



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Természettudományi Kar
Orvosi fizika

Intenzitás modulált sugárterápiás tervek dozimetriai ellenőrzése PTW Octavius 4D fantommal

TDK dolgozat
Budapest, 2014

Készítette:

Gyökös Réka
(X7E70A)

Konzulensek:

Stelczer Gábor
PhD hallgató, orvosefizikus
Országos Onkológiai Intézet
Dr. Pesznyák Csilla
Egyetemi docens
Nukleáris Technika Tanszék

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS.....	2
2.	INTEZITÁS MODULÁLT SUGÁRTERÁPIA	2
3.	LINEÁRIS GYORSÍTÓ.....	4
4.	PTW 4D OCTAVIUS RENDSZER.....	5
4.1.	OCTAVIUS 4D FANTOM.....	5
4.2.	VERIFIKÁCIÓS MÉRÉSEK.....	6
5.	EREDMÉNYEK.....	8
5.1.	MEGFELELÉSI EREDMÉNYEK AZ ALAPBEÁLLÍTÁSOKKAL	8
5.2.	MEGFELELÉSI EREDMÉNYEK MÓDOSÍTOTT BEÁLLÍTÁSOKKAL	10
5.3.	A PTW VERISOFT HELYZETKORRIGÁLÓ FUNKCIÓJA	12
6.	KONKLÚZIÓS	13
7.	MELLÉKLETEK	14
8.	FORRÁSOK.....	17

1. Bevezetés

Az intenzitás modulált sugárterápia (IMRT) olyan sugárterápia, melyben külső sugárforrással, nem invazív módon történik a kezelés. A kezelést a beteg anatómiájának megfelelően kell megtervezni, figyelembe véve a tumor méretét, elhelyezkedését és a környezetében található védendő szerveket.

Az utóbbi időben, a technika fejlődésével elkezdett nőni a kezelési mezők száma, a többmezős besugárzások tervezése bonyolultabb algoritmusokat igényel. A besugárzás tervezés célja, hogy a kezelés során a daganatos szöveteket a legnagyobb hatékonysággal pusztítsuk el, míg az ép területek dózisterhelését minimalizáljuk. Fontos annak a dozimetriai ellenőrzése, hogy a beteg valóban a megtervezett kezelést kapja-e meg. Ennek érdekében az Országos Onkológiai Intézetben (OOI) az intenzitás modulált tervek ellenőrzésére PTW Octavius 4D fantomot és Octavius 729 ionizációs kamra mátrix detektort használunk.

A fantomban elhelyezett detektorral mérjük a lineáris gyorsítóval leadott kezelést, majd PTW Verisoft szoftverrel összehasonlítjuk a számolt dóziseloszlást a mérttel. A szoftver OOI-ben használt beállításai nemzetközi viszonylatban elfogadott beállítások, de néhol más beállításokat használnak. A munkám során különböző beállítások mellett figyeltem a detektált tervek megfelelését a tervezettnek, az eredmények alapján pedig eldönthető hogy szükség van-e az alapbeállítások módosítására.

2. Intenzitás modulált sugárterápia

A sugárterápiának 3 különböző technikája ismert:

1. Teleterápia: külső sugárforrásokkal történik a kezelés, nem invazív. A betegről készített komputertomográfias (CT) képszeletek alapján készül a besugárzás tervezés, így a szövetek inhomogenitás különbségéből eredő változó sugárzáselnyelődés figyelembe vehető.
2. Brachyterápia: γ - vagy β -sugárzó tűk, tubusok, plakkok vagy szemcsék formájában alkalmazható a testfelszínre, a tumoros szövetekbe vagy a természetes és mesterségesen létrehozott testüregben.
3. Nyílt radioaktív izotópok használata

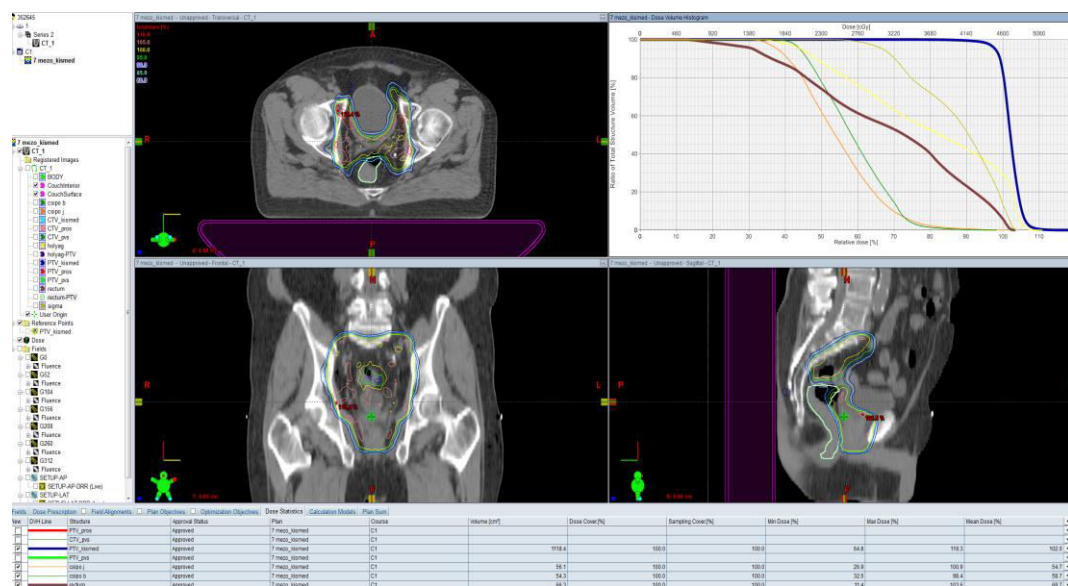
A besugárzási technikát a beteg anatómiájának megfelelően kell megválasztani. A mai technika szerint többmezős besugárzási terveket készítünk. Ez egy olyan izocentrikus technika, mely esetén a daganat középpontja a készülék izocentrumába kerül, vagyis a forgóállvány (gantry) körbeforgatásával minden mező fő sugara egy pontban találkozik és a megfelelő mezőméretek beállításával kell az előírt dózist leadni.[1]

Sugárterápiás kezelések módszerei:

1. 3D konformális technika
2. intenzitás modulált (Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)
3. képvezérelt sugárterápia (Image Guided Radiation Therapy, IGRT)
4. légszervezrelt sugárterápia

Intenzitás modulált sugárterápia

Az Országos Onkológiai Intézetben Varian Eclipse számítógépes besugárzás tervező rendszert használnak. Ez egy olyan inverz besugárzás tervezést tesz lehetővé, mely során adott térfogati dóziszfeltételek és dózisoptimalizáló algoritmusok használatával határozzuk meg a mezőnkénti nem egyenletes intenzitásokat. Ez a módszer növeli a dóziseloszlás konformitását, vagyis a dóziseloszlást a célterület alakjára illeszti, miközben minimálisra csökkenti az ép szervek dózisterhelését. A technika legnagyobb előnyei olyan esetben mutatkoznak meg, amikor a céltérfogat körbeveszi a védendő szervet. A tervezés során csak a besugárzási mezők irányát adjuk meg, a dózisoptimalizáló algoritmus iteratív módszerrel a mezőket almezőkre (szegmensekre) bontja, meghatározza azok számát és súlyfaktorát. Ha a dóziseloszlás nem megfelelő a térfogati dóziszfeltételek módosításával, újabb optimalizálással lehet javítani.



1. ábra Varian Eclipse tervezőprogram, dóziseloszlások, dózis-térfogat hisztogram

Az IMRT fajtái:

1. Statikus IMRT (Step and Shoot IMRT): sugármenet közben a gyorsító egyik eleme sem mozog
 2. Dinamikus IMRT (Sliding window IMRT): sugárzás közben csak a sokleveles kollimátor (MLC) mozog
 3. Forgóíves IMRT (VMAT): sugárzás közben forog a forgóállvány (gantry) és az MLC is
- [1]

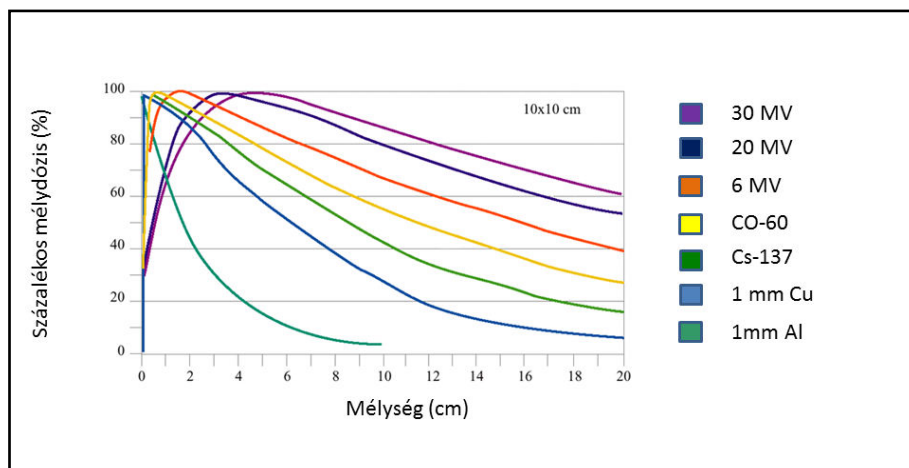
3. Lineáris gyorsító

Az Országos Onkológiai Intézetben 5 db lineáris gyorsítóval végeznek sugárterápiás kezeléseket. Ezek közül a teleterápiás készülékek közül a Varian TrueBeam az, amelyen az elemzett minőségbiztosítási méréseket végeztük. A Varian TrueBeam 6, 10, 18 MV foton- és 6-18 MeV elektronsugárzás kibocsátására alkalmas. A berendezés képvezérelt, intenzitás modulált, légzéskapuzott, valamint sztereotaxiás sugárkezelést kivitelezésére is alkalmas. A gyorsítóhoz tartozó kezelőasztal 6 szabadsági fokú helyzetkorrekcióval állítható.



2. ábra Varian TrueBeam lineáris elektrongyorsító az Országos Onkológiai Intézetben

A gyorsító fejben két pár kollimátor található, mellyel $0 \times 0 \text{ cm}^2$ -től $40 \times 40 \text{ cm}^2$ mezőméret állítható elő. A mezőalakot az úgynevezett MLC (Multi-LeafCollimator) illeszti még pontosabban a célterületre. 6 MV gyorsítófeszültség mellett a dózismaximum 1,5 cm mélyen alakul ki, míg 18 MV esetén 3,2 cm-nél. A foton-sugárzás energiáját a céltérfogat elhelyezkedése és nagysága szempontjából választjuk ki, az általunk vizsgált főként kismedencei és fajnyci régiójú kezeléseknél ez 6 és 10 MV gyorsítófeszültséget jelent.



3. ábra Különböző energiájú fotonugárzások mélydózisgörbéi [1]

4. PTW Octavius 4D rendszer

Az Octavius 4D rendszer az Octavius 4D fantomból, inklinométerből, Octavius 729 ionizációs kamra mátrix detektorból, valamint egy elemzőszoftverből áll. A szoftver (PTW Verisoft) feldolgozza és megjeleníti a dóziseloszlást, továbbá ezzel végezzük a beteg specifikus minőségbiztosítási elemzéseket.

4.1. Octavius 4D fantom

Az Octavius 4D fantom egy forgó, a kezelő asztalra felhelyezett készülék, mely beépített motorral rendelkezik. A hengeres fantom átmérője 32,0 cm, hosszúsága 34,3 cm és a tömege 29,0 kg. A fantom együtt forog a gantry-vel és minden gantry állásban a merőlegesen beérkező sugárzás dóziseloszlását tudja detektálni. A fantom 360°-ban képes körbe forogni, ezt a beépített motor teszi lehetővé, a gantry-vel történő együttforgást lineáris gyorsító forgó fejéhez erősített inklinométer teszi lehetővé. Az Octavius 729 ionizációs kamra mátrix detektor a fantom közepébe illeszthető be, így a kamra mátrix közepe egyben a fantom közepe is. A 729 ionizációs kamra centrumai egymástól 1 cm távolságban helyezkednek el egy 27 x 27 cm²-es mezőben, egy kamra a mátrix geometriai középpontjában helyezkedik el, ez az oka a kamrák páratlan számának. [2]

4.2. Verifikációs mérések

Az intenzitás modulált sugárterápia olyan komplex eljárás, amelyknél szükség van beteg specifikus minőségbiztosítási mérésekre (quality assurance- QA). Az intenzitás modulált módszer nagy előnyt jelent a betegek kezelésében, hiszen jóval konformálisabban tudja leadni a kezelést a céltérfogatra, kímélve a védendő szöveteket. A kezelés során az MLC összetett mozgása teszi szükségessé annak a mérését, hogy a leadott dózis az előírt hibahatáron belül megegyezik-e a megtervezettel.

Minőségbiztosítási mérésekre azért van szükség, mert lehetnek dóziskülönbségek tervezőrendszer által tervezett (Varian Eclipse) és a fantom által detektált, vagyis a betegre leadott dózisok között. A hibának többfél forrása lehet: a számolási algoritmus, sugárzás leadása, fizikai adatok kezelése.



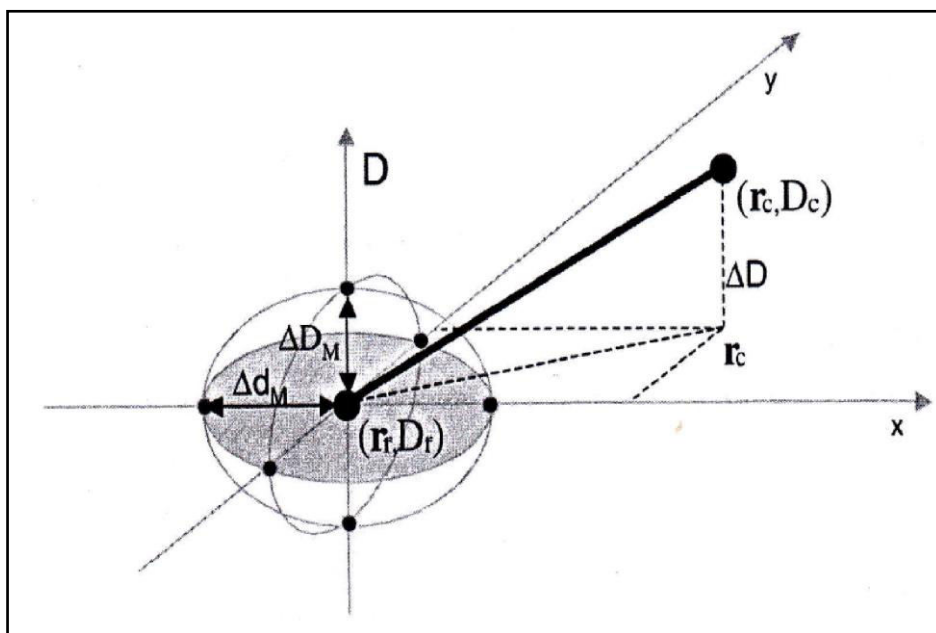
4. ábra A PTW Octavius 4D rendszer működése a minőségbiztosítási mérés közben

4.3. Gamma analízis a PTW Verisoft programmal

A beteg specifikus minőségbiztosítási mérések során a tervezőrendszerben számolt és a valóságban mért dóziseloszlásokat hasonlítjuk össze a PTW Verisoft szoftverrel. Az összehasonlítás során a szoftver 3D gamma analízist hajt végre, azaz összehasonlítja az adott voxelben mért dózisértékeket és az adott térfogat környékén is egyezést keres, ez a DTA (distance to agreement).

A két összehasonlítás egyidejű alkalmazása komoly numerikus probléma. A program két mátrixot hasonlít össze, amelyek a dózis értékeket tartalmazzák. A térbeli mátrix elemeihez tartozik egy

$r(x,y)$ távolság érték és egy D dózis érték. Az elemzéshez meg kell adnunk elfogadási kritériumokat: egy ΔD_m értéket a dóziskülönbségnek és egy Δd_m távolságvértéket a DTA-nek.



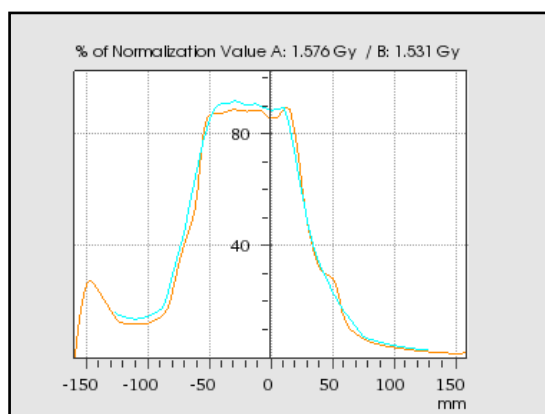
5. ábra A gamma elemzés elméleti elképzelésének sematikus ábrázolása [3]

Van egy referencia pontunk r_r és D_r paraméterrel, valamint egy a tervező rendszer által tervezett pontunk (calculated) r_c és D_c paraméterrel. A gamma elemzés lényege, hogy a tervezett pontunk az 1. egyenlet által definiált ellipszoid belsejébe essen, melynek középpontja a referencia pont.

$$1 = \sqrt{\frac{\Delta r^2}{\Delta d_m^2} + \frac{\Delta D^2}{\Delta D_m^2}}$$

1. egyenlet A kritériumok tartalmazó ellipszoid egyenlete

A frakció dózisa normálás vagy lokális dózis figyelembe vétele nagy eltéréseket okozhat. Főként az alacsony dóziseloszlású területeken. Hiszen ha alacsony dóziseloszlású helyeknél a lokális dózist vesszük figyelembe, nagyon nagy lesz a százalékos eltérés, pedig az ott kialakuló dóziskülönbség nem befolyásolja olyan jelentősen az eredményt, nem okoz esetlegesen nagy sugárterhelést, mintha a nagyobb dózisú területeken alakulna ki a nagy eltérés. Ebből is következik, hogy miért van szükség az alacsony dózisú helyek ignorálásra (suppress dose). A frakciódózisa normálás viszont figyelembe veszi, hogy mekkora a kezelés alatt kapott teljes dózis, és ahhoz viszonyítja az adott pontban vett dóziskülönbséget. Ezek alapján azt várjuk, hogy a frakciódózisa vett normálással jobb megfelelési eredményt kapunk.



6. ábra LR profil a PTW Verisoft programban, narancssárga a tervezett, kék a mért dózis

Az analízis során be tudjuk állítani, hogy mely területeken végezze el az elemzést. A protokoll szerint azokat a területeket, amelyekre a teljes dózis 10,0%-ánál kevesebb jut, nem veszi figyelembe a program. Ezzel azt értjük el, hogy az elemzés csak releváns dózisú területeket veszi figyelembe.[3]

5. Eredmények

5.1. Megfelelési eredmények az alapbeállításokkal

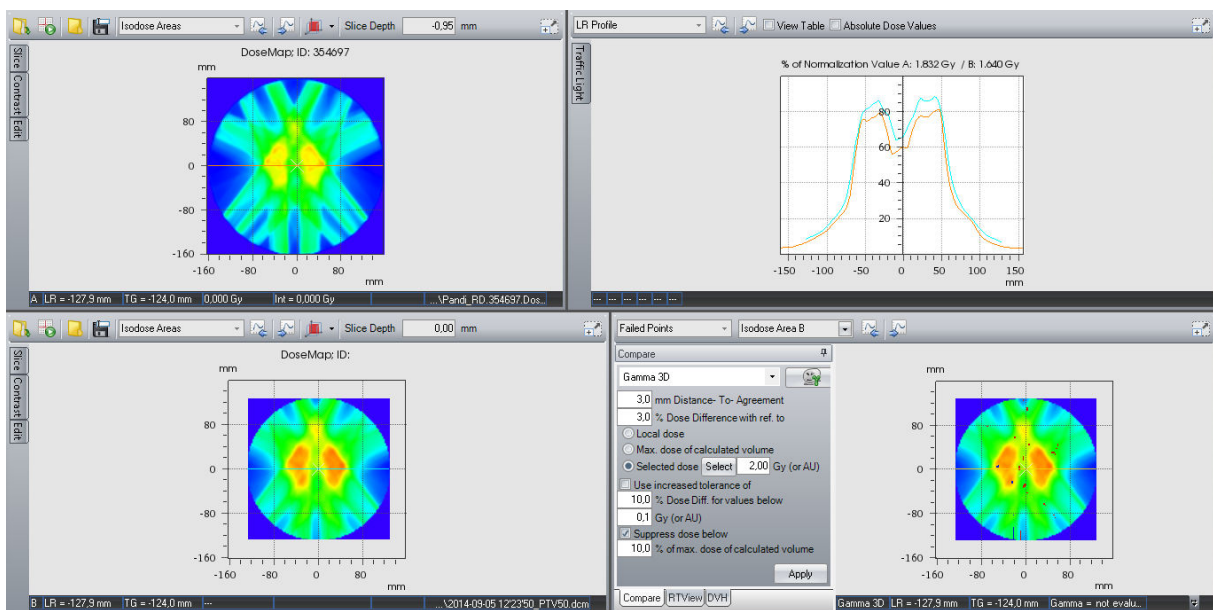
A mérés során összesen 70 beteg tervein végeztem el a 3D gamma analízist a különböző beállításoknál. Mivel egy beteg kezelése általában többlépcsős, ez összesen 100 kezelés elemzését jelentette. A fantommal való mérések során előfordul, hogy a kezelés geometriailag nem fér rá a fontomra, ezért azt el kell tolni a kezelőasztalon (pl. a gantry irányába), ebben az esetben a sugárnyaláb nem merőlegesen érkezik a fantom közepére és így nem kapunk értékelhető eredményt. Emiatt ezeket a méréseket kivettem az elemzésből, így összesen 96 kezelés adatait tartalmazza az elemzés.

A minőségbiztosítási mérések során túlnyomórészt fejnyak és kismedencei régiójú kezeléseket ellenőriztünk. A 96 kezelésből 60 fejnyaki és 29 kismedencei volt. A kezelések 6 és 10 MV gyorsító feszültséggel lettek leadva. 6 MV főként a fejnyaki kezelésekhöz szükséges, míg a 10 MV a kismedencei kezelésekhöz, ez nyilvánvaló, hiszen a kismedence esetében mélyebben helyezkedik el a kezelendő céltérfogat.

Elsőként az Országos Onkológia Intézetben használt alapbeállítások mellett értékeltük a mért és tervezett besugárzási tervek dóziseloszlásának egyezését.

Az alapbeállítások a következők:

- $\Delta D_m=3,00\%$, $\Delta d_m=3,00\text{ mm}$
- frakciódózisra normálás
- azoknak a területeknek a figyelmen kívül hagyása, amelyekre a teljes dózis 10,0% százaléknál kevesebb dózis jut



7. ábra PTW Verisoft program az alapbeállításokkal, egy kismedencei terv esetében

Eredmények az alapbeállítások mellett:

	Alapbeállítások (%)
Összes kezelés (96)	98,74
Fejnyaki (60)	99,05
Kismedencei (29)	98,52
Egyéb (7)	96,46
6 MV (63)	98,83
10 MV (33)	98,44

1. táblázat Átlagos eredmények az alapbeállításokkal

A 96 kezelés tervei a fantommal lemért adatok között az alapbeállításokkal átlagban 98,74%-ban feleltek meg. Ezek közül a minimum érték 89,6%, a legnagyobb egyezés 100 % volt.

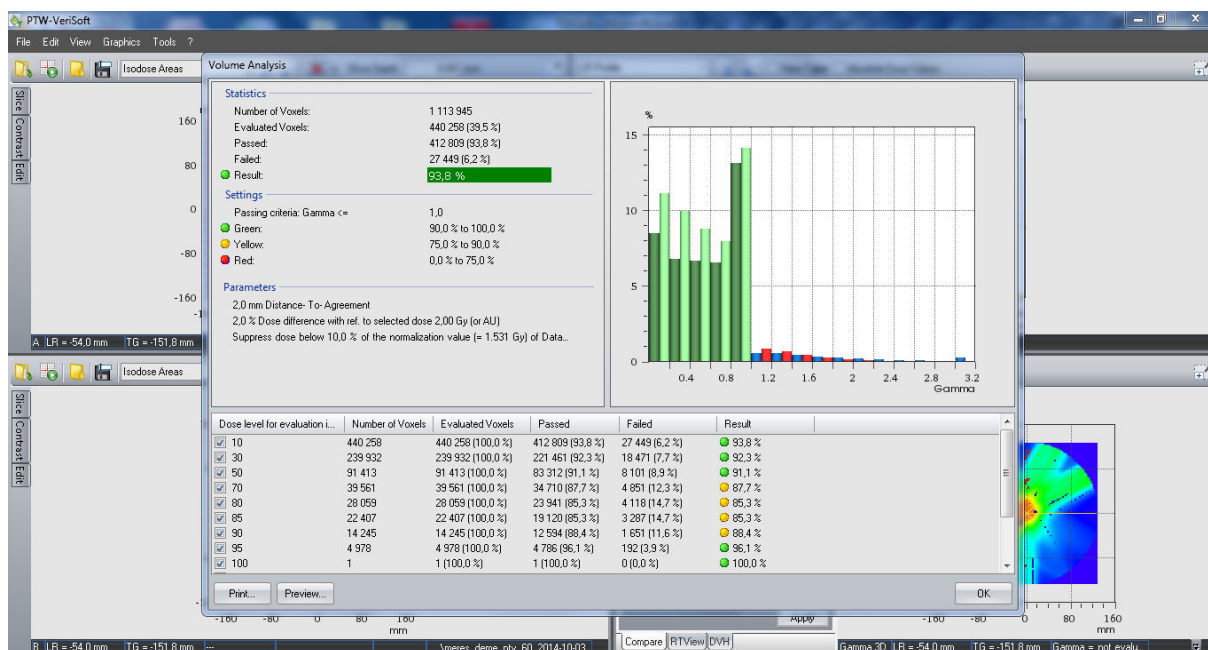
Az Országos Onkológiai Intézet protokollja szerint 95,0% vagy efelett minősül a terv elfogadhatónak, 90,0% és 95,0% között szorul felülvizsgálásra, 90,0% alatt pedig nem megfelelőnek. Az alapbeállítás mellett az összes terv (96) közül 93 felelt meg 95,0% feletti egyezésnek, 1 esett a felülvizsgálási tartományba, 2 pedig 90,0% alatti értéket adott, tehát nem felelt meg.

A 60 fejnyak terv esetében 58 felelt meg 95,0% egyezésnek, 1 esett a felülvizsgálási tartományba, 1 pedig nem felelt meg.

A 29 kismedence terv esetében minden kezelés 95,0% feletti egyezést mutatott.

5.2. Megfelelési eredmények módosított beállításokkal

A 3D gamma analízist az alapbeállítás paramétereinek egyenkénti módosítása mellett is elvégeztem. Ez azt jelenti, hogy mindig csak az egyik paramétert változtattam, míg a többit az alapbeállításnak megfelelőnek hagytam.



8. ábra PTW Verisoft program, $\Delta D_m=2,00$ %, $\Delta d_m=2,00$ mm feltétel melletti eredmény egy fejnyaki terv esetén

A módosított beállítások a következők:

- $\Delta D_m=2,00\%$, $\Delta d_m=2,00$ mm
- lokális dózis
- azoknak a területeknek a figyelmen kívül hagyása, amelyekre a teljes dózis 5,0% százaléknál kevesebb dózis jut

Eredmények a módosított beállítások mellett:

(%)	Alapbeállítások	$\Delta D_m=2,00\%$, $\Delta d_m=2,00$ mm	Lokális dózis	5,0% alatti elnyomás
Összes kezelés (96)	98,74	90,89	96,39	98,82
Fejnyaki (60)	99,05	93,16	96,67	99,22
Kismedencei (29)	98,52	88,92	96,29	98,61
Egyéb (7)	96,46	83,87	94,46	96,27
6 MV (63)	98,83	92,18	96,5	98,97
10 MV (33)	98,44	88,42	96,18	98,53

2. táblázat Eredmények módosított beállításokkal

Az Országos Onkológiai Intézet elfogadási rendszere szerint is nézzük, hogy milyen arányban változott a tervek elfogadási aránya.

A 96 kezelés összesített eredménye, az egyes megszorítások mellett:

- $\Delta D_m=2,00\%$, $\Delta d_m=2,00$ mm:

	Összes (96)	Fejnyak (60)	Kismedence (29)
95% felett	12	8	4
90% felett	62	53	9
85% felett	87	58	25
80% felett	92	58	29

- lokális dózis

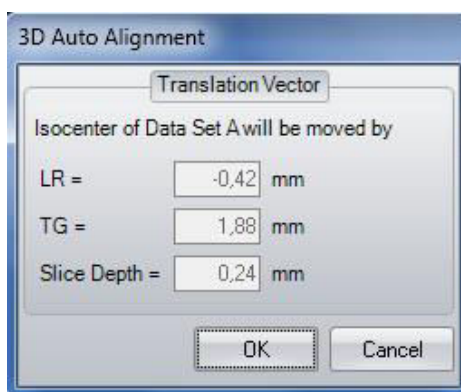
	Összes (96)	Fejnyak (60)	Kismedence (29)
95% felett	83	56	23
90% felett	93	58	29
85% felett	94	58	29

- azoknak a területeknek a figyelmen kívül hagyása, amelyek a teljes dózis 5,0% százalékánál kevesebb dózis jut

	Összes (96)	Fejnyak (60)	Kismedence (29)
95% felett	93	58	29
90% felett	95	60	29
85% felett	96	60	29

5.3. A PTW VeriSoft helyzetkorrigáló funkciója

Az egyes értékelések végén, az alapbeállítások mellett használtam a program beépített helyzetkorrigáló (Align automatically) funkcióját. Ez a funkció megad egy bizonyos translációs vektort, amellyel az izocentert el kellene tolni. Elméletben így nagyobb egyezést mutatna a tervezett és mért dóziseloszlás.



9. ábra Helyzetkorrigálás egy kismedencei terv esetén

Eredmények a helyzetkorrigálás után:

(%)	Alapbeállítások	Helyzetkorrigálás
Összes kezelés (96)	98,74	98,82
Fejnyaki (60)	99,05	99,13
Kismedencei (29)	98,52	98,75
Egyéb (7)	96,46	92,2
6 MV (63)	98,83	98,91
10 MV (33)	98,44	98,65

3. táblázat

Láthatjuk, hogy átlagban valóban javított a megfelelésen a korrekció. Viszont ellentmondásosan sok esetben rontott az alapbeállításnál kapott értéknél. A 96-ból 24 esetben rontott az eredményen, a rontások 6 esetben kismedencénél, 15 esetben fejnyaknál fordultak elő. Tehát arányaiban megegyeznek, hiszen 60 fejnyaki és 29 kismedencei kezelést vizsgáltunk.

6. Konklúzió, lehetőségek

Az elemzés fő célja annak felmérése volt, hogy az Országos Onkológia Intézetben használt PTW Verisoft elemzőszoftver beállítási paraméterei mennyire megfelelőek a beteg specifikus minőségbiztosítási mérések során. Vizsgáltam az egyes paraméterek megváltoztatásával járó egyezésszerű különbségeket. A jelenlegi protokoll szerint 95,0% vagy efelett minősül a terv elfogadhatónak, 90,0% és 95,0% között szorul felülvizsgálásra, 90% alatt pedig nem megfelelőnek.

Az eredmények azt mutatják, hogy a $\Delta D_m=3,00\%$, $\Delta d_m=3,00$ mm beállítást $\Delta D_m=2,00\%$, $\Delta d_m=2,00$ mm-re megszorítva, okozták a legnagyobb eltérést az alapbeállításnál kapott eredményektől. Az alapbeállítás mellett a 96 kezelésből 93 elfogadhatónak minősült, míg a megszorításnál a 96 tervből csak 12 felelt meg, 50 szorulna felülvizsgálásra és 34 pedig nem felelne meg.

A lokális dózis figyelembe vétele és az 5,0% alatti elnyomás nem adtak számottevő eltérést. A lokális dózis figyelembe vétele a frakciódózisra normálás 98,74%-os megfelelési átlagos eredményét a 96 kezelés esetén 96,39%-ra csökkentette. Az 5,0% alatti elnyomás a 10,0% alatti elnyomás során kapott 98,74 %-os értéket 98,82%-ra javította.

A Verisoft beépített helyzetkorrigáló funkciója a megfelelési eredményen átlagosan javította: 98,74%-ról 98,82%-ra. Viszont a 96 kezelésből 24-nél rontott az eredményen. Így ennek a funkciónak a használata csak indokolt esetben ajánlott.

Összességében megállapíthatjuk, hogy a jelenleg használt, teljes kezelési folyamat minőségbiztosításáért felelős mérések elemzésén a jövőben még lehet tovább finomítani az esetlegesen rosszabb egyezést mutató tervek kiszűrésére. A 2% és 2 mm-es feltétel túl szigorú lenne egyelőre, azonban a lokális dóziseket, valamint a még kisebb dózisu területeket is vizsgálhatjuk a továbbiakban. A Verisoft beépített fantom pozíciókorrigáló algoritmusának használata annak instabil működése miatt nem ajánlott.

7. Melléklet

A 96 kezelés értékelése PTW Verisoft programmal

Kezelés sorszáma	Alapbeállítás	2,0%; 2mm	Lokális dózis	5,0% alatt	Elhelyezkedés	Frakció dózis	3mm nagyobb eltolás	Auto Alignment
1	99,8	96,7	99,1	99,8	kismedence	2	nincs	99,9
2	99,3	91,1	96,5	99,4	kismedence	2	nincs	99,3
3	99,6	92,5	98,2	99,6	kismedence	2	nincs	99,7
4	99,6	94,7	97,8	99,7	fejnyak	2	nincs	99,1
5	100	98,3	99,4	100	kismedence	2	nincs	100
6	99,9	95,2	98,2	99,9	kismedence	1,8	nincs	100
7	99,8	96,3	98,6	99,9	fejnyak	2	nincs	99,8
8	89,6	79,6	84,6	93,9	fejnyak	2	nincs	90,9
9	99,8	96,4	98,7	99,9	fejnyak	2	nincs(2,3)	97,9
10	98,4	86,8	94,9	98,5	kismedence	2	nincs(2,4)	95,5
11	96,9	85,2	94,5	97,4	jobb comb	2	nincs	96,2
12	97,7	88,4	96,9	97,9	jobb comb	2	nincs	97,9
13	99,5	95,1	98,9	99,6	arcüreg	2	nincs	99,6
14	98,9	92	98,2	99	arcüreg	2	nincs	99,2
15	98,4	87,5	95,9	98,7	kismedence	2	nincs (2,3)	98,1
16	90,3	78,4	80,7	90,7	fejnyak	2	8,3 mm slice depth	98,6
17	96	77,4	93,2	96	mellkas	2	nincs (2,75)	95,5
18	97,9	85,9	94,8	98	kismedence	2	nincs (1,8)	98,4
19	97,5	88,6	94,5	97,7	fejnyak	2	nincs (1,42)	97,2
20	98,3	87	97	98,4	gyomor	1,8	nincs (1,9)	98,7
21	98	86,1	95,8	98,2	kismedence	1,8	nincs(1,85)	99,1
22	99,9	96,8	98,9	99,9	kismedence	2	nincs (1,61)	99,9
23	89,6	75,4	86,9	87,1	emlő	2	12,7 TG	90,1
24	99,3	92	97,3	99,4	fejnyak	2	nincs (1,58)	98,6
25	99,4	93,6	97,2	99,6	fejnyak	2	nincs (1,4)	99,1
26	99,7	94,3	98,7	99,8	kismedence	2	nincs (1,7)	99,8
27	99,2	90,8	96,9	99,3	kismedence	2	nincs (1,9)	99,6
28	98,3	87,2	96,1	98,4	kismedence	2	nincs (1,51)	97,7
29	99,5	94	96,3	99,6	fejnyak	2	nincs (1,92)	99,7
30	99,4	94,4	98	99,6	fejnyak	2	nincs (1,8)	99,6
31	98,5	88,7	96,7	98,6	kismedence	2	nincs (1,88)	98,7
32	99,4	92,5	96,5	99,5	fejnyak	2	nincs (1,7)	99,7
33	99,5	94,3	98,6	99,6	fejnyak	2	nincs (1,72)	99,7
34	98,8	88,1	97,2	98,9	kismedence	1,8	nincs (1,81)	99,1
35	99,7	94,6	96,7	99,7	fejnyak	1,5	nincs (1,69)	99,8
36	98,6	88,1	96,3	98,7	kismedence	1,8	nincs (1,59)	99,1

37	99	89,8	97,4	99	kismedence	2	nincs (1,53)	99,2
38	99	90,1	96,2	99,1	fejnyak	2	4,12 TG	-
39	99,5	93,5	96,8	99,6	fejnyak	2	nincs (2,3)	99,8
40	99,2	89,1	96,5	99,3	has	2	nincs (2,11)	98,8
41	97,7	86,4	95	97,9	kismedence	2	nincs(2,1)	98,4
42	98,2	88,2	95,9	98,1	kismedence	2	nincs (2,19)	99,1
43	98,9	90,9	96,5	99	kismedence	2	nincs (2,4)	99,6
44	97,5	84,5	95	97,8	kismedence	2	nincs (2,02)	98,2
45	99,3	91,9	97,1	99,4	fejnyak	2	nincs (1,94)	99,5
46	99,6	94,2	98,4	99,7	fejnyak	2	nincs (1,94)	99,8
47	96,4	81	91,9	96,4	kismedence	2	nincs (2,56)	98,1
48	99,2	91,8	96,6	99,4	fejnyak	2	nincs (2,00)	99,5
49	99,5	93,1	96,6	99,6	fejnyak	2	nincs (2,51)	99,6
50	99,3	92,6	96,5	99,4	fejnyak	1,8	nincs (0,65)	99,5
51	98,5	88,2	95,9	98,7	kismedence	2	nincs (1,91)	98,8
52	99,2	92	97	99,7	fejnyak	2	nincs	99,7
53	99,3	93,4	96,9	99,5	fejnyak	2	nincs	99,6
54	96,9	83,3	92,9	96,9	kismedence	2	nincs	95,9
55	98,3	88,2	95,9	98,5	fejnyak	2	nincs	99,3
56	99,6	94,7	98,4	99,7	fejnyak	2	nincs	99,7
57	98,7	88,7	94,7	98,7	fejnyak	2	nincs	98,1
58	99,5	93,9	97,4	99,6	fejnyak	2	nincs	99,7
59	99,5	93,2	97,2	99,6	fejnyak	2	nincs	99,5
60	99,6	93,5	97,9	99,6	fejnyak	2	nincs	99,7
61	99,8	94,9	98,3	99,8	fejnyak	2	nincs	99,9
62	99,2	90,5	95,3	99,3	fejnyak	2	nincs	98,5
63	99,6	94,6	98	99,7	fejnyak	2	nincs	99,6
64	98,2	86,2	96,3	98,3	kismedence	2	nincs	98,6
65	99	90,2	95,5	99,1	fejnyak	1,8	nincs	98,2
66	99,4	92,1	96,8	99,5	fejnyak	1,8	nincs	99,7
67	96,7	84,8	94,2	96,6	kismedence	2	nincs	98,7
68	99,7	94,6	98	99,7	fejnyak	2	nincs	99,5
69	99,4	94	98,4	99,5	fejnyak	2	nincs	99
70	99,4	93,9	97,4	99,5	fejnyak	2	nincs	99,2
71	99,6	95,2	98,4	99,6	fejnyak	1,8	nincs	99,7
72	99,3	92,3	97,2	99,4	fejnyak	2	nincs	94,1
73	99,5	94,8	98,5	99,7	fejnyak	2	nincs	99,7
74	99,5	94,4	97,5	99,6	fejnyak	2	nincs	99,6
75	99,4	93,8	97,4	99,5	fejnyak	2	nincs	99,7
76	99,8	96,3	98,6	99,9	fejnyak	2	nincs	99,8
77	99,6	93,3	96,4	99,6	fejnyak	2	nincs	99,3
78	99,6	94,8	97,5	99,7	fejnyak	2	nincs	
79	98,7	87,9	97,4	98,8	kismedence	2	nincs	98,8
80	97,8	85,7	95	97,9	fejnyak	1,8	3,04	94,6
81	98,4	87,1	95,9	98,6	kismedence	2	nincs	98,8
82	99	89,8	95,2	99,1	fejnyak	2	nincs	99,2

83	99,7	93,8	95,7	99,7	fejnyak	2	nincs	99,8
84	99,3	91,6	96,1	99,4	fejnyak	2	nincs	98,9
85	99,4	95	98,4	99,6	fejnyak	2	nincs	99,5
86	99,2	92,4	98,7	99,4	fejnyak	2	nincs	99,2
87	99,6	92,8	97,3	99,7	fejnyak	2	nincs	99,7
88	99,5	93,9	97,7	99,6	fejnyak	2	nincs	99,7
89	97,5	84,6	96,2	97,8	emlő	2,67	nincs	99,8
90	97,8	86,2	94,5	98	kismedence	2	nincs	97,6
91	99,4	92	96,5	99,5	fejnyak	2	nincs	99,7
92	99,7	94,9	95,3	99,3	fejnyak	2	nincs	99,8
93	99,5	95	97,7	99,6	fejnyak	2	nincs	99,7
94	99,6	95,2	98,2	99,7	fejnyak	2	nincs	99,8
95	99,6	92,8	96	99,6	fejnyak	2	nincs	98,8
96	99,3	93,7	97,1	99,4	fejnyak	2	nincs	99,3

8. Források

- [1] Sugárbiológia - Dr. Pesznyák Csilla, Sáfrány Géza 2013.
- [2] Octavius 4D characterization for flattened and flattening filter free rotational deliveries-
Conor K. McGarry, Alan R. Hounsel - Medical Physics Vol.40 No. 9, September 2013.
- [3] A quantitative evaluation of IMRT dose distributions – Tom Debuydt, Ann Van Esch,
Dominique Huyskens Department Of Oncology, Divison Radiation Physics, University Hospital
Gasthuisberg, Belgium, 2001.
- [4] Evaluation of the gamma dose distribution comparison method - Daniel A. Low, James F.
Dempsey- Medical Physics, Vol.30 No.9, September 2003