

Farklı foton enerjilerinin absorbe doz ölçümlerinin UAEA protokolleri TRS 277 ve TRS 398'e göre karşılaştırılması

Comparison of IAEA absorbed dose protocols TRS 277 and TRS 398 for
different photon energies

Hilal ACAR, Salih GÜRDALLI, Bülent YAPICI, Ali DOĞAN

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı

AMAÇ

Bu çalışmada Co-60, 6 MV, 25 MV foton enerjilerinin Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının (UAEA) iki farklı protokolüne göre hesaplanmış soğurulan doz değerleri karşılaştırıldı.

GEREÇ VE YÖNTEM

Soğurulan doz ölçümleri SSD=SAD mesafesi, 10x10 cm kolimatör açıklığı ve her enerji için protokollerin tavsiye ettiği referans derinlikte yapıldı. Foton enerjileri beş farklı silindirik iyon odası ile ölçüldü. Ölçümü etkileyen parametrelerden olan polarite ve yeniden birleşme etkisinin değerleri her iyon odası için kullanılan bütün enerjilerde ölçüldü.

BULGULAR

Ölçümler sonucunda foton enerjileri için iki protokole göre yapılan soğurulan doz hesaplarında TRS 398 no'lu protokol ile hesaplanan absorbe doz TRS 277 ile hesaplanan absorbe dozdan daha fazla bulundu. Bu fark Co-60 ve 6 MV için %1'den 25 MV için %2'den küçüktür.

SONUÇ

Sonuç olarak, TRS 398 no'lu protokolü kullanmanın soğurulan doz hesabını daha doğru hesaplamamızı sağladığı ve kullanıcıya kolaylık sağladığı görüldü.

Anahtar sözcükler: UAEA soğurulan doz protokolleri; foton enerjileri; radyometri/yöntem/standartlar; radyoterapi dozu; radyoterapi, yüksek enerjili/standartlar.

OBJECTIVES

In this study, calculation of absorbed doses according to three different IAEA protocols for Co-60, 6 MV, 25 MV photon energies are compared.

METHODS

Absorbed dose measurements are made at SSD=SAD distance, 10x10 cm field size and reference depth. Photon energies are measured with five different cylindrical chambers. Polarity and recombination effects are measured for all ionization chambers and energies.

RESULTS

After the measurements, calculations are made according to two different protocols and absorbed dose calculated according to TRS 398 protocol is maximum 0.32% bigger than TRS 277's dose for Co-60, and 0.57% bigger for 6 MV and 1.53% bigger for 25 MV.

CONCLUSION

As a result, TRS 398 protocol enables us to calculate much more accurate absorbed dose.

Key words: IAEA absorbed dose protocols; photon energies; radiometry/methods/standards; radiotherapy dosage; radiotherapy, high-energy/standards.

Bu çalışmada, Co-60, 6 MV ve 25 MV foton enerjilerinde beş farklı silindir iyon odası için protokollerin tavsiye ettiği referans koşullarda absorbe doz ölçümleri yapıldı. Ölçümlerden elde edilen okumalar TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] no'lu protokollere göre değerlendirilerek maksimum derinlikteki soğurulan doz beş farklı iyon odası için hesaplandı. Soğurulan doz değerlerinin iki protokol için oranları bulundu.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda, Theatron 780C Co-60 teleterapi cihazında (Mesi Medical; Hollanda) Co-60 foton enerjisinde 5 farklı silindir iyon odası için SSD= 80 cm'de, $d_{REF}= 5$ cm'de 10x10 cm alanda PTW marka RW3 katı su fantomunda absorbe doz ölçümleri yapıldı. Arka arkaya yapılan 5 ölçümün ortalaması değerlendirmeye alındı.

Phillips SL - 25 lineer hızlandırıcı cihazında (Philips; Hollanda) 6 MV enerjisinde doz verim ölçümleri beş farklı silindir iyon odası kullanılarak PTW marka RW3 katı su fantomunda SSD= 100 cm, $d_{REF}= 5$ cm'de ve 10x10 alan boyutlarında 200 MU verilerek elde edildi. Arka arkaya yapılan 10 ölçümün ortalaması değerlendirmeye alındı.

Phillips SL - 25 lineer hızlandırıcı cihazında 25 MV enerjisinde ise doz verim ölçümleri beş farklı silindir iyon odası kullanılarak, SSD= 100 cm'de, $d_{REF}= 10$ cm'de ve 10x10 alan boyutlarında 200 MU verilerek yapıldı. Arka arkaya yapılan 10 ölçümün ortalaması değerlendirmeye alındı.

Ölçümlerden elde edilen okumalar TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] no'lu protokollere göre değerlendirildi. Maksimum derinlikteki soğurulan doz beş farklı iyon odası (iki tane PTW - 30001 0.6 cc farmer tipi iyon odası, bir tane PTW - 30002 0.6 cc farmer tipi iyon odası, bir tane NE - 2571 0.6 cc farmer tipi iyon odası ve bir tane NE - 2581 0.6 cc farmer tipi iyon odası) için hesaplandı. Soğurulan doz değerlerinin iki protokol için oranları bulundu.

Ölçümü etkileyen etki parametrelerinden olan basınç-sıcaklık, polarite ve yeniden birleşme faktörlerinin ölçümü soğurulan doz ölçümlerinden önce yapıldı.

Polarite etkilerini düzeltmek için her iyon odasının kullanılan bütün enerjilerdeki polarite etkisi ölçüldü. Polarite faktörünün bulunması için ölçüm pozitif ve negatif polaritede yapıldı. Her polarite değişiminden sonra cihaz yeniden ısıtıldı ve okuma olarak 10 ölçümün ortalaması alınmıştır. Polarite faktörünün bulunmasında aşağıdaki formül kullanıldı.

$$k_{POL} = \frac{|M_{+}| + |M_{-}|}{2M} \quad (1)$$

Yeniden birleşme faktörünün bulunması için ölçüm hem yüksek hem de düşük voltajda yapıldı. Okuma olarak 10 ölçümün ortalaması alındı. Yeniden birleşme faktörünün bulunması için TRS 398^[2] sürekli radyasyonlar, Co-60, için

$$k_s = \frac{(V_1 \setminus V_2)^2 - 1}{(V_1 \setminus V_2)^2 - (M_1 \setminus M_2)} \quad (2)$$

bu formülün, lineer hızlandırıcılar için de

$$k_s = a_0 + a_1 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + a_2 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad (3)$$

bu formülün kullanılmasını tavsiye etmektedir. Ancak, TRS 277^[1] bütün enerjiler için 3 no'lu formülü öngörmektedir. Hesaplamalar buna göre yapıldı.

TRS 277^[1] no'lu protokol için soğurulan doz formülü,

$$N_{D, HAVA} = N_K(1 - g)k_{ATTKM} \quad (4)$$

$$D_{W, Q}(P_{EFF}) = M_Q N_{D, HAVA} (S_{W, HAVA})_Q P_{UH M} \quad (5)$$

$$D_{W, Q}(d_{MAKS}) = \frac{D_{W, Q}(P_{EFF})}{YDD(P_{EFF})} \quad (6)$$

N_K : İkincil standart dozimetre laboratuvarın göndermiş olduğu kalibrasyon faktörü,

g : Havada ikincil elektronların durdurulması

sırasında radiative etkileşimlerde harcanan enerjinin fraksiyonu (=0.003),

k_M : İyon odası materyalinin ve “*build up cap*”’in hava eşdeğeri olmamasını dikkate alan faktör,

k_{ATT} : Fotonların iyon odası materyalinde ve “*build up cap*”’de meydana getirdiği saçılmayı ve azalmayı dikkate alan faktör,

k_M ve k_{ATT} faktörleri iyon odasının tipine göre protokolden bulunmuştur.

M_Q : Basınç-sıcaklık ve yeniden birleşme faktörleri ile düzeltilmiş okuma değeri,

$$M_Q = M_0 C_{TP} k_S,$$

$(S_{WHAVA})_Q$: Ölçüm yapılan referans derinlik (d_{REF}) ve demet kalitesine (TPR_{20}^{10}) bağlı olarak protokolden bulunan durdurma gücü oranı,

ρ_U : İyon odasının duvar materyalinin farklılığına ve demet kalitesine (TPR_{20}^{10}) bağlı olarak protokolün verdiği değer,

h_M : Ölçüm ortamı olarak sudan farklı bir ortam kullanıldığında bu ortamın iyon odasının cevabına yaptığı etkiyi düzelten faktör. Çalışmamızda bu etki Su \ RW3 faktörü kullanılarak düzeltilmiştir,

Su \ RW3: Enerjiye bağlı olarak değişen katı su fantomu ile su fantomu değerlerini oranlayan faktör,

$P_{YER DEĞİŞTİRME}$: Silindir iyon odaları için su hacminin oda hacmiyle yer değiştirmesini dikkate alan faktör. TRS 277^[1] no’lu protokol silindir iyon odaları için yer değiştirme miktarını Co-60 için 0.5 r_{KAV} , yüksek enerjili fotonlar için 0.75 r_{KAV} olarak öngörmektedir. r_{KAV} kullanılan iyon odasının yarıçapıdır. Çalışmamızda bu etki Yüzde Derin Doz ile düzeltilmiştir.

TRS 398^[2] no’lu protokol için soğurulan doz formülü,

$$D_{W,Q}(P_{EFF}) = M_Q N_{D,W,Q} k_{Q,Q} h_M \quad (7)$$

$$D_{W,Q}(d_{MAKS}) = \frac{D_{W,Q}(P_{EFF})}{YDD(d_{MAKS})} \quad (8)$$

M_Q : Basınç-sıcaklık, polarite ve yeniden birleşme faktörleri ile düzeltilmiş okuma değeri,

$$M_Q = M_0 C_{TP} k_{POL} k_S,$$

$N_{D,W,Q}$: İkincil standart laboratuvarın göndermiş olduğu kalibrasyon katsayısı,

$k_{Q,Q}$: Demet kalitesine (TPR_{20}^{10}) ve kullanılan iyon odasının tipine bağlı olarak protokolden verilen değer,

İyon odalarımız Co-60’da kalibre edildiğinden Kobalt için bu değer 1’dir.

h_M : Ölçüm ortamı olarak sudan farklı bir ortam kullanıldığında bu ortamın iyon odasının cevabına yaptığı etkiyi düzelten faktör,

Çalışmamızda bu etki Su \ RW3 faktörü kullanılarak düzeltilmiştir.

Su \ RW3: Enerjiye bağlı olarak değişen katı su fantomu ile su fantomu değerlerini oranlayan faktör.

BULGULAR

Çalışmamızda kullanılan bütün enerjilerde farklı iyon odaları için polarite ve yeniden birleşme faktörleri ölçüldü ve ölçüm değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Kullandığımız iyon odalarının k_{ATT} , k_M değerleri protokolden bulundu. N_K ve N_{DW} değerleri ise SSDL’in gönderdiği iyon odalarının sertifika değerlerinden alındı ve bu değerler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Kobalt 60 enerjisi için beş farklı iyon odası ölçümlerinin TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] no’lu protokollere göre hesaplanan soğurulan doz değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Bu enerji için $S_{WHAVA} = 1.133$, SU \ RW3 = 1.006 ve ölçüm esnasındaki sıcaklık- basınca göre CTP = 1.125 düzeltilmesi yapılmıştır.

TRS 277^[1] no’lu protokol bütün enerjiler için polarite düzeltilmesini öngörmemekte ve yeniden birleşme faktörü Co-60 için bir kabul edilmektedir. Bu nedenle TRS 277^[1] için soğurulan doz hesabında bu faktörler bir alındı.

d_{MAX} ’daki absorbe dozu bulmak için kullanma-

mız gereken efektif noktadaki yüzde derin dozlar TRS 277^[1] no'lu protokol ve farklı iyon odaları için Tablo 4'de verilmiştir.

6 MV enerjisi için beş farklı iyon odası ölçümlerinin TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] no'lu protokolle-

re göre hesaplanan soğurulan doz değerleri Tablo 5'da verilmiştir.

Bu enerji için $S_{WHAVA}= 1.120$, $S_{URW3}= 1.0153$ ve ölçüm esnasındaki sıcaklık- basınca göre hesaplanmış düzeltme faktörü $CTP= 1.0929$ 'dir.

Tablo 1

Polarite ve yeniden birleşme değerleri

İyon odası	Co-60		6 _{MV}		25 _{MV}	
	k _S	k _{POL}	k _S	k _{POL}	k _S	k _{POL}
PTW30001(a)	0.99985	1.00015	0.9971	0.9954	0.99985	1.00015
PTW30001(b)	1	1.0047	0.9973	1.00045	0.9982	1.00021
NE 2571	1.0056	1.0023	0.9998	1.00029	1.0056	1.0023
NE 2581	1.0002	1.0021	1	1.00023	1.0002	1.0021
PTW 30002	1.0008	1.0055	0.9954	1.00066	1.0008	1.0055

Tablo 2

İyon odalarının k_{ATT}, k_M, N_K ve N_{DW} değerleri

İyon odası	N _K	k _{ATT} k _M	N _D	N _{DW}
PTW 30001(a)	48.156	0.972	46.67	53.117
PTW30001(b)	47.614	0.972	46.1419	52.223
NE 2571	41.198	0.985	40.4582	45.343
NE 2581	52.757	0.959	50.4422	57.692
PTW 30002	47.411	0.982	46.417	52.068

Tablo 3

Co-60 için TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] protokollere göre hesaplanmış soğurulan doz değerleri

İyon odası	Okuma	N _D	N _{DW}	P _U	D _w (d _{MAKS})(cGy/dk)	
					TRS 277	TRS 398
PTW30001(a)	20.24	46.67	53.117	1.001	152.41	152.66
PTW30001(b)	20.47	46.142	52.223	1.001	152.40	152.51
NE 2571	23.48	40.458	45.343	0.9913	151.75	152.32
NE 2581	18.54	50.442	57.692	1.0093	152.0899	152.159
PTW 30002	20.46	46.417	52.068	0.9913	151.75	152.23

Tablo 4

Co-60 için efektif nokta yüzde derin doz değerleri

İyon odası	PTW30001(a)	PTW30001(b)	NE 2571	NE 2581	PTW 30002
TRS 277%DD	%79.54725	%79.54725	%79.57	%79.584	%79.547

TRS 277^[1] yüksek enerjili fotonlar için efektif noktanın $0.75 r_{KAV}$ olarak kaydırılmasını tavsiye ediyor. Buna göre kayan efektif noktadaki yüzde derin dozlar TRS 277^[1] no'lu protokol ve farklı iyon odaları için Tablo 6'de verilmiştir.

25 MV enerjisi için beş farklı iyon odası ölçümlerinin TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] no'lu protokollere göre hesaplanan soğurulan doz değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Bu enerji için $S_{WHAVA} = 1.081$, $SURW3 = 1.037$ ve ölçüm esnasındaki sıcaklık-basınca göre hesaplanmış düzeltme faktörü $CTP = 1.125$ 'dir.

Kayan efektif noktadaki yüzde derin dozlar TRS 277^[1] no'lu protokol ve farklı iyon odaları için Tablo 8'de verilmiştir.

Foton enerjileri için TRS 398^[2] ile hesaplanan soğurulan dozun TRS 277^[1] ile hesaplanan doza oranları farklı iyon odaları için Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 5

6MV için TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] protokollere göre hesaplanmış soğurulan doz değerleri

İyon odası	Okuma	N_D	N_{DW}	P_U	K_{Q00}	$D_w(d_{MAKS})(cGy/dk)$ TRS 277	$D_w(d_{MAKS})(cGy/dk)$ TRS 398
PTW30001(a)	30.29	46.67	53.117	1.001	0.9926	199.74	200.80
PTW30001(b)	30.64	46.142	52.223	1.001	0.9926	199.80	200.76
NE 2571	35.02	40.458	45.343	0.9938	0.9935	199.20	199.83
NE 2581	27.88	50.442	57.692	1.005	0.9873	199.99	201.13
PTW 30002	30.77	46.417	52.068	0.9938	0.9925	200.01	200.65

Tablo 6

6 MV için efektif nokta yüzde derin doz değerleri

İyon odası	PTW 30001(a)	PTW30001(b)	NE 2571	NE 2581	PTW 30002
TRS 277%DD	%87.789	%87.789	%87.83	%87.83	%87.789

Tablo 7

25 MV için TRS 277^[1] ve TRS 398^[2] protokollere göre hesaplanmış soğurulan doz değerleri

İyon odası	Okuma	N_D	N_{DW}	P_U	K_{Q00}	$D_w(d_{MAKS})(cGy/dk)$ TRS 277	$D_w(d_{MAKS})(cGy/dk)$ TRS 398
PTW30001(a)	28.12	46.67	53.117	1.002	0.963	199.89	202.87
PTW30001(b)	28.42	46.142	52.223	1.002	0.963	199.41	201.26
NE 2571	32.38	40.458	45.343	0.9978	0.970	199.77	202.36
NE 2581	25.44	50.442	57.692	1.002	0.957	199.25	202.35
PTW 30002	28.32	46.417	52.068	0.9978	0.968	199.57	202.57

Tablo 8

25 MV için efektif nokta yüzde derin doz değerleri

İyon odası	PTW30001(a)	PTW 30001(b)	NE 2571	NE 2581	PTW 30002
TRS 277 %DD	%82.95	%82.95	%82.98	%83.00	%82.95

Tablo 9

Farklı foton enerjileri için TRS 398^[2] ile hesaplanan soğurulan dozun TRS 277^[1] ile hesaplanan doza oranı

İyon odası	Co-60 (%)	6 MV (%)	25 MV (%)
PTW 30001(a)	0.16	0.53	1.47
PTW 30001(b)	0.07	0.48	0.93
NE 2571	0.37	0.32	1.28
NE 2581	0.05	0.57	1.53
PTW 30002	0.32	0.32	1.50

TARTIŞMA

TRS 398^[2] no'lu protokol daha basit bir formülizm getirdiği ve TRS 277^[1]'deki belirsizlikleri önemli ölçüde azalttığı için soğurulan dozu daha büyük bir doğrulukla hesaplamamızı sağlamıştır. Bu nedenle literatür^[3,4,5,6] ile uyumlu bir şekilde TRS 398^[2] ile hesaplanan doz TRS 277^[1] ile hesaplanandan Co-60 enerjisi için %0.32 ile %0.05 arası daha fazla bulunurken, 6 MV enerjisi için %0.57 ile %0.32 arası daha fazla, 25 MV enerjisi için ise %1.53 ile %0.93 daha fazla bulunmuştur. Enerji arttıkça protokoller arası farkların daha da arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak, TRS 398^[2] no'lu protokolü kullanmanın soğurulan doz hesabını daha doğru hesaplamayı sağladığı görülmüştür. Kullanıcının ha-

ta yapma riskini azalttığı için absorbe dozu, TRS 398 no'lu protokolü kullanarak hesaplanmasını önermekteyiz.

KAYNAKLAR

1. International Atomic Energy Agency Absorbe dose determination in photon and electron beams: an international code of practice. Technical Reports Series No: 277. Vienna, Austria (1987).
2. International Atomic Energy Agency Absorbe dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbe dose to water. Technical Reports Series No: 398. Vienna, Austria (2000).
3. Ferreira IH, Marre D, Huq MS, Bridier A, Beaudre A. Application of TRS 398 [2] using ionization chambers calibrated by PSDLs in France and The United Kingdom in a series of high energy photon and electron beams. Proceedings of an International Symposium, Vienna, 2002.
4. Govinda Rajan KN, Vandana S, Vijayam M, Shigwan JB. Testing of NK and NDW based IAEA codes of practice for clinical photon beams" Proceedings of an International Symposium, Vienna, 2002.
5. Huq MS. Intercomparison of absorbed dose to water and air kerma based dosimetry protocols for photon and electron beams. Proceedings of an International Symposium, Vienna, 2002.
6. Andreo Pedro, Huq M. Saiful, Westermarck Mathias, Song Haijun, Tilikidis Aris, Larry DeWerd, Ken Shortt. Protocols for the dosimetry of high energy foton and electron beams: a comparison of the IAEA TRS 398 [2] and previous international codes of practice. Phys Med Biol. 47 (p. 3033-53).