

Intenzitásmodulált és konformális besugárzási tervek dozimetriai elemzése fej-nyak tumorok külső besugárzásánál

Pesznyák Csilla^{1,2}, Béla Dalma¹, Takácsi-Nagy Zoltán¹, Major Tibor¹, Polgár Csaba¹

¹Országos Onkológiai Intézet, Sugárterápiás Központ, ²BME TTK, Nukleáris Technika Tanszék, Budapest

Munkánk célja különböző technikával készült besugárzási tervek dozimetriai összehasonlítása volt fej-nyak daganatos betegeken. Négy különböző technikával készült teleterápiás tervet hasonlítottunk össze 10 betegre: két konformális [forward tervezés, konvencionális 90°–270°-os opponáló és alsó anterio-posterior illesztett mezős (Conv), illetve conformal parotis sparing (ConPas)], inverz módszerrel készült 3D konformális (INVCRT), valamint intenzitásmodulált radioterápiás (IMRT) tervet. A besugárzástervezést azonos PTV₅₀, illetve PTV₆₆ céltérfogatokra készítve – a védendő szerveket (gerincvelő, mindkét oldali parotis, parotis-PTV₅₀, szájüreg, szájüreg-PTV₅₀) előre kijelölve – Philips Pinnacle3 v8.0m tervezőrendszerrel végeztük. IMRT esetében az adott térfogatokra előírtuk az optimalizálási feltételeket, dózismegszorításokat. Az alapbeállításnál 7 mezőt használtunk, egyenletes szögelosztással. Az optimalizálás során két protokollt alkalmaztunk, az egyik esetben a terv 40 szegmenssel IMRT „step and shoot” technikával készült, míg a másik esetben (INVCRT) 14 szegmenssel készült, amit statikus mezőkké alakítottunk át. Meghatároztuk az egyes tervek konformitási és homogenitási indexeit (COIN, illetve HI) a céltérfogatokra, valamint elemeztük a védendő szervek dózisterhelését. Az IMRT, INVCRT, Conv és ConPas technikánál a PTV₅₀ céltérfogat-ellátottságának vizsgálata után a homogenitási index 0,13, 0,18, 0,22 és 0,19, a konformitási index pedig 0,76, 0,68, 0,13 és 0,09 értéket mutatott. Ugyanezen technikáknál 66 Gy összdózis esetén a gerincvelő maximális dózisterhelése 38, 42, 45, illetve 44 Gy-nek, a szájüreg céltérfogaton kívüli részének átlagdózisa 33, 36, 30, illetve 48 Gy-nek bizonyult. Abban az esetben, ha a 16 Gy kiegészítő kezelést csak az egyik oldalra kellett adni, az ellenoldali parotis átlagdózisa 28 Gy, 31 Gy, 49 Gy, illetve 43 Gy, míg az azonos oldali parotis átlagdózisa 39 Gy, 41 Gy, 59 Gy és 53 Gy volt. A céltérfogat ellátottságának és a védendő szervek terhelésének dozimetriai elemzése és a dozimetriai indexek értékei alapján egyértelműen megállapítható, hogy az alkalmazott IMRT technikával a célterület ellátottsága jobb, mint a másik három módszernél. Bár a szájüreg védelmét a mezőelrendezésből adódóan a legjobban a konvencionális technika biztosítja, a parotis és a céltérfogat szempontjából ez adja a legrosszabb eredményeket. A ConPas technika esetében a szájüreg terhelése a legnagyobb, amely súlyosabb korai és késői mellékhatásokat eredményezhet. IMRT technika esetében a szegmensszám növelésével csökkenthető a védendő szervek dózisterhelése, az ésszerűség határán belül. Magyar Onkológia 59:95–101, 2015

Kulcsszavak: intenzitásmodulált, fej-nyak tumor, konformális terápia

The aim of the study was to compare different treatment plans – intensity-modulated and conformal – for head and neck cancer patients. Treatment plans were developed for ten head and neck cancer patients by applying four different techniques: two conventional 3D conformal plans (forward treatment planning, with two opposing fields 90°–270° and one asymmetric anterior field, matching in isocenter /Conv/, conformal parotis sparing plans /ConPas/), 3D conformal plans with inverse treatment planning techniques /INVCRT/ and intensity-modulated radiation therapy plans /IMRT/. The plans were made for the same target volumes

Levelezési cím: Dr. Pesznyák Csilla, Országos Onkológiai Intézet,
1122 Budapest, Ráth György u. 7–9. Tel.: 06 30-318-9620, E-mail: pesznyak@reak.bme.hu

Közlésre érkezett: 2015. február 17. • Elfogadva: 2015. március 18.

PTV_{50} (elective) and PTV_{66} (boost-16 Gy). The cumulative dose was 66 Gy, and the Philips Pinnacle3 v8.0m TPS was used for treatment planning. The organs at risk (OAR) were as follows: spinal cord, brain stem, left and right parotis and oral cavity. The dose constraints and conditions for optimization were determined for IMRT techniques with 7 fields. During the optimization we applied two different protocols: in one case the plans were made by 40 segments for "step and shoot" IMRT techniques and by 14 segments for INVCRT, which were converted into static fields. The homogeneity (HI) and conformity (COIN) indices were calculated for planning target volumes and the comparisons were assessed on several dosimetric parameters for OARs. The IMRT, INVCRT, Conv and ConPas techniques for PTV_{50} planning target volume gave the following values for homogeneity index: 0.13, 0.18, 0.22, 0.19, and for conformity index: 0.76, 0.68, 0.13, 0.09. The spinal cord received a maximum of 38 Gy, 42 Gy, 45 Gy and 44 Gy for the PTV_{66} . Mean doses of the oral cavity outside the target volume were 33 Gy, 36 Gy, 30 Gy and 48 Gy. When the 16 Gy boost treatment was applied on one side only, the mean dose for the parotis on the contralateral side was 28 Gy, 31 Gy, 49 Gy and 43 Gy, while 39 Gy, 41 Gy, 59 Gy and 53 Gy on the same side. The objectives of adequate target coverage and sparing of critical structures were fulfilled only with IMRT technique. Although the sparing of the oral cavity was the most effectively provided by the traditional technique – due to the arrangement of the fields – it gave the worst results regarding the parotis and the target volume. The highest dose for the oral cavity was given by the ConPas technique, which can cause serious early and late side effects. By increasing the number of segments for IMRT at a reasonable level, the dose for OARs can be reduced.

Pesznyák C, Béla D, Takácsi-Nagy Z, Major T, Polgár C. Dosimetry analysis of intensity-modulated and conformal radiation therapy for head and neck tumors. Hungarian Oncology 59:95-101, 2015

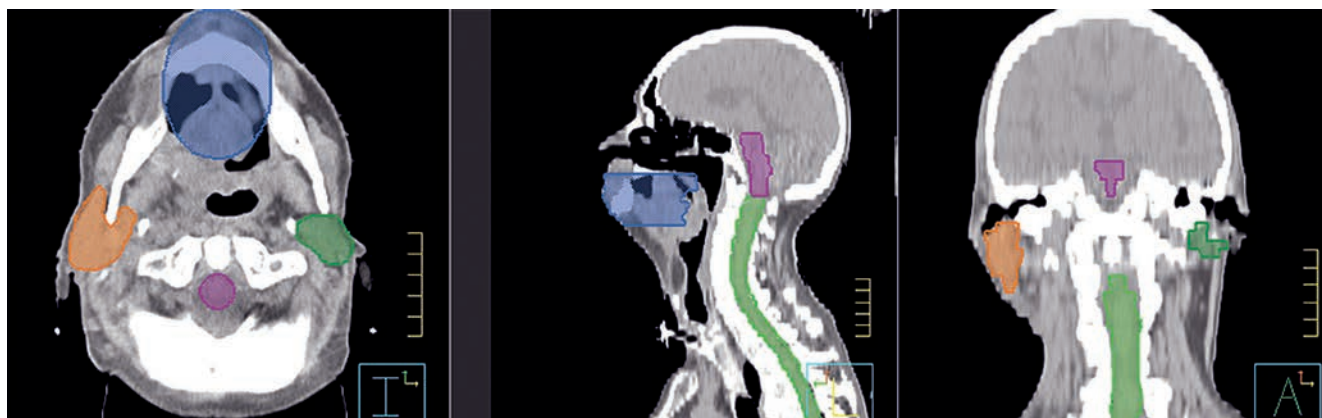
Keywords: intensity-modulated, head and neck tumor, conformal therapy

BEVEZETÉS

Klasszikus értelemben fej-nyak tumorokon a koponyaalap és a kulcsfont között elhelyezkedő szervekből kiinduló daganatokat értjük. Ide tartoznak a szájüreg, a gége, az epipharynx (orrgarat), a mesopharynx (szájgarat), a hypopharynx (algarat), az orr-, orrmelléküregek, a fül, a nyálmirigyek, a pajzsmirigy, valamint a szem és szemüreg tumorai. Alakjuk és anatómiai helyzetük szempontjából az egyik legnehezebben besugarazható daganatok. A céltér fogatot átlagosan 66–70 Gy összdózissal kell ellátni, miközben biztosítani kell a közvetlen közelükben elhelyezkedő számos, igen érzékeny szöveti struk-

túra sugárvédelmét, ezáltal megőrizve funkcionalitásukat. Besugárzástervezésnél védendő szervek a szájüreg, nyálmirigyek, gége, szemidegek, szemlencsék, gerincvelő és az agytörzs (1. ábra). Fontos a szájüreg és a parotisok céltér fogaton kívüli részének, valamint a közép- és belsőfülnek, illetve az állkapocsízületnek a védelme. Leggyakoribb korai mellékhatások a nyálkahártya gyulladása, szájszárazság és az ezek következtében kialakuló nyelési nehézség és ízérzésvár. A nyáltermelését főképpen a két nagy nyálmirigy, a parotis végzi. A szájszárazság kialakulásának oka a csökkent vagy megszűnt nyáleválasztás, ami már 30 Gy-nél jelentkezhet. A nyálkahártya gyulladása 12–20 Gy besugárzást követően alakulhat ki

1. ábra. A védendő szervek három síkban megjelenítve, a transversalis, a sagittalis és a coronalis síkban láthatóak. A szájüreg kékkel, a gerincvelő neonzölddel, a parotisok narancssárgával és zölddel, az agytörzs lilával jelölve



1. táblázat. Toleranciadózisok a gerincvelőre és a parotisra Gy-ben kifejezve. A TD5/5, illetve a TD50/5 toleranciadózis azt jelenti, hogy 5%-os, illetve 50%-os az esély a késői sugárkárosodás bekövetkezésére 5 évvel az adott dózissal történő sugárkezelés után

	TD5/5			TD50/5			Végpont
	V (1/3)	V (2/3)	V (3/3)	V (1/3)	V (2/3)	V (3/3)	
Gerincvelő	5 cm/50 Gy	10 cm/50 Gy	20 cm/47 Gy	5 cm/70 Gy	10 cm/70 Gy	-	nekrózis
Parotis	-	32 Gy	32 Gy	-	46 Gy	46 Gy	xerostomia

konvencionális frakcionálás esetében. Mindkét oldali parotis 50 Gy feletti besugárzása esetén irreverzibilis szájszárazság lép fel a mirigyállomány fibrózisa miatt (1). Klinikai tapasztalatok alapján, ha a parotis több mint 80%-a a mezőben található, a nyál mennyisége 20% alá csökken. Fennmaradhat a nyáltermelés 80%-a, ha a mezőben a parotis kevesebb mint 30%-a helyezkedik el. A nyáltermelés majdnem az eredeti szinten marad fenn, ha az egyik parotis 26 Gy átlagdózisnál – ez a nemzetközi ajánlás is – kevesebbet kap (2). A gerincvelőt ért nagy dózisterhelés esetén a mellékhatások a kezelés után hat hónappal jelentkezhetnek. Létrejöhethet ér- és idegsérülés. Ha a frakció dózisa meghaladja a 2,5 Gy-t, a gerincvelő sérülésének kockázata növekszik. A tolerancia változik a besugárzott gerincvelő térfogata és hossza függvényében. A nemzetközi ajánlások alapján a gerincvelő maximális dózisterhelése ne legyen nagyobb, mint 45 Gy (2). Az 1. táblázatban láthatók a térfogat függvényében a parotisra és a gerincvelőre vonatkozó toleranciadózisok, a TD5/5, illetve a TD50/5 toleranciadózisokat Gy-ben kifejezve, ami azt jelenti, hogy 5%-os, illetve 50%-os az esély a késői

2. táblázat. Védendő szervek dóziskorlátai fej-nyak tumoros betegek esetében

Szerv	Dóziskorlát
Gerincvelő	$D_{max} \leq 45$ Gy
Szájüreg	$D_{atl} \leq 30$ Gy
Parotis	$D_{atl} \leq 26$ Gy
Agytörzs	$D_{max} \leq 56$ Gy

sugárkárosodás bekövetkezésére 5 évvel egy adott dózissal történő sugárkezelés után. A védendő szervekre vonatkozó dóziskorlátokat a 2. táblázat ismerteti (3).

ANYAG ÉS MÓDSZEREK

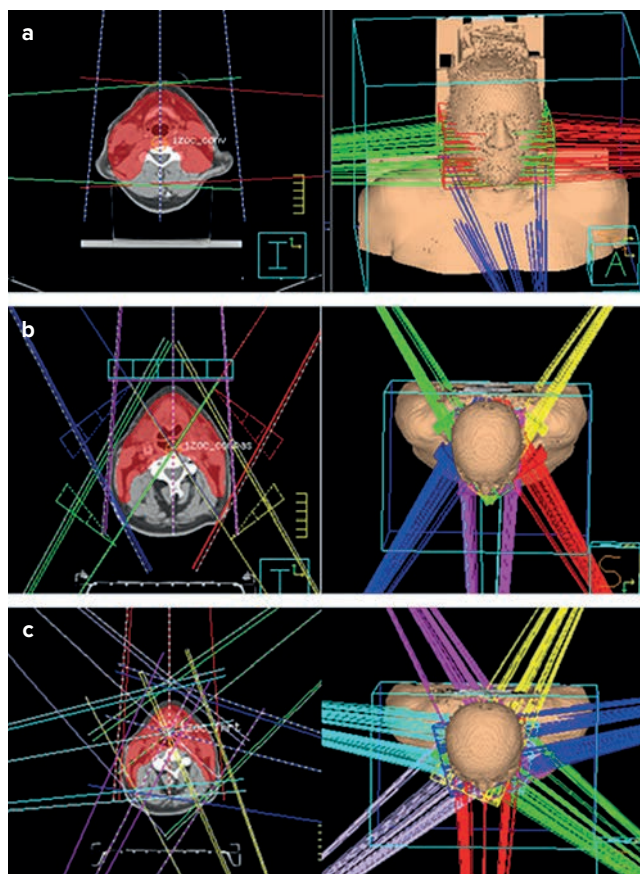
Négy különböző technikával készült teleterápiás tervet hasonlítottunk össze 10 betegen: két konformális [forward tervezés, konvencionális 90°–270°-os opponáló és alsó anterio-posterior illesztett mezős (Conv), illetve conformal parotis sparing (ConPas)], és inverz módszerrel készült 3D

konformális (INVCRT), valamint intenzitás-modulált radioterápiás (IMRT) tervet. Minden terv esetében a dóziselőírás azonos volt. Két céltérfogatot határoztunk meg: elektív (PTV_{50}) és „boost” térfogatot (PTV_{66}). Az elektív térfogot besugárzási dózisa 50 Gy, a boost térfogaté 16 Gy volt, 2 Gy frakciódózissal. A boost céltérfogatot minden terv esetén két konformális opponáló mezőből láttuk el, a gerincvelő elkerülésével. Minden terv 6 MV fotonenergiával

készült, a Philips Pinnacle3 v8.0m tervezőrendszer Adaptive Convolution számolási algoritmusával.

Konvencionális technika (Conv) során két opponáló laterális irányból, 90° és 270° beesési szögéből érkező aszimmetrikus fotonmezőkhöz egy anterior mezőt illesztettünk, 40 Gy dózis után a gerincvelőt kitakarva a mezőből (oldalsó mezőknél a gerinc elé hozott mezőszéllel, anterior mezőnél középtakarással). A kitakart oldalsó célterületre elektronmezőket illesztettünk. A konvencionális kezelés besugárzási mezőinek elrendezése a 2.a ábrán látható.

2. ábra. Konvencionális technika (a), ConPas technika (b) és IMRT (c) mezőelrendezése transversalis metszeten, illetve 3D megjelenítése



A ConPas technika a 3D „Conformal Parotid Gland-Sparing” rövidítéséből jött létre, az IMRT alternatívájaként kezdték el alkalmazni az ezredforduló elején (4). Ez a besugárzási technika hat mezőt tartalmaz, két pár, a célterület teljes hosszúságát lefedő opponáló döntött aszimmetrikus, valamint két anterior-posterior (AP) irányú aszimmetrikus mezőt. A ConPas technika (ConPas) mező elrendezése a 2.b ábrán látható. A mezők általában ékeltek, melyeknek ékszöge 15°–45°-ig változhat. A parotis részben kitakarható a hátsó döntött és az AP mezőknél, amennyiben ez nem csökkenti nagy mértékben a céltérfogat ellátottságát.

Az IMRT-terv elkészítésénél inverz tervezési módszert alkalmaztunk (5–7). A céltérfogat és a védendő szervek beajzólása mellett létrehoztunk olyan térfogatokat, amelyek nem valódi anatómiai szervet jellemeznek, hanem csak a dózisoptimalizáláshoz használunk. Ilyen térfogatok például szájúreg-PTV₅₀, bal parotis-PTV₅₀, jobb parotis-PTV₅₀, azaz a védendő szervek azon része, amely a céltérfogaton kívül helyezkedik el, valamint definiálni kellett különböző normális szöveti struktúrákat, hogy minél hatékonyabban tudjuk védeni az ép szöveteket. Az alapbeállításnál 7 mezőt használtunk, egyenletes szögelosztással. Az optimalizálás során két protokollt alkalmaztunk, az egyik esetben a tervek 40 szegmenssel IMRT „step and shoot” technikával készültek (IMRT), míg a másik esetben 14 szegmenst használtunk, amit hagyományos statikus mezőkké (INVCRT) alakítottunk át. Ebben az esetben IMRT-tervek leadására nem alkalmas készülékekkel is tudtuk a kezelést végezni. A tervezés során a „step and shoot” IMRT technikát alkalmaztuk. Ennél a módszernél a gyorsító egyik eleme sem mozog a besugárzás közben. Optimalizáló algoritmussal határoztuk meg a mezők súlyfaktorait, illetve azok intenzitásprofiljait. A dóziszfeltételeket a kontúrozott szervekre, céltérfogatokra írtuk elő; minimum, maximum és átlagdózisokat határoztunk meg az egyes tárfogatokra. Relatív súlyfaktort adtuk meg az előírt feltételek teljesülésének fontossági sorrendjét. Az IMRT- és INVCRT-tervek esetében a mezőelrendeződés a 2.c ábrán látható.

A tervek dozimetriai összehasonlításához a dóziseloszlást, izodózisgörbéket, dózis-térfogat hisztogramot (DVH), valamint különböző tervértékelési indexeket használtunk. A homogenitás kiszámításának többféle meghatározása ismert, ezek közül az ICRU 83-as ajánlása szerint az IMRT és CRT tervek esetében a HI indexet alkalmaztuk (5):

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (1)$$

Ez az index a DVH görbe három pontja alapján határozza meg a homogenitást, illetve figyelembe veszi az aluldozírozást a $D_{98\%}$ paraméter használatával. Ideális esetben

a homogenitási index értéke nulla. A konformitási indexet (COIN), ami már figyelembe veszi a kritikus szervek dózisterhelését is, a következőképpen definiáljuk:

$$COIN = \left[CN \times \prod_{i=1}^{N_{co}} \left(1 - \frac{V_{coref,i}}{V_{co,i}} \right) \right] \quad (2)$$

A CN konformitási szám, N_{co} a védendő szervek száma, $V_{coref,i}$ az i-edik védendő szerv legalább referenciadózist kapó térfogata, $V_{co,i}$ az i-edik védendő szerv térfogata. Ideális esetben, ha nem érné a referenciadózis a védendő szerveket, a szorzatban levő tag 1 lenne, így a COIN ideális értéke is 1 (8).

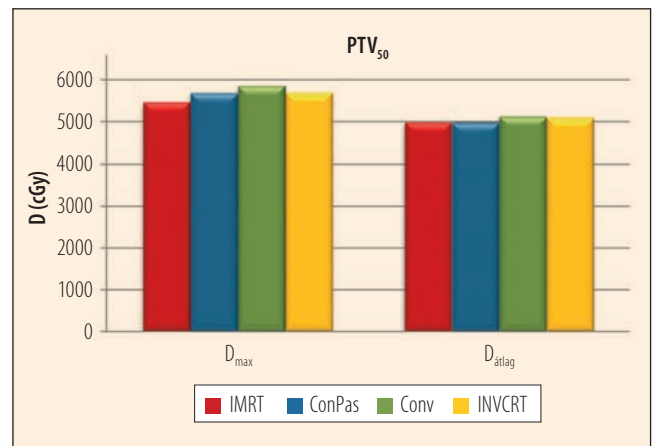
Vizsgáltuk a tervek által számolt monitoregységek (MU-k) értékeit is, mivel ezek arányosak a másodlagos tumorok kockázatát növelő szórt sugárzással.

EREDMÉNYEK

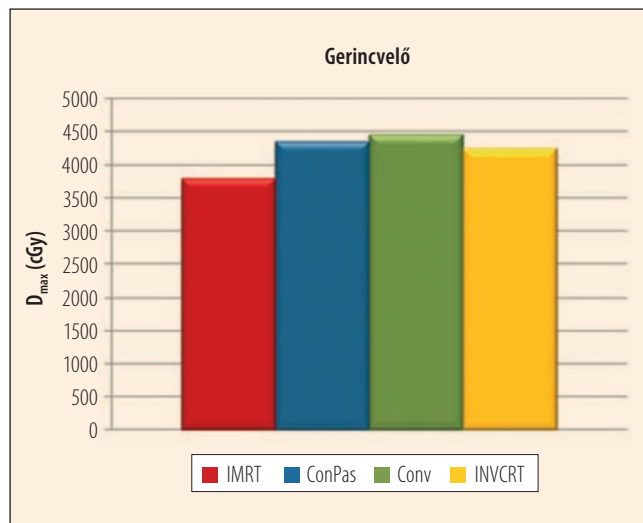
Az elektív céltérfogat (PTV₅₀) átlagos térfogata 819,3 cm³ volt. A 3. ábrán a céltérfogat maximális és átlagdózisainak értékét ábrázoltuk 10 betegre átlagolva. A PTV₅₀ céltérfogaton belüli átlagdózis maximuma az IMRT technika esetén a legalacsonyabb, a konvencionális technikával készült tervek esetén pedig a legmagasabb. Az átlagdózisok esetében az egyes technikák közti különbség elhanyagolhatóan kicsi, mivel a protokoll alapján a célterület megfelelő ellátottsága tervezési célt képez.

A gerincvelő maximális dózisének átlagértéke az IMRT technika esetében a legkisebb, a konvencionális (Conv) és a ConPas technika esetében a különbség elhanyagolható. A 4. ábrán látható, hogy a gerincvelő maximális dózisa egyik technika esetén sem haladja meg a 45 Gy-t, mivel

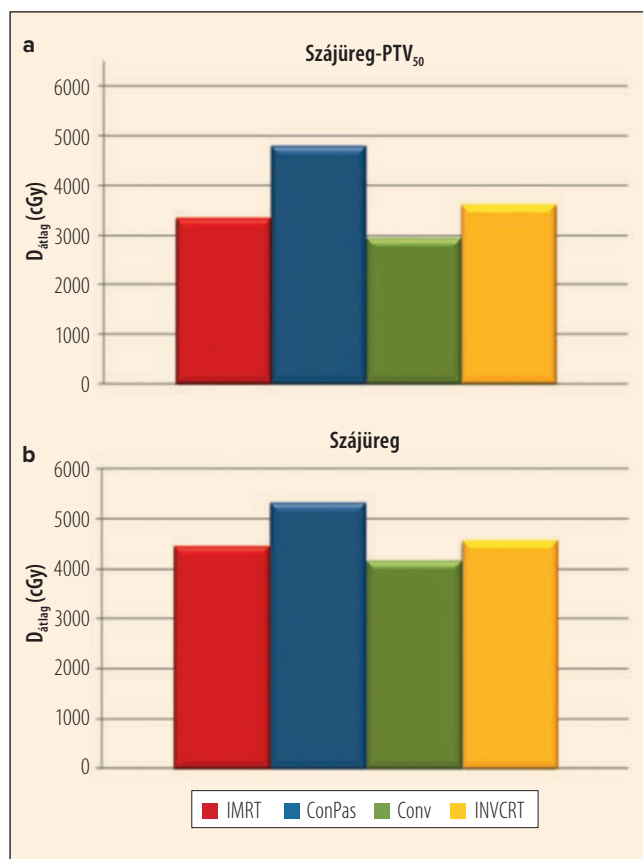
3. ábra. A maximális és az átlagdózisok átlagértékeinek blokk-diagramja különböző technikák esetén a PTV₅₀ céltérfogatra



4. ábra. A gerincvelő maximális dózisának átlagértéke különböző technikák esetén



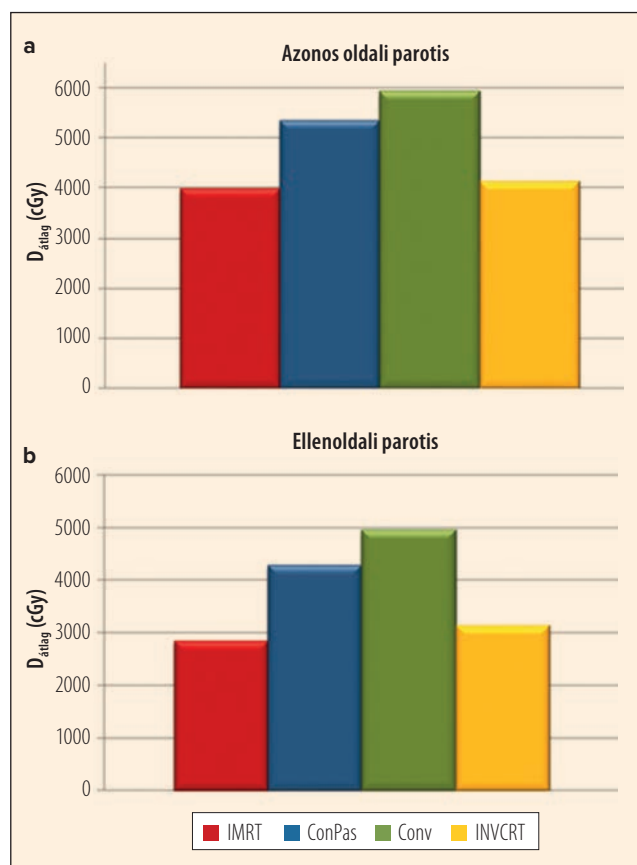
5. ábra. A szájüreg céltérfogaton kívüli részének (szájüreg-PTV₅₀) (a) és a szájüreg (b) átlagdózisa különböző technikák esetén



a terveknek ez volt az egyik elfogadhatósági feltétele. Az agytörzs dózisterhelése egyik esetben sem lépte túl a dózis-korlátot.

A vizsgált betegeknél a szájüreg átlagos térfogata 196 cm³ volt, aminek átlagosan 40%-át fedte a PTV₅₀. A szájüreg esetén a konvencionális technikával kaptuk a legjobb eredményt az átlagdózisok tekintetében, a legrosszabbat a ConPas technika esetén, ahol a szájüreg átlagos dózister-

6. ábra. A céltérfogattal azonos oldali (a) és ellenoldali (b) parotisok átlagdózisa különböző technikák esetén



helése nagyobb, mint 50 Gy, tehát a ConPas technika a szájüreg nem tudja megfelelően védeni, ami a mezőelrendezésnek a következménye. Az egyes technikákkal kapott értékek a szájüreg céltérfogaton kívüli részére (szájüreg-PTV₅₀), illetve a szájüregre az 5.a és 5.b ábrákon láthatók.

A parotisok térfogatának átlaga a 10 beteg esetében 20,6 cm³ volt, ennek átlagosan egynegyede a PTV₅₀ céltérfogat részét képezte, ami nagyban megnehezítette a parotis megfelelő védelmét. A 6.a ábrán a tumorról azonos oldali parotis dózisterhelése látható, míg a 6.b ábrán a tumorról ellenoldali parotis dózisterhelését ábrázoltuk. A parotisok

átlagdózisának tekintetében az IMRT technika véd a legjobban, mivel az ellenoldali parotis esetén az átlagdózisok értéke 28 Gy-nél kisebb volt. A konvencionális technikával kapott értékek nagymértékben meghaladják a parotisa vonatkozó dóziskorlátot, a mezőelrendezés következményeként az átlagdózis értéke 49 Gy volt. A ConPas technika esetén kisebb ez az érték, de az átlagdózis itt is meghaladja a 42 Gy-t. A PTV-vel azonos oldali parotisek esetében szintén az IMRT adta a legjobb eredményt, ami elérte a 40 Gy-t.

A négy technikát jellemző homogenitási indexek között jelentős különbség van (3. táblázat), a legjobb értéket az IMRT technika adta (0,13), a Conv technika esetén legrossz-

3. táblázat. Homogenitási (HI) és konformitási (COIN) indexek értékei és szórásuk (SD) az egyes technikák esetében

	Conv	ConPas	INVCRT	IMRT
HI	0,22	0,19	0,18	0,13
SD	0,03	0,03	0,03	0,04
COIN	0,09	0,13	0,68	0,76
SD	0,01	0,01	0,01	0,01

Konvencionális technika (Conv), ConPas technika (ConPas), inverz konformális technika (INVCRT), intenzitásmódulált „step and shoot” technika (IMRT), homogenitási index (HI), konformitási index (COIN), szórás (SD)

szabb a céltérfogat homogenitása (0,22). Az IMRT technika esetén kapott szám közelítette meg leginkább a nullát, ami a homogenitási index ideális értéke. A konformitási index a dóziseloszlás céltérfogatra való illeszkedésének mértékét jellemzi. A konformitási index esetén az ideális érték 1. A 3. táblázatban látható, hogy a legjobb értéket (0,76) az IMRT technika esetén kaptuk, ettől nem sokkal kisebb az INVCRT értéke.

A leadott monitoregységek tekintetében a legkisebb értéket a ConPas technika adta. Az egyes technikák 50 Gy összdózis esetén a következő értékeket adták 1 frakcióra: Conv 860 MU (elektronnyalábbal), illetve 426 MU (elektron nélkül), ConPas (463 MU), INVCRT (513 MU) és IMRT (731 MU).

MEGBESZÉLÉS

A konvencionális technikát évtizedekig alkalmazták fejnyak tumoros betegek esetén, mivel abban az időben a sugárterápiás berendezések nem tették lehetővé más besugárzási módszerek alkalmazását. Az elmúlt évtizedekben számos cikk jelent meg a nemzetközi szakirodalomban a fejnyak tumorok kezeléséről. Már az 1990-es évek végén több kritikai észrevételt publikáltak a konvencionális besugárzási módszerrel szemben, amelynek legfőbb hiányossága a gerincvelő és a parotisek nem megfelelő védelme volt.

Az általunk bemutatott grafikonokon és a 3. táblázatban is látható, hogy a konvencionális technika mind a céltérfogatok, mind a védendő szervek tekintetében a legrosszabb eredményeket adja, kivéve a szájüreg esetén, amit a mezőelrendezéssel lehet magyarázni. Dawson és mtsai (9) már 2000-ben megjelenő cikkükben hangsúlyozták a parotisek védelmének fontosságát, amit IMRT technikával kívántak elérni. A ConPas technikát az ezredfordulón kezdték el alkalmazni, a konvencionális technika alternatív megoldásaként. 2004-ben Bussels és mtsai (10) közzétették eredményeiket a ConPas módszer hatékonyságáról, majd Wiggenraad és mtsai (4) 2005-ben hasonlították össze a konvencionális technikával. Használata jelentősen csökkentette a parotisek terhelését, de mint eredményeinkből is látszik (5. ábra), nem érte el a nemzetközi szakirodalomban ajánlott dóziskorlátot, valamint a szájüreg esetén lényegesen nagyobb dózisterhelést okoz, ami egyes betegekben súlyos korai és késői mellékhatásokat idézett elő, rontva a betegek életminőségét. Hazánk sugárterápiás gépparkja az intenzitásmódulált sugárterápiát 2008-ig nem tette lehetővé, és napjainkban is csak néhány készülék alkalmas az IMRT kezelések kivitelezésére. Az Országos Onkológiai Intézetben először a „step and shoot” technikát vezettük be a Siemens Artiste készüléken. Az IMRT „step and shoot” technikával a védendő szervek dózisterhelésére kapott értékek megfelelnek a Stieler (11), Broggi (12) és Van Gestel (13) által publikált eredményeknek. Az INVCRT technika megfelelő alternatíva lehet abban az esetben, ha az adott intézetben nem minden gép alkalmas IMRT-kezelés kivitelezésére. A céltérfogat homogenitása és konformitása szempontjából az INVCRT technika alig marad el az IMRT-től, míg a védendő szervek tekintetében lényegesen jobb eredményt ad, mint a ConPas, illetve konvencionális technika. Ennek ellenére előfordulhat, hogy az egyes betegek esetén az INVCRT technika nem ad megfelelő eredményt, és a beteget IMRT technikával kell kezelni. Napjainkban már a „step and shoot” eljárásnál vannak jobb eredményeket nyújtó IMRT technikák (14–16), mint a „sliding window” vagy az intenzitásmódulált ívbősugárzás (IMAT), aminek klinikai alkalmazását a múlt év közepén megkezdtek intézetünkben.

KÖVETKEZTETÉS

A céltérfogat ellátottságának és a védendő szervek terhelésének dozimetriai elemzése és a dozimetriai indexek értékei alapján egyértelműen megállapítható, hogy az alkalmazott IMRT technikával a célterület ellátottsága jobb, mint a másik három módszernél. Bár a szájüreg védelmét a mezőelrendezésből adódóan legjobban a konvencionális technika biztosítja, a parotis és a céltérfogat szempontjából ez adja a legrosszabb eredményeket. A ConPas technika esetében

a szájüreg terhelése a legnagyobb, amely súlyos korai és késői mellékhatásokat eredményezhet. IMRT technika esetén a szegmensszám növelésével csökkenthető a védendő szervek dózisterhelése az ésszerűség határán belül, mivel az eredményekből jól látszik, hogy a MU nagysága arányosan nő a szegmensszám növelésével. Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre az IMRT technikához szükséges lineáris gyorsító, de van inverz tervezőrendszer, ajánlott az INVCRT technika alkalmazása a védendő szervek korai és késői mellékhatásainak csökkentése érdekében.

IRODALOM

1. Han CH, Chen YJ, Liu AL, et al. Actual dose variation of parotid glands and spinal cord for nasopharyngeal cancer patients during radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 70:1256–1262, 2008
2. ICRP Publication 118: ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context *Ann ICRP* 41(1/2), 2012
3. Pesznyák Cs, Takácsi-Nagy Z, Major T, et al. Modern teleterápiás besugárzási technikák szerepe a fej-nyak daganatok kezelésében. *Onkológia* 3:37–40, 2014
4. Wiggensraad R, Mast M, van Santvoort J, et al. ConPas: a 3-D conformal parotid gland-sparing irradiation technique for bilateral neck treatment as an alternative to IMRT. *Strahlenther Onkol* 181:673–682, 2005
5. ICRU, Prescribing, Recording, and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT), Report 83. *J ICRU* 10(1), 2010
6. Webb S. The physical basis of IMRT and inverse planning. *Br J Radiol* 76:678–689, 2003
7. Bortfeld T. IMRT: review and preview. *Phys Med Biol* 51:R363–379, 2006
8. Feuvret L, Noël G, Mazeron JJ, et al. Conformity Index: A review. *Radiat Oncol Biol Phys* 64:333–342, 2006
9. Dawson LA, Anzai Y, Marsh L, et al. Patterns of local-regional recurrence following parotid-sparing conformal and segmental intensity-modulated radiotherapy for head and neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 46:1117–1126, 2000
10. Bussels B, Maes A, Hermans L, et al. Recurrences after conformal parotid-sparing radiotherapy for head and neck cancer. *Radiother Oncol* 72:119–127, 2004
11. Stieler F, Wolff D, Schmid H, et al. A comparison of several modulated radiotherapy techniques for head and neck cancer and dosimetric validation of VMAT. *Radiother Oncol* 101:388–393, 2011
12. Broggi S, Perna L, Bonsignore F, et al. Static and rotational intensity modulated techniques for head-neck cancer radiotherapy: A planning comparison. *Phys Med* 30:973–979, 2014
13. Van Gestel D, van Vliet-Vroegindeweij C, Van den Heuvel F, et al. RapidArc, SmartArc and TomoHD compared with classical step and shoot and sliding window intensity modulated radiotherapy in an oropharyngeal cancer treatment plan comparison. *Radiat Oncol* 8:37, 2013
14. Yu CK, Tang G. Intensity modulated arc therapy: principles, technologies and clinical implementation. *Phys Med Biol* 56:R31–54, 2011
15. Verbakel F, Cuijpers J, Hoffmans D, et al. Volumetric intensity-modulated arc therapy vs. conventional IMRT in head-and-neck cancer: a comparative planning and dosimetric study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74:252–259, 2009
16. Wiezorek T, Brachwitz T, Georg D, et al. Rotational IMRT techniques compared to fixed gantry IMRT and tomotherapy: multi-institutional planning study for head-and-neck cases. *Radiat Oncol* 6:20, 2011