

Az EBT2 önhívó filmek sugárterápiás klinikai alkalmazhatóságának vizsgálata

ZONGOR ZSUSZÁNNA¹, BÉLA DALMA¹, KIRÁLY RÉKA¹, STELCZER GÁBOR¹, MAJOR TIBOR¹, PESZNYÁK CSILLA^{1,2}

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

Levelezési cím:

Dr. Zongor Zsuzsanna, Országos Onkológiai Intézet,
Sugárterápiás Centrum, 1122 Budapest, Ráth György u. 7–9.,
tel.: 1224-8600/3902, e-mail: zongorzsz@gmail.com

Közlésre érkezett:

2016. április 19.

Elfogadva:

2016. május 25.

Vizsgálatunk célja az EBT2 önhívó filmek fizikai tulajdonságainak megismerése és klinikai alkalmazási feltételeinek meghatározása volt. A filmeket különböző technikával készült tervek alapján (3D konformális – 3DCRT, intenzitásmodulált – IMRT és sztereotaxiás – SBRT) technikával sugaraztuk be, majd összehasonlítottuk a tervezőrendszerből exportált dóziseloszlással. Az elemzéshez két különböző gyártó filmelemző szoftverét használtuk: PTW Mephysto és FilmQA Pro. A tervek összehasonlítását gamma-analízissel végeztük, 3%, 3 mm-es, illetve 2%, 2 mm-es gamma-kritériumra. PTW Mephysto, illetve FilmQA Pro szoftverrel végzett gamma-analízis eredményei 3%, 3 mm-es feltételekre: 3DCRT (95,5/100%), IMRT (97/99,9%), SBRT (99,7/100%). A 2%, 2 mm-es gamma-kritérium esetén 3DCRT (87,1/98,9%), IMRT (92/98,5%), SBRT (96,7/97,9%) eredményeket kaptunk. Megállapítható, hogy megfelelő használat mellett a szkener tulajdonságai nem befolyásolják az eredményeket. Mindkét kiértékelő szoftver alkalmas a filmek kalibrálására, kiértékelésére. Az EBT2 önhívó film alkalmas a sugárterápiás tervek kétdimenziós ellenőrzésére. Magyar Onkológia 60:299–304, 2016

Kulcsszavak: EBT2 film, intenzitásmodulált, gamma-analízis, radiokróóm

The purpose of the study was to investigate the physical properties of the EBT2 radiochromic films and define the conditions of its clinical applicability. We irradiated the films with different treatment techniques 3D conformal (3DCRT), intensity-modulated (IMRT) and stereotactic body radiotherapy with arc therapy (SBRT), and then compared the data with the dose distribution exported from the treatment planning system (Eclipse). Two film analysis softwares were investigated for the comparison: PTW Mephysto and FilmQA Pro. The comparisons of dose distributions were performed with gamma analysis, and the gamma criterion was 3%, 3mm, and 2%, 2mm. The gamma analysis results by the two programs were the following, (PTW/FilmQA Pro) with 3%, 3mm gamma criterion: 3DCRT (95,5/100%), IMRT (97/99,9%), SBRT (99,7/100%). In case of 2%, 2mm the results were: 3DCRT (87,1/98,9%), IMRT (92/98,5%), SBRT (96,7/97,9%). Based on the results it can be stated that during proper use, the features of the scanner do not affect the results. Both evaluation softwares are suitable for calibrating and evaluating films, moreover, performing the gamma analysis. The EBT2 film is suitable for the two-dimensional controlling of radiation therapy plans.

Zongor Z, Béla D, Király R, Stelczer G, Major T, Pesznyák C. Investigating the clinical applicability of EBT2 self-developing films. Hungarian Oncology 60:299–304, 2016

Keywords: EBT2 film, intensity-modulated, gamma analysis, radiochromic

BEVEZETÉS

Az önhívó filmek egyre nagyobb szerepet kapnak a sugárterápiás dozimetriában. Nem igényelnek hívóberendezést és elemzésük is megoldható számítógépes program segítségével. A radiokróom film technológia a sugárzásra érzékeny monomereken alapul, amik radioaktív sugárzás hatására polimerizálódnak és színt váltanak. A polimerizáció körülbelül 100 μ s-mal a besugárzás után kezdődik. A polimer relatívan zsugorodik a monomerhez képest. A kezdeti gyors fázist egy lassúbb követi, ahol a változás az eltelt idő logaritmusával arányos. A film színe 24–48 órával a besugárzás után stabilizálódik (1). A film sötétedéséből megfelelő kalibrálás után vissza lehet számolni, hogy mekkora dózisz sugárzás érte a film adott részét. Minél sötétebb, annál több ionizáló sugárzást nyelt el.

Előnyei a röntgenfilmmel szemben, hogy nincs előhívásból eredő hiba, a film elszíneződése magától alakul ki, szemcsementes, nagy dózisgradiens esetén is használható, például sztereotaxiás besugárzásnál vagy brachyterápiánál, mert a folyamat dózisteljesítmény-független, viszont rosszabb a felbontása, mint a hagyományos radiográfiai filmeknek.

Az első radiokróom filmeket ipari felhasználásra fejlesztették ki. Az érzékeny réteg csak 6–7 μ m volt, ami alacsony szenzitivitást eredményezett, viszonylag nagy dózisz mérésekre használták 50–2500 Gy között.

A sugárzásérzékeny monomereket tartalmazó aktív réteg egy hordozó- és egy védőréteg között helyezkedik el. A poliészter védőréteg „robosztussá” teszi a filmet, és lehetővé teszi a vízben való mérést is. Az EBT2-es film aktív rétegébe sárga festéket építettek be, ezzel növelve a homogenitást és csökkentve a mesterséges fényvel szembeni érzékenységet, de az UV sugárzástól még így is védeni kell a filmet, mivel spontán elszíneződést okoz (2).

Az EBT filmek aktív rétegét alacsony rendszámú anyagok alkotják, becslések szerint az effektív rendszám 6,98. Innen adódik a film vízekvivalens tulajdonsága (a víz effektív rendszáma 7,3). A különböző típusú filmeknél a használt anyagok és azok mennyisége eltérő lehet gyártónként és modellenként, de mindegyik tartalmaz szenet, hidrogént, oxigént, esetleg lítiumot. Amennyiben klórt adalékolnak, akkor a film nem lesz vízekvivalens, mivel a klór rendszáma 17.

ANYAG ÉS MÓDSZEREK

Az általunk használt GafChromicEBT2 QD+ egy második generációs fejlesztés. Mérete: 8"×10" (20,3×25,4 cm), 25 lap/doboz, érzékenysége: 1 cGy–40 Gy. A gyártó adatai alapján a film energiafüggetlen MeV-os energiatarományban. Ideális esetben sötét helyen, 20–25 °C hőmérsékleten kell tárolni. Ekkor a szavatossági ideje 2,5 év. Archiválás esetén legjobb hűtött helyen tárolni 2–8 °C között (3). A film aktív rétegének molekulái véletlenszerűen orientáltak, nincs kitüntetett irány. A filmet védeni kell a portól, az ujjlenyomatoktól és a mechanikai behatásoktól. Munka közben hintőpor nélküli gumikesztyű használata ajánlott.

A filmek kiértékelésénél a szkennert denzitóméterként funkcionál. A radiokróom film nagy előnye, hogy jó felbontású lapszkennerral beolvasható, ami megkönnyíti a film elemzését és archiválását. A filmek digitalizálására EPSON Expression 10000 XL Photo szkennert használtunk, A3-as lapolvasó felülettel. Ahhoz, hogy a filmek beolvasása során minimalizálni tudjuk a dozimetriai bizonytalanságokat, megvizsgáltuk a következő lehetőségeket: a film mindkét oldali beolvasásának használhatósága, a film álló és fekvő orientációjának hatása, a film pozicionálása a szkennert felületén, többszöri beolvasás hatása a filmre, a szkennert beolvasási felületének uniformitása, a készülék bemelegedésének hatása (4).

Minden csomag filmet külön kell kalibrálni, mert a gyártási folyamatokban lehetnek olyan különbségek, amik hatással vannak a filmek minőségére. Két kalibráló sort készítettünk:

1. Az első sorozat kilenc darab 4×4 cm-es filmet tartalmazott, dózismaximumban mérve szilárdtest fantomban. A kalibrációhoz 6 MV-os energiájú foton sugárzást használtunk, 500 MU/perc dózisteljesítményen. A kalibráláshoz használt dóziszok: 0; 15; 30; 60; 100; 120; 150; 180; 200 és 240 cGy. A kalibrációs sorozat 10. értéke a nulla dózis, amit a nem exponált film szkennelésével határozzunk meg.

2. A második kalibráló sorozat 7 filmet tartalmazott, 5 cm mélységben besugarozva. A filmek mérete 3,8×20 cm volt. Az egyes monitoregységekhez tartozó dózisértékeket a tervezőrendszerből olvastuk ki, a kalibrációs elrendezés modellezésével. A dózisértékek a következők: 0; 19,1; 47,7; 95,5; 191; 286,5; 382 cGy.

A kalibrációs értékekre polinom függvényt kell illeszteni, de ez nem teljesen felel meg a film alapvető tulajdonságainak, mivel a függvény oszcillálhat az értékek körül. A polinom illesztéssel is lehet elfogadható eredményeket elérni, de a racionális függvénnyel való illesztés jobban követi a film viselkedését. A függvény az 1. képlettel írható fel, ahol d_x az optikai denzitás D dózis és X hullámhossz esetén, míg az a_x , b_x , c_x az illesztésből származó konstansok.

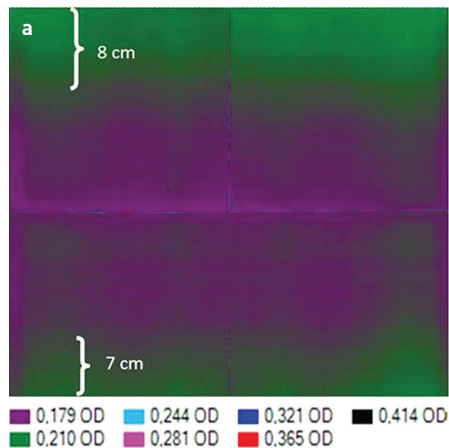
$$d_x = -\log \left(\frac{a_x + b_x D}{c_x + D} \right) \quad (1)$$

A használt racionális függvényt a 2. képlet írja le:

$$X(D) = A + B/(D-C) \quad (2)$$

ahol a D a dózis, az A , B és C a függvény paraméterei, valamint az $X(D)$ a szkennerválasz (5).

Két gyártó kiértékelő szoftverét használtuk: a PTW Mephysto programját és a FilmQA Pro szoftvert, amit céltzoltan a radiokróom filmek elemzésére fejlesztettek. A PTW Mephysto polinom függvényt, míg a FilmQA Pro racionális függvényt használ kalibrálásra. Egyes ajánlások szerint (4, 6) csak a vörös csatornát kell használni a kiértékeléshez, mert az hordozza a dóziszra vonatkozó legtöbb információt. Micke és Lewis 2011-es tanulmánya (5) alapján megállapítható, hogy a többcsatornás filmdozimetriának számos előnye van: csökkenthető a vizsgált filmek közötti különbségek, a szkennert



1. **ÁBRA.** a) A szkennerteljes felületének inhomogenitási térképe, b) a szkennerteljes felületére helyezett exponálatlan film mért optikaidenzitás-térképe

nelés folyamán keletkező bizonytalanságok, valamint a film pozicionálásából és az aktív réteg vastagságváltozásából eredő hibák. Az új megközelítés alapján a radiokrómi film beolvasásakor a három színcsatornára (R – red, G – green, B – blue) különböző válaszjeleket, szín-dózis válaszgörbéket kapunk. Ez alapján a beolvasott kép szétválasztható egy dóziszfüggő és egy dóziszfüggetlen részre (5). A dóziszfüggetlen rész a zajokról, artefaktumokról és az esetleges fedő réteg vastagságváltozásairól ad információt. A FilmQA Pro szoftver ez alapján a képet egy dózis- és egy hibatérképre bontja fel.

Dózisteljesítmény-függés vizsgálata esetén 4×4 cm-es filmeket 10×10 cm-es nyílt mezővel sugaraztunk be szilárd vízfantomban, 6 MV-os fotonenergiával, 1,5 cm mélyen a dózismaximumban, FBT=98,5 cm (FBT: fókuszbőr távolság). A kísérletet három dózisteljesítményen (100, 400, 600 MU/perc) és három különböző dózissal végeztük el (1, 2 és 3 Gy).

Az energiafüggés vizsgálata során 10×10 cm-es nyílt mezőkkel sugaraztuk be a filmeket 500 MU/perc-es dózisteljesítményen. A 4×4 cm-es filmeket vízekvivalens fantomba helyeztük, és mindig az aktuális energiának megfelelő dózismaximumban mértünk. A kísérletet három energián (6, 10, 18 MV) és három dózissal végeztük el (1, 2 és 3 Gy).

A lapolvasóknak is, mint a legtöbb elektronikai eszköznek szüksége van bemelegedési időre, hogy stabil eredményt adjon. Ez egyszerű irodai használatnál vagy fotográfiai filmek beolvasásakor nem fontos, de amennyiben denzitométerként használjuk, ki kell várni a bemelegedési időt a pontos eredmény érdekében (7).

A film pozicionálásának vizsgálati módszerei:

1. Az első esetben egy exponálatlan filmet (20,3×25,4 cm) olvastunk be négy különböző helyzetben, a filmet a szkennerteljes felületének egyes sarkaihoz illesztve. Az eredmények alapján létre tudtuk hozni a szkennerteljes felületének térképét.

2. A második esetben vizsgáltuk a pixelértékek változását az azonos filmek álló, illetve fekvő helyzetben történő szkennelés

nelés folyamán, mind exponálatlan, mind 1 Gy-vel exponált film esetén. A filmek mérete 15×15 cm volt.

3. A harmadik esetben az 1. pontban vizsgált filmek mindkét oldalát beszkenneltük.

A következő besugárzási tervek dozimetriai ellenőrzését végeztük el gamma-analízis segítségével:

1. 3D konformális terv (3DCRT) esetén egy kismedencei céltérfogatot négymezős „box” mezőelrendezésben [besugárzási irányok: 0°, 90°, 180°, 270° gantry (forgóállvány) állás] sugaraztunk.

2. „Sliding Windows” technika (intensity-modulated radiation therapy, IMRT) esetén a sugárkezelés alatt az MLC változó sebességgel folyamatosan mozog, miközben különböző alakú mezőket hoz létre, a gantry megadott szögállásainál.

3. A sztereotaxiás testbesugárzást (stereotactic body radiation therapy, SBRT) kisméretű tumorok besugárzására alkalmazzák, akár több izocentrumból is történhet a kezelés. Tüdőtumor intenzitásmodulált ívbesugárzással készült (RapidArc) besugárzási tervét ellenőriztük.

EREDMÉNYEK

A dózisteljesítmény- és energiafüggés vizsgálata céljából besugarozott EBT2 filmeket a FilmQA Pro szoftverrel elemeztük, a filmek megavoltos nagyságrendben gyakorlatilag energia- és dózisteljesítmény-függetlennek adódtak. A gyártó által ajánlott szkennelési paramétereket használtuk: professzionális mód, átlátszó kép, pozitív film, 48 bit RGB. A szkennelés alatt minden színkorrekciót ki kell kapcsolni, és TIF formátumban kell elmenteni a képeket.

1. A szkennerteljes felületének bemelegedési ideje: számottevő instabilitást nem tapasztaltunk az általunk használt szkennernél, de minden esetben az eszköz bekapcsolása után vártunk 10 percet, és az első három szkennelést nem mentettük el.

2. A film felületének homogenitása és a filmek pozicionálása: A szkennerteljes felületére helyezett filmekből készí-

1. TÁBLÁZAT. A film különböző szkennelési pozicionálása esetén, a FilmQAPro szoftverrel kapott optikaidenzitás-eredmények bemutatása

	EXPONÁLAT- LAN FILM, FEKVŐ HELY- ZETBEN, A OL- DAL FELÜL	EXPONÁLAT- LAN FILM, FEKVŐ HELY- ZETBEN, B OLDAL FELÜL	1 GY-VEL BESUGARA- ZOTT FILM, FEKVŐ HELY- ZETBEN, A OL- DAL FELÜL	1 GY-VEL BESUGARA- ZOTT FILM, FEKVŐ HELY- ZETBEN, B OLDAL FELÜL	EXPONÁLAT- LAN FILM, ÁLLÓ HELY- ZETBEN, A OL- DAL FELÜL	1 GY-VEL BESUGARA- ZOTT FILM, ÁLLÓ HELY- ZETBEN, A OL- DAL FELÜL
R csatorna átlagérték (OD)	0,192	0,192	0,291	0,291	0,169	0,26
G csatorna átlagérték (OD)	0,181	0,181	0,235	0,236	0,161	0,214
B csatorna átlagérték (OD)	0,393	0,393	0,417	0,418	0,375	0,396

OD: optikai denzitás

tettünk egy optikaidenzitás-térképet (1a. ábra). A vizsgálat igazolta a közép pozicionálás fontosságát, mivel a középső területen kívül akár 4%-os is lehet az átlagdenzitástól való eltérés. A szkennelés felső részén 8 cm-es, alul pedig 7 cm-es volt az eltérő optikai denzitás sávszélessége. Az 1a. ábra közepén jelentkező kereszt alakú hibát a film széli hatása okozta. Az 1b. ábrán egy közép pozícióban elhelyezett exponálatlan film homogén képe látható egységesen lila árnyalatú kijelzéssel, ahol kevesebb mint 0,5%-os eltérés tapasztalható.

A szkenneléshez nagy felületű, A3-as lapolvasó szükséges, hogy a közepén legyen megfelelő nagyságú homogén terület. Igyekeznünk kell a filmet a beolvasási felületen az oldalakkal párhuzamosan elhelyezni, mert a dőlésszög fokonként 0,05%-os hibát okoz a válaszeljelen, ez a dózisban 0,15%-os eltérést eredményez.

A film mindkét oldala (A és B) használhatóságának eredményei az 1. táblázatban láthatók. A besugárzás alatt a nyaláb az A oldal felől lépett be. Megállapítható, hogy optikai denzitás szempontjából nincs jelentős különbség a két oldal között, de a gyártó azt javasolja, hogy mindig azonos pozícióban használjuk a filmet.

Fekvő versus álló orientációval kapott eredményeknél már van különbség, egyes esetekben, abszolút dózisban mérve cGy-es nagyságrendűek az eltérések. A FilmQA Pro-nál lehetőség van újraszkalibrálásra. Ilyenkor egy nulla dózissal (exponálatlan) és egy nagy dózissal besugárzott filmet kell beszkenyelni a terv alapján készült filmmel együtt. Ezzel a módszerrel csökkenthetjük a dozimetriai bizonytalanságot, mivel a kis dózissal területek dózismeghatározása pontosabb

lesz, ha a besugárzott filmet a saját exponálatlan részére korrigáljuk.

Mindkét szoftverrel elemeztük az egyes tervek dózisértékeit. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza. A 2. ábrán látható az IMRT-terv vizsgálata a PTW Mephysto programmal, a 3. ábrán pedig az SBRT-terv FilmQA Pro szoftverrel történt elemzését mutatjuk be.

A tervek összehasonlítását gamma-analízissel (γ) végeztük. Ez egy kétparaméteres mérőszám, mely megmutatja, hogy mennyire egyezik meg a tervezett és a mért dóziseloszlás. A módszer lényege, hogy akkor tekinthető elfogadhatónak egy pixel értéke, ha az adott pixel dózisa közelebb van a tervezetthez, mint a megadott kritérium, vagy egy megadott távolságon belül található egy olyan pixelérték a tervezett eloszláson, amivel megegyezik a mért érték, ekkor a $\gamma < 1$.

A kiértékelő szoftverek a gamma-kritériumok és a küszöbdózis megadásával kiszámolják a gamma-indexet. Gamma-kritériumnak általában a 3% és 3 mm-es értékeket alkalmazzuk, ekkor az elfogadhatóság feltétele 95%. Szigorúbb esetekben a gamma-kritérium 2% és 2 mm, az elfogadhatóság feltétele 93%. A küszöbdózis általában 10%, az ennél kisebb dózissokat elhanyagoljuk.

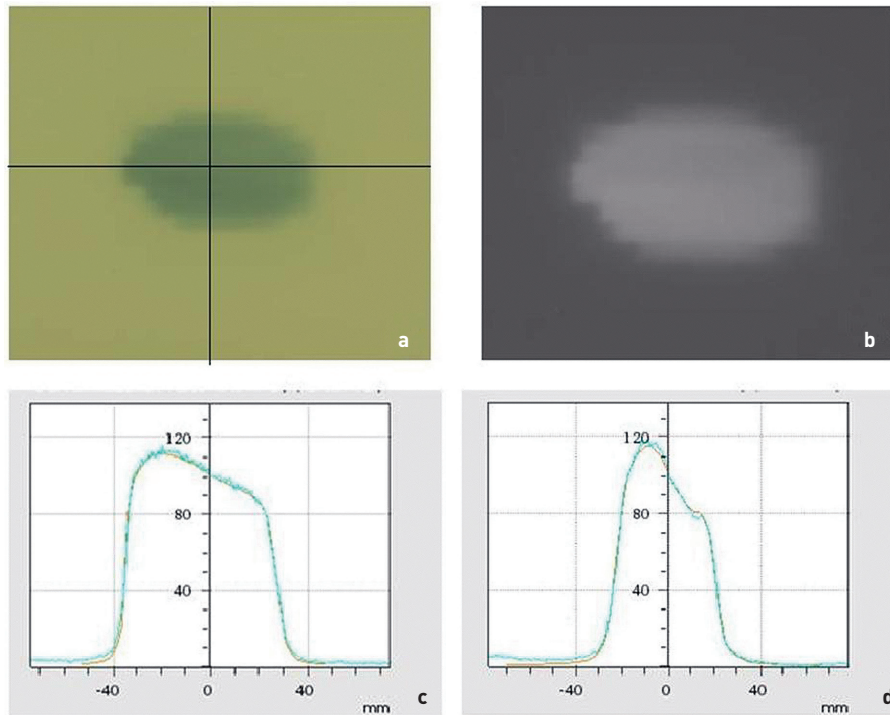
MEGBESZÉLÉS

Munkánk során elvégeztük a filmelemző programok dóziskalibrálását, valamint a szkennelés térbeli felbontásának és érzékenységének vizsgálatát. A FilmQA Pro-val kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az EBT2 film dó-

2. TÁBLÁZAT. Különböző besugárzási technikákkal exponált filmek gamma-analízis-eredményei a PTW Mephysto és FilmQA Pro szoftverekkel történő elemzés esetén

	3DKRT		IMRT		SBRT	
	3%, 3 mm	2%, 2 mm	3%, 3 mm	2%, 2 mm	3%, 3 mm	2%, 2 mm
PTW Mephysto	95,5%	87,1%	97%	92%	99,7%	96,7%
FilmQA Pro	100%	98,9%	99,9%	98,5%	100,0%	97,7%

3DKRT: 3D konformális, IMRT: intensity-modulated radiation therapy, SBRT: stereotactic body radiation therapy



2. ÁBRA. IMRT-terv vizsgálata a PTW Mephysto programmal; a) a besugarazott filmen megjelenő dóziseloszlás, b) a tervezőrendszerből exportált dózistérkép, c) vízszintes dózisprofil, d) függőleges dózisprofil; mért dózis – kék vonal, számolt dózis – piros vonal

zisteljesítmény- és energiafüggetlennek tekinthető MV-os fotonenergia-tartományban, tehát alkalmas sugárterápiás tervek ellenőrzésére, és a kalibrációt elég egy fotonenergiára elvégezni. Ha kilovoltos energián akarjuk használni, akkor új kalibráló sort kell felvenni [6–8].

Fekvő versus álló orientáció esetén a dózis növekedésével nő a dozimetriai eltérés is, ennek oka a polimer láncok elhelyezkedése, ugyanis különböző pozícióban máshogy verik vissza a lapolvasó lámpa fényét. Fontos, hogy következetesek legyünk az orientáció megválasztásakor. A gyártók [1] és a szakirodalom [9–11] is a fekvő (landscape) pozíciót javasolják, amit vizsgálatunk is igazolt [1. táblázat]. Ennek oka lehet a polimer láncok orientációján kívül még a szkener felületének változó érzékenysége, ezért ajánlott minden felhasználónak elvégezni a vizsgálatot, mivel különböző szkennereknek más-más lehet a szenzitivitása.

Különböző besugárzási technikájú tervek mért adatait hasonlítottunk össze a tervezőrendszerből exportált dóziseloszlással. Az általunk használt mindkét kiértékelő szoftver alkalmas a filmek kalibrálására, kiértékelésére, valamint a tervezőrendszerből exportált és a filmen kialakult dózistérképek összehasonlítására. A PTW Mephysto program esetében minden lépést külön modulban, külön mentéssel kell végezni. Elsőre átláthatóbb a kiértékelés folyamata, de időigényesebb. A FilmQA Pro-nál minden adatunkat, a kalibrálást, a dózistérképeket és az összeha-

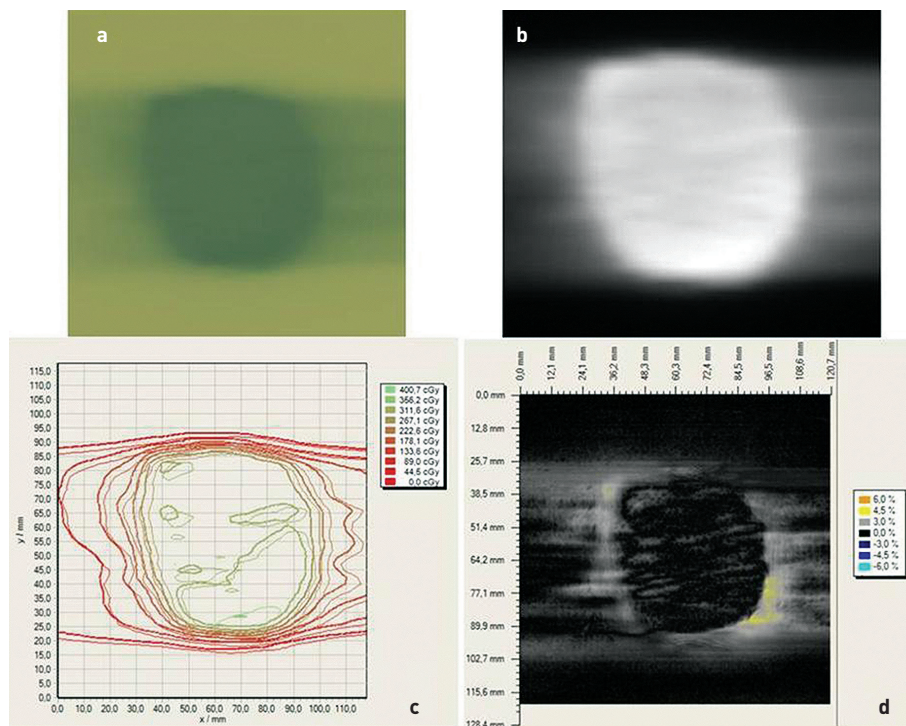
sonlítást mappás szerkezetben látjuk. Így minden könnyen áttekinthető, egy ablakon belül több elemzés is végezhető. A 2. táblázatban ismertetett gamma-index-értékek megfelelnek más publikációkban közölt eredményeknek [12–14]. Külön kiemelnénk, hogy a sztereotaxiás besugárzás dozimetriai ellenőrzésére kiválóan alkalmas ez a technika, mivel a film érzékenysége lehetővé teszi a kis mezők verifikálását is.

A nagy céltérfogatú tervek esetében rosszabb eredményeket kaptunk, mivel a film kis mérete miatt a céltérfogat alig fért rá a filmre, és ilyenkor megjelennek a széli hatások, ami a film szélén 4-5%-os hibát okoz. A kapott értékek meg-egyeznek Micke és munkatársai eredményeivel [5].

A filmek hátránya más detektorokkal szemben, hogy a mérés után közvetlenül nem lehet elvégezni az elemzést, mivel meg kell várni a polimerizációs folyamat végét, a sötétedési időt, ami legalább 24 óra (ez után is sötétedik, de nem jelentősen). Az önhívó film előnye a félvezető detektormátrixhoz képest, hogy jobb a térbeli felbontása, ami pontosabb gamma-analízist tesz lehetővé.

KÖVETKEZTETÉS

A két kiértékelő szoftvert összehasonlítva arra a következtetésre jutottunk, hogy a FilmQA Pro tört függvénnyel illesztett kalibrálós sorozata és több színcsatornás elemzője, amivel szétválasztja a filmet egy dózistérképre és hibaterképre,



3. ÁBRA. SBRT-terv FilmQA Pro szoftverrel történt elemzése; a) a filmen megjelenő dóziseloszlás, b) a tervezőrendszerből exportált dózistérkép, c) FilmQA Pro-val összehasonlított dóziseloszlás, d) hibaterkép

minden esetben jobb eredményt ad, mint a PTW Mephysto egycsatornás elemzése. Összességében megállapítható, hogy az önhívó film alkalmas a sugárterápiás tervek két-dimenziós ellenőrzésére, mivel nagy a felbontása, így kis

mezők esetében is pontos eredményt kapunk. Az önhívó filmek maximális mérete adott, ezért nagy céltérfogatok esetében, a film szélének inhomogenitása miatt nő a hibaszázalék például az IMRT- és a 3DCRT-tervek esetében.

IRODALOM

- Wayne NJ. GafChromic EBT3 scan handling guide, Ashland Advanced Materials, 2009
- Carrasco MA, Perucha M, Luis FJ, et al. A comparison between radiochromic EBT2 film model and its predecessor EBT film model. *Med Phys* 29:412–422, 2013
- Wayne NJ. GafChromic EBT2 product guide, Ashland Advanced Materials, 2009
- Xu LB. Commissioning of a GafChromic EBT film dosimetry protocol at Ionizing. Radiation Standards group of National Research Council, Medical Physics Unit, McGill University, Montreal, 2009
- Micke A, Lewis FD, Yu X, et al. Multichannel film dosimetry with nonuniformity correction. *Med Phys* 38:2523–2534, 2011
- Niroomand-Rad A, Blackwell CR, Coursey BM, et al. Radiochromic film dosimetry. Recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 55. *Med Phys* 25:2093–2115, 1998
- Huet C, Dagois S, Derreumaux S, et al. Characterization and optimization of EBT2 radiochromic films dosimetry system for precise measurements of output factors in small fields used in radiotherapy. *Radiation Measurements* 47:40–49, 2012
- Butson MJ, Yu PKN. Radiochromic film for medical radiation dosimetry. *Mater Sci Eng R* 41:61–120, 2003
- Arjomandy B, Taylor R, Anand A, et al. Energy dependence and dose response of Gafchromic EBT2 film over a wide range of photon, electron, and proton beam energies. *Med Phys* 37:1942–1947, 2010
- Saur S, Frengen J. GafChromic EBT film dosimetry with flatbed CCD scanner: a novel background correction method and full dose uncertainty analysis. *Med Phys* 35:3094–3101, 2008
- Chetmiński K, Bulski W, Georg D, et al. Energy dependence of radiochromic dosimetry films for use in radiotherapy verification. *Rep Pract Oncol Radiother* 15:40–46, 2010
- Ferreira BC, Lopes MC, Capela M. Evaluation of an Epson flatbed scanner to read Gafchromic EBT films for radiation dosimetry. *Phys Med Biol* 54:1073–1085, 2009
- Casanova Borca V, Pasquino M, Russo G, et al. Dosimetric characterization and use of Gafchromic EBT3 film for IMRT dose verification. *JACMP* 14:158–170, 2013
- Low DA, Dempsey JF. Evaluation of gamma dose distribution comparison method. *Med Phys* 30:2455–2464, 2003