

Ժամանակակից բժշկական էլեկտրոնային գծային արագացուցիչների որակի ապահովումը ճառագայթային թերապիայում

Պարույր Մ. Անտոնյան^{1,*}, Լուսինե Մ. Մուրադյան², Դիանա Մ. Մուրադյան³

¹«ԻՐԱ Մեդիքլ Գրուպ» բժշկական կենտրոն, Երևան, Հայաստան

²Վ.Ա. Ֆանարջյանի անվան Ուռուցքաբանության ազգային կենտրոն, Երևան, Հայաստան

³Երևանի Մ. Հերացու անվան պետական բժշկական համալսարան, Երևան, Հայաստան

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Աշխատանքում լուսաբանված են ժամանակակից էլեկտրոնային գծային արագացուցիչի որակի ապահովմանն առնչվող հարցերը: Նկարագրված են նորագույն բուժման տեխնոլոգիաների կիրառման ժամանակ անհրաժեշտ ստուգողական թեստերը՝ կախված կիրառվող բուժման մեթոդից: Ներկայացված են ոլորտում արդիական գրականության և միջազգային մասնագիտական ասոցիացիաների զեկույցները և

աղբյուրները: Հոդվածը կարող է հետաքրքրություն ներկայացնել և օգտակար լինել ճառագայթային թերապիայի ոլորտում ներգրավված մասնագետների՝ ճառագայթային ուռուցքաբանների, բժշկական ֆիզիկոսների, ինժեներների, ճառագայթային տեխնիկների, ասպիրանտների, օրդինատորների և այլ մասնագետների համար:

Հիմնաբառեր. ճառագայթային թերապիա, որակի ապահովում, նորագույն բուժման տեխնոլոգիաներ, թեստեր

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Վերջին սերնդի էլեկտրոնային գծային արագացուցիչները (ԷԳԱ), որոնք հագեցած են տեսապատկերման (վիզուալացման) օժանդակ սարքավորումներով և ինտեգրված հաշվարկային ծրագրերով, հնարավորություն են տալիս կիրառել ճառագայթային թերապիայի (ՃԹ) նորագույն տեխնոլոգիաներ, որոնց թվին են պատկանում փնջի ինտենսիվության մոդուլավորմամբ ռադիոթերապիան (Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT), փնջի ինտենսիվության մոդուլավորմամբ ռոտացիոն ճառագայթում (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT): Այս տեխնոլոգիաների կիրառման ընթացքում օգտագործվում են բազմաթերթ կոլիմատոր, ոչ համաչափ ճառագայթման դաշտեր, սեպաձև հարմարանքներ, ստերեոտաքսիկ համակարգեր և այլն: Հասկանալի է, որ նոր տեխնոլոգիաների

կիրառումը, առավել ևս ներդրումը կլինիկա կապված է մի շարք բարդությունների հետ: Նոր տեխնոլոգիաների ներդրման համար պահանջվում են բավականին մեծ ֆինանսական միջոցներ և փորձառու կադրեր (բժիշկներ, ադմինիստրատորներ, բժշկական ֆիզիկոսներ, ինժեներներ, տեղեկատվական ոլորտի մասնագետներ, ճառագայթային տեխնիկներ և այլն) աշխատանքային փուլերը ճիշտ կազմակերպելու և հետագա դժվարություններից կամ ֆորս-մաժորային իրավիճակներից խուսափելու համար: Օրինակ՝ սարքը արտադրող ընկերության մասնագետների կողմից սարքը տեղադրվել է կլինիկայում, կազմվել է համապատասխան ընդունման հանձնման ակտ, որ սարքը գտնվում է նորմալ աշխատանքային վիճակում և այն կարելի է շահագործել: Սակայն հետագայում պարզվում է, որ բացակայում է սարքի տեսապատկերման համակարգի ապահովման համակարգչային

*Կոնտակտային հեղինակ. parantonyan@gmail.com, +37493939879
10.54235/27382737-2023.v3.1-12. Published online: 30 November 2023

ծրագիրը (այն ուղղակի չի գնվել կլինիկայի կողմից): Խնդրահարույց է նաև մի շարք եզրույթների (տերմինների) կիրառումը, որոնք ներմուծվել են նորագույն բարձր տեխնոլոգիական սարքավորումներ արտադրող և մատակարարող ընկերությունների կողմից:

TG-40 ՉԵԿՈՒՅՑԸ

ԷԳԱ-ի որակի ստուգման աշխատանքային խումբը (Task Group, TG) ստեղծվել է Բժշկական ֆիզիկոսների ամերիկյան ասոցիացիայի (American Association of Physicists in Medicine, AAPM) գիտական խորհրդի կողմից՝ Ճառագայթային բուժման Կոմիտեի և Որակի ապահովման կատարելագործման ենթակոմիտեի ղեկավարությամբ: Խմբի առջև դրված է եղել երկու հիմնական նպատակ. թարմացնել ԷԳԱ-ի որակի ստուգման տվյալները հրատարակված TG-40 զեկույցում [1] և ավելացնել սարքավորումների ստուգման հետ կապված նոր առաջարկություններ, որոնք հազեցած են բազմաթերթ կոլիմատորով, դինամիկ և վիրտուալ սեպաձև ֆիլտրերով, անհամաչափ փականակներով և ներկառուցված տեսապատկերման համահարգերով: Աշխատանքային խումբը, ավարտելով TG-40 զեկույցի թարմացումը, սահմանեց նոր ստուգաչափական թեստեր և արժեքների թույլատրելի շեղումներ, ավելացրեց նոր առաջարկություններ ոչ միայն բուժման նորագույն տեխնոլոգիաների, այլև տեսապատկերման սարքավորումների համար, որոնք ներկառուցված են արագացուցիչ և դրա բաղկացուցիչ մասն են: Առցանց պատկերների ստացման սարքավորումները իրենց կազմում ներառում են ռենտգենյան տեսապատկերման, պորտալ և կոնաճառագայթային համակարգչային շերտագրության (Cone Beam Computed Tomography) սարքավորումները: Չեկույցում հաշվի են առնվել նաև ճառագայթման մեթոդների տարբերությունները, որոնք կարելի է կիրառել տարբեր սարքերի միջոցով: Օրինակ՝ ստերեոտաքսիկ ճառագայթման կամ IMRT-ի համար օգտագործվող սարքերը պահանջում են ստուգման տարբեր թեստեր և ունեն տվյալների թույլատրելի շեղման տարբեր արժեքներ: Ներկայացված են նաև առաջարկություններ «գործողությունների մակարդակի» վերաբերյալ՝ դիտարկում, սարքի պլանային ստուգում, կարգաբերում և այլն:

Չեկույցը հազեցած է նաև արժեքավոր ամենօրյա, ամենամսյա և տարեկան թեստերի նկարագրությամբ, բազմաթերթ կոլիմատորի, դինամիկ և վիրտուալ սեպերի, պատկերների որակի վերաբերյալ տեղեկատվությամբ: Անդրադարձ է կատարված նաև որակի երաշխիքի ապահով-

մանն ուղղված թիմի ստեղծման աշխատանքներին, մատնանշված են թիմի յուրաքանչյուր մասնակցի լիազորությունները և պարտականությունները, սահմանված է փաստաթղթերը վարելու կարգը և ձևը:

TG-40 զեկույցը հրատարակվել է դեռևս 1994թ. և ներառում էր առաջարկություններ ԷԳԱ-ի որակի ապահովման ընդհանուր թեստերի վերաբերյալ: Սակայն այս զեկույցի հրատարակումից ի վեր մշակվել և կլինիկա են ներդրվել բուժման նորագույն տեխնոլոգիաներ, որոնք կիրառվում են մինչ օրս: Այդ տեխնոլոգիաները ներառում են բազմաթերթ կոլիմատորի, անհամաչափ փականակների, դինամիկ և վիրտուալ սեպերի, պատկերների ստացման էլեկտրոնային պորտալ պատկերագրության համալիրներ (Electronic Portal Imaging Devices, EPID):

TG-40 զեկույցի հրատարակման հիմքում ընկած են եղել Ճառագայթման միավորների և չափումների միջազգային հանձնախմբի (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) առաջարկությունները [2] այն մասին, որ հիվանդի կողմից կլանված չափաբաժնի և բուժող բժշկի կողմից նշանակված բուժական չափաբաժնի թույլատրելի շեղումը պետք է ընկած լինի առավելագույնը $\pm 5\%$ -ի սահմաններում: ԷԳԱ-ի որակի ապահովման ծրագրի հիմնական նպատակն է երաշխավորել սարքի պարամետրերի (բնութագրիչների) կայունությունը և հետագա վերարտադրելիությունը: Այսինքն՝ սարքի պարամետրերը աննշան են շեղվում բազային արժեքներից, որոնք կարգաբերվել և ֆիքսվել են սարքի ընդունման և հանձման ժամանակ (accepting testing), ինչպես նաև սարքը հետագա կլինիկական շահագործման ընդունելիս (commissioning) [3]: Ներկայումս կան մի շարք հրատարակումներ, որոնցում մանրամասնորեն նկարագրված են վերոնշյալ գործընթացների իրականացման համար անհրաժեշտ թեստերը: Հաշվի են առնվել նաև Միջազգային էլեկտրատեխնիկական հանձնախմբի (International Electrotechnical Commission, IEC), Բժշկական ֆիզիկոսների ամերիկյան քոլեջի (American College of Medical Physics, ACMP) առաջարկությունները և դիտողությունները [4]:

Բազային մեծությունների մեծ մասը ներբեռնվում են բուժման պլանավորման եռաչափ համակարգ, որպեսզի բնութագրեն կամ մոդելավորեն ճառագայթման սարքը՝ անուղղակիորեն ազդելով հիվանդի բուժման պլանի վրա: Հետևաբար շեղումն այս բազային մեծություններից (թույլատրելի արժեքներից ավել) կազդի հիվանդների բուժման որակի և արդյունավետության վրա: Սարքի պարամետրերը կարող են շեղվել բազա-

յին արժեքներից շատ պատճառներով: Օրինակ՝ սարքի մեխանիկական խափանումներ, խափանված հանգույցների վերանորոգում կամ փոխարինում նորով, սարքի սխալ և ոչ օպտիմալ շահագործում, շահագործման ընթացքում սարքի դետալների աստիճանաբար մաշվածություն և այլն: Նշված պատճառները անհրաժեշտ է հաշվի առնել որակի ապահովման ծրագրի պահանջները պարբերաբար իրականացնելիս: Թեստերի իրականացման համար անհրաժեշտ է բարձր մասնագիտական որակավորում ունեցող թիմ՝ կազմված բժշկներից, բժշկական ֆիզիկոսներից, դոզիմետրիստներից, ինժեներներից (ճարտարագետներից)՝ իրենց պարտականությունների և լիազորությունների հստակ իմացությամբ: Սակայն ԷԳԱ-ի որակի ապահովման ծրագրի պատասխանատու պետք է նշանակվի մեկ անձ՝ բարձր որակավորում ունեցող բժշկական ֆիզիկոս:

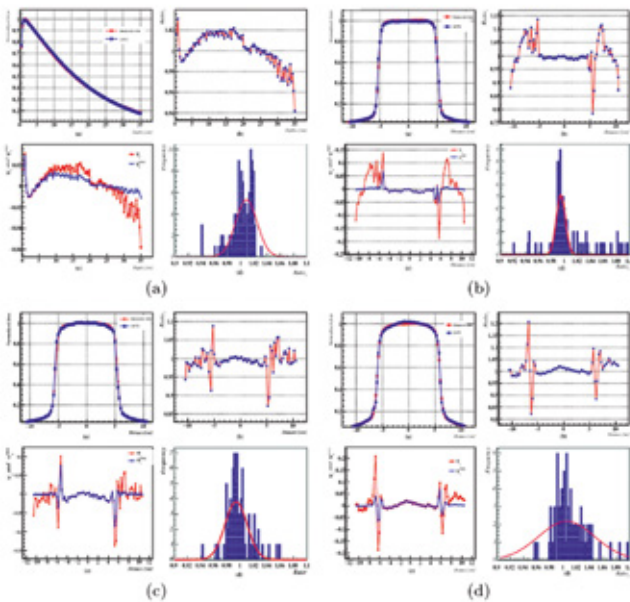
ԷԳԱ-ի որակի ապահովման ծրագրի հիմքը TG-40 գեկույցն է: Սակայն գեկույցի հրապարակումից հետո փոխվել են ոչ միայն սարքերի կառուցվածքը, այլև դրանց բուժական հնարավորությունները: Բստացվել են սարքերի տեխնիկական պարամետրերին և ճշգրտության ապահովմանը ներկայացվող պահանջները: ՃԹ յուրաքանչյուր մեթոդի կիրառման համար պետք է սահմանվի որակի ապահովման ծրագիր՝ ճառագայթման տվյալ մեթոդին համապատասխան:

ԷԳԱ-ի ՈՐԱԿԻ ԱՊԱՀՈՎՈՒՄԸ (TG-142 ԶԵԿՈՒՅՑ)

ԷԳԱ-ի որակի ապահովման ծրագրի առաջարկությունները ներկայացված են թարմացված TG-142 գեկույցում: Նոր գեկույցում ներկայացված առաջարկները ընդգրկում են թեստերի իրականացման ավելի լայն շրջանակ, ինչը պայմանավորված է սարքերի պարամետրերի և բուժման նորագույն մեթոդների ավելացմամբ: Թեստերը տարբերվում են նաև սարքավորումների համար՝ ելնելով IMRT կամ ստերեոտաքսիկ ճառագայթում իրականացնելու հնարավորությունից: Զեկույցում ներկայացված թեստերը ընդգրկում են սարքերի դոզիմետրիկ, մեխանիկական և անվտանգության համակարգերի մանրակրկիտ կարգաբերումը և ստուգաչափումը: Բացի թվարկածներից ավելացվել են նաև թեստեր բուժման այլ մեթոդների համար: Օրինակ՝ շնչառական շարժումների սինքրոնացումը, անհամաչափ փականակների, էլեկտրոնային փնջերով մաշկի ամբողջական ճառագայթումը և այլն: Ներդրվել են նաև լրացուցիչ թեստեր՝ դինամիկ, վիրտուալ և ունիվերսալ սեպերի, բազմաթերթ կոլիմատորի և տեսապատկերման համալիրների համար: Զեկույցի հեղինակները համակարծիք են, որ բոլոր նշված թեստերի իրականացումը անհրաժեշտ է հիվանդների բարձրակարգ և անվտանգ բուժում ապահովելու համար: Օրինակ՝ սեպի դիրքի ճշգրիտ տեղակայման թույլատրելի շեղման արժեքը ամսական չափումների ժամանակ պետք է ընկած լինի 2 մմ միջակայքում: Դրանից ավելի շեղումը կարող է հանգեցնել նշված խրորության պարագայում 2-3%-ով բուժական չափաբաժնի բաշխման շեղման [5,6]:

Փնջի պրոֆիլի կայունությունը կարևոր ցուցանիշ է նշանակված բուժական չափաբաժինը հիվանդին ճշգրիտ հասցնելու համար: Բուժական փնջի որակը որոշվում է երկու գործոններով՝ փնջի համաչափությամբ (symmetry) և փնջի ողորկությամբ (flatness) (նկ. 1):

Թարմացված տվյալներով պրոֆիլի ձևի կայունության համար թույլատրելի սահմանային արժեքները սահմանվում են՝ բուժական փնջի կենտրոնական առանցքից դուրս գտնվող գործակիցների արժեքներից ելնելով (Off-axis Factors, OAF), որոնք չափվում են սարքը կլինիկական շահագործման ընդունելուց առաջ՝ կլինիկայի բժշկական ֆիզիկոսի և սարքը մատակարարող ընկերության մասնագետի կողմից: Հետագայում կատարված չափումները համեմատվում են այս մեծության հետ: Այս մեծության շեղումը բազային արժեքից պետք է ընկած լինի 2%-ի սահմաններում:



Նկար 1. Փնջի պրոֆիլի համաչափությունը և ողորկությունը. այս երկու պարամետրերով է պայմանավորված բուժական փնջի որակը: Փնջի ողորկությունը ուղղահայաց (a) հարթությամբ և հորիզոնական (b) հարթությամբ: Փնջի համաչափությունը ուղղահայաց (c) և հորիզոնական (d) հարթությամբ:

ՀՍԿՄԱՆ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

ԷԳԱ-ի որակի ապահովման ստուգման թեստերը հիմնականում բաժանվում են երեք խմբի՝ ամենօրյա, ամենամսյա և տարեկան: Ամենօրյա կամ շաբաթական թեստերը ներառում են այն մեծությունները, որոնք կարող են անմիջական ազդեցություն ունենալ բուժական չափաբաժնի մեծության և հզորություն վրա, ինչպես նաև փնջի երկրաչափական բնութագրիչները (լազերներ, օպտիկական հեռաչափ, դաշտի չափ): Ամենօրյա թեստերի ընթացքում ստուգվում են տեսաձայնագրող համակարգ, դոզերի արգելափակիչներ և պորտալ սարքավորումներ: Այս թեստերը կատարվում են առավոտյան սարքը միացնելիս:

Ամենամսյա թեստերը ներառում են այն մեծությունների ստուգումը, որոնց փոփոխման հավանականությունը ամսվա ընթացքում փոքր է (սարքի բուժասեղանի, փնջի պրոֆիլի ստուգում): Ամենամսյա թեստերին ավելացվել են նաև թեստեր՝ շնչառական շարժումների սինքրոնացման համակարգի և պորտալ սարքավորումների գնահատման հետ կապված: Այս թեստերը բավականին բարդ են և պետք է իրականացվեն փորձառու բժշկական ֆիզիկոսների և ինժեներների կողմից:

Տարեկան ստուգումները թեստերի շարք են, որոնք իրականացվում են սարքը կլինիկական շահագործման ընդունելուց առաջ (ընդունում-հանձնում): Այդ թեստերի ընթացքում ստուգվում են այն մեծությունները, որոնք բազային են: Ստուգումից հետո բազային արժեքները անհրաժեշտության դեպքում թարմացվում, փոփոխվում կամ մնում են անփոփոխ: Ժամանակին տարվել են աշխատանքներ ստուգաչափական թեստերի իրականացման պարբերականության հետ կապված՝ համակարգված և ստանդարտացված մեխանիզմներ մշակելու համար, սակայն տարիների փորձը ցույց տվեց, որ դա անհրաժեշտ է և կապված մի շարք դժվարությունների հետ: Օրինակ՝ կլինիկայի մարդկային և ֆինանսական ոչ բավարար ռեսուրսները, աշխատանքի մեծ ծավալը, ժամանակի սղությունը, որակյալ կադրերի պակասը և այլն: Ելնելով վերը նշվածից կարելի է սահմանել թեստերի իրականացման պարբերականությունը և կիրառել այլ մեթոդաբանություն՝ ելնելով տվյալ կլինիկայի առանձնահատկություններից և ռեսուրսներից:

ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ ՇԵՂՄԱՆ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՍԿԶՐՈՒՆՔԸ

Թույլատրելի շեղման կամ սահմանային արժեքները, որոնք նշված են TG-40 զեկույցում, վերցվել են AAPM 13 զեկույցից: Այս արժեքները ըն-

տրված են այնպիսի սկզբունքով, որպեսզի դոզիմետրիկ պարամետրերի գումարային շեղման արժեքը ընկած լինի $\pm 5\%$ -ի սահմաններում, իսկ տարածական շեղման արժեքները՝ 5 մմ սահմաններում: Այս զեկույցում նշված պարամետրերը կատարելագործվել են՝ ելնելով սարքավորումների տեխնիկական և կառուցվածքային առանձնահատկություններից և բուժման մեթոդներից: Օրինակ՝ ստերեոտաքսիկ ճառագայթման համար տարածական շեղման թույլատրելի արժեքը պետք է ընկած լինի 1 մմ սահմաններում:

ՍՏԱՆԴԱՐՏ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՆՈՆԱԿԱՐԳԸ ՍԱՐՔԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ-ՀԱՆՁՆՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ

Կլինիկական շահագործումից առաջ տեղի է ունենում սարքի ընդունման-հանձման գործընթացը, որը նախատեսված է կլինիկայի և սարքը մատակարարող ընկերության հետ կնքված պայմանագրի համաձայն: Ընկերության ներկայացուցիչը պետք է փորձարկի սարքը, ցույց տա հաճախորդին, որ սարքը գտնվում է բնականոն աշխատանքային վիճակում և աշխատում է սարքի տեխնիկական փաստաթղթերում նշված պահանջներին համապատասխան: Կլինիկական շահագործումից առաջ կատարվում են մի շարք չափումներ դոզիմետրիկ և մեխանիկական պարամետրերի արժեքները որոշելու համար: Ստացված մեծությունները համարվում են բազային: Հետագայում կատարված չափումների արժեքները համեմատվում են այս բազային մեծությունների հետ:

ԲԱԶԱՅԻՆ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ԿԱՍ ՄԵԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ

Սարքն ընդունելուց հետո (acceptance testing) սկսվում է սարքը կլինիկական շահագործման հանձնելու փուլը (commissioning), որի ընթացքում սահմանվում են և սարքի կառավարման համակարգի մեջ ներբեռնվում են բուժական փնջի հիմնական բնութագրիչները (փնջի էներգիան, չափաբաժնի հզորությունը, երկրաչափական բնութագրիչները և այլն), որոնք անհրաժեշտ են կլինիկական շահագործման համար: Այս մեծությունները համարվում են ~ ! թերությունները, որոնք դեռ չեն դարձել կրիտիկական և տեսանելի: Նշված գործոնների պարագայում հիվանդների բուժումը կարելի է շարունակել, սակայն թերությունները հետագայում պետք է վերացվեն:

► **Մակարդակ 2.** Պլանային գործողություններ: Բերենք երկու օրինակ, որոնց առկայության դեպքում անհրաժեշտ է կատարել պլանավոր-

ված գործողություններ: Օրինակ՝ ստացված արժեքները շատ մոտ են կամ հավասար են թույլատրելի շեղման արժեքներին: Անհրաժեշտ է 1-2 օրվա ընթացքում կատարել սարքի տեխնիկական սպասարկում, բուժումը կարելի է շարունակել: Հաջորդ օրինակը՝ ստացված արժեքները փոքր ինչ գերազանցում են սահմանված թույլատրելի շեղման արժեքները: Բուժումը կարելի է շարունակել, բայց 1-2 աշխատանքային օրվա ընթացքում պետք է պարզել անսարքության պատճառը և վերացնել թերությունը:

► **Մակարդակ 3.** Անհապաղ գործողություններ: Այս ընթացքում դադարեցվում է հիվանդների բուժումը: Պետք է պարզել անսարքության պատճառը, հարկ եղած դեպքում կապվել սարքը մատակարարող կամ սպասարկող ընկերության մասնագետների հետ: Այդ անսարքությունների թվին են պատկանում չափաբաժնի արժեքի մեծ շեղումը, սարքի որոշ հանգույցների խափանումը և այլն:

ՉԱՓՄԱՆ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅՈՒՆԸ, ՎԵՐԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ընդհանրապես ցանկացած տեսակի չափում իրականացնելիս ստացված տվյալների ճշգրտությունը կախված է նաև օգտագործվող տեխնիկայից, չափող սարքերի ճիշտ կարգաբերումից և մարդկային գործոնից:

► Չափման անորոշությունը կախված է չափման վերջնական արդյունքի շեղումից՝ բազային արժեքների հետ համեմատած:

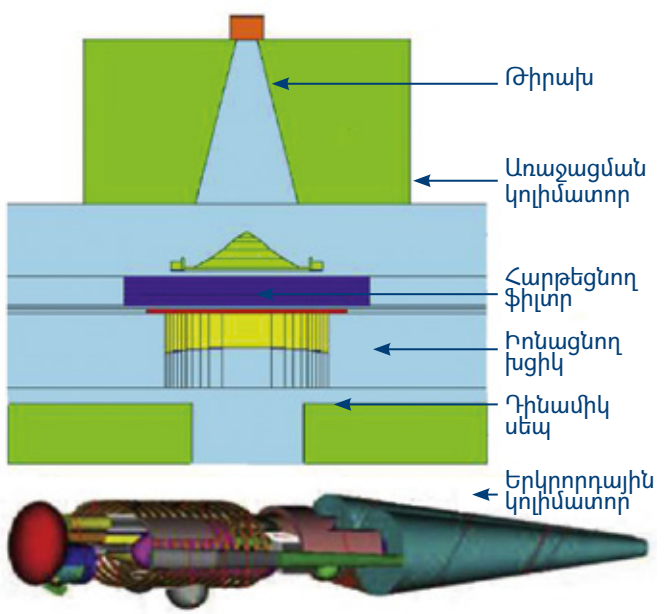
► Չափման արդյունքների վերարտադրելիությունը վիճակագրական տվյալ է: Այսինքն՝

երբ պարբերաբար կատարվում են որոշակի քանակով չափումներ և սարքի հետ փոփոխություններ չեն կատարվել, ապա չափվող արժեքների թվաբանական միջինից շեղումը կլինի ստանդարտ մեծություն՝ չափումները հետագայում կրկնելիս:

► Չափումների ճշգրտությունը պայմանավորված է չափման ընթացքում օգտագործվող չափող սարքերի թույլատրելիության սանդղակի հատկություններից: Օրինակ՝ դոզաչափը իոնացնող խցիկի հետ միասին ունի չափման 0,01% ճշգրտություն: 10 չափում կատարելու դեպքում տվյալների վերարտադրման շեղումը միջին արժեքից կլինի 0,05%, իսկ չափման անորոշությունը չափաբաժնի բացարձակ արժեքի համար կկազմի 1,5%:

ԴԻՆԱՄԻԿ ՎԻՐՏՈՒԱԼ ԵՎ ՈՒՆԻՎԵՐՍԱԼ ՍԵՊԵՐ

Նախքան ճառագայթման կատարելագործված IMRT մեթոդի ի հայտ գալը փնջի մոդուլավորումը ճառագայթման ընթացքում իրականացվում էր համակարգչի կողմից, որը ղեկավարում էր էկրանավորող փականակի շարժումը: Այս տեխնոլոգիաները առաջին անգամ ներդրվել և պրակտիկ կիրառում են գտել կլինիկայում Վարիան (Varian) և Սիմենս (Siemens) ընկերությունների կողմից: Մի շարք տպագրված աշխատանքներում [4,7], որոնք առընչվում է փականակի դրիքի ճշգրտությանը դինամիկ սեպերի պարագայում, ցույց է տրված, որ փականակի դրիքի փոքր շեղումները կարող են էապես ազդել սեպի գործակցի մեծության վրա [5,6,8,9]: Աշխատանքներում բոլոր հեղինակները



Նկար 2. Դինամիկ սեպ:

տալիս են որոշակի առաջարկություններ՝ սեպաձև դաշտերի ստեղծման հետ կապված՝ փականակի շարժման միջոցով [10]: Արված են առաջարկություններ վիրտուալ սեպերի համար: Վերը նշված աշխատանքներում նկարագրված են մի շարք թեստեր՝ սեպերի ճշգրիտ աշխատանքի և դիրքի ստուգման հետ կապված (նկ. 2):

ԲԱԶՄԱԹԵՐԹ ԿՈԼԻՄԱՏՈՐ

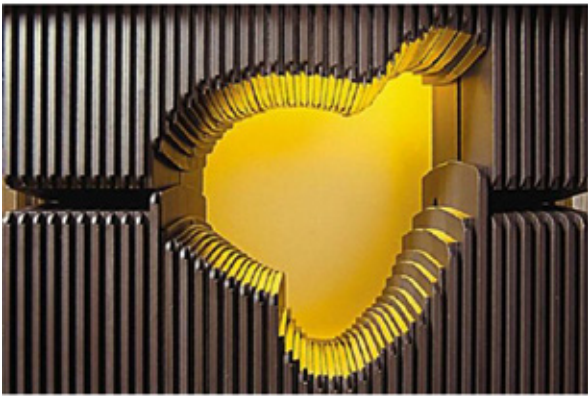
Բազմաթերթ կոլիմատորի կիրառման սկզբնական շրջանում թույլատրելի շեղման սահմանները նկարագրված էին միայն Varian ընկերության արագացուցիչների համար [11,12]: Փոքրինչ ուշ նկարագրվեցին բազմաթերթ կոլիմատորի բնութագրիչները Էլեկտա (Elekta) [13] և Siemens [14] ընկերության արագացուցիչների համար: 1998 թ. AAPM-ը ձևավորեց աշխատանքային խումբ TG-50 [15]՝ բազմաթերթ կոլիմատորի որակի ապահովման ծրագրի հետ կապված: Սակայն նշված հրապարակման մեջ տրված չէին բազմաթերթ կոլիմատորի առանձնահատկությունները, որոնք կիրառվում են ճառագայթման ինտենսիվության մոդուլավորմամբ: Հետագա հրապարակումներում նկարագրվեցին թեստերը բազմաթերթ կոլիմատորի համար, ինչպես նաև դրանց իրականացման համար անհրաժեշտ գործիքակազմը [16-18]:

Մի շարք բնութագրիչներ, որոնք ազդում են չափաբաժնի վրա հատկապես IMRT-ի ընթացքում, ներառում են թերթիկների դիրքի ճշգրտությունը և չափաբաժնի թողունակության մեծությունը: Պարզ թեստերը, օրինակ՝ «picket fence» (ցանկապատնեշային) թեստը, հնարավորություն են տալիս գնահատել թերթիկների դիրքավորման ճշգրտությունը՝ տարբեր սեգմենտների վերադրման միջոցով, ինչպես նաև չափաբաժնի թողունակության մեծությունը թերթիկների միջև: Ցանկապատնեշային թեստը խորհուրդ է տրվում կատարել շաբաթը մեկ անգամ՝ ճառագայթման ընթացքում ստացված ռենտգենյան պատկերների մանրակրկիտ ուսումնասիրության ընթացքում, որոնք ստացվում են պորտալ տեսապատկերման սարքերի միջոցով: Ամսական թեստերի ընթացքում խորհուրդ է տրվում ԷԳԱ-ի ճառագայթման գլխիկի թեքումով ստուգել թերթիկների դիրքի ճշգրտությունը՝ հաշվի առնելով բնական գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը: Բազմաթերթ կոլիմատորի թերթիկների շարժման արագության փոփոխությունը կարող է հանգեցնել ճառագայթման դաշտի երկրաչափական պարամետրերի փոփոխության [19]: Կոլիմատորի շարժման արագությունը ֆիքսվում է հիմնականում հատուկ ծրագրերի միջոցով կամ նշված է սարքի տեխ-

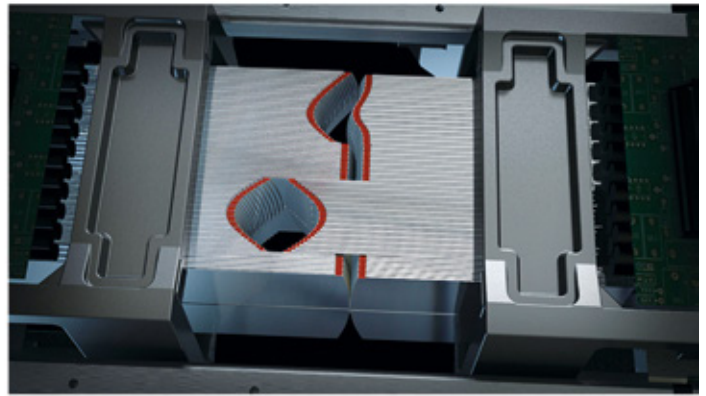
նիկական փաստաթղթերում: Օրինակ՝ Varian ընկերությունը այդ նպատակի համար առաջարկում է գործիքակազմ [7,20], որի միջոցով ծրագիրը վերցնում է տվյալներ և այդ տվյալների հիման վրա ստեղծում է աղյուսակներ, գրաֆիկներ և սխալների հիստոգրամ, որը ցույց է տալիս բոլոր թերթիկների դիրքի շեղումները, ինչպես նաև հնարավորություն է տալիս գնահատել միջին քառակուսային շեղումը: ԷԳԱ արտադրող ընկերությունների կողմից ընդունելի է համարվում, եթե թերթիկների 95%-ի մոտ շեղումը ընկած է 0.25-0.35 սմ միջակայքում, իսկ առավելագույն միջին քառակուսային շեղումը յուրաքանչյուր թերթիկի համար չի գերազանցում 0.35 սմ: Տարեկան թեստի ընթացքում խորհուրդ է տրվում էլ ավելի մանրակրկտորեն ուսումնասիրել բազմաթերթ կոլիմատորի թերթիկների թողունակության մեծության քանակական փոփոխությունը՝ պորտալ տեսապատկերման համակարգերի միջոցով [21,22]: Թերթիկների դիրքի ճշգրտության վերաբերյալությունը և դրանց միակցումը («spoke shot»՝ ճաղային կադրի թեստ), ճառագայթային և լուսային դաշտերի համընկնման հետ կապված թեստերը նախատեսված են բազմաթերթ կոլիմատորի ճշգրիտ դիրքավորումը գնահատելու համար: ԷԳԱ արտադրող ընկերությունների կողմից սահմանված է նաև թերթիկների, շարժիչների փոփոխման ժամանակացույցը՝ կախված բազմաթերթ կոլիմատորի տեսակից: Հետևաբար սարքը սպասարկող ինժեներները և բժշկական ֆիզիկոսները պետք է տիրապետեն անհրաժեշտ տեղեկատվությանը՝ աշխատանքները ժամանակին և հավուր պատշաճի կատարելու համար (նկ. 3):

ՄԱՐՄՆԻ ԵՎ ՄԱՇԿԻ ԱՄԲՈՂՋԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՓՆՋԵՐՈՎ

Թե՛ մարմնի, թե՛ մաշկի ամբողջական ճառագայթման որակի ապահովման թեստերը բնութագրվում են մի շարք մեծությունների որոշմամբ, որոնք անհրաժեշտ է հաշվարկել նախքան մեթոդի կլինիկական կիրառումը: Մարմնի ամբողջական ճառագայթման ժամանակ կիրառվում են մեծ դաշտեր ամբողջ մարմինն ընդգրկելու համար: AAPM-ի զեկույցում մանրամասնորեն նկարագրված են մարմնի ամբողջական ճառագայթման մեթոդները [23]: Ջեկույցում նկարագրված են ֆանտոմային դոզիմետրիան և դոզիմետրիկ տվյալների արժեքները: Այս մեթոդի հիմնական առանձնահատկություններն են չափաբաժնի հզորության հատուկ ռեժիմը և սարքի ճառագայթման գլխիկից մինչև թիրախ ընկած մեծ հեռավորությունը: Մեթոդի



VARIAN LINAC MLC



ELEKTA LINAC MLC

Նկար 3. Բազմաթերթ կոլիմատոր (Multileaf Collimator, MLC):

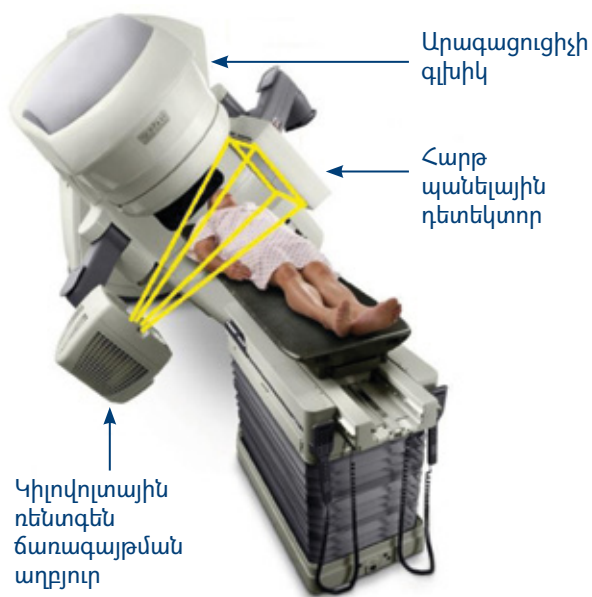
կիրառման ընթացքում կարող են օգտագործվել նաև ճառագայթման փնջի վերափոխիչներ:

Մաշկի ամբողջական ճառագայթումը էլեկտրոններով սովորաբար իրականացվում է 3-7 ՄէՎ էլեկտրոնային փնջերով: Մեթոդը մանրամասնորեն նկարագրված է AAPM-ի TG-30 զեկույցում, որտեղ մանրամասնորեն նկարագրված են ինչպես բուն մեթոդը, այնպես էլ դոզիմետրայի հետ կապված դժվարությունները [24]:

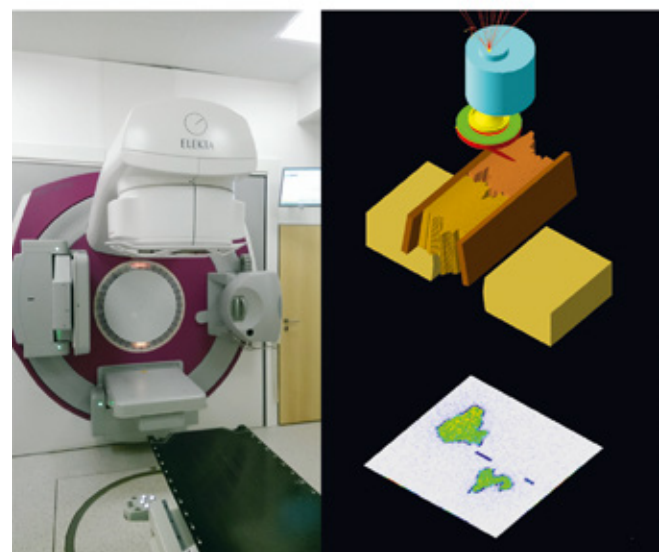
ՏԵՍԱՊԱՏԿԵՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԸ

Ժամանակակից տեսապատկերման համակարգերը ներկառուցված են բժշկական էԳԱ-ի մեջ և կազմում են դրա անբաժանելի մասը: Տեսապատկերման յուրաքանչյուր համակարգ (երկչափ՝ 2D, թե եռաչափ՝ 3D) ունի սեփական կորդինատային համակարգը՝ դասականին նման, որը կիրառվում է ճառագայթման ընթացքում: Որպես կանոն, տեսապատկերման ընթացքում ստացված պատկերների կորդինատները վե-

րադրվում են ճառագայթիչի կորդինատների հետ և այս դեպքում շատ կարևոր է այդ կորդինատների ճշգրիտ համընկնումը: Տեսապատկերման համակարգերի հետ կապված որակի ապահովման թեստերը իրականացվում են ֆանտոմի օգնությամբ՝ կորդինատների արժեքի հայտնի շեղմամբ: TG-104 զեկույցում ներկայացված են կիլովոլտային տեսապատկերման համակարգերի կլինիկական կիրառմանը առնչվող հարցեր, սակայն հստակ մատնանշված չեն թույլատրելի շեղման սահմանները [25]: Կիլովոլտային պատկերների ստացման հիմնական նպատակը ճառագայթային ուռուցքաբանության ոլորտում ճառագայթվող թիրախի տեղակայման ճշգրիտ որոշումն է: Այստեղ կարևոր է նաև տարբեր անատոմիական կառույցների (հյուսվածքների) ճշգրիտ տեղակայման որոշումը: Ընդհանրապես պատկերների լավ որակը հնարավորություն է տալիս բավականին ճշգրիտ զանազանել տարբեր անատոմիական կառույցները, սակայն լավ



Նկար 4. Պատկերագրության էլեկտրոնային պորտալ համակարգ (Electronic Portal Imaging Device, EPID):



Նկար 5. Տեսապատկերման կոնաճառագայթային համակարգ (Cone-Beam Computed Tomography Systems, CBCT):

պատկերներ ստանալու համար պահանջվում է բավականին մեծ չափաբաժին:

Պորտալ պատկերներ. Էլեկտրոնային պորտալ համակարգերի կիրառման հետ կապված հարցերը քննարկվել են TG-58 [26] զեկույցում և լայնորեն լուսաբանվել են տարբեր հրապարակումներում [27-32]: Պորտալ համակարգերի որակի ապահովման ստուգման և գնահատման համար մշակվել են մի շարք թեստեր: Սակայն ընտրված թեստի մանրամասն նկարագրությունը և ընթացակարգը անհատական է՝ կախված պորտալ համակարգի տիպից: Օրինակ՝ ստացվող պորտալ պատկերների որակի կախվածությունը չափաբաժնի հզորությունից, էներգիայից և կարգաբերման հեռավորությունից: Հարկ է նշել, որ պատկերների որակի ստուգումը պետք է իրականացվեն կարգաբերման բոլոր ռեժիմների և էներգիաների համար, որոնք օտագործվում են նշված պատկերների ստացման համար: (նկ. 4)

Կիլովոլտային պատկերներ. Կիլովոլտային պատկերների ստացման համակարգերի որակի ապահովման ծրագիրը առնչվում է հիմնականում 2D ռենտգենյան պատկերների հետ: Վերջիններիս կիրառումը շատ արդյունավետ է հատկապես ոսկրային հյուսվածքների և բարձր խտության կառույցների դիտարկման համար: Այս մեթոդը բավականին հարմարավետ է, քանզի արագ է և պահանջվում է փոքր չափաբաժնի ստեղծած պատկերների ստացման համար:

Հաջորդական և կոնաճառագայթային համակարգչային շերտագրություն. Տեսապատկերման այս համակարգերը հիմնականում կիրառվում են ճառագայթվող թիրախի դիրքը որոշելու համար, ինչպես նաև տալիս են բավականին լայն տեղեկատվություն փափուկ հյուսվածքների և դրանց ծավալի մասին: Այս համակարգերը հնարավորություն են տալիս իրականացնել պատկերների վերակառուցում եռաչափ հարթության մեջ, ինչն էլ հանդիսանում է որակի ապահովման հիմնական պարամետրերից մեկը: Այստեղ հարկ է ուշադրություն դարձնել մի շարք կարևոր պարամետրերի վրա: Օրինակ՝ կոնտրաստը, դետեկտորների աղմուկը, համասեռությունը և տարածական թույլատրելիությունը: Համակարգերի կարգաբերման ուղեցույցը և հաճախությունը սովորաբար նշվում են սարքի տեխնիկական փաստաթղթերում, և օգտագործողները պետք է ճշգրիտ հետևեն այդ ուղեցույցներին: Քանի որ տեսապատկերման համակարգերը հաճախակի են օգտագործվում (որոշ տեղակայումների դեպքում նույնիսկ ամենօրյա ռեժիմով), ապա հարկ է գոնե տարին մեկ անգամ կատարել ուղղակի դոզիմետրիկ չափումներ չա-

փաբաժնի հզորությունը և փնջի որակը գնահատելու համար (նկ. 5):

ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՄԵԹՈՂՆԵՐԸ ՇՆՀԱՌԱԿԱՆ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԻ ՍԻՆՔՐՈՆԱՑՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՍ

Ճառագայթման մեթոդը շնչառական շարժումների սինքրոնացման պայմաններում անընդհատ զարգանում և կատարելագործվում է, հետևաբար, դրան զուգահեռ կատարելագործվում և փոփոխվում են որակի երաշխիքի թեստերը: TG-76 զեկույցում նկարագրված են ճառագայթման այս մեթոդի (respiratory gating) իրագործման հետ կապված բոլոր անհրաժեշտ գործողությունները, այդ թվում՝ անհրաժեշտ սարքավորումները, առցանց պատկերների ստացումը [33]: Ներկայացված են որակի ապահովման ծրագրի հետ կապված առաջարկություններ՝ ելնելով ճառագայթման առանձնահատկությունից: Թեև գոյություն ունեն ճառագայթման նշված մեթոդի իրականացման տարբեր եղանակներ, հիմնական պահանջը մեկն է՝ ճառագայթահարող փնջի սինքրոնացում հիվանդի շնչառական ցիկլի հետ: Թեստերի միջոցով ստանում են փնջի բնութագրիչները շնչառական շարժումների սինքրոնացման պայմաններում՝ նախքան բուժումը սկսելը: Թեստերը հիմնականում իրականացվում են դինամիկ ֆանտոմների միջոցով, որոնք մոդելավորում են օրգանների շարժումը շնչառական ակտի ժամանակ:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Շարադրվածից ակնհայտ է, որ ժամանակակից բարձր տեխնոլոգիական ճՐԹ-ն անհնար է իրագործել առանց պատշաճ և համապարփակ որակի ապահովման ծրագրի: Որակի ապահովումը ժամանակակից ճՐԹ-ում հնարավորություն է տալիս ապահովել չարորակ նորագոյացություններով հիվանդների բուժման առավելագույն արդյունավետություն՝ խուսափելով ճառագայթային վթարներից և այլ կողմնակի երևույթներից: Առաջարկվում է ստեղծել միասնական բարձր որակավորում ունեցող մասնագիտական թիմ, որակի ապահովման, ճՐԹ-ում հեռակա ռազմավարական փուլային քայլերի մշակման և անընդհատ կատարելագործման համար: Որակի ապահովմանն առնչվող փաստաթղթերը պետք է հասանելի լինեն թիմի բոլոր անդամներին, ինչպես էլեկտրոնային, այնպես էլ թղթային տարբերակով: Անհրաժեշտ է նաև հստակեցնել թիմում ընդգրկված անդամների պարտականությունների և լիազորությունների սահմանները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M et al. Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med Phys.* 1994;21:581-618
2. ICRU-24. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X- or Gamma-rays in radiotherapy procedures. *Int Comm Radiat Units Meas.* 1976;24
3. Nath R, Biggs PJ, Bova FJ, et al. AAPM code of practice for radiotherapy accelerators: report of AAPM Radiation Therapy Task Group No. 45. *Med Phys.* 1994;21:1093-121
4. Das IJ, Cheng CW, Watts RJ et al. Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM. *Med Phys.* 2008;35(9):4186-215
5. Klein EE, Low DA, Maag D, Purdy JA. A quality assurance program for ancillary high technology devices on a dual-energy accelerator. *Radiother Oncol.* 1996;38(1):51-60
6. Liu C, Zhu TC, Palta JR. Characterizing output for dynamic wedges. *Med Phys.* 1996;23(7):1213-8
7. Venencia CD, Besa P. Commissioning and quality assurance for intensity modulated radiotherapy with dynamic multileaf collimator: experience of the Pontificia Universidad Católica de Chile. *J Appl Clin Med Phys.* 2004;5(3):37-54
8. Liu C, Li Z, Palta JR. Characterizing output for the Varian enhanced dynamic wedge field. *Med Phys.* 1998;25(1):64-70
9. Beavis AW, Weston SJ, Whitton VJ. Implementation of the Varian EDW into a commercial RTP system. *Phys Med Biol.* 1996;41(9):1691-704
10. Zhu XR, Gillin MT, Jursinic PA et al. Comparison of dosimetric characteristics of Siemens virtual and physical wedges. *Med Phys.* 2000;27(10):2267-77
11. Klein EE, Harms WB, Low DA et al. Clinical implementation of a commercial multileaf collimator: dosimetry, networking, simulation, and quality assurance. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1995;33(5):1195-208
12. Galvin JM, Smith AR, Moeller RD, et al. Evaluation of multileaf collimator design for a photon beam [published correction appears in *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992;24(3):579]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1992;23(4):789-801
13. Jordan TJ, Williams PC. The design and performance characteristics of a multileaf collimator. *Phys Med Biol.* 1994;39(2):231-51
14. Das IJ, Desobry GE, McNeeley SW et al. Beam characteristics of a retrofitted double-focused multileaf collimator. *Med Phys.* 1998;25(9):1676-84
15. Boyer A, Biggs P, Galvin J et al. Basic Applications of Multileaf Collimators. Report of Task Group No. 50. Radiation Therapy Committee. 2001. https://aapm.org/pubs/reports/RPT_72.pdf. Accessed: January 6, 2023
16. Bayouth JE, Wendt D, Morrill SM. MLC quality assurance techniques for IMRT applications. *Med Phys.* 2003;30(5):743-50
17. Graves MN, Thompson AV, Martel MK et al. Calibration and quality assurance for rounded leaf-end MLC systems. *Med Phys.* 2001;28(11):2227-33
18. Boyer AL, Li S. Geometric analysis of light-field position of a multileaf collimator with curved ends. *Med Phys.* 1997;24(5):757-62
19. Losasso T. IMRT delivery performance with a varian multileaf collimator. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2008;71(1S):S85-8
20. Stell AM, Li JG, Zeidan OA, Dempsey JF. An extensive log-file analysis of step-and-shoot intensity modulated radiation therapy segment delivery errors. *Med Phys.* 2004;31(6):1593-602
21. Samant SS, Zheng W, Parra NA et al. Verification of multileaf collimator leaf positions using an electronic portal imaging device. *Med Phys.* 2002;29(12):2900-12
22. Mamalui-Hunter M, Li H, Low DA. MLC quality assurance using EPID: a fitting technique with subpixel precision. *Med Phys.* 2008;35(6):2347-55
23. Dyk J Van, Galvin JM, Glasgow GP, Podgorsak EB. The physical aspects of total and half body photon irradiation. A report of Task Group 29 Radiation Therapy Committee. AAPM. 1986
24. Karzmark CJ, Anderson J, Buffa A, et al. Total skin electron therapy: technique and dosimetry report of Task Group 30 Radiation Therapy Committee. AAPM. 1987
25. The Role of In-Room kV X-Ray Imaging for Patient Setup and Target Localization Report of AAPM Task Group 104. 2009
26. Herman MG, Balter JM, Jaffray DA, et al. Clinical use of electronic portal imaging: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58. *Med Phys.* 2001;28(5):712-37
27. Low DA, Klein EE, Maag DK et al. Commissioning and periodic quality assurance of a clinical electronic portal imaging device. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1996;34(1):117-23
28. Rajapakshe R, Luchka K, Shalev S. A quality control test for electronic portal imaging devices. *Med Phys.* 1996;23:1237-44
29. Boyer AL, Antonuk L, Fenster A, et al. A review of electronic portal imaging devices (EPIDs). *Med Phys.* 1992;19(1):1-16
30. Herman M, Kruse J, Hagness C. Guide to clinical use of electronic portal imaging. *J Appl Clin Med Phys.* 2000;1(2):38-57
31. Jaffray DA, Siewerdsen JH, Wong JW, Martinez AA. Flat-panel cone-beam computed tomography for image-guided radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2002;53(5):1337-49
32. Pouliot J, Bani-Hashemi A, Chen J et al. Low-dose megavoltage cone-beam CT for radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2005;61(2):552-60
33. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM et al. The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76. *Med Phys.* 2006;33(10):3874-900

Quality assurance of new generation linear accelerators in radiation therapy

Paruyr M. Antonyan¹, Lusine M. Muradyan²,
Diana M. Muradyan³

¹“IRA Medical Group” Medical Center, Yerevan, Armenia

²Fanarjyan National Center of Oncology, Yerevan, Armenia

³Heratsi Yerevan State Medical University, Yerevan, Armenia

ABSTRACT

This paper covers the issues related to the quality assurance of new generation linear accelerators. The required tests which are used in modern treatment technologies are described. Up-to-date literature, reports, and sources of international professional associations in this field are presented. The article may be interesting and useful for radiation oncologists, medical physicists, engineers, radiation technicians, medical residents, postgraduate students, and other professionals.

Keywords: radiation therapy, quality assurance, modern technologies of treatment, tests

Обеспечение качества современных медицинских электронных линейных ускорителей в лучевой терапии

Պարույր Մ. Անտոնյան¹, Լուսինե Մ. Մուրադյան²,
Դիանա Մ. Մուրադյան³

¹Медицинский центр «ИРА Медикал Групп», Ереван, Армения

²Национальный центр онкологии им. В.А. Фанарджяна, Ереван, Армения

³Ереванский Государственный Медицинский Университет им. М. Гераци, Ереван, Армения

АБСТРАКТ

В статье освещены вопросы, связанные с обеспечением гарантии качества современных электронных линейных ускорителей. Описаны проверочные тесты, необходимые при использовании новейших технологий лечения, в зависимости от используемого метода лечения. Представлена современная литература, а также отчеты международных профессиональных ассоциаций в этой области. Статья может быть интересна и полезна для онкологов-радиологов, медицинских физиков, инженеров, радиационных техников, аспирантов, ординаторов и других специалистов.

Ключевые слова: лучевая терапия, гарантия качества, новейшие технологии лечения, тесты.