

Légzőmozgást figyelembe vevő képkotó protokollok alkalmazása korai stádiumú tüdődaganatos betegek besugárzástervezésénél

Pócza Tamás^{1,2}, Pesznyák Csilla^{1,2}, Lövey József¹, Bajcsay András¹, Szilágyi András¹, Almády Balázs², Major Tibor¹, Polgár Csaba¹

¹Országos Onkológiai Intézet, Sugárterápiás Központ, ²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technikai Intézet, Budapest

Munkánk célja az Országos Onkológiai Intézetben a besugárzási tervek elkészítésénél alkalmazott, a légzőmozgás következtében létrejövő tumorelmozdulást figyelembe vevő képkotási technikák bemutatása. Megvizsgáltuk a nemzetközi ajánlásokban megjelenő technikák közül a 4D CT, a légzéskapuzás és az ITV (Internal Target Volume, belső mozgásokat figyelembe vevő céltérfogat) képzésének módszereit. Az elemzés során figyelembe vettük az adott eljárás által okozott dózisterhelést, a különböző technikák elsajátításához, illetve alkalmazásához szükséges időt és eszközigényt. 5 beteg esetében összehasonlítottuk a különböző PTV (Planning Target Volume, tervezési céltérfogat) képzési módszerek alkalmazásából adódó térfogati eltéréseket. A 4D CT-képkészlet felvételéhez nélkülözhetetlen a légzés monitorozása, amihez speciális eszköz használata szükséges. A felszerelés használatával a 4D CT-felvétel viszonylagosan nagy dózisának csökkentése érdekében, lehetséges csak néhány előre definiált légzési fázisban elkészíteni a CT-felvételt. A tumor lehetséges pozíciói jó közelítéssel lefedhetők a belégzési maximumban, a kilégzési maximumban, valamint egy középső légzési fázisban történő CT-felvétel elkészítésével. Ha a középső fázis helyett egy normális CT-t készítünk, illetve a két szélső érték felvételét a beteg számára adott megfelelő utasításokkal biztosítjuk, a légzés monitorozása nélkül is készíthetünk felvételeket több légzési fázisról. A 3 különböző légzési fázis alapján képzett ITV használatával csökkenthető a CTV (Clinical Target Volume, klinikai céltérfogat)-PTV kiterjesztés. Az általunk vizsgált adatok alapján a kiterjesztés 1 cm-rel való redukciója a PTV térfogatának légzéskövetés nélkül 30%-os, légzéskövetéssel pedig további 10%-os csökkentését teszi lehetővé. A rutin klinikai gyakorlatban a 3 fázisú CT-képkészleten alapuló, légzőmozgásokat figyelembe vevő képkotó protokoll segítségével 4D CT és/vagy légzéskapuzás nélkül is jelentősen csökkenthető a besugárzott céltérfogat a kisméretű tüdődaganatok besugárzástervezésekor. Speciális, nagyobb pontosságot igénylő korszerűbb technikák alkalmazásánál ajánlott a 4D CT alkalmazása. Magyar Onkológia 59:133–138, 2015

Kulcsszavak: légzőmozgás, tüdőtumor, légzéskapuzás, 4D CT

The aim of our work is to present the imaging techniques used at the National Institute of Oncology for taking into consideration the breathing motion at radiation therapy treatment planning. Internationally recommended imaging techniques, such as 4D CT, respiratory gating and ITV (Internal Target Volume) definition were examined. The different imaging techniques were analysed regarding the delivered dose during imaging, the required time to adapt the technique, and the necessary equipment. The differences in size of PTVs (Planning Target Volume) due to diverse volume defining methods were compared in 5 cases. For 4D CT breath monitoring is crucial, which requires special equipment. To decrease the relatively high exposure of 4D CT it is possible to scan only a few predefined breathing phases. The possible positions of the tumour can be well approximated with CT scans taken in

Levelezési cím: Pócza Tamás,
1122 Budapest, Ráth György u. 7–9. Tel.: 06/1-224-8600/3624, e-mail: poczatamas87@gmail.com

Közlésre érkezett: 2015. február 24. • Elfogadva: 2015. március 25.

the inhale maximum, the exhale maximum and in intermediate phase. The intermediate phase can be exchanged with an ordinary CT image set, and the extreme phase CT images can be ensured by given verbal instructions for the patient. This way special gating equipment is not required. Based on these 3 breathing phases an ITV can be defined. Using this ITV definition method the margin between the CTV (Clinical Target Volume) and the PTV can be reduced by 1 cm. Using this imaging protocol PTV can be reduced by 30%. A further 10% PTV reduction can be achieved with respiratory gating. In the routine clinical practice respiratory motion management with a 3-phase CT-imaging protocol the PTV for early-stage lung cancer can be significantly reduced without the use of 4D CT and/or respiratory gating. For special, high precision treatment techniques 4D CT is recommended.

Pócza T, Pesznyák C, Lövey J, Bajcsay A, Szilágyi A, Almády B, Major T, Polgár C. Imaging protocols for the management of respiratory motions in the treatment planning of early stage lung cancer patients. *Hungarian Oncology* 59:133–138, 2015

Keywords: breathing management, respiratory gating, lung tumour, 4D CT

BEVEZETÉS

A tüdőrák az összes daganatos halálok között vezető helyen áll hazánkban, évente több mint 10 000 új megbetegedést diagnosztizálnak (1). A betegség hazai átlagos 5 éves túlélése 10–15% (2). A korai stádiumban felfedezett, nyirok-érintettséggel nem rendelkező daganatok gyógyulási aránya azonban jóval magasabb, amennyiben a beteg megfelelő kezelésben részesül (3). A korán diagnosztizált daganatok eltávolítása elsősorban sebészi beavatkozással történik. Amennyiben a tumor elhelyezkedése, a páciens társbetegségei vagy más faktorok miatt az elváltozás nem műthető, a sugárterápia a választható alternatíva. A sugárkezelés egyik kihívása, hogy a légzőmozgások miatt a perifériásan elhelyezkedő, a mellhártyát nem érintő és a rekeszizomhoz közeli tumorok elmozdulása több centiméter is lehet (4).

A besugárzási tervek elkészítéséhez topometriai CT-felvételre van szükség. Ennek elkészítésekor figyelembe kell venni a tüdő mozgásából eredő bizonytalanságot, ellenkező esetben megtörténhet, hogy a sugárterápiás kezelés során a besugárzási mező nem fedi a tumort, ami aludozírozást okoz és következményesen növeli a helyi kiújulás esélyét. A szakirodalomban számos olyan technikai lehetőség található, melyekkel speciális eszközök segítségével a légzés következtében létrejövő mozgások figyelembe vehetők a sugárkezelésnél (5, 6). Az 1. táblázat összefoglalja a használható módszerek előnyeit és hátrányait. A közleményben bemutatjuk az Országos Onkológiai Intézetben rendelkezésünkre álló, a légzőmozgás figyelembevételéhez szükséges eszköztárat és annak klinikai alkalmazását. Ezenkívül saját betegeink adatait elemezzük, hogy milyen módon befolyásolja a PTV-t a különböző módszerek használata.

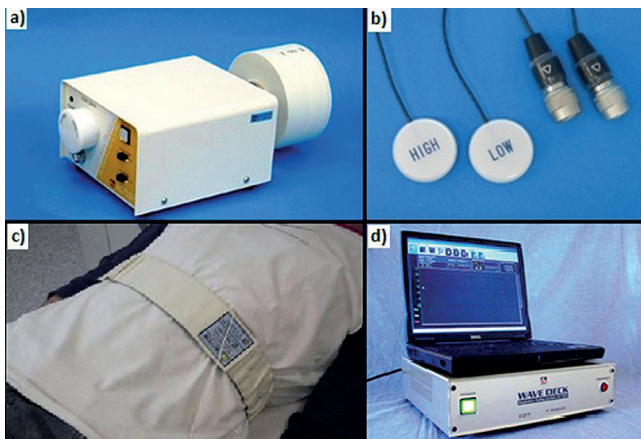
1. táblázat. Légzőmozgást figyelembe vevő technikák összehasonlítása

CT-vizsgálat típusa	Kontúrozáshoz hozzáadott információ	Okozott dózisterhelés	Szükséges speciális eszközök	Többlet időigény
Normál	nem elegendő	kicsi	nincs	nincs
„Deep Inspiration Breath-hold” (mélylélegzés-tartásos)	légzéskapuzott kezelés esetén megfelelő	kicsi	nincs	megfelelő légzési technika betanítása (egyéntől függő)
„Slow” (lassú)	jó közelítéssel az átlagos tumorpozíciókat mutatja, de kissé elmosódott	nagy, a normál CT 9-szerese	nincs	nincs
Hasprés használatával	csökkenti a rekeszizom és a tumor mozgását	kicsi	hasprés	hasprés használata (egyéntől függő)
4D	a teljes légzési fázis rekonstruálható, nagyon pontos	nagy, a normál CT 9-szerese	légzés monitorozását lehetővé tevő eszköz	légzést monitorozó eszköz használata (kb. 5 perc)
3 db, szóbeli utasításokon alapuló	konzervatív becsléssel a tumor elmozdulása figyelembe vehető	közepes, a normál CT 3-szorosa	nincs	nincs
3 db, légzéskapuzással	a tumor elmozdulása figyelembe vehető	kicsi, a normál CT 1,5-szerese	légzés monitorozását lehetővé tevő eszköz	légzést monitorozó eszköz használata (kb. 15 perc)

ANYAG ÉS MÓDSZER

Intézetünk az 1. ábrán látható ANZAI-773V légzéskövető rendszerrel (Anzai Medical Co., Tokyo, Japan) rendelkezik, amivel a Siemens SOMATOM Definition AS CT-t összekapcsolva lehetővé válik a páciens légzésének követése (7). Egy nyomásmérővel felszerelt öv segítségével határozható meg a beteg mellkasi-hasi pozíciója. A detektor által mért nyomóerő a mellkasi-hasi átmérő növekedésével egyre nagyobb lesz, ebből következtetünk a tüdőben lévő levegő térfogatára. A tüdőben lévő levegő mennyiségét az idő függvényében ábrázol-

1. ábra. Az ANZAI 773V rendszer eszközei: a) légzőmozgást szimuláló fantom, b) nyomásérzékelő detektorok, c) detektort a betegre rögzítő öv, d) a vezérlő számítógép és a kommunikációs egység



va felvehetjük a beteg légzési görbéjét, melynek ismeretében 4D CT-felvétel készíthető. A módszer hátránya, hogy a gantry (forgóállvány) lassú forgatásával a betegről minden légzési fázisban felvételt kell készíteni, és emiatt jelentősen megnövekszik a páciens dózisterhelése. A módszer meglehetősen időigényes, és főleg a használat kezdeti szakaszában folyamatos fizikusi felügyeletet igényel. A nyomásmérővel ellátott övet a betegre kell rögzíteni, a nyomásmérő kivezetését egy kommunikációs és vezérlő rendszerrel kell összekötni, ami a CT-készülékhez kapcsolódik. A CT-felvétel elkészítése közben ez monitorozza a páciens légzését. Felvétel után az elmentett nyers adatok („raw data”) és a légzési görbe alapján bármelyik légzési fázis rekonstruálható, megadott amplitúdó vagy időszűrés szerint (8). A felvételhez két különböző protokoll tartozik az alacsony és a magas percenkénti légzésszámmal (bpm, breaths per minute) rendelkező betegek számára. Ezzel a felvételi móddal nagyon pontos, lényeges többletinformációt tartalmazó képkészleteket tudunk létrehozni, melyeket speciális technikák alkalmazása esetén (pl. sztereotaxiás kezelé-

sek) használhatunk. A felvett képekből átlag CT-képkészlet is készíthető, amely a CT-felvétel alatt időátlagolt anatómiai viszonyokat mutatja. Ez a képkészlet jól használható a dóziszszámoláshoz, valamint IGRT (Image-Guided RadioTherapy, képvezérelt sugárterápia) során a Cone-Beam CT-hez (CBCT) való képregisztrációhoz, ugyanis a CBCT képe a gyorsító gantry-jének lassú forgása miatt szintén átlagolt.

Mivel a 4D CT-felvétel elkészítése jelentős dózisterheléssel jár, más, kisebb dózisterhelést okozó módszereket is kipróbáltunk. A dózis csökkentése érdekében előre meg lehet határozni, hogy melyik légzési fázisokról szeretnénk felvételt készíteni. Ekkor a nyomásmérőt egy hordozható számítógéphez kötjük, mely speciális szoftver segítségével vezérli a CT-t. Előre definiáljuk a vizsgálni kívánt fázist, így csak a megadott fázisban készül felvétel a betegről. Intézetünkben 3 fázisban készítettünk felvételeket, kilégzési maximumban, belégzési maximumban, valamint a kilégzés 50%-ánál. Ebben az esetben 3 darab különálló CT-képkészlet jön létre. A módszer sikeres alkalmazásához szabályos légzési görbével kell rendelkeznie a betegnek. Túl felszínes vagy túl kapkodó légzés esetén a rendszer nem képes megfelelően triggerelni (vezérelni) a felvétel készítését.

Ezzel a koncepcióval lehetőség nyílik a légzéskapuzott kezelés végrehajtására is. Ekkor az ismert légzési fázisban felvett képkészletre történik a sugárterápiás terv elkészítése, majd megfelelő szoftver segítségével a gyorsítót is a beteg légzési görbéje alapján vezérelhetjük. Ki kell választani a megfelelő terápiás ablakot (fázis- vagy időintervallumot), amikor a gyorsító ténylegesen sugároz. Túl széles ablak rontja a kezelés pontosságát, túl rövid intervallum esetén pedig a kezelés túl hosszúvá válhat. A kezelési idő lehetőleg ne legyen nagy, mivel a légzési görbe egy idő után „driftelhet”, azaz középértéke lassan emelkedhet/csökkenhet. Ez az effektus elrontja a megadott terápiás ablakot (9). A 2. ábrán

2. ábra. Légzéskapuzott kezelést vezérlő program grafikus felülete. A felső sorban a páciens légzési görbéje látható, az alsóbb sorokban pedig a kibocsátott triggerjelek, illetve a nyaláb működésének jelzései vannak

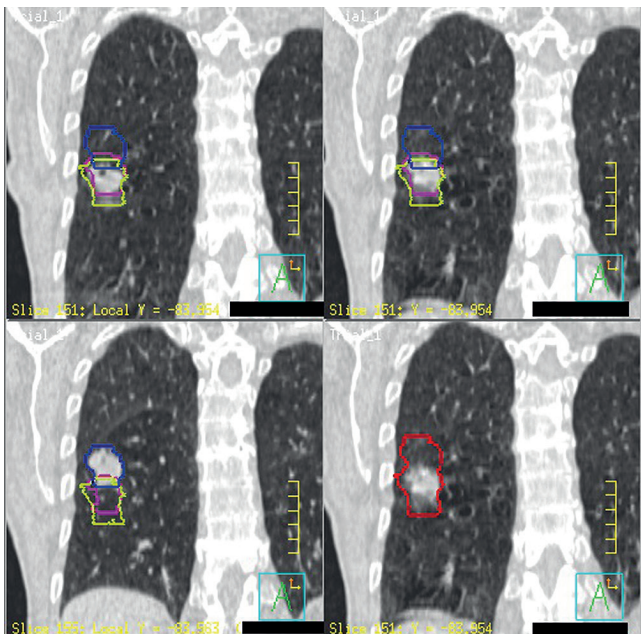


3. ábra. Légzéskapuzott kezelés beállítása a Siemens Artiste lineáris gyorsítón



a vezérlőszoftver grafikus felülete látható, miközben a beteg légzését követve a kilégzési maximumok környékén triggerjelet továbbít a gyorsító felé. A 3. ábra a Siemens Artiste lineáris gyorsítón kivitelezett légzéskapuzott kezelés beállítását mutatja.

4. ábra. ITV (Internal Target Volume, belső mozgásokat figyelembe vevő céltérfogat) képzése koronális metszeteken 3 különböző légzési fázis alapján. A kék a kilégzési, a rózsaszín a normál, a sárga pedig a belégzési tumortérfogatot mutatja. Ezek uniójaként hozható létre a pirossal jelzett ITV



A 3 fázisú CT-képkészletet jóval egyszerűbb módon, monitorozás nélkül, csak szóbeli utasításokon alapuló módszerrel is elkészíthetjük. Ebben az esetben nincs szükség semmilyen további eszközre vagy személyzetre, csak a páciens megfelelő kooperációjára. Első esetben a beteg levegőt vesz és bent tartja (belégzési fázis), a második esetben a levegő kifújására kap utasítást (kilégzési fázis), a harmadik esetben pedig normális légzés közben kerül sor a felvételre (normál fázis). A visszacsatolás hiánya ugyan rontja a pontosságot, de az esetek nagy többségében ez a módszer is megfelelő eredményt ad. A belégzés tartása általában kissé túlbecsüli a normális légzésben létrejövő tumorpozíciókat, de konzervatív becslésként nagyban elősegíti a megfelelő kontúrozást és a sugárterápiás margók csökkentését. Külső markerek csak a normál CT-felvétel esetén kerülnek felhelyezésre, ugyanis a képek importálása során sokszor nehéz megkülönböztetni a kilégzési és a normál CT-képkészletet. Mivel a képek egy vizsgálati protokollon belül készülnek, nem szükséges a képek fúziója, a három felvétel koordináta-rendszerre ugyanis ebben az esetben megegyezik.

A szakorvos a három felvétel mindegyikén bekontúrozza a GTV-t (Gross Tumor Volume, fizikailag kimutatható tumortérfogat), és ezek uniójaként hoz létre egy ITV-t, (Internal Target Volume, belső mozgásokat figyelembe vevő céltérfogat), melyet ezután kiterjeszt a CTV (Clinical Target Volume, klinikai céltérfogat), illetve a PTV (Planning Target Volume, tervezési céltérfogat) térfogatok létrehozásához. A 4. ábrán az ITV különböző légzési fázisban kontúrozott GTV-k uniójaként való létrehozása látható. A sugárterápiás tervet a normál (kapuzott esetben a kilégzés 50%-ában készült) CT-képkészlet alapján készítjük el, mivel ez reprezentálja leginkább az átlagos anatómiai viszonyokat (10).

Öt beteg esetén összehasonlítottuk a konvencionális, 1 db normál CT-felvétel alapján készült céltérfogatot a 3 db szóbeli utasításokon alapuló, illetve a 3 db légzéskapuzott CT-képkészlet felhasználásával készült térfogatokkal. Minden betegről kétszer 3 db felvétel készült, a fentebb említett módszerekkel. Ezek alapján meghatároztuk az egyes pácienseknél fellépő tumorelmozdulás nagyságát és a különböző biztonsági margók használata esetén létrejövő céltérfogatok méretét. A betegek fontosabb adatait a 2. táblázatban ismertetjük.

2. táblázat. A betegek nem, életkor és daganatlokalizáció szerinti megoszlása

	Nem	Életkor (év)	Érintett tüdőlebens
1. beteg	férfi	80	jobb-középső
2. beteg	férfi	64	jobb-felső
3. beteg	férfi	71	jobb-felső
4. beteg	férfi	76	bal-alsó
5. beteg	nő	75	jobb-alsó

3. táblázat. Dózisértékek különböző CT-protokollok használata esetén

	Scan hossz (mm)	Kijelzett CTDIvol (32 cm)* (mGy)	Kijelzett DLP** (mGycm)
Normál CT	352	3,3	121,2
3 db normál CT	352	9,9 (3×3,3)	363,6 (3×121,2)
3 db légzéskapuzott CT	352	4,8 (3×1,6)	176,1 (3×58,7)
4D CT >12 bpm (légzés/perc)	317 (maximális)	29,2	956,7
4D CT <12 bpm (légzés/perc)	184,5 (maximális)	26,1	417,4

*CT Dose Index Volume (térfogati CT dózisindex), **Dose Length Product (dózis-hossz szorzat)

EREDMÉNYEK ÉS MEGBESZÉLÉS

Normál CT-felvétel esetén a céltérfogat-meghatározás és a kezelés pontossága leginkább attól függ, hogy épp a légzés melyik fázisában készült a képkészlet, illetve mekkora amplitúdóval mozog a tumor. Egy felvétel alapján ez nem állapítható meg, a daganat helyzete véletlenszerűen változik, vagyis egyetlen, normális légzésben készült felvétel készítése nem optimális a mobilis, kisméretű tüdőtumorkok kezeléséhez.

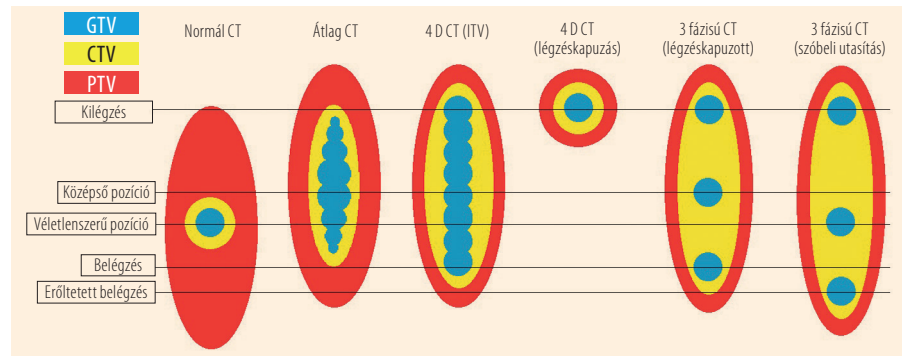
A tumor mozgásának feltérképezéséhez több CT-felvétel elkészítésére is szükség van. Természetesen a felvételek számának növelésével a beteg dózisterhelése is megnő. A különféle módszerekkel készített CT-felvételek által okozott dózisterhelést jellemző CTDIvol (CT

Dose Index Volume, térfogati CT dózisindex) és DLP (Dose Length Product, dózis-hossz szorzat) értékek a 3. táblázatban láthatóak.

Az eltérő módszerekkel készült képkészleteket különböző módokon tudjuk felhasználni a céltérfogatok kontúrozására. Az 5. ábra sematikusan mutatja be a céltérfogat létrehozásának lehetséges módszereit.

A vizsgált 5 beteg esetén a céltérfogat meghatározásához ITV-t hoztunk létre. A kontúrok vizsgálata alapján a szóbeli utasításokon alapuló CT-képeken berajzolt térfogatok nagyobbak a kapuzott képeken rajzoltakhoz képest. A mért elmozdulások a várt eredményeknek megfelelően kisebbek a légzéskapuzott felvételeken, így az ITV-k térfogata is általában kisebb lesz a kapuzott képeken. Az egyes betegekre vonatkozó térfogat- és elmozdulásértékek a 4. táblázatban láthatóak. Mivel ITV használatával lényegesen pontosabban határozható meg a tumor helyzete, így a CTV-PTV kiterjesztést 1 cm-rel csökkenthetjük, amivel a szóbeli utasításokon alapuló CT-felvételek esetén átlagosan kb. 30%-os, légzéskapuzott felvételek használatával megközelítőleg további 10%-os PTV-csökkenést érhetünk el, miközben a céltérfogat alakja jobban idomult a valóban kezelendő

5. ábra. Légzést figyelembe vevő technikák PTV (Planning Target Volume, tervezési céltérfogat) képzésének összehasonlítása



4. táblázat. A vizsgált tumortérfogatok (V) és középpontjuk elmozdulása (d) különböző CT-protokollok használata esetén

	Átlagos V_{GTV} szóbeli CT (cm ³)	Átlagos V_{GTV} kapuzott CT (cm ³)	$d_{maximum}$ szóbeli CT (cm)	$d_{maximum}$ kapuzott CT (cm)	V_{ITV} szóbeli CT (cm ³)	V_{ITV} kapuzott CT (cm ³)
1. beteg	8,0	9,4	3,6	2,3	22,6	20,0
2. beteg	3,7	3,9	0,8	0,2	7,0	5,4
3. beteg	4,2	4,1	1,5	0,6	8,6	6,8
4. beteg	16,1	19,6	1,8	1,2	30,1	30,8
5. beteg	7,3	7,9	3,9	0,9	16,2	13,1
Átlag	7,9	9,0	2,3	1,0	16,9	15,2

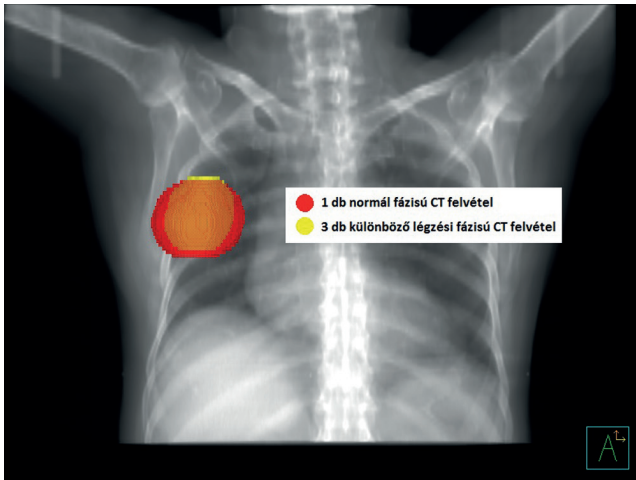
*GTV (Gross Tumor Volume, fizikailag kimutatható tumortérfogat), **ITV (Internal Target Volume, belső mozgásokat figyelembe vevő céltérfogat)

5. táblázat. PTV (Planning Target Volume, tervezési céltérfogat) különböző sémák használata esetén és változás a $PTV_{normál}$ -hoz képest

	$V_{PTV_{normál}}$ (cm ³)	$V_{PTV_{szóbeli}}$ (cm ³) és változás $V_{PTV_{normál}}$ -hoz képest (%)		$V_{PTV_{kapuzott}}$ (cm ³) és változás $V_{PTV_{normál}}$ -hoz képest (%)	
1. beteg	241,9	218,7	-9,6	183	-24,5
2. beteg	204,3	101,6	-50,3	90,6	-55,7
3. beteg	227,6	121,1	-46,8	99	-56,5
4. beteg	360,9	235,8	-34,7	237,4	-34,2
5. beteg	263,2	204,4	-22,3	136,7	-48,1
Átlag	259,6	176,3	-32,7	149,4	-43,8

* $PTV_{normál}=GTV_{normál}+2,5cm$, ** $PTV_{szóbeli}=ITV_{szóbeli}+1,5cm$, *** $PTV_{kapuzott}=ITV_{kapuzott}+1,5cm$

6. ábra. PTV (Planning Target Volume, tervezési céltérfogat) alakja és elhelyezkedése különböző topometriai CT-protokollok használata esetén



térfogathoz (11). A 6. ábrán látható, hogy a 3 CT-képkészlet létrehozásával készült PTV kisebb, ugyanakkor jobban lefedi a kezelés során lehetséges tumorpozíciókat. A különböző kiterjesztési sémákkal készült PTV-eket és a létrejövő térfogatsökkenéseket az 5. táblázat foglalja össze.

A légzéskapuzott CT-felvételek alkalmazása mind a CT-dózis csökkentésében, mind a céltérfogat definiálásában előnyösebb a többi módszerrel szemben. Klinikai alkalmazhatósága azonban erősen korlátozott, mivel a módszer nagyon érzékeny a beteg légzésének egyenletességére, csak a betegek töredéke rendelkezik kellően reguláris légzési görbével.

Mivel a PTV-t már a szóbeli utasításokon alapuló felvételek használata is jelentősen csökkenti és információt szolgáltat a tumor mozgásáról, javasoljuk e módszer rutinellátásban való használatát. Abban az esetben, ha még pontosabb, légzésmonitorozást is igénylő módszert használunk, érdemes 4D CT-felvételt készíteni, ugyanis ebben az esetben

precízebben határozható meg a céltérfogat. A módszerrel a sugárterápiás margók, megfelelő adatelemzés után, tovább csökkenthetőek.

KÖVETKEZTETÉS

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 3 fázisú (kilégzés, belégzés és normális légzés) CT-képkészletek a klinikumban megfelelő eredményességgel alkalmazhatóak 3D konformális besugárzási tervek készítéséhez. Ez a módszer nem igényel speciális eszközt,

ennek ellenére jelentős céltérfogat-csökkenést tesz lehetővé, és a PTV alakja is jobban idomul a valóban kezelendő térfogathoz. Bár az ITV becslése konzervatív, és a technika használatához a beteg megfelelő együttműködése szükséges, a módszer minden konvencionális CT-készülékkel kivitelezhető, ezért alkalmazása korai stádiumú, perifériás tüdőtumorkok esetében a rutin mellkasi besugárzások során is kifejezetten ajánlott. Speciális, nagyobb pontosságot igénylő esetekben, mint az extrakraniális sugársebészet, 4D CT alkalmazását javasoljuk.

IRODALOM

1. Központi Statisztikai Hivatal. http://www.ksh.hu/thm/2/indi2_8_1.html
2. Ostoros Gy, Bajcsay A, Balikó Z, et al. A tüdőrák megelőzésének, diagnosztikájának és kezelésének alapelvei. Magyar Onkológia 56:114–132, 2012
3. Senan S, Lagerwaard FJ. The role of radiotherapy in non-small-cell lung cancer. Ann Oncol 16(Suppl 2): ii223–ii228, 2005
4. Britton KR, Starkschall G, Tucker SL, et al. Assessment of gross tumor volume regression and motion changes during radiotherapy for non-small-cell lung cancer as measured by four-dimensional computed tomography. Int J Radiat Oncol Biol Phys 68:1036–1046, 2007
5. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al. The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76. Med Phys 33:3874–3900, 2006
6. Giraud P, Houle A. Respiratory gating for radiotherapy: main technical aspects and clinical benefits. ISRN Pulmonology, Article ID 519602, 2013
7. Li XA, Stepaniak C, Gore E. Technical and dosimetric aspects of respiratory gating using a pressure-sensor motion monitoring system. Med Phys 33:145–154, 2006
8. Wink NM, Panknin C, Solberg TD. Phase versus amplitude sorting of 4D-CT data. J Appl Clin Med Phys 7:77–85, 2006
9. Saito T, Sakamoto T, Oya N. Comparison of gating around end-expiration and end-inspiration in radiotherapy for lung cancer. Radiother Oncol 93:430–435, 2009
10. Rietzel E, Liu AK, Doppke KP, et al. Design of 4D treatment planning target volumes. Int J Radiat Oncol Biol Phys 66:287–295, 2006
11. Admiraal MA, Schuring D, Hurkmans CW. Dose calculations accounting for breathing motion in stereotactic lung radiotherapy based on 4D-CT and the internal target volume. Radiother Oncol 86:55–60, 2008