

CT-képezérelt, intenzitásmodulált ívterápiás sugárterápiás program klinikai rutinba való bevezetése és a megfelelő rendszeres fizikusi minőségbiztosítás protokollizálása

Valastyánné Nagy Julianna, Jánváry Zsolt Levente, Balogh István, Horváth Zsolt

Debreceni Egyetem Klinikai Központ, Onkológiai Klinika, Sugárterápia Osztály, Debrecen

Munkánk célja komputertomográfia-alapú, képezérelt, modern, dinamikus ívterápiás kezelési program bevezetése és minőségbiztosításának bemutatása. A Debreceni Onkológiai Klinikán üzembe helyezett Elekta Synergy™ típusú, Agility fejjel és kilovoltos CT-képezérelési lehetőséggel felszerelt lineáris gyorsítón bevezetésre került az ívterápiás sugárterápiás kezelés. Ennek a programnak az alapjait és a fizikusi minőségbiztosítás háttérének megalapozását kívánjuk bemutatni. Specifikus tesztekkel végeztünk a gyorsító ún. dinamikus intenzitásmodulált kezeléseinek ellenőrzésére. Napi, heti és havi rendszerességű fizikusi minőségbiztosítási protokollt dolgoztunk ki, és ezt a rendszeres gyakorlatban is megvalósítottuk. A modern sugárterápiás technikák és a kilovoltos CT-alapú képezérelt sugárterápia bevezetésre került. Új kezelési technikák, így az ívterápiás sugárkezelés bevezetése előtt ajánlott specifikus tesztek elvégzése és átlátható, szigorú minőségbiztosítási protokollok felállítása. Emellett szükség van az ellátásban részt vevő fizikusok, orvosok és sugárterápiás asszisztensek megfelelő képzésére. Magyar Onkológia 59:125–132, 2015

Kulcsszavak: képezérelt sugárterápia, intenzitásmodulált ívbesugárzás, kilovoltos cone-beam CT, minőségbiztosítás

We intend to present the process of implementation of kilovoltage CT-guided volumetric modulated arc therapy (VMAT), and related quality assurance (QA). An Elekta Synergy™ linear accelerator has been installed recently in our institution, equipped with Agility© head, kilovoltage cone-beam CT image guidance and ability of arc therapy. The major steps of the implementation of these techniques and the background of physics QA will be described. Specific dynamic tests have been performed to verify intensity-modulated radiation delivery and the accuracy of on board imaging. Systematic daily, weekly and monthly physics QA protocols have been worked out and applied in the clinical practice. As a result, cone beam CT based image-guided radiotherapy (IGRT) and volumetric modulated arc therapy was introduced in our institution.

Valastyánné Nagy J, Jánváry ZL, Balogh I, Horváth Z. Implementation of cone beam CT-guided volumetric modulated arc therapy and establishment of related institutional quality assurance protocols. Hungarian Oncology 59:125–132, 2015

Keywords: image-guided radiotherapy, volumetric modulated arc therapy, kilovoltage cone-beam CT, quality assurance

Levelezési cím: Dr. Valastyánné Nagy Julianna, Debreceni Egyetem Klinikai Központ,
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98., tel.: 06 70 328-4025, e-mail: nagy.julianna@med.unideb.hu

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

BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem Klinikai Központ Onkológiai Klinikájának Sugárterápiás Osztályán 2013 tavaszán került átadásra egy Elekta Synergy™ típusú lineáris gyorsító, mely a legkorszerűbb képvezérlési (IGRT=image-guided radiotherapy) és intenzitásmodulált (IMRT) sugárterápiás technikák végzésére alkalmas. A berendezéssel regionálisan elsőként nyílt mód 3 dimenziós, kilovolttos CT-képvezérlésre és dinamikus ívterápiás intenzitásmodulált (VMAT) sugárkezelésre. Mivel ezekkel a technikákkal intézetünkben nem voltak korábbi tapasztalatok, elengedhetetlennek tartottuk egy komplex program kidolgozását és megvalósítását, az új technológiák klinikai rutinba való biztonságos bevezetéséhez. A programban megvalósult feladatok alapvetően két csoportba oszthatók. Az egyik csoportba a fizikusi minőségbiztosításhoz köthető tevékenységek tartoznak, úgymint a gyorsító különböző funkcióinak rendszeres ellenőrzése, az ehhez szükséges protokollok kidolgozása és az új technikák dózistervezésének elsajátítása. A másik csoport hangsúlyosabban inkább orvosi és sugárterápiás asszisztensi feladatkörhöz tartozó tevékenységeket ölel föl, úgymint a cone-beam CT (CBCT) alapú 3 dimenziós verifikáció alkalmazása, képvezérlési protokoll bevezetése és az ezekhez szükséges belső képzések megvalósítása. Jelen beszámolónk célja ennek a komplex munkának a bemutatása, a teljes munkafolyamat egyes lépéseinek részletes ismertetésével.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az intézetünkben üzembe helyezett ELEKTA Synergy gyorsító Magyarországon a gyártó cég (ELEKTA Ltd., Crawley, UK) egyik legmagasabb felszereltségű/kategóriájú berendezése (1. ábra). Ez a lineáris gyorsító Agility fejjel van felszerelve, mely 40 cm×40 cm-es maximális mezőm-

Rövidítések:

CT, computer tomograph (komputertomográf); **CBCT**, cone beam CT; **VMAT**, volumetric modulated arc therapy (dinamikus ívterápia); **IMRT**, intensity-modulated radiation therapy (intenzitásmodulált sugárterápia); **IGRT**, image-guided radiation therapy (képvezérelt sugárterápia); **LINAC**, linear accelerator (lineáris gyorsító); **EPID**, electronic portal imaging devices (elektronikus képalkotó eszköz); **XVI**, X-ray volume imaging; **iVIEW**, iView portal imaging (elektronikus mezőellenőrző); **3D CRT**, 3D conformal radiation therapy (3D konformális sugárterápia); **PET**, positron emission tomography (pozitronemissziós tomográfia); **MRI**, magnetic resonance imaging (mágneses rezonanciás képalkotás); **QA/QC**, quality assurance/quality control (minőségbiztosítás/minőség-ellenőrzés); **ODI**, optical distance indicator (optikai távolságmérő); **CTV**, clinical target volume (klinikai céltérfogat); **PTV**, planning target volume (tervezési céltérfogat)

1. ábra. Elekta Synergy lineáris gyorsító Agility fejjel és kV-os Cone Beam CT-vel felszerelve



ret kialakítására alkalmas, a mező teljes hosszában 80-80 db, az izocentrumban 0,5 cm széles interdigitális leaffél rendelkezik. A 3D konformális kezelések szempontjából előnyös, hogy motorikus éket használhatunk. A dózisteljesítmény a kezelés közben is változtatható. Az így felszerelt fej VMAT kezeléseket is lehetővé tesz. Három foton- (6 MV, 10 MV, 15 MV) és hat elektronenergia (6 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV, 15 MeV és 18 MeV) áll rendelkezésünkre. A rendszer része az indexált karbonszálas asztallap, valamint képalkotó eszközök, EPID és cone-beam CT. A CBCT vezérlését és a kiértékelést az XVI program végzi, amely régiókhoz rendelt, beépített képalkotó protokollokkal rendelkezik. Nagy előnye az eszköznek, hogy a betegek alacsony sugárterhelése mellett végezhető el a beteg pontos pozicionálása.

A speciális funkciókkal kapcsolatos mérésekhez speciális dozimetriai és egyéb mérőműszerekre van szükség. A kezelések pontosságának biztosítása érdekében fontos, hogy a LINAC, a CBCT és a lézerek izocentrumai egybeessenek. Ezt a ball-bearing fantommal tudjuk ellenőrizni és kalibrálni, rutinellenőrzésre a Quasar Pentaguide fantomot használjuk. A fizikai paraméterek mérésére és a tervverifikációra is alkalmas az általunk használt IBA MatriXX Multicube rendszer. A MatriXX detektor 24 cm×24 cm-es területén 1020 darab CC13-as ionizációs kamra van elhelyezve, amelyek egymástól 0,762 cm távolságban vannak. Egy holder segítségével az eszköz a gyorsítófejre is rögzíthető, így különböző gantryszögeknél és mozgás közben is végezhető mérések. A MatriXX detektor egy vízekvivalens anyagból készült ún. MultiCube-ba is elhelyezhető, amellyel VMAT-tervek verifikációjára is alkalmas.

A gyorsító köré szerveződött munkacsoport fizikus, orvos és asszisztens tagjainak feladata a képzérelt és intenzitásmódulált kezelések bevezetése és az ehhez kapcsolódó minőségbiztosítás megalapozása volt.

Mint minden új technológia bevezetésénél, szükség volt a releváns szakirodalom áttanulmányozására, a gyártó által nyújtott helyszíni oktatásra, a használati utasítások lefordítására, részletes megismerésére, valamint a gyártó cég szervizmérnökével és egyes, azonos technikai háttérrel rendelkező külföldi centrumokkal való konzultációra. Emellett, belső képzés keretében az osztály dolgozóinak képzésére is sor került, speciálisan a fizikusokat, orvosokat és a sugárterápiás asszisztenseket célzó módon és tartalommal. A következőkben a munkafolyamat lényegi elemeit részleteiben ismertetjük, különös hangsúllyal a fizikusi minőségbiztosítás és a képzérelés bevezetésére.

EREDMÉNYEK ÉS MEGBESZÉLÉS

A Synergy gyorsító dinamikus technikára történő bemérése

A Synergy gyorsító dinamikus technikára történő bemérése összetett feladat, hiszen minden intézet a saját felszereltsége által adott lehetőséget kihasználva végzi a szükséges teszteket. A mérések első lépéseként különböző méretű és alakú mezők tervezőrendszerben számolt és a mért dózissai kerültek összevetésre (1). A vizsgálat kiterjedt centrális és offszetelt, valamint a téglalaptól eltérő alakú mezőkre is.

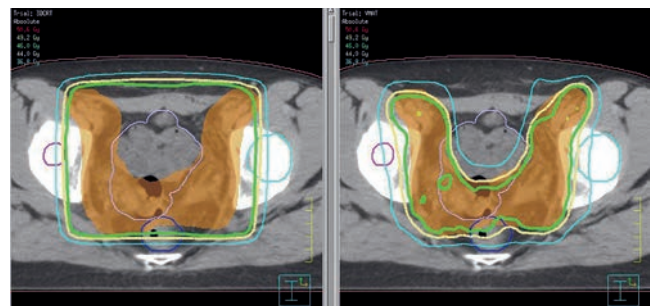
Tekintettel arra, hogy a VMAT-kezelések során a gantry és a leafek is mozgásban vannak, valamint a dózisteljesítmény is változik, a 3D kezeléseknél megszokott ellenőrző méréseknél részletesebb teszt sorozatra van szükség. A szimmetria és a flatness értékek állandósága különböző dózisteljesítmények mellett, a négy fő irányban került ellenőrzésre. A leafmozgások megbízhatóságának vizsgálata mozgó mezők segítségével történt a Bedford és mtsai által leírtak alapján (2), négy különböző leafkalibrációs teszttel. Ezeknek a teszteknek a kivitelezése során rendhagyó módon a képalkotás az EPID panel segítségével történt, és az így kapott adathalmazok az OmniPro I^mRT szoftver segítségével kerültek feldolgozásra.

Ezeken túl egy mozgó mező esetén az is fontos szerepet játszik, hogy a tervezett dózis a leadott dózissal megegyezzen. Ennek igazolására az ún. Sliding-window tesztet szolgált. A betegkezelés során előfordulhatnak olyan helyzetek, amelyek a nyaláb megszakadáshoz vezetnek, ezért nagyon fontos tudni, hogy a folyamatosan és a megszakítással leadott kezelések megegyeznek. A megszakításokat ajtónyitással, interrupt gomb megnyomásával idézték elő. Az izocentrumok (betegpozicionáló lézer, iVIEW, XVI) egybeesésének vizsgálata a gyártó által biztosított ball-bearing fantommal történt.

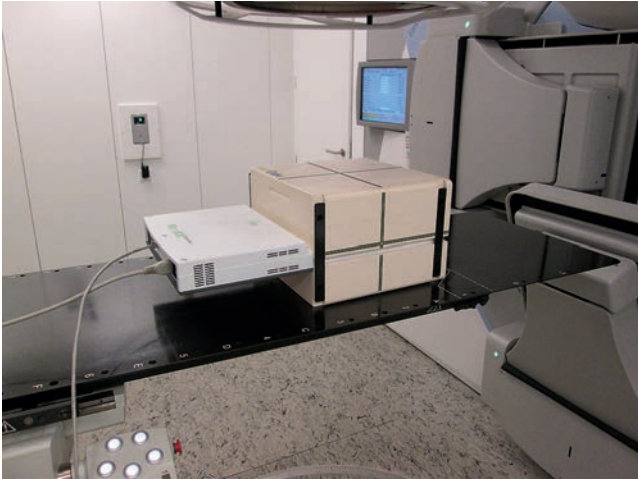
Az inverz tervezés

Új kihívást jelentett a 3D CRT-től eltérő szemléletet igénylő inverz tervezés elsajátítása is. Az inverz tervezés lényege az ún. forward vagy hagyományos sugártervezéssel szemben az, hogy bizonyos megkötések megadásával érjük el, hogy a tervezőprogram igen nagyszámú paraméterből az optimális kombinációt megtalálja. Ennek eredményeként tipikusan sok apró részmezőből (szegmens) történik majd a sugárkezelés álló, többirányú (Step&Shoot) vagy éppenséggel mozgó (VMAT) besugárzófej használatával. Ennek érdekében a tervezőrendszer gyártója helyben biztosított képzést. A tanulási folyamat az egyszerű alakú céltérfogatokkal kezdődött. Számos prosztatabesugárzási tervet készítettünk el mind 3D konformális, Step&Shoot, mind pedig VMAT tervezési technikával. Ezek kiértékelése a későbbi gyakorlat szempontjából sok fontos tapasztalatot nyújtott. Az új technika nemcsak a fizikusok számára kihívás, hanem az orvosok részéről is új szemléletet kíván meg a kontúrozással kapcsolatban. Ugyanis a fent említett modern besugárzási technikákkal az ún. hagyományos sugárkezeléseknél sokkal pontosabban követhető az orvos által berajzolt célterület, éppen ennek köszönhetően csökkentve az ép szövetek sugárterhelését. Azonban könnyen érthető (2. ábra), hogy a kontúrozási pontatlanságokat nem fogja többé kompenzálni a nagyobb mezők által a terápiás dózissal besugárzott nagyobb térfogat. Ez a jelenség többek között a szervmozgások által jelentősen érintett daganatok sugárkezelésére is fokozottan igaz (pl. tüdő, felhas, prosztata), ennek megfelelően a célterület meghatározásakor ezeket az elmozdulási pontatlanságokat is tudatosan figyelembe kell venni. A mai technológiai szinten eljutottunk oda, hogy a sugárterápia pontosságában a legbizonytalanabb tényező, az ún. leggyengébb láncszem éppen a céltérfogat-kontúrozás minősége (3). Számtalan, ún. interobserver összehasonlítást elemző

2. ábra. Ugyanazon céltérfogat VMAT és 3D CRT technikával készült terve. A VMAT-terven a zölddel jelölt izodózisgörbe – ami az előírt dózis – követi a narancsszínű satírozott területtel ábrázolt célterület kontúráját, ezzel szemben a 3D CRT-terv esetén ezt a dózist nagyobb térfogat kapja



3. ábra. MatriXX detektor MultiCube fantommal individuális tervverifikációhoz összeállítva. A kiértékelő szoftver és a detektormátrix között egy UTP-kábel teremt kapcsolatot. A szögkorrekció elvégzését a gantry-re szerelt szögszenzor teszi lehetővé



tanulmány igazolta ezt a jelenséget változatos anatómiai lokalizációkban. A kontúrozás minőségének javítása egyfél folyamatos képzéssel és önképzéssel (pl. nyilvános kontúrozási atlaszok, ajánlások követése), másrészt a felhasznált

képkalkotók minőségének javításával (jobb felbontású, ill. kontrasztanyagot tervezési CT) és kiegészítő modalitások (pl. PET/CT, MRI) valósítható meg.

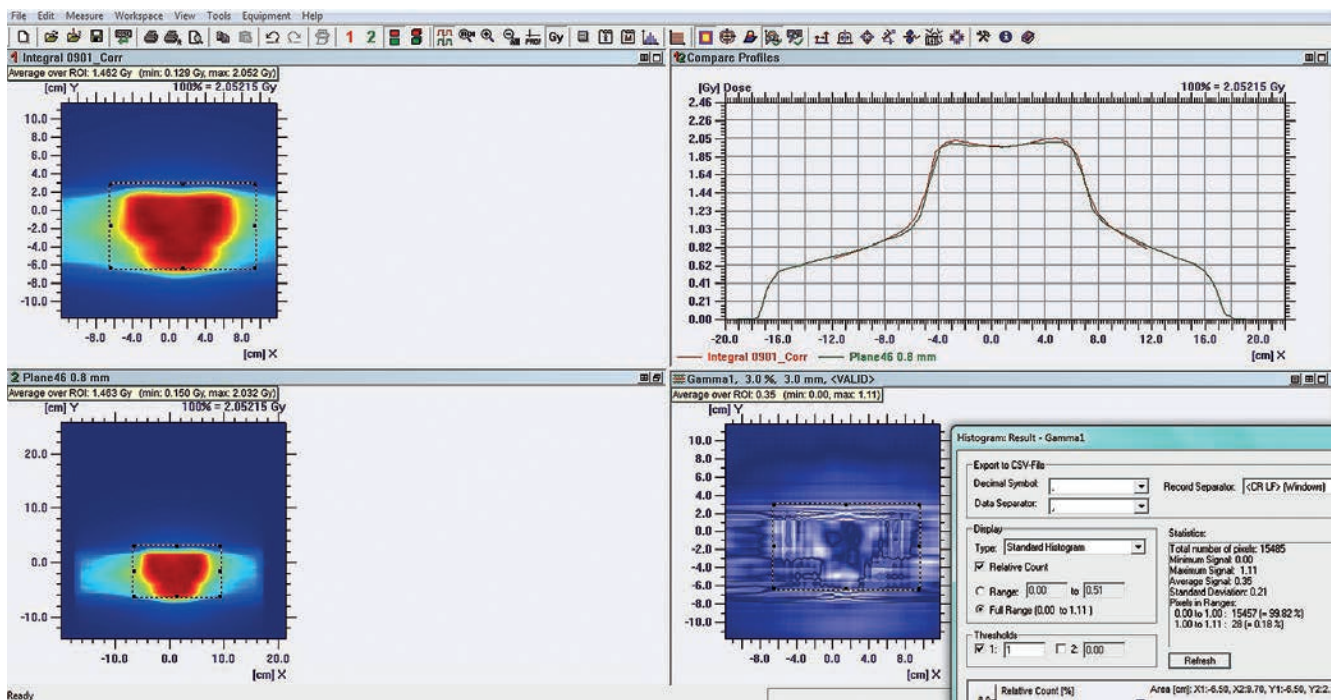
Tervellenőrzés: verifikáció

A technika bonyolultsága miatt nagyon fontos, hogy a tervezett és a leadott kezelés egyezőségéről megbizonyosodjunk. A folyamat elején az elkészült VMAT-tervet egy, a tervezőrendszerbe bevitt fantom CT-sorozatára kell másolni és újraszámoltatni. Az így kiszámolt tervet a fantomon a gyorsító alatt megmérjük és a tervezőrendszerben számolt dóziseloszlásokkal hasonlítjuk össze. Erre a célra intézetünkben egy IBA MatriXX Multicube rendszer (3. ábra) áll a rendelkezésünkre OmniPro 1mRT kiértékelő szoftverrel. A prosztata új technikákkal történő tervezésében, a megfelelő rutin megszerzése után tíz beteg retrospektív verifikációjára került sor. Ennek során mindhárom technikával (3D konformális, Step&Shoot IMRT, VMAT) készült terv verifikációjának elvégzése és összehasonlításuk történt (4. ábra).

Minőségbiztosítási protokoll

Mindezen munkálatokkal párhuzamosan kidolgozásra került egy QA/QC protokoll, amely a biztonságos betegkezelést biztosítja. Korábbi gépeinktől eltérően a Synergy con-

4. ábra. Egy prosztata VMAT-terv verifikációjának kiértékelése, ahol a bal felső ábrán a mért, a bal alsó ábrán a tervezőrendszerből importált dóziszterképek láthatóak. A jobb felső területen látható a mért és importált adatok egy-egy profilgörbéje. A jobb alsó részen a gammatérkép kapott helyet, itt a szoftver színekkel jeleníti meg a gamma-indexek értékeit, ami számszerűsítve is megjeleníthető



1. táblázat. A fizikusi minőségbiztosítási protokoll végrehajtása során minden olyan komponens rendszeresen ellenőrzésre kerül, mely a betegkezelés szempontjából fontos szerepet játszik

Napi ellenőrzések	Heti ellenőrzések	Havi ellenőrzések	Háromhavi ellenőrzések
Szálkereszt ellenőrzése	Gantry és kollimátor ellenőrzése	Képmínőség ellenőrzése az iView-n Las Vegas fantommal	Szimmetria és flatness ellenőrzése vízfantomban, energia ellenőrzése
Fonálkereszt és lézer vizuális összevetése, lézerek együttfutásának ellenőrzése	Optikai távolságjelző ellenőrzése	XVI képmínőségének ellenőrzése Catphan® fantommal és TOR 18FG Leeds fantommal	Dóziskalibráció
Vizuális ellenőrzés: Kezelőasztal épsége Víz- és gáznyomás ellenőrzése Gépházban vízfolyás nem látszik-e Burkolat épsége	Fotonoutput mérése, minden energián ékes mezők esetén	Energia-ellenőrzés minden fotonenergián	Referenciaértékek felvétele
Terminate gomb ellenőrzése	Elektronoutput mérése, minden energián		Dinamikus tesztek
Output ellenőrzése Szimmetria és flatness mérése	Diafragma és leaf ellenőrzése		
	Izocentrumok egybeesésének ellenőrzése és XVI regisztráció ellenőrzése Quasar fantommal		

beam CT-vel is fel van szerelve, így ennek az eszköznek a rendszeres ellenőrzése is szükséges a nemzetközi ajánlások szerint (4, 5). A protokoll a méréseket azok elvégzésének gyakorisága szerinti felosztásban tartalmazza. Ennek megfelelően napi, heti, havi és karbantartás (3 havonta) utáni mérésekre van felosztva (1. táblázat).

A napi ellenőrzések minden kezelési technika esetén, így 3D konformális besugárzásnál is szükségesek. Ezeket minden reggel a kezelés megkezdése előtt végezzük. Ez azért bír különös jelentőséggel, mert ekkor bizonyosodunk meg arról, hogy a berendezés a biztonságos betegkezelésre alkalmas állapotban van. Miután áttekintettük a gyorsító műszaki állapotát (víznyomás, gáznyomás), a szálkereszt és a lézer egybeesésének vizuális ellenőrzése következik, ez egy gyors ellenőrzési lehetősége annak, hogy a lézer alapján beállított izocentrum és a gyorsító izocentruma valóban egybeesik. Lehetnek olyan szituációk, amikor valamilyen műszaki probléma adódik, vagy a beteggel történik olyasmi, ami a kezelés azonnali megszakítását igényli. Ez teszi szükségessé ennek a védelmi rendszernek a napi szintű ellenőrzését, legalább egy ajtónyitási vagy interruptgomb-megnyomási teszttel. A kezelési terv biztonságos leadásához szükséges annak ellenőrzése, hogy a fotonnyalábok output értékei adott toleranciahatáron belül időben állandóak. Ez eleinte plexi fantomban történt egy Farmer-kamra és elektrométer segítségével. Ez a mérési elrendezés időigényes, mert plexilapokat egymásra téve állítjuk össze a fantomot. Ezenkívül a nyomás és a hőmérséklet mérésére is szükség van, vala-

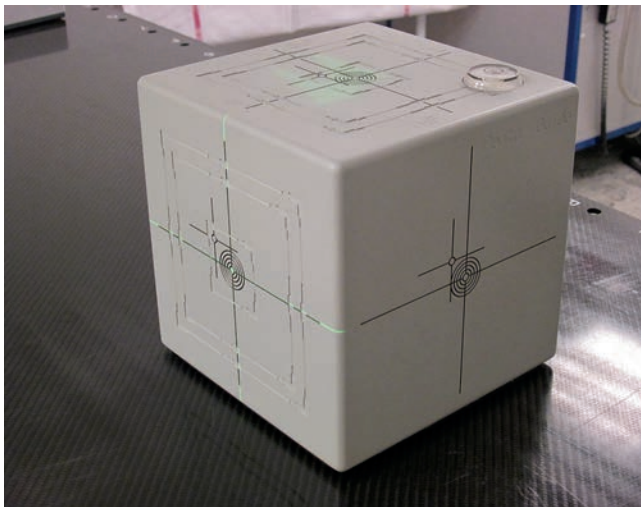
mint a kamrát a mérőeszközzel egy kábel segítségével kell összekötni. Mára már egy új beszerzésű PTW QuickCheck fantom ezt a folyamatot jelentősen felgyorsítja, valamint napi szintű gyors profilellenőrzésre is alkalmas. Időt takarítunk meg azzal, hogy ezt az eszközt egyszerűen csak a kezelőasztalra helyezve a lézerek segítségével pozicionáljuk, majd leadjuk az ellenőrizni kívánt nyalábokat. A nyomás- és hőmérséklet-korrekciót egy beépített szenzor segítségével automatikusan elvégzi. A mérési eredményeket azonnal kiértékeli és a kijelzőn megjeleníti, amelyek a későbbiekben számítógépre átvihetőek és feldolgozhatóak.

A heti mérés átfogóbb, mint a napi ellenőrzés. Itt kap helyet a gantry és a kollimátor analóg és digitális skálájának összevetése. Az elektronkezelések során a betegbeállítás nem izocentrikusan, hanem forrás-bőr távolság (SSD) alapján történik optikai távolságmérő skála (ODI) segítségével. Az ODI ellenőrzését egy mechanikus távolságmérő eszközzel végezzük. A diafragma és leafek pontos pozícióba állása minden kezelési technika esetében fontos, ezért egy adott nagyságú mező fénymezejét hasonlítjuk össze egy azzal megegyező nagyságú felrajzolt mezővel. Eltérés esetén leaf- vagy kollimátorkalibrációt kell végezni. Ekkor történik a különböző elektronnyalábok output faktorainak és a fotonnyalábok ékfaktorainak – amely 10×10 cm nagyságú nyílt és ékes mezők esetén mért output értékek aránya – az ellenőrzése Farmer-kamrával, plexi fantomban. A heti ellenőrzés már tartalmaz olyan speciális elemeket is, amelyeket a magasabb felszereltségű lineáris gyorsító igé-

nyel az IMRT és VMAT speciális követelményei miatt. Az izocentrumok egybeesésének és az asztal automatikus pozicionálási pontosságának ellenőrzését Pentaguide fantommal végezzük. A Pentaguide fantomot a lézerek segítségével beállítjuk izocentrumba, majd a fantomról készített EPID- és CBCT-képek alapján győződhetünk meg arról, hogy az izocentrumok valóban egybeesnek. Ezt követően egy, a fantomról készült CT-sorozat segítségével a regisztráció pontossága kerül ellenőrzésre. A betegek CBCT-vel történő pozicionálása során lehetőség van a megfelelő beállítás elvégzésére a kezelőhelyiségből a kezelőasztal három irányba történő elmozdításával. A Pentaguide fantom segítségével az asztaleltolás pontosságát is ellenőrizni tudjuk. Ehhez a fantomot mindhárom irányba, egy, a fantomon jelzett pontba mozgatjuk, majd CBCT-sorozatot készítve a regisztráció elvégzése után elvégezzük a kapott eltéréseknek megfelelő asztalkorrekciót, és így a fantomnak az eredeti jelekre kell visszaállni, ami az izocentrum (5. ábra). Ezt egy újabb CBCT-sorozat segítségével ellenőrizzük.

A havi mérések során a képalkotó berendezések képminőségét és leképezését ellenőrizzük a fantomjaink segítségével. A képalkotó eszközök használata lehetővé teszi az utószimuláció elhagyását, ezért nagy fontosságúvá válnak az ezeken az eszközökön végzett tesztek. Az utószimuláció elhagyása esetén a későbbiekben részletezett öt- vagy háromnapos protokollok alapján történik a betegek pozicionálása, ekkor az előszimuláció során felfestett referenciajelekből kiindulva az asztal eltolásával határozzuk meg az izocentrumot. Így a betegnek eggyel kevesebb alkalommal kell megjelennie. Ezzel a módszerrel növelhető a betegpozicionálás pontossága, mivel az utószimuláció

5. ábra. QUASAR Pentaguide fantom az izocentrumok egybeesése és az automatikus asztaleltolás ellenőrzésére



során keletkező szisztematikus hiba így kiküszöbölhető (6). Intézetünkben a képminőség ellenőrzésére alkalmas fantomjaink a TOR 18 FG, a Las Vegas és a CAT fantom, amely különböző sűrűségű inzerteket foglal magába, melynek segítségével elvégezhető a homogenitási teszt, ellenőrizhető az alacsony kontraszt láthatósága, a 3D térbeli felbontás, valamint a három térbeli irányban a leképezési hossz. Ezenkívül ekkor végezzük az energia ellenőrzését minden fotonenergián, amely során a mélydózisgörbe két adott pontjában mért dózisértékek hányadosának állandóságát vizsgáljuk. Ezek a vizsgálatok elsősorban a képvezérléses szemléletű, magas precizitású sugárkezelés követelményeinek biztosításához szükségesek.

Karbantartások után, melyek háromhavonta történnek, egy olyan vízfantomban történő mérésre kerül sor, amikor ellenőrizzük és szükség esetén beállítjuk a szimmetria és a flatness értékeket. Megtörténik az energiaellenőrzés és a dóziskalibráció. Ekkor összehasonlítjuk a tervezett és a mért dózisértéket egy dinamikus mező esetén is. Ezek a mérések szintén általános érvényűek, melyek az igényes 3D CRT-kezelések minőségbiztosításából sem hiányozhatnak.

Kilovoltos cone-beam CT alapú képvezérlés

A képvezérelt sugárterápia koncepciója nem új, már a 2000-es évek elejétől egyre inkább a radioterápiás tudományos érdeklődés fókuszába került. A törekvéseket az a régóta ismert jelenség vezette, hogy a külső bőrjelek nem 100%-osan korrelálnak a test mélyebben elhelyezkedő anatómiai struktúráival, sem a csontos, különösen pedig nem a lágyszövetekkel. Ezen, a testfelszíni jelek és a kezelendő céltér fogat közötti diszkrépancia megjelenésében számtalan tényező tehető felelőssé. Ezek a teljesség igénye nélkül: a testhelyzet reprodukálhatóságának korlátai; a testkör fogat változása ödéma vagy fogyás következtében; izomtónus-változás; légzőmozgás; akaratlan szervmozgások; húgyhólyag és bél teltsége; illetve a céltérület alakbeli deformálódása. E tényezők miatt az egyes napi kezelések közötti (interfrakcionális) és valóságosan a kezelés ideje alatti (intrafrakcionális) eltéréseket különböztetünk meg. Attól függően, hogy trendszerű vagy véletlenszerű pontatlanságról van szó, szisztémás és random típusú beállítási hibákat különböztetünk meg. Erről részletesen a The Royal Collage of Radiologists által a képvezérlésről készült kézikönyvben lehet bővebben olvasni (7).

Nyilvánvalóan, a beállítás reprodukálhatóságának javítása, a beállítási hibák csökkentése céljából a kezelendő testtájéknak megfelelő betegrögzítést kell alkalmazni (maszk, kartartó, térdpárna és lábfejtartó, akár vákuummatrac stb.). A cone-beam CT megjelenése előtt a beteg, ill. a kezelendő terület pontos elhelyezkedésének ellenőr-

zésére (pozícióverifikáció vagy verifikáció) az elektronikus portálfelvétel állt rendelkezésre. Ennek során a beteg megmozdítása nélkül a kezelőasztalon a nagy energiájú (megavoltos) terápiás sugárnyalábbal készült 2 dimenziós felvétel a testtájékról, melyet a szimuláció/tervezés során létrehozott referenciaképhez kellett hasonlítani. Ennek a praktikus és hasznos képalkotási módszernek azonban korlátai is voltak, egyrészt, hogy csak a csontos képleteket (vagy ritkábban: beültetett apró sugárfogó jelöléseket, ún. markereket) lehetett megkülönböztetni, azt is a hagyományos kilovoltos röntgenképekhez képest jóval alacsonyabb kontraszttal. Természetesen a lágyszövetekről direkt képi információ így csak igen ritkán, pl. emlő esetében állt rendelkezésre. Ahogy a korábbi fejezetekben már részletesen ismertetésre került, a cone beam CT a 2 dimenziós elektronikus portálképekhez képest jelentős képi információ-többletet hordoz. Egyrészt 3 dimenziós információt nyújt, másrészt a lágyszövetstruktúrákat is megjeleníti.

Ideálisan minden egyes sugárterápiás frakció előtt végezhető lenne a testhelyzet verifikációja, ezt a képvezérlési programot online verifikációs protokollnak nevezzük. Ilyenkor a klinikai célterület (CTV) köré rajzolt biztonsági margó (PTV) mérete csökkenthető. Azonban a gyakorlatban ez a protokoll nem alkalmazható a betegek összességére, egyrészt dózisterhelési megfontolások, másrészt a gyorsítón lefoglalt idő (workload) miatt, elég csak a hagyományos kezeléseknél ~25-35 frakcióból álló hosszúra gondolni. Online protokollt legtöbbször hipofrakcionált és sztereotaxiás kezeléseknél, valamint olyan esetekben végeznek, amikor igen magas dózist kell kiszolgáltatni, de a célterület és egyes érzékeny védendő szervek között nagyon kicsi a távolság, így egy nagyobb CTV → PTV kiterjesztés várhatóan magasabb mellékhatásrátaival járna (pl. prosztatatumor esetén a rectum).

Egy jóval gyakoribb képvezérlési protokoll az offline típusú. Ennek különböző fajtái vannak, de lényege alapvetően az, hogy limitált számú verifikációból következtet az átlagos beállítási pontatlanságra, majd ennek korrekciója után csak bizonyos napokon ellenőrzi újra a betegbeállítást. Az ellenőrző felvételeket az orvos tipikusan a kezeléstől eltérő időben (ezért nevezzük offline-nak) tekinti meg.

Képvezérlési gyakorlat intézetünkben

Intézetünkben a képvezérlési guideline-ok alapján az ún. „extended no action level” (eNAL) protokoll bevezetésére került sor. Ennek alapján a betegről az első 5 kezelési napon készül cone beam CT-s verifikáció („5 napos protokoll”), és a tér 3 irányának megfelelően papíron és elektronikusan is rögzítjük a beállítási pontatlanságokat a +/- előjel figyelembevételével. Bár a bőrjeleket ezalatt nem módosít-

juk, a kezelés előtt a napi eltérések korrekcióját elvégezzük a kezelőpultból távirányítható asztal megfelelő irányú és mértékű elmozdításával. Az ötnapi mérés x, y és z koordinátáinak egyenként kiszámolt átlaga adja ki az adott tengely mentén megjelenő szisztémás hibát. Amennyiben ez abszolút értékben 2 mm-nél nagyobb, úgy a megfelelő irányban a bőrjelek korrekciója történik. Ha korrekcióra sor kerül, úgy a következő kezelés előtt ismételt verifikáció történik, egyebekben a későbbiekben normál esetben heti 1 alkalommal történik cone-beam CT. A heti verifikációk kapcsán az orvos a kontúrozáskor alkalmazott biztonsági margó, a klinikai adatok és a testtájéki figyelembevételével ún. toleranciaküszöböt jelöl meg. Ez az a távolság, amin belül a beállítási pontatlanság még elfogadható (tipikusan kb. 5 mm), ilyenkor a heti egyszeri ellenőrzések folytatódhatnak. Amikor a heti beállítás értékei tolerancián felülre esnek, úgy az asszisztensnek a kezelőorvossal kell egyeztetnie a teendőkről. Ilyenkor leggyakrabban egy „3 napos protokoll”-t alkalmazunk, melynek során – az első héthez hasonlóan – újabb 3 egymást követő napon készült mérésekből számítunk átlagot.

Kezelések

A fent ismertetett program eredményeképp egy szigorú, kilovoltos CT-alapú képvezérlési protokoll került alkalmazásra valamennyi betegnél, így természetesen minden 3D konformális terv esetében is, ennek keretében a 2014-es évben összesen 250 betegnél történt képezérelt sugárkezelés. Ezzel párhuzamosan 2014 júliusától megindultak a VMAT ívterápiás intenzitásmódulált sugárkezelések is intézetünkben.

ÖSSZEFOGLALÁS

A korábban használttól lényegesen különböző új kezelési módszerek bevezetése és alkalmazása az orvosok, fizikusok és asszisztensek részéről még az eddigieknél is szorosabb együttműködést igényel. Minden szakmai csoportnak kihívást jelent az új módszerek elsajátítása, ezért kiemelten fontos a továbbképzéseken való részvétel. Érdemes élő kapcsolatot fenntartani nemcsak referenciacentrumokkal, ahol gyakorlatban sajátíthatóak el az új eljárások, hanem a dozimetriai berendezések, valamint a tervezőrendszer gyártóival is. Az új technikák bevezetésekor szem előtt kell tartani a nemzetközi irányelveket és a vonatkozó szakirodalmat. Amennyiben lehetőség van azonos felszereltségű, adott eszközparkkal rendelkező hazai centrummal való kapcsolattartásra, akkor a folyamatos személyes konzultáció lehetősége is hatalmas előnyt jelent. Minden esetben, amikor lehetőség nyílik új dozimetriai eszköz beszerzésére, szükséges a minő-

ségbiztosítási protokoll felülvizsgálata és frissítése az új lehetőségeknek megfelelően.

A fenti munka eredményeképpen a 2014-es évben a debreceni sugárterápián a klinikai rutinba stabilan bevezetésre került a CBCT-alapú képvezérelt sugárterápia és az intenzitásmodulált ívterápiás kezelési technika.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők ez úton is szeretnének köszönetet mondani a munkában részt vevő sugárterápiás asszisztenseknek.

IRODALOM

1. Bedford JL, Thomas MD, Smyth G. Beam modeling and VMAT performance with the Agility 160-leaf multileaf collimator. *J Appl Clin Med Phys* 14:4136, 2013
2. Bedford JL, Warrington AP. Commissioning of volumetric modulated arc therapy (VMAT). *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 73:537–545, 2009
3. Njeh CF. Tumor delineation: The weakest link in the search for accuracy in radiotherapy. *J Med Phys* 33:136–140, 2008
4. Williamson JF, Dunscombe PB, Sharpe MB, et al. Quality assurance needs for modern image-based radiotherapy: recommendations from 2007 interorganizational symposium „quality assurance of radiation therapy: challenges of advanced technology”. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71(1 Suppl):S2–12, 2008
5. Fontenot JD, Alkhatib H, Garrett JA, et al. Medical Physics Practice Guideline 2.a: Commissioning and quality assurance of X-ray-based image-guided radiotherapy systems. *J Appl Clin Med Phys* 15:4528, 2014
6. van Herk M. Errors and margins in radiotherapy. *Semin Radiat Oncol* 14:52–64, 2004
7. The Royal Collage of Radiologists, Society and Collage of Radiographers, Institute of Physics and Engineering in Medicine. *Ontarget: ensuring geometric accuracy in radiotherapy*. London: The Royal Collage of Radiologists, 2008. <https://www.ipem.ac.uk/Portals/0/Images/On%20target%20ensuring%20geometric%20accuracy%20in%20radiotherapy.pdf>