu kostní hmoty, hodnotí se v oblasti hlavice kosti stehenní či bederní páteře. Tato metoda je nákladnější a představuje pro vyšetřovaného vyšší radiační zátěž.

Ultrazvuková denzitometrie

Kvantitativní ultrasonometrie neboli QUS (quantitative ultrasound), se zakládá na měření ultrazvukových vln po průchodu vyšetřovanou oblastí, tělo tak není vystaveno radiační zátěži. Přináší informace o množství kostní hmoty, ale také o kvalitě a struktuře kosti. Toto vyšetření nestačí pro diagnostiku osteoporózy ani pro sledování účinnosti léčby. Metodu vždy musíme posuzovat v kombinaci s rentgenovou denzitometrií.

Vyšetření denzitometrem nezatěžuje vyšetřovaného. V den vyšetření se může normálně jíst, ale neměly by se brát potravinové doplňky nebo léky obsahující vápník. Před vyšetřením odložte šperky, kovové předměty a brýle, aby nebyl výsledek vyšetření zkreslen. V průběhu těhotenství nelze provést denzitometrické vyšetření.

Údaje, které získáme vyšetřením posoudí radiolog (lékař specializovaný na provádění a hodnocení rentgenových vyšetření). Výsledky pak pošle lékaři, který vyšetření předepsal.

Denzitometr

Toto vyšetření vždy provádí lékař na specializovaném radiologickém pracovišti ve větší nemocnici. Existují dva typy denzitometrů:

Centrální denzitometr se skládá z velké ploché desky a pohyblivého ramena, které je nad ní. Sleduje se hustota kostí páteře a pletence pánevního.

Periferní denzitometr je zařízení menší. Pacient zde vkládá ruku do přístroje o velikosti malé krabice. Měří se hustota kostí zápěstí, paty nebo prstů. Přestože přístroj pracuje na bázi rtg záření, dávky jsou velice nízké a přístroj nepotřebuje být umístěn ve speciálně chráněné místnosti.

Výsledky vyšetření T-skóre a Z-skóre

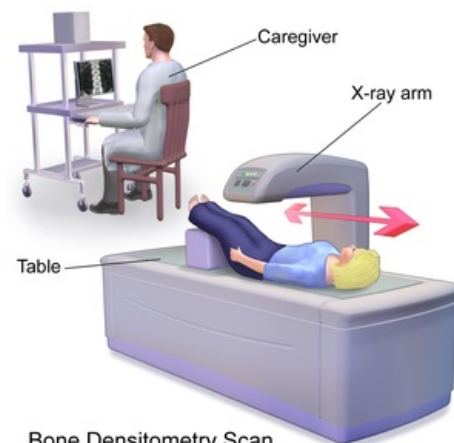
O hustotě kostí vypovídají dva výsledky zvané T-skóre a Z-skóre. Odchylku výsledku vašeho vyšetření od tabulkové hodnoty kostní minerální denzity určuje T-skóre. Tabulkovou hodnotou se myslí výsledky zdravých mladých jedinců stejného pohlaví. Výsledná hodnota nám určuje stav našich kostí. Pokud je hodnota vyšší než -1 (např. -0,2), jedná se o normální výsledek. V rozmezí -1 až -2,5 hovoříme o tak zvané osteopenii (=stupeň osteoporózy), což je první stádium řídnutí kostí. O osteoporóze (= onemocnění kostní tkáně, které vede ke zvýšené křehkosti kostí. V důsledku tohoto jevu dochází u lidí trpících tímto onemocněním k čtenějším zlomeninám.) mluvíme, pokud zjistíme

hodnotu T-skóre nižší než -2,5. Každý pokles této hodnoty o 1 směrodatnou odchylku zvyšuje riziko zlomeniny dvojnásobně. Pro porovnání vašeho výsledku vyšetření hustoty kostní hmoty s průměrnými hodnotami osob stejné věku i pohlaví slouží tzv. Z-skóre.

Tyto výsledky umožňují lékaři přesně stanovit diagnózu. Může pak pacientovi doporučit režimová opatření a zahájit léčbu. Pokud vyšetření předepíše ošetřující lékař, který má pacienta v péči pro kostní chorobu, v souladu s existujícím Seznamem zdravotních výkonů, pak je plně hrazeno z veřejného zdravotního pojištění. Zde jsou odbornosti lékařů, kteří mohou toto vyšetření předepsat: revmatologie, dětská revmatologie, ortopedie, traumatologie, vnitřní lékařství, gynekologie a porodnictví, dětská gynekologie, endokrinologie. Za určitých okolností to může být také praktický lékař. Vyšetření můžete také absolvovat na vlastní náklady. Celotělová denzitometrie se provádí na specializovaných pracovištích a její cena se pohybuje okolo 500 Kč.

Indikace k vyšetření

- Pacienti s osteoporózou.
- Pacienti s anamnézou zlomeniny způsobenou neadekvátně malou úrazovou silou.
- Pacienti se zlomeninou obratle neúrazového původu.
- Pacienti s dlouhodobou léčbou kortikoidy nebo jinými léky, které snižují množství kostní hmoty.
- Pacienti se zvýšenou funkcí příštítných tělísek (hyperparatyreózou) nebo dalšími chorobami spojenými se ztrátou kostní hmoty.
- Ženy po menopauze – především pokud mají další rizikový faktor jako např. kouření, dědičnost, ženy po 65 letech, bolesti zad, imobilizace, poruchy štítné žlázy atd.
- Ženy po hormonální léčbě.



Bone Densitometry Scan
Centrální rentgenový denzitometr

Zdroje

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. Medicínská biofyzika. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 978-802-4711-522.
- Denzitometrie - vyšetření kvality kostí. Ordinance.cz [online]. 2015, 2015-9-23 [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/denzitometrie/>
- Kostní denzitometrie – kdo by ji měl podstoupit. ULékaře.cz [online]. 2011, 2011-12-27 [cit. 2015-11-26]. Dostupné z: <https://www.ulekare.cz/clanek/kostni-denzitometrie-kdo-by-ji-mel-podstoupit-15133>
- Denzitometrie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013, 2013-10-6 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Denzitometrie>
- Physical Principles and Measurement Accuracy of Bone Densitometry. National Osteoporosis Society [online]. 2014 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <https://nos.org.uk/document.doc?id=653>
- IAEA Human health series No.15. 2010. Austria: IAEA, 2010. ISBN 978-92-0-110610-0.
- WEBBER, Colin E. Photon absorptiometry, bone densitometry and the challenge of osteoporosis. Physics in Medicine and Biology [online]. 2006, 51(13): R169-R185 [cit. 2015-11-29]. DOI: 10.1088/0031-9155/51/13/R11. ISSN 00319155. Dostupné z: [https://www.sprmn.pt/pdf/pmb6_13_r11_Bone_Densitometry_\(CEWebber\).pdf](https://www.sprmn.pt/pdf/pmb6_13_r11_Bone_Densitometry_(CEWebber).pdf)
- FOGELMAN, Ignac a Glen M. BLAKE. Different Approaches to Bone Densitometry. The Journal of Nuclear Medicine [online]. London, 2000, 2000-8-8 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://jnm.snmjournals.org/content/41/12/2015.full>