

## VREDNOTENJE INTERFRAKCIJSKIH PREMIOV PRI OBSEVANJU RAKA GLAVE IN VRATU

### EVALUATION OF INTERFRACTIONAL DEVIATIONS IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH HEAD-NECK CANCER

**Klara Roštan, Tilen Farina, Andrej Breznik<sup>1</sup>, Valerija Žager Marciuš<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Onkološki inštitut Ljubljana, Oddelek za teleradioterapijo, Zaloška 2, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Oddelek za radiološko tehnologijo, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: dr. Valerija Žager Marciuš, univ. dipl. org. in dipl. inž. rad., valerija.zager@zf.uni-lj.si; zagerv@onko-i.si

Prejeto/Received: 19.1.2018

Sprejeto/Accepted: 19.4.2018

#### IZVLEČEK

**Uvod:** Pogoj za zanesljivo obsevanje klinično tarčnega volumna (CTV) je poznavanje velikosti načrtovalno tarčnega volumna (PTV). Ustrezno velikost CTV-PTV varnostnega roba zaradi napake pri nastavitvi med obsevanjem lahko izračunamo z analizo primerjave portalnih slik (EPI) in digitalno rekonstruiranih radiogramov (DRR).

**Namen:** Ovrednotenje in analiza interfrakcijskih premikov pacienta pri obsevanju področja glave in vratu. Ocena velikosti varnostnega roba po CTV-PTV, ki nastane kot posledica napake pri nastavitvi pacienta. Za izračun roba CTV-PTV smo uporabili Van Herkovo formulo.

**Metode dela:** V raziskavo je bilo vključenih 25 pacientov z rakom v področju glave in vratu. Obsevani so bili z volumetrično modulirano obsevalno tehniko (VMAT). Analiza interfrakcijskih premikov je bila opravljena s primerjavo 464 anteroposteriornih (AP) in mediolateralnih (ML) portalnih slik in digitalno rekonstruiranih radiogramov. Izračunani sta bili populacijska sistematična ( $\Sigma$ ) in naključna napaka / odstopanje ( $\sigma$ ), s pomočjo katerih je bila določena velikost CTV-PTV roba.

**Rezultati in razprava:** Populacijska naključna odstopanja ( $\sigma$ ) brez premikanja lege pacienta so: 1,18 mm, 1,08 mm in 1,01 mm v AP, superioinferorni (SI) in ML smeri. Populacijska naključna odstopanja s premiki so: 1,54 mm, 1,30 mm in 1,21 mm v AP, SI in ML smeri.

**Zaključek:** Z dobljenimi rezultati lahko potrdimo ustreznost roba CTV-PTV, ki nastane kot posledica napake pri nastavitvi pacienta. S slikanjem pacienta in s korekcijo odstopanj pred obsevanjem dodatno zmanjšamo velikost CTV-PTV roba.

**Ključne besede:** interfrakcijsko odstopanje, odstopanja pri nastavitvi pacienta, protokol portalnega slikanja, rak glave in vratu

#### ABSTRACT

**Introduction:** In order to perform a reliable irradiation of a clinically targeted volume (CTV), it is necessary to cognise the size of the planning target volume (PTV). The appropriate size of the CTV-PTV margin due to the patient's set-up error during irradiation is ensured by systematic analysis of the electronic portal imaging protocols (EPI) in comparison to digitally reconstructed radiograms (DRR).

**Purpose:** The aim of the study is to evaluate and analyse the interfractional motions in the head and neck area and to evaluate the size of the optimum margins of the CTV - PTV resulting from the set-up error. The CTV-PTV margin was calculated using van Herk's formula.

**Methods:** The study included 25 patients with cancer in the head and neck area. The patients were treated with volumetric modulated arc therapy (VMAT) technique at the linear accelerator. Analysis of the interfractional motions was performed with 464 anterior-posterior (AP) and medial-lateral (ML) portal images, which were compared to DRR. Systematic population set-up error ( $\Sigma$ ) and random deviation error/deviation ( $\sigma$ ) were calculated to determine the size of the CTV-PTV margin.

**Results and discussion:** The population random deviations ( $\sigma$ ) without adjusting the patient's position were: 1.18 mm; 1.08 mm and 1.01 mm in AP, superior inferior (SI) and ML direction. The population random deviations ( $\sigma$ ) with adjusting the patient's position were: 1.54 mm, 1.30 mm and 1.21 mm in AP, SI and ML direction.

**Conclusion:** According to the results obtained, we can confirm the adequacy of the CTV-PTV margin resulting from the patient's set-up error. By imaging the patient and by correction of the deviations before the irradiation, the size of the CTV-PTV margin is additionally reduced.

**Key words:** interfractional motion, set-up error, electronic portal imaging protocol, head and neck cancer

## UVOD

Rak glave in vratu vključuje anatomske regije ustne votline, žrela in grla (Döbrossy, 2005). Leta 2011 je bila incidenca raka glave in vratu na osmem mestu med vsemi raki. Pogosteje se je pojavljal pri moških (4,9 %) glede na celotno incidenco rakov pri moških (Primic- Žakelj, 2015).

Radioterapevtsko obsevanje predstavlja enega izmed načinov zdravljenja raka. Namen obsevanja je dostaviti predpisano dozo na področje tumorske tarče, pri tem pa čim bolj omejiti dozo na sosednje organe (Hukku in Halder, 2004). Z novejšimi obsevalnimi tehnikami, kot sta intenzitetno modulirana radioterapija (intensity modulated radiotherapy, IMRT) in volumetrična modulirana ločna terapija (volumetric modulated arc therapy, VMAT), lahko bolj optimalno obsevamo tumor in izboljšamo lokalno kontrolo tumorja, ter pri tem ne povečujemo toksičnosti zdravega tkiva (Remeijer in van Herk, 2006).

Za potrebe načrtovanja obsevanja so bili po priporočilih Mednarodne komisije za sevalne enote in meritve (International commission on radiation units and measurement, ICRU, 50,62) definirani različni tarčni volumni. Tumorski volumen (gross tumor volume, GTV) je tipljiva, makroskopska tumorska masa, ki zajema celoten primarno viden in tipljiv tumor ter njegove metastaze. Klinični tarčni volumen (clinical target volume, CTV) zajema GTV in varnostni rob subkliničnih (mikroskopskih) razširitev bolezni. Načrtovalni tarčni volumen (planning target volume, PTV) zajema CTV in dodaten varnostni rob. Varnostni rob je namenjen izničenju sprememb položaja CTV-ja, ki nastanejo kot posledica fizioloških procesov (dihanje, požiranje, ipd.) v telesu in odstopanj v nastavitvi pacienta pri obsevanju. Razlogi za odstopanja v nastavitvi pacienta pri obsevanju so lahko človeški faktor pri nastavitvi v obsevalni položaj in mehanske negotovosti simulacijske ali obsevalne opreme.

PTV predstavlja geometrični koncept. V procesu izdelave obsevalnega načrta se v načrtovalnem sistemu skladno z obliko PTV-ja oblikuje ustrezna oblika obsevalnega polja. Zaradi neustreznega PTV-ja lahko pride do poddoziranja CTV-ja (premajhen PTV) ali do nepotrebne obsevanja zdravega tkiva (prevelik PTV) (ICRU, 1999). Za doseg optimalnega terapevtskega indeksa je potrebna ustrezna velikost CTV-PTV roba. Le-ta je namreč sestavljen iz roba (set up margin, SM), ki je dodan zaradi nezanesljivosti vsakodnevne nastavitve pacienta v položaj za obsevanje (kostne strukture), relativno na geometrijo žarkovnega snopa in notranjega obrobja (internal margin, IM). Vsak od njih ima svojo sistemsko in naključno napako. V raziskavi smo vrednotili le SM in ne IM, ki je tudi del roba CTV-PTV. IM je pri obsevanju glave in vratu, kjer je pacient imobiliziran s termoplastično masko, zanemarljiv.

## Verifikacija obsevalnega področja in zagotavljanje natančnega obsevanja

Za zagotavljanje ustrezne kakovosti pri obsevanju je potrebno izvajati ustrezna dozimetrična in geometrična preverjanja. Geometrično verifikacijo oziroma ustrezno lego pacienta dosežemo s primerjavo informacij načrtovanega in izsevanega obsevalnega načrta (Barrett et al., 2009). Za verifikacijo pravilne namestitve pacienta pred obsevanjem izvajamo slikanja obsevalnega področja. Ugotavljamo odstopanja

med načrtovano, ti. referenčno in trenutno aktualno lego pacienta. Odstopanja korigiramo s premiki obsevalne mize pred obsevanjem. Ker je obsevanje izvedeno na podlagi predhodno zajete slike, temu pravimo slikovno vodena radioterapija (image-guided radiotherapy, IGRT) (Goyal in Kataria, 2014). Med IGRT sisteme uvrščamo tudi elektronsko portalno slikanje obsevalnih polj (electronic portal imaging, EPI) (Goyal in Kataria, 2014).

Verifikacija obsevalnih polj poteka pred obsevanjem in vključuje primerjavo EPI slike z referenčno. Referenčne slike so digitalno rekonstruirani radiogrami (digitally reconstructed radiograph, DRR) in jih v večini primerov rekonstruira načrtovalni sistem iz predhodno zajetih CT rezov (Herman et al., 2001).

Referenčne slike in slike, pridobljene z IGRT sistemom lahko primerjamo z dvodimenzionalno v eni ravnini (2D), dvodimenzionalno v dveh ravninah (2D/2D) ali s trodimenzionalno (3D) registracijsko metodo. Pri 2D/2D metodi gre za medsebojno primerjavo dveh serij slik iz večih smeri žarkovnega snopa ( $0^\circ$  in  $90^\circ$ ). (The Royal College of Radiologists, 2008). Odstopanja med referenčno in portalno sliko med posameznimi frakcijami obsevanja imenujemo interfrakcijsko odstopanje, medtem ko se intrafrakcijsko odstopanje pojavi znotraj posamezne frakcije obsevanja (Sterzing et al., 2011). Poznamo dva načina verifikacije:

- On-line verifikacija pomeni, da se odstopanja izračunajo in upoštevajo pred izsevanjem dnevno frakcijo.
- Off-line verifikacija se izvaja po izsevanem dnevnem odmerku, popravljena napaka pa se upošteva pri vseh naslednjih obsevanjih (Cherry in Duxbury, 2009).

## Napake pri nastavitvi pacienta v obsevalni položaj

Napaka pri nastavitvi pacienta je zabeleženo odstopanje med načrtovanim položajem (anatomijo pacienta, na katero je bil izdelan obsevalni načrt) in položajem pacienta pri obsevanju. Določi se s primerjavo anatomije pacienta na referenčnih slikah s slikami, zajetimi na obsevalni aparaturi. Referenčne slike so DRR ali celoten set CT slik, na katere je izdelan obsevalni načrt, slike ki jih zajamemo na obsevalni aparaturi pa portalna MV slika (EPI), kV slika oz. konično žarčni CT (CBCT). S primerjavo in analizo omenjenih slik lahko izračunamo sistemsko in naključno napako (The Royal College of Radiologists, 2008). Posledica naključne napake je razostritev dozne porazdelitve, sistemske napake pri nastavitvi pacienta pa lahko vodijo v poddoziranje dela CTV (Van Herk, 2004).

**Sistemska napaka pri nastavitvi pacienta** je tista, ki opisuje v isti smeri ponavljajoča se odstopanja pozicije pacienta pri obsevanju od tiste, ki je načrtovana, odstopanje, ki se pojavi v isti smeri tekom celotnega obsevalnega procesa. Napaka je lahko značilna za posameznega pacienta ( $\Sigma_{ind.}$ ) in za skupino pacientov – populacijska napaka ( $\Sigma_{pop,\Sigma}$  set-up) (Strbac in Jokic, 2013).

**Naključna napaka pri nastavitvi pacienta** opisuje odstopanja pozicije pacienta pri obsevanju od načrtovane med posameznimi frakcijami. Naključna napaka je lahko, prav tako kot sistematična, individualna () ali populacijska () (Ali et al., 2015).

Za izračun ustrezne velikosti CTV-PTV roba v translacijskih smereh je v literaturi (Van Herk, 2004) največkrat omenjena

formula Marcela Van Herka. Za določanje roba geometrične nenatančnosti je uporabil minimalno kumulativno dozo na CTV. Formula zagotavlja, da pri 90% bolnikov izbrane populacije CTV prejme vsaj 95% predpisane doze (Van Herk, 2004). Za natančno določitev optimalne velikosti varnostnih robov in uporabe novih vrednosti varnostnih robov je potrebno upoštevati tudi napako pri vrisovanju tarčnih struktur, napako pri prenosu fantomskih podatkov in pri premikanju tarče.

## NAMEN

Namen raziskave je ovrednotenje interfrakcijskih prejemikov pri obsevanju raka v področju glave in vratu ter ocena ustrežne velikosti roba, ki nastane kot posledica napake pri nastavitvi pacienta CTV-PTV varnostnega roba po Van Herkovi formuli.

## Hipoteza

Velikost roba CTV-PTV 5mm je zadostna, da pri večini pacientov CTV prejme 95% predpisane doze. S slikanjem in korekcijo nastavitve pacienta lahko dodatno zmanjšamo rob CTV-PTV.

## METODE DELA

Raziskava je bila izvedena retrospektivno na Onkološkem inštitutu v Ljubljani. Uporabljeni sta bili empirična in eksperimentalna metoda raziskovanja. Pacienti so bili obsevani na obsevalnem aparatu Varian Unique Performance Edition na oddelku teleradioterapije in sektorja radioterapije. Časovni termin zbiranja podatkov je bil od oktobra do decembra v letu 2015.

V raziskavo so bili vključeni podatki 25 pacientov z rakom glave in vratu. Analiza interfrakcijskih prejemikov je bila opravljena iz 232 antero-posteriornih (AP) in 232 medio-lateralnih (ML) portalnih slik, ki smo jih primerjali z DRR slikami. Med obsevanjem so bili pacienti fiksirani s pet-točkovno termoplastično masko. Za primerjavo in korekcijo vrednosti interfrakcijskih prejemikov med fuzijami EPI in DRR slik je bil uporabljen program PortalVision. Vrednosti prejemikov so bile izračunane z 2D/2D off-line verifikacijskim načinom in pridobljene iz oddelčnega internega programa (Web TRT). Vsi so bili obsevani z VMAT obsevalno tehniko, medtem ko je bil za verifikacijo obsevalnih polj uporabljen EPI sistem po smernicah mednarodnega protokola, ki ga priporoča The Royal College of Radiologists (2008).

Iz zabeleženih podatkov o interfrakcijskih odstopanjih posameznih pacientov smo izračunali individualno povprečno odstopanje skozi celoten proces obsevanja (individualna sistemska nastavitvena napaka,  $m_{ind.}$ ) ter SD odstopanja (individualna naključna nastavitvena napaka;  $\sigma_{ind.}$ ). S pomočjo SD vseh  $m_{ind.}$  smo izračunali odstopanje populacijske sistemske nastavitvene napake ( $\Sigma_{pop.}$ ). Za izračun ustrežne velikosti CTV-PTV roba smo potrebovali tudi koren povprečja kvadratov (root mean square, RMS) individualnih naključnih nastavitvenih napak ( $\sigma_{ind.}$ ).

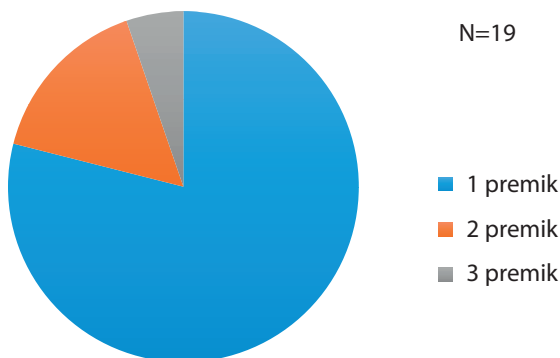
Za izračun ustrežne velikosti CTV-PTV roba smo uporabili formulo Marcela van Herka: ( $2,5 * \text{odstopanje populacijske sistematične nastavitvene napake} + 0,7 * \text{RMS individualnih naključnih nastavitvenih napak}$ ) oziroma ( $2,5 \Sigma + 0,7 \sigma$ ) (Van Herk, 2004). Vrednotili smo le SM in ne IM, ker ocenjujemo,

da je pri obsevanju področja glave in vratu le ta zelo majhen. Obdelava podatkov je potekala s statističnim programom IBM SPSS Statistics 24. Uporabili smo t-test za en vzorec.

## REZULTATI

Rezultati raziskave vsebujejo opisno statistiko, izračune velikosti CTV-PTV roba z in brez upoštevajočih premikov pri pacientih ter statistično analizo.

Pri 19 pacientih je bilo glede na smer premika (AP, SI, ML) v povprečju 1,2 premika, najmanj 1 premik in največ 3. Iz grafa 1 lahko razberemo, da je imelo 78,9% pacientov glede na smer 1 premik, 15,8% pacientov 2 in 5,3% pacientov 3 premike.



Graf 1: Število opravljenih premikov pri pacientih

Iz tabele 1 je razvidno, da je povprečna vrednost premikov v AP smeri  $-1,88$  mm, kar pomeni, da so premiki v PA smer in za  $3,12$  mm oddaljeni od 5 mm roba. Povprečje v SI smeri je  $0,50$  mm v inferiorno smer in v ML smeri  $0,69$  mm v desno. Premiki so za približno  $4,4$  mm oddaljeni od 5 mm roba. S t-testom za en vzorec ugotavljamo ali je povprečje na vzorcu statistično značilno večje ali manjše od testne vrednosti v raziskavi (npr. mm rob). V raziskavi ugotovimo, da je v vseh treh primerih povprečje premikov statistično značilno ( $p < 10^{-3}$ ) in je znotraj 5 mm roba, kar dokazuje tudi izračun po Van Herkovi formuli.

Tabela 1: Rezultati povprečnih vrednosti, populacijskega sistemskega in naključnega odstopanja ter CTV-PTV robovi v vseh treh smereh, brez premika

Smeri	$M_{popul.}$ (mm)	$\Sigma$ (mm)	$\sigma$ (mm)	CTV-PTV rob (mm)
AP (mm)	-1,88	1,54	1,18	4,66
SI (mm)	0,50	1,42	1,08	4,31
ML (mm)	0,69	1,24	1,01	3,81

AP- antero-posteriorna smer, SI- superio-inferiorna smer in ML- medio-lateralna smer

Populacijsko sistemske odstopanje ( $\Sigma$ ) je v AP smeri  $1,54$  mm, v SI smeri  $1,42$  mm in ML smeri  $1,24$  mm. Populacijsko naključno odstopanje ( $\sigma$ ) je v istih smereh  $1,18$  mm,  $1,08$  mm in  $1,01$  mm.

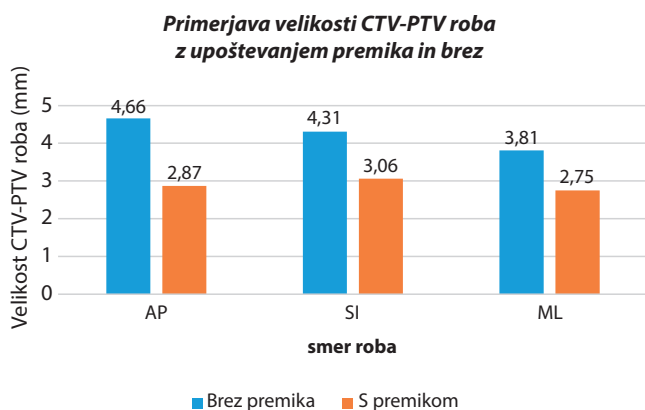
**Tabela 2: Populacijska sistemska in naključna odstopanja ter CTV-PTV robovi v vseh treh smereh, z upoštevanjem ustreznega premika**

Smeri	$M_{popul}$ (mm)	$\Sigma$ (mm)	$\sigma$ (mm)	CTV-PTV rob (mm)
AP (mm)	-0,95	0,72	1,54	2,87
SI (mm)	0,23	0,86	1,30	3,06
ML (mm)	0,31	0,76	1,21	2,75

AP- antero-posteriorna smer, SI- superio-inferiorna smer in ML- medio-lateralna smer

Rezultati v tabeli 2 kažejo, da je povprečna vrednost premikov v AP smeri -0,95 mm, da so premiki v PA smer in za približno 2 mm oddaljeni od 3 mm roba. Povprečje v SI smeri je 0,23 mm v inferiorno smer in v ML smeri 0,31 mm v desno. Premiki so za približno 2,7 mm oddaljeni od 3 mm roba. S t-testom za en vzorec ugotovimo, da je povprečje premikov v vseh treh primerih statistično značilno ( $p < 10^{-3}$ ) in je znotraj 3 mm roba, kar dokazuje tudi izračun po Van Herkovi formuli. Populacijsko sistemske odstopanje ( $\Sigma_{pop.}$ ) je v AP smeri 0,72 mm, v SI smeri 0,86 mm in ML smeri 0,76 mm. Populacijsko naključno odstopanje ( $\sigma_{pop.}$ ) je v istih smereh 1,54 mm, 1,30 mm in 1,21 mm.

Po van Herkovi formuli je bil CTV-PTV rob brez premika v AP smeri 4,66 mm, v SI smeri 4,31 mm in v ML smeri 3,81 mm, CTV-PTV rob s premikom pa v AP smeri 2,87 mm, v SI smeri 3,06 mm in v ML smeri 2,75 mm (graf 2).

**Graf 2: Primerjava velikosti CTV-PTV roba z upoštevanjem premika in brez**

Rezultati so pokazali, da je CTV-PTV rob v vseh treh smereh znotraj predhodno določenega 5 mm varnostnega roba. Tudi druge raziskave (Pehlivan et al., 2009; Gupta et al., 2007; Suzuki et al., 2006) podajo podobne rezultate glede na upoštevanje ustreznega premika.

## RAZPRAVA

V raziskavi Pehlivan in sod. (Pehlivan et al., 2009) je bilo vključenih 20 pacientov z rakom v predelu glave in vratu ter izvedenih 567 portalnih slik. Pacienti so bili obsevani z IMRT tehniko na obsevalnem aparatu Varian/Clinac 2300 C/D. Za imobilizacijo so uporabili 5 točkovno masko in posifix. DRR so primerjali z EPI slikami glede na ujemanje kostnih struktur. Ocenjevali so sistematično in naključno napako, standardni

odklon in CTV-PTV robove, ki so jih izračunali na tri različne načine. Eden izmed načinov je bil tudi po van Herkovi formuli, kot v naši raziskavi. Povprečni premik v AP smeri se je razlikoval od našega za 0,28 mm, v SI za 1,52 mm in v ML smeri za 0,86 mm. Populacijska sistematična odstopanja ( $\Sigma_{pop.}$ ) so bila v njihovi raziskavi v AP, SI in ML smeri 0,84 mm, 0,95 mm in 0,80 mm. Naključna odstopanja ( $\sigma_{pop.}$ ) v istih smereh so bila 1,63 mm, 1,93 mm in 1,97 mm. Razlika med raziskavama je v sistemskih odstopanjih zelo majhna, vrednosti so se v AP smeri razlikovale za 0,12 mm, v SI za 0,09 mm in v ML za 0,04 mm. Med naključnimi odstopanji so bile razlike prav tako majhne, in sicer v AP smeri za 0,09 mm, v SI za 0,63 mm in v ML za 0,76 mm. CTV-PTV robove so Pehlivan in sod. (2009) tudi določili po van Herkovi formuli, njihovi rezultati so bili v AP smeri 3,24 mm, v SI 3,73 mm in v ML 3,38 mm. Razlika med raziskavama je v AP smeri 0,37 mm, v SI 0,67 mm in v ML 0,63 mm. Najmanjša razlika je v AP smeri, v obeh raziskavah pa so v vseh treh smereh rezultati manjši od 5mm. Z raziskavo so ugotovili, da bi bilo potrebno EPI slike za AP in ML smer izvajati vsaj enkrat na teden in vsaka dva dni za SI smer, da se izognemo nastavitvenim napakam.

V raziskavi Gupta in sod. (Gupta et al., 2007) je bilo vključenih 25 pacientov, ki so bili obsevani s 3D tehniko konvencionalne radioterapije. Ugotavljali so sistemske in naključne napake ter CTV-PTV robove v vseh treh smereh. Povprečni premik v AP smeri se je razlikoval od našega za 0,70 mm, v SI za 0,22 mm in v ML smeri za 0,17 mm. Razlika med sistemskimi odstopanji je bila majhna, vrednosti so se v AP smeri razlikovale za 0,24 mm, v SI za 0,34 mm in v ML za 0,22 mm. Med naključnimi odstopanji je prišlo do večje razlike, in sicer v AP smeri za 0,40 mm, v SI za 1,18 mm in v ML za 0,76 mm. CTV-PTV robove so Gupta in sod. (2007) določili po van Herkovi formuli, razlika med našo in njihovo raziskavo je v AP smeri 0,89 mm, v SI 1,68 mm in v ML 1,08 mm.

Suzuki in sod. (Suzuki et al., 2006) so v raziskavo vključili 22 pacientov s tumorjem v področju glave in vratu, ki so bili obsevani z IMRT tehniko. Vsi so bili imobilizirani s termoplastično masko, ki je pokrivala glavo, vrat in ramena. Sistemske napake so bile v razponu od 0,7 do 1,3 mm in naključne pa od 2,0 do 3–6 mm. Z rezultati so prikazali, da je 5 mm dovolj velik rob za optimalno pokritost PTV volumna.

Naša raziskava ima primerljive rezultate kot Gupta in sod. (2007), zelo podobni pa so naši rezultati tudi z raziskavo Pehlivan in sod. (2009), kar je prikazano v tabeli 3. Razlike v raziskavah so se pojavljale predvsem glede različne uporabe obsevalnih tehnik, imobilizacijskih sredstev, obsevalnih aparatov, programske opreme. Pomembni dejavniki so tudi subjektivno ocenjevanje pravilnega položaja pacienta, referenčnih in portalnih slik in beleženja premikov.

**Tabela 3: Primerjava populacijskih sistemskih in naključnih odstopanj ter CTV-PTV robov v vseh treh smereh z ustreznim premikom**

Vrednosti, raziskave in smeri	$\Sigma$ (mm)	$\sigma$ (mm)	CTV-PTV rob (mm)	
Naši rezultati	AP	0,72	1,54	2,87
	SI	0,86	1,30	3,06
	ML	0,76	1,21	2,75
Gupta et al. (2007)	AP	0,96	1,94	3,76
	SI	1,20	2,48	4,74
	ML	0,98	1,97	3,83
Pehlivan et al. (2009)	AP	0,84	1,63	3,24
	SI	0,95	1,93	3,73
	ML	0,80	1,97	3,38

AP- anterio-posteriorna smer, SI- superio-inferiorna smer in ML- medio-lateralna smer

## ZAKLJUČEK

Rezultati v raziskavi temeljijo izključno na podlagi izmerjenih in analiziranih interfrakcijskih translacijskih premikov pred obsevanjem. Iz naših rezultatov je razvidno, da lahko z uporabo ustreznih in sistemskih spremljanj interfrakcijskih premikov zagotovimo varnostni rob (CTV-PTV) v velikosti 5 mm. Z ustrezno korekcijo interfrakcijskih premikov lahko zagotovimo boljšo pokritost CTV volumna. Poleg tega lahko zaključimo, da ob upoštevanju nastavitvene napake lahko zmanjšamo varnostni rob na 3 mm. Za natančno določitev optimalne velikosti varnostnih robov in uporabe novih vrednosti varnostnih robov v klinični praksi pa bi bilo potrebno vključiti in raziskati preostale tri vrste napak, napako pri vrisovanju tarčnih struktur, napako pri prenosu fantomskih podatkov in pri premikanju tarče.

## LITERATURA

Ali A, Elshahat KM, Hussein A (2015). Assessment of the Margin Simulations of Random and Systematic Errors in Radiotherapy. *IOSR J Appl Phys* 7(3): 34–8.

Barrett A, Dobbs J, Morris S (2009). *Practical Radiotherapy Planning*. 4<sup>th</sup> ed. UK: CRC Press, 24–8.

Cherry P, Duxbury A, eds. (2009). *Practical Radiotherapy: Physics and Equipment*. 2<sup>th</sup> ed. London: John Wiley & Sons, 139.

Döbrossy L (2005). Epidemiology of head and neck cancer: magnitude of the problem. *Cancer and Metastasis Rev* 24(1): 9–17.

Goyal S, Kataria T (2014). Image guidance in radiation therapy: techniques and applications. *Radiology Research and Practice*. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/705604>. <30.7.2017>

Gupta T, Chopra S, Kadam A (2007). Assessment of three-dimensional set-up errors in conventional head and neck radiotherapy using electronic portal imaging device. *Radiat Oncol* 2: 44.. doi: 10.1186/1748-717X-2-44.

Herman MG, Balter JM, Jaffray DA (2001). Clinical use of electronic portal imaging: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58. *Med Phys* 28 (5): 712–4.

Hukku S in Halder S (2004). Image guided radiation therapy. *Apollo Medicine*, Vol.1: 146–7.

ICRU (1999). Supplement to ICRU Report 50. ICRU Report 62. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy. Bethesda MD: International Commission of Radiation Units and Measurements.

Pehlivan B, Pichenot C, Castaing M (2009). Interfractional set-up errors evaluation by daily electronic portal imaging of IMRT in head and neck cancer patients. *Acta Oncol* 48 (3): 440–5. doi: 10.1080/02841860802400610.

Primic Žakelj M, Bračko M, ur. (2015). *Rak v Sloveniji 2011*. Ljubljana: Onkološki inštitut Ljubljana, Epidemiologija in register raka, Register raka Republike Slovenije, 39.

Remeijer P in van Herk M (2006). Imaging for IMRT. V: Bortfeld T, Schmidt-Ulrich R. De Neve W in Wazer DE. *Image-Guided IMRT*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 19–30.

Sterzing F, Engenhardt-Cabillic R, Flentje M (2011). Image-guided radiotherapy: a new dimension in radiation oncology. *Dtsch Arztebl Int* 108 (16): 274–80. doi: 10.3238/arztebl.2011.0274.

Strbac B in Jokic VS (2013). Evaluation of set-up errors in head and neck radiotherapy using electronic portal imaging. *Phys Med*. 29 (5): 531–6. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.12.001.

Suzuki M, Nishimura Y, Nakamatsu K (2006). Analysis of interfractional set-up errors and intrafractional organ motions during IMRT for head and neck tumors to define an appropriate planning target volume (PTV)- and planning organs at risk volume (PRV)-margins. *Radiother Oncol* 78: 283–90.

The Royal College of Radiologists (2008). *On target: ensuring geometric accuracy in radiotherapy*. London: The Royal College of Radiologists, 2008. 9–30.

Van Herk M (2004). Errors and margins in radiotherapy. *Seminars in Radiation Oncology*, 14 (1): 52–64.