

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Egyetlen CT szeleten alapuló dózis- és
testalak-becslési módszerek vizsgálata**

Dr. Szatmáriné Egeresi Lilla

Témavezető: Dr. Balkay László



DEBRECENI EGYETEM
Molekuláris Orvostudomány Doktori Iskola

Debrecen, 2025

Egyetlen CT szeleten alapuló dózis- és testalak- becslési módszerek vizsgálata

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
az elméleti orvostudományok tudományágban

Írta: Dr. Szatmáriné Egeresi Lilla, okleveles táplálkozástudományi
szakember

Készült a Debreceni Egyetem
Molekuláris Orvostudomány doktori iskolája
(Biofizikai kérdések és vizsgálmódszerek programja) keretében

Témavezető: Dr. Balkay László, PhD

Az értekezés bírálói:

Dr. Sipos Dávid, PhD
Dr. Simon Mihály, PhD

A bírálóbizottság:

elnök: Prof. Dr. Panyi György, az MTA doktora
tagok: Dr. Légrády Dávid PhD
Dr. Dóczy-Bodnár Andrea PhD

Az értekezés védésének helye és időpontja:

Debreceni Egyetem ÁOK, Belgyógyászati Intézet „A” épület
tanterme, 2025. december 16. 13:00.

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

Az orvosi gyakorlatban rutinszerűen a komputertomográfias (CT) felvételeket elsősorban kórképek diagnosztizálására, elváltozások karakterizálására, tumorok nyomkövetésére, sugárkezelések tervezésére, és szövettani mintavételezésekhez használják, azonban számos további, igen releváns és hasznos információt is tartalmaznak a képek.

A CT igen kimagasló diagnosztikus érzékenysége mellett azonban mindig figyelembe kell venni a beteget terhelő dózist is. Az ionizáló sugárzással járó orvosi képalkotó vizsgálatok során a páciens dózisa fele a CT leképezéseknél keletkezik. Bár a gyártók technológiai fejlesztései csökkentik a páciensek egyszeri, egyéni dózisait, a CT készülékek számának töretlen növekedése, illetve az ezt indokló tumoros betegek diagnosztikai igényeinek növekedése együttesen mégis hozzájárulnak a kumulatív dózisok emelkedéséhez. A röntgensugárzással járó vizsgálat során a beteget érő sugárterhelést valamilyen módon mérni, becsülni szükséges. A megfelelő szakmai háttérrel ellátott radiológiai intézmények saját programokat is kifejleszthetnek dózismonitorozás céljából, azonban számos gyártó is kínál program-rendszereket erre a célra. A CT diagnosztikában alkalmazott tipikus elnyelt dózis mértékek a „dose length product” (DLP), és a „size specific dose estimate” (SSDE), továbbá a rákos betegség kialakulásának rizikóját is jelző effektív dózis (ED). Ezek közül az SSDE-t tekintik ma a legelőnyösebbnek az ajánlások, mivel az SSDE érték figyelembe veszi a vizsgált páciens egyedi méretét is, míg az ED csupán egy átlagos betegméretre vonatkozó becslés, mely fantom méréseken alapul. Az elmúlt években azonban megjelent a „size specific effective dose” (SED) fogalom is, azonban ennek a CT scan alapján történő becsléséről még kevés adat áll rendelkezésre. Bár a betegdózis és a képminőség optimalizálása látszólag technikai problémának tűnik, a diagnosztikai minőségre vonatkozó globális hatása miatt igen aktív kutatások tárgya lett.

Egy speciális, de igen fontos kutatási alkalmazása a CT-nek, az eltérő szövetek megkülönböztetése, szegmentálása. Például a hasi régióról készített CT felvételeken a különböző zsírszövet és izomszövet mennyiségét, annak változását lehet nyomon követni, illetve ezek értékét a klinikai kórképekkel korrelálva lehet vizsgálni. Továbbá hasznos adat a testmérettel vagy testtömegindexszel (BMI) kapcsolatos kutatásokban is. Nyilvánvaló tény az is, hogy egy adott CT vizsgálatból nem lehet meghatározni a teljes test zsír- és izomszövet tartalmát, ezért általános törekvéssé vált az irodalomban, hogy egyetlen axiális szelet alapján történjen egy becslés. Az optimális szelet anatómiai pozícióját illetően azonban távolról sincs konszenzus a publikációkban, továbbá a szegmentálás konkrét Hounsfield (HU) értékei sem egységesek.

Az értekezést megalapozó kutatási eredményeink a CT vizsgálatokat érintő két nagyobb területre vonatkoztak. Egyrészt a Debreceni Egyetem, Radiológia Klinikáján kifejlesztett dózisonmonitorozó rendszerünk (DE-DMS) és a GE DoseWatch programjának képességeit hasonlítottuk össze, illetve vizsgáltuk meg részletesebben. Az analízisbe az elmúlt néhány év CT vizsgálatára vonatkozó DLP, SSDE, és ED dózis adatokat vontuk be. Külön cél volt továbbá a SED, illetve az ED és az SSDE dózis paraméterek összefüggéseinek analízise, illetve annak vizsgálata, hogy a SED becsülhető-e a konkrét CT scan alapján. A két program által becsült értékek összehasonlítása hozzájárult a DE-DMS validálásához és tovább fejlesztéséhez is. A másik kutatási kérdésben a CT alapú zsírszövet szegmentálás módszerét analizáltuk eltérő HU küszöb értékek és különböző anatómiai régió kiválasztásával, hogy adatokat kapjunk a technika érzékenységére vonatkozóan. Továbbá megvizsgáltuk azt a kérdést is, hogy egyetlen hasi CT szelet mennyiben elegendő a páciens alakjának becsléséhez.

Célkitűzések

Az elmúlt években világszerte, így Magyarországon is jelentős mértékben növekedett a komputertomográfias vizsgálatok száma. Ennek hátterében elsősorban a képalkotó diagnosztika fejlődése, a gyors és részletes anatómiai információt nyújtó módszerek iránti igény növekedése, a könnyebb hozzáférhetőség, valamint a sürgősségi és onkológiai ellátásban betöltött kiemelt szerep áll. A CT-vizsgálatok térnyerésével párhuzamosan egyre nagyobb figyelem fókuszálódik speciális CT kérdésekre is. Egyrészt az ionizáló sugárzással járó eljárások indokoltsága és optimalizálása a speciális kutatások tárgya, másrészt a szövetek/szervek szegmentálása és az ezekből nyerhető adatok klinikai relevanciájának vizsgálata.

Ennek megfelelően a doktori munka alapcélkitűzései a következők voltak:

1. Választ szeretnénk volna kapni arra, hogy a Debreceni Egyetem, Radiológia Klinikáján kifejlesztett dózismonitorozó rendszerünkkel számolt dózisadatok mennyiben egyeznek meg az elterjedten használt DoseWatch program eredményeivel. Az analízisbe a DLP, az SSDE, az ED dózis mérőszámokat vontuk be. Konkrét cél volt az is, hogy eltérések esetén minél pontosabban karakterizáljuk azokat is.
2. Az irodalomban az elmúlt években bevezetett méret specifikus effektív dózis tulajdonságait is vizsgálni szeretnénk volna. Kérdésünk az volt, hogy vajon az alapvetően Monte Carlo számítással definiált SED paraméter becsülhető-e valós CT vizsgálatokból?
3. Egy további kutatási kérdésben a CT alapú zsírszövet szegmentálás módszerét akartuk analizálni. Arra akartunk választ kapni, hogy a szegmentáció eredménye mennyire függ az előre megválasztott HU tartománytól, illetve az anatómiai régió axiális pozíciójától.

4. Végezetül vizsgálni akartuk azt a kérdést is, hogy egyetlen hasi CT szelet mennyiben elegendő a páciens zsírszöveteloszlásának és testalakjának becsléséhez.

2. Anyagok és módszerek

2.1. Páciens dózisok vizsgálata DoseWatch és DE-DMS alkalmazásokkal

A Debreceni Egyetem, Klinikai Központ, Radiológia Klinikán 2020 júniusa és 2023 decembere között végzett minden CT vizsgálat dózisadatát bevontuk a kutatásba, melyek a GE Revolution HD és Revolution EVO berendezéseken (a későbbiekben CT1 és CT2-ként fogok hivatkozni a scannerekre) készültek. A készülékek közvetlen kapcsolatban álltak a helyileg fejlesztett DE-DMS, valamint a DW alkalmazásokkal. Az elsődleges adatgyűjtést követően szigorú kritériumok mentén történt az adatok további szelekciója. Végül összesen 79383 CT-vizsgálat került be a retrospektív elemzésünkbe. A jelen vizsgálat során a két rendszerből származó releváns dózis adatokat szűrtük, majd összevontuk egyetlen MS Access adatbázisba, ezt követően az összes kiértékelést és feldolgozást MATLAB™ szoftverben végeztük el. Az ED számolásához a két dózismonitorozó rendszer egymástól kissé eltérő f faktor-t használt. A DW által számított effektív dózis értékeket ED_{DW} jelöléssel tüntettünk fel, míg a DMS rendszer által tömegkorrekcióval, illetve anélkül számított értékeket SED_{DMS} , illetve ED_{DMS} szimbólumokkal jelöltük. A SED_{DMS} értékének meghatározásához, egy korábban publikált w_{kg} tömegfüggő tényezőt alkalmaztunk. A w_{kg} kiszámítására az alábbi konkrét képletet használtuk, ahol w a beteg testtömegét jelöli kg mértékegységben kifejezve:

$$w_{kg} = 1,73 - 1,33 \cdot 10^{-2}w + 4,04 \cdot 10^{-5}w^2.$$

A DMS esetében az SSDE meghatározását a középső szeletben a páciens effektív átmérője (D_{eff}), a $CTDI_{vol}$ és az AAPM által javasolt képlet alapján végeztük el. Azon CT sorozatoknál, ahol a középső szelet a mellkasi régióba esett, a víz ekvivalens átmérővel

(D_{water}) is meghatároztuk az SSDE-t, amelyet $SSDE(D_{\text{water}})$ szimbólummal jelöltünk

A vizsgálatokat öt és hat anatómiai régióba soroltuk, két nevezékταν szerint (sorozat és study alapján), melyek a következők voltak: fej, nyak, mellkas, has, medence és törzs, valamint fej, nyak, mellkas, has és medence. Ilyen módon összesen 79383 study és 93259 sorozatot kaptunk.

Végül a méretspecifikus effektív dózist (SED) számoltunk korábban publikált módszer alapján. A publikációban [31] Monte Carlo-szimulációval hoztak létre számos eltérő méretű digitális human fantomot, majd ugyancsak egy validált Monte Carlo alapú CT szimulációs program segítségével számították ki a CT vizsgálat minden releváns dózis adatát: a DLP, a CTDI és a SED értékeket is.

2.2. Zsírszövet szegmentálás

Összesen 98 humán CT vizsgálat került kiválasztásra véletlenszerűen, 2012 március és 2013 szeptember között, egy Philips 64 TF PETCT kamerán készült vizsgálatok közül. A betegpopuláció járóbetegek közül került kiválasztásra, akik különböző betegségekben szenvedtek. A CT vizsgálat készítése során a jel-zaj arány állandóságának biztosítása érdekében standard dózisoptimalizáló algoritmust alkalmaztunk, amelyben két CT-protokoll esetében is a testsúly növekedésével arányosan növekedett a röntgensugárzás intenzitása. A *Protokoll I.-ben* nagyobb mAs-tartományt alkalmaztunk (100–200 mAs) a jobb képminőség érdekében, míg a *Protokoll-II* esetén a röntgensugárzás körülbelül a fele volt ennek. A csőfeszültség minden esetben 120 kV volt.

Három axiális szeletet választottunk ki az L.1.-es csigolya, a jobb és a bal vese hilus magasságában. Diagnosztikus monitoron két ROI (region of interest) manuálisan került berajzolásra minden egyes kiválasztott szeletre a MATLAB program segítségével. A nagyobbik ROI a testkontúrra, a kisebbik pedig a hasüregre került.

Tanulmányunkban a zsírshövet szegmentálását három különböző Hounsfield tartomány [ablak középérték/ablakszélesség HU-ban] alapján végeztük: [-190/-30], [-150/-40] and [-195/-45]. Így a SAT és VAT értékeket három különböző HU tartomány

felhasználásával számítottuk ki. Emellett három különböző SAT (SAT_i, i=1,2,3) és három különböző VAT (VAT_i, i=1,2,3) becslést is kaptunk a három különböző metszetre vonatkozóan. Minden esetben kiszámoltuk a testtömegindexet (BMI) is a következő szokásos képlet segítségével:

$$BMI = \frac{\text{testtömeg}}{\text{magasság}^2} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$

A rekonstruált képekből nyert adatok lehetővé tették a BMI becslését a következő képlet segítségével:

$$BMI_{\text{est male}} = 2.069 + (0.037 * SQA) - (0.05 * age) + (0,984 * BTD) - (2.647 * L1APD)$$

$$BMI_{\text{est female}} = 9.163 + (0.252 * BC) + (10.621 * \frac{SQA}{BA}) - (0.08 * age) + (0.597 * BAPD).$$

Ezen képletekhez szükség volt minden axiális metszetből a test horizontális és anteroposterior átmérőjére (BTD, BAPD), a csigolyatest átmérőjére (L1APD), a test körfogatára (BC), a teljes test területére (BA), a szubkután zsír területére, valamint a páciens életkorára.

Úgy gondoltuk, hogy a két nemre vonatkozó eredeti BMI becslő képlet túlságosan bonyolult, ezért megpróbáltunk javasolni, illetve létrehozni egyszerűbbeket. A BMI_{est} 4-5 adattól függ, mely mindkét nem esetén eltérő. Továbbá kérdéses, hogy az egyes állandók függenek-e a konkrét CT-beállításaitól. A vizsgálatunkban kilenc új modellt javasoltunk az eredeti és a jelenlegi modellek alapján, amelyeket I-től IX-ig jelöltünk.

Nemlineáris regressziót alkalmaztunk a kilenc egyenlet együtthatóinak kiszámításához, ahol az alábbi súlyfüggvényt minimalizáltuk minden esetben:

$$h(a, b, c, d, e) = \sum_{k=1}^n (BMI_k - BMI_{\text{modell}}((a, b, c, d, e))_k)^2$$

Párosított adathalmazokra vonatkozó hipotézis vizsgálatokat végeztünk a különböző axiális szeletekből és tartományokból származó értékek összehasonlítására. Az adatok eloszlását az Anderson-Darling normalitási teszttel értékeltük. Ezt követően a megfelelő hipotézis vizsgálatot választottuk: normál eloszlású

adatok esetén párosított t-próbát, egyéb esetekben Wilcoxon-féle előjeles rangpróbát. Az adathalmazokat akkor tekintettük szignifikánsan különbözőnek, ha a p-érték kisebb volt 0,05-nél. Minden adat kiértékelést és feldolgozást a kereskedelmi forgalomban elérhető Microsoft Office Excel és MATLAB programmal végeztünk.

3. Az értekezés új tudományos eredményei

Megmutattuk, hogy a Debreceni Egyetem Radiológia Klinikáján a munkacsoportunk által fejlesztett dózismonitorozó rendszer lehetővé teszi a CT vizsgálatok legfontosabb betegdózis adatainak (DLP, SSDE és ED) pontos becslését, amelyek igen jól korrelálnak a DW dózis-monitor alkalmazás megfelelő adataival. Bár a DW egy a nemzetközi gyakorlatban igen elterjedt megoldás, számos hátrányos tulajdonságát azonosítottuk. Az ED meghatározása során a DW esetében problémák merülnek fel az adott sorozat testrégiójának helytelen azonosítása miatt. És mivel az ED számítása a DLP, illetve az anatómiai régiótól függő súly faktor értékeitől függ, így az ED értéke is torzított lesz. Továbbá a koponya-CT esetén az SSDE számítása is hibás lehet a DW alkalmazásban, mert az algoritmus nem kezeli megfelelően a döntött CT-gantry mellett végzett vizsgálat képeit. Részletesen analizáltuk és demonstráltuk, hogy az irodalomban nemrég bevezetett, - összetett Monte Carlo szimuláción alapuló -, méret specifikus effektív dózis (SED) becsülhető lehet a valós CT vizsgálatok SSDE értékeiből. Ennek alapja a páciens tömegétől függő analitikus formula használata, amelynek segítségével az ED adatból a SED származtatható. A SED igen előnyös lehet a kumulatív páciens-dózisok elfogadható számítására, aminek tudományos igénye egyre hangsúlyosabb lett az elmúlt években.

A CT alapú zsírszövet-szegmentálás kapcsán megfigyeltük, hogy akár a SAT és akár a VAT konkrét méretei jól korreláltak egymással, ha három eltérő, - de az irodalomban gyakran használt -, HU-tartomány mellett végeztük a szegmentálásokat. Az is

megfigyelhető volt, hogy a VAT és SAT zsírszöveti területek bár korreláltak egymással, nem volt egyenesen arányos kapcsolat a tartományok között. A szegmentáláshoz kiválasztott szelet pozíciója nem volt jelentős hatással a korrelációkra, a SAT és VAT abszolút értékei azonban statisztikailag eltérőek voltak. A nagyobb csőárammal felvett CT-képadatok jobb korrelációt eredményeztek a SAT, a VAT és a BMI között. A 98 beteg esetében meghatároztuk és összehasonlítottuk a modellalapú és a valós BMI-értékeket. Egyszerűsítettük a modellalapú BMI-becslést, és eredményeink azt mutatják, hogy a CT-alapú BMI-számításhoz nincs szükség összetett, többváltozós modellre.

Összegzésként egy figyelemre méltó párhuzamot azonosítottunk a két vizsgált kutatási terület között: ahogyan az egy szelet alapján számított SSDE-megfelelően jellemzi a teljes testre vonatkozó elnyelt sugárdózist, úgy az egyetlen szeletből becsült zsírmennyiség is szoros korrelációt mutat a teljes test zsírszövet-tömegével. Ez az analógia alátámasztja az egy-szeletes CT analízisek hatékonyságát mind a dózisbecslés, mind a testösszetétel-analízis terén.

4. Összefoglalás

Megállapítható, hogy a helyileg fejlesztett dózismonitorozó programunk ED becslése a legtöbb esetben számottevő eltérést nem mutat a DW által becsült értékektől. A kis eltérést az elérő konverziós faktorok okozzák. Abban az esetben, ha az eltérés jelentős, azt a DW nem megfelelő régió beazonosítása okozza. Az SSDE értékek összehasonlítása során a koponya régió esetén figyelhető meg jelentős eltérés, melynek oka a DW hibás középső CT szelet beazonosítása, melyet a CT döntött gantry-je okoz. Részletesen analizáltuk és demonstráltuk, hogy a méret specifikus effektív dózis (SED) becsülhető lehet a valós CT vizsgálatok SSDE értékeiből. Ennek alapja a páciens tömegétől függő analitikus formula használata, amelynek segítségével az ED adatból a SED származtatható.

A zsírszövet szegmentáció során jó korrelációt találtunk a SAT és a VAT területei között, ha három eltérő HU-tartományon alapult

a szegmentálás. A szegmentáláshoz választott anatómiai szint jelentősen befolyásolja a VAT és SAT értékeket. A 98 beteg esetében meghatároztuk és összehasonlítottuk a modellalapú és a valós BMI-t. Egyszerűsítettük a modell alapú BMI becslését, és ennek eredményeként megmutattuk, hogy a CT-alapú BMI számításokhoz nincs szükség összetett többváltozós modellre.

5. Az értekezés alapjául szolgáló közlemények



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/444/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Szatmáriné Egeresi Lilla
Doktori Iskola: Molekuláris Orvostudomány Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

1. **Egeresi, L., Urbán, L., Dankó, Z., Balázs, E., Berényi, E., Marosi, M., Kiss, J., Bágyi, P., Képes, Z., Emri, M., Balkay, L.:** Relationship Between Effective Dose, Alternative Metrics, and SSDE: experiences with Two CT Dose-Monitoring Systems. *Diagnostics*. 15 (13), 1-15, 2025.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics15131654>
IF: 3.3 (2024)
2. **Egeresi, L., Székely, A., Kallos-Balogh, P., Trón, L., Garai, I., Balkay, L.:** Effect of Single-Slice CT Segmentation Methods on Fat Volume and Body Shape Estimation. *Acta Polytech. Hung.* 20 (8), 89-109, 2023.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12700/APH.20.8.2023.8.6>
IF: 1.4





További közlemények

3. Esze, R., Balkay, L., Barna, S., **Egeresi, L.**, Emri, M., Páll, D., Paragh, G., Rajnai, L., Somodi, S., Képes, Z., Garai, I., Káplár, M.: Impact of Fat Distribution and Metabolic Diseases on Cerebral Microcirculation: a Multimodal Study on Type 2 Diabetic and Obese Patients. *J Clin Med.* 13 (10), 1-14, 2024.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm13102900>
IF: 2.9
4. Kallos-Balogh, P., Vas, N. F., Tóth, Z., Szakáll, S., Szabó, P., Garai, I., Képes, Z., Forgács, A., **Egeresi, L.**, Dahlbom, M., Balkay, L.: Multicentric study on the reproducibility and robustness of PET-based radiomics features with a realistic activity painting phantom. *PLoS One.* 19 (10), 1-24, 2024.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0309540>
IF: 2.6

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 10,2

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 4,7

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudánymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.07.08.

