

Farklı elektron enerjilerinin absorbe doz ölçümlerinin UAEA protokolleri TRS 277, 381 ve 398'e göre karşılaştırılması

Comparison of IAEA absorbe dose protocols TRS 277, TRS 381 and TRS 398 for different electron energies

Hilal ACAR

Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı

AMAÇ

Bu çalışmada, 6, 8, 10, 12, 15 ve 18 MeV elektron enerjileri, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının üç farklı protokolüne göre hesaplandı, soğurulan doz değerleri karşılaştırıldı.

GEREÇ VE YÖNTEM

Soğurulan doz ölçümleri lineer hızlandırıcı cihazda SSD=95 cm'de ve 10 x 10 cm standart kon ile katı su fantomunda 200 MU verilerek yapıldı. Ölçümlerden elde edilen okumalar maksimum derinlikteki ve TRS 398 no'lu protokolün tavsiye ettiği referans derinlikteki soğurulan doz beş farklı silindirik ve üç farklı paralel plak iyon odası için hesaplandı. Soğurulan doz değerlerinin üç protokol için oranları bulundu.

BULGULAR

Elektron enerjileri için Marcus iyon odası hariç diğer iyon odaları için TRS 398 ile hesaplanan soğurulan doz TRS 381 ve TRS 277 no'lu protokollerde hesaplanandan daha fazla bulundu. Marcus iyon odası için üç farklı protokole göre hesaplanan soğurulan dozların oranı -%2.04 ile %2.64 arasında değişmektedir. Marcus hariç diğer iyon odaları için 6 MeV enerjisindeki farklılık %0.11 ile %3.38 arasında iken, 8 MeV için %0.33 ile %1.37 arası, 10 MeV için %0.12 ile %1.71 arası, 12 MeV için %1.35 ile %0.23 arası, 15 MeV için %1.69 ile %0.24 arası 18 MeV için %0.22 ile %1.74 arası fazla bulundu.

SONUÇ

Bu verilere göre foton enerjilerinin aksine elektron enerjilerinde fark özellikle düşük enerjili elektronlar için yüksek bulunmuştur. Farklılığın büyük kısmının TRS 277 no'lu protokole pertürbasyon faktörünün "1" kabul edilmesinden dolayı olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Elektron enerjileri; klinik protokoller/standartlar; UAEA soğurulan doz protokolleri.

OBJECTIVES

In this study, calculation of absorbed doses according to three different IAEA protocols for 6, 8, 10, 12, 15, and 18 MeV electron energies were compared.

METHODS

Absorbe dose measurements were made at SSD=95 cm distance, 10 x 10 cm standart cone and reference depth. Electron energies was measured with five different cylindrical chambers and three different paralel plate chambers. Polarity and recombination effects were measured for all ionization chambers and energies before absorbed dose measurements.

RESULTS

After the measurements, calculations were made according to three different protocols. For Marcus parallel plate chambers, the ratio of absorbe dose protocols was between -2.04% to 2.64%. Except from Marcus for other parallel plate chamber difference was between 0.11% to 3.38% for 6 MeV, 0.33% to 1.37% for 8 MeV, 0.12% to 1.71% for 10 MeV, 1.35% to 0.23% for 12 MeV, 1.69% to 0.24% for 15 MeV and 0.22% to 1.74% for 18 MeV.

CONCLUSION

Contrary to photon energies, difference between absorbe dose protocols for electron beam energies was high. The reason of the difference was arise from the fact that TRS 277 assumes perturbation factor of paralel plate chambers was "1". As a result, TRS 398 protocol enables us to calculate much more accurate absorbe dose.

Key words: Clinical protocols/standards; electron energies; IAEA absorbed dose protocols.

Radyasyon demetinin kalibrasyonu komplike ölçümlere ve pek çok dönüşüm ve düzeltme faktörünün uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yüzden kalibrasyon işleminin bütün basamakları belirsizliğe yol açmayacak şekilde belirtilmelidir. Bunun için Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) 1987 yılında kalibrasyon işleminin bütün basamaklarını detaylı bir şekilde anlatan, fiziksel etkileşimler ve düzeltme faktörlerinin sayısal değerlerini veren böylece bizim soğurulan dozu en iyi şekilde tespit etmemizi sağlayan *Technical Report Series (TRS) 277* no'lu protokolü^[1] geliştirmiştir. Bu protokol soğurulan doz amaçlı kullanılan iyon odalarının hava kerma cinsinden kalibre edilmesi prensibini içermektedir.

Daha sonraki yıllarda paralel plak iyon odalarının elektron demetlerinin (özellikle 10 MeV altı demetlerin) kalibrasyonunda oldukça avantajlı olduğu görülmüştür. Ancak TRS 277 no'lu protokol bu odaların kalibrasyonu ve kullanımı ile ilgili detaylı bilgi vermemektedir bu yüzden 1997 yılında özellikle paralel plak iyon odaları için TRS 381 no'lu yeni bir protokol^[2] geliştirilmiştir. Bu protokol paralel plak iyon odaların Co 60 gama enerjisinde hava kerma veya suda soğurulmuş doz cinsinden kalibrasyonunu açıklamaktadır. Ayrıca TRS 277 nolu protokoldeki verilerin ve yöntemlerin bir kısmının güncellenmesini de içermektedir. Kısaca TRS 381, TRS 277 no'lu protokoldeki paralel plak iyon odaları ile ilgili olan boşluğu doldurmakta ve böylece bu odaların kullanıldığı durumlarda maksimum doğruluğu elde etmeyi sağlamaktadır.

TRS 277'deki belirsizlikler elektronlar için %3.7, yüksek enerjili X-ışınları için %3.2, Co 60 için ise %2.5'dir. Radyoterapi geliştikçe bu belirsizlikler minimuma indirilerek daha büyük bir kesinlikle soğurulan dozu bulmanın yolları araştırılmaya başlanmıştır. Böylece 2000 yılında TRS 398 numaralı protokol^[3] geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, 6, 8, 10, 12, 15 ve 18 MeV elektron enerjilerinde beş farklı silindir ve üç farklı paralel plak iyon odası için protokollerin tavsiye ettiği referans koşullarda absorbe doz ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen okumalar TRS 277,^[1] TRS 381^[2] ve TRS 398^[3] no'lu protokollere

göre değerlendirilerek maksimum derinlikteki soğurulan doz, sekiz farklı iyon odası için hesaplanmıştır. Soğurulan doz değerlerinin üç protokol için oranları bulunmuştur.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada, elektron enerjilerinin absorbe doz ölçümleri üç paralel plak iyon odası ve beş farklı silindir iyon odası için iki farklı derinlikte yapılmıştır. TRS 277^[1] ve TRS 381^[2] no'lu protokollerin tavsiye ettiği derinlik olan d_{MAX} ve TRS 398^[3] no'lu protokolün tavsiye ettiği derinlik olan $d_{REF} = 0.6 R_{50} - 0.1$ 'de ölçümler yapılmıştır. Ölçümden elde edilen okumalar TRS 277,^[1] TRS 381^[2] ve TRS 398^[3] no'lu protokollere göre değerlendirilmiştir.

TRS 277^[1] no'lu protokol için soğurulan doz formülü aşağıda verilmiştir.^[4]

$$D_{W,Q}(P_{EFF}) = M_Q N_{D,HAVA} (S_{W,HAVA})_Q P_{uH_M}$$

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

$N_{D,HAVA}$: İkincil standart laboratuvarın göndermiş olduğu kalibrasyon faktörü,

$(S_{W,HAVA})_Q$: Ölçüm yapılan derinlik (d_{MAX}) ve fantom yüzeyindeki ortalama enerjiye (E_0) bağlı protokollerdeki tablolardan alınan durdurma gücü oranı,

P_U : Paralel plak iyon odaları için 1 alınırken, silindir odalar için iyon odasının iç yarıçapına ve ölçüm yapılan derinlikteki ortalama enerjiye ($E_Z = E_0 (1 - zR_p)$) bağlı olarak protokollerdeki tablolardan alınan değer,

h_M : Ölçüm ortamı olarak sudan farklı bir ortam kullanıldığında bu ortamın iyon odasının cevabına yaptığı etkiyi düzelten faktör. Çalışmamızda bu etki S_{uRW3} faktörü kullanılarak düzeltilmiştir.

S_{uRW3} : Enerjiye bağlı olarak değişen katı su fantomu ile su fantomu değerlerini oranlayan faktör,

P_{DIS} : Paralel plak odalar için yer değiştirme faktörü kullanılmamaktadır. Silindir odalarda ise efektif noktanın kayma miktarı $0.5 r_{KAV}$ 'dir. Bu etki %DD ile düzeltilmiştir.

TRS 381^[2] no'lu protokol için soğurulan doz formülü TRS 277^[1] ile aynıdır. Ancak, bu protokolda artık paralel plak iyon odalarının perturbasyon değerleri "1" kabul edilmemektedir. Protokolde paralel plak iyon odaları için perturbasyon değeri iyon odasının tipine ve ölçüm yapılan derinlikteki ortalama enerjiye E_Z bağlı olarak verilmektedir. Yalnız bu protokolda E_0 formülü değiştiği için ($E_0 = 0.818 + 1.935R_{50} + 0.040R_{50}^2$) E_Z değeri de değişmektedir. Yine, TRS 381^[2] no'lu protokol, silindir iyon odaları için perturbasyon değerini iyon odasının iç yarıçapına ve E_Z 'ye bağlı olarak vermektedir.

TRS 398^[3] no'lu protokol için soğurulan doz formülü aşağıda verilmiştir.^[5]

$$D_{W,Q}(P_{EFF}) = M_Q N_{D,W,Q_0} k_{Q,Q_0} h_M$$

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

N_{D,W,Q_0} : Paralel plak odalar için çapraz kalibrasyonla bulduğumuz, silindir odalar için ise ikinci standart laboratuvarın göndermiş olduğu kalibrasyon katsayısı,

k_{Q,Q_0} : Demet kalitesi R_{50} 'ye ve kullanılan iyon odasının tipine bağlı olarak protokolda verilen değer,

h_m : Ölçüm ortamı olarak sudan farklı bir ortam kullanıldığında bu ortamın iyon odasının cevabına

yaptığı etkiyi düzelten faktör. Çalışmamızda bu etki SuRW3 faktörü kullanılarak düzeltilmiştir.

SuRW3 : Enerjiye bağlı olarak değişen katı su fantomu ile su fantomu değerlerini oranlayan faktör,

P_{DIS} : Paralel plak odalar için yerdeğiştirme faktörü kullanılmamaktadır. Silindir odalarda ise efektif noktanın kayma miktarı $0.5 r_{KAV}$ aşağıdır. Bu etki %DD ile düzeltilmiştir.

BULGULAR

Paralel plak odaların çapraz kalibrasyon sonucu bulunmuş suda soğurulan kalibrasyon faktörleri Tablo 1'de verilmiştir.

Ölçümü etkileyen etki parametrelerinden olan basınç-sıcaklık, polarite ve yeniden birleşme faktörlerinin ölçümü soğurulan doz ölçümlerinden önce yapılmıştır. Buna göre kullanılan silindir iyon odalarının farklı enerjilerdeki polarite değerleri %1 içindedir, paralel plak iyon odalarının polarite etkileri ise %2 içerisindedir. Yeniden birleşme değerleri ise Marcus (a) iyon odası hariç %1 içerisindedir. Marcus (a) iyon odasınınki ise %2 içindedir.

Elektronlar için değerlendirme TRS 277^[1] ve TRS 381^[2] no'lu protokoller için d_{MAX} 'da TRS 398^[3] no'lu protokol için de tavsiye edilen derinlik d_{REF} 'de yapılmıştır. Farklı elektron enerjilerinin d_{MAX} ve d_{REF} derinlikleri Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 1

Paralel plak odaların çapraz kalibrasyon sonucu bulunmuş suda soğurulan kalibrasyon faktörleri

İyon odası	Marcus (a)	Marcus (b)	NACP
N_{DW}^{ALAN}	550.572	586.8157	151.876

Tablo 2

Farklı elektron enerjilerinin d_{MAX} ve d_{REF} derinlikleri

Enerji	6 MeV	8 MeV	10 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
d_{MAX}	1.2 cm	1.6 cm	2.2 cm	2.5 cm	2.8 cm	3 cm
d_{REF}	1.2 cm	1.8 cm	2.2 cm	2.7 cm	3.2 cm	4.2 cm

Tablo 3

Marcus (a) iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
6	- %2.04	- %0.72	%1.35
8	- %0.98	- %0.74	%0.24
10	%0.69	%0.53	%1.23
12	- %0.34	%0.38	%0.72
15	%0.08	%0.54	%0.29
18	%0.25	%0.37	%0.12

Tablo 4

Marcus (b) iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
6	- %2.00	%0.43	%2.48
8	- %0.98	%0.62	%1.62
10	- %0.69	%2.64	%1.62
12	%0.27	%0.24	%0.52
15	%0.08	%1.07	%0.99
18	%0.25	%0.88	%0.63

Tablo 5

NACP iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
6	- %0.11	%3.27	%3.38
8	%0.33	%1.28	%1.37
10	%0.42	%1.49	%1.06
12	%0.47	%1.27	%0.79
15	%0.55	%1.21	%0.66
18	%0.41	%0.77	%0.36

Tablo 6

PTW 30001 (a) iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
10	%0.12	%1.35	%1.23
12	- %0.38	%0.23	%0.61
15	%0.79	%1.03	%0.24
18	%0.66	%0.79	%0.13

Tablo 7

PTW 30001 (b) iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 no'lu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
10	%0.12	%0.83	%0.71
12	- %0.35	%0.51	%0.87
15	%0.75	%2.45	%1.69
18	%0.66	%0.88	%0.22

Tablo 8

NE 2571 iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
10	%0.54	%1.07	%0.53
12	%0.69	%1.28	%0.58
15	%0.78	%1.67	%0.88
18	%0.68	%1.74	%1.06

Tablo 9

NE 2581 iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
10	%0.55	%1.71	%1.15
12	%0.70	%1.35	%0.64
15	%0.83	%1.52	%0.68
18	%0.69	%1.59	%0.89

Tablo 10

PTW 30002 iyon odası için TRS 277, TRS 381 ve TRS 398 nolu protokollere göre hesaplanan soğurulan dozların oranı

Enerji (MeV)	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
10	%0.12	%0.94	%0.82
12	- %0.38	%0.52	%0.91
15	%0.78	%1.13	%0.35
18	%0.66	%0.73	%0.07

TARTIŞMA

Elektron enerjilerinde Marcus iyon odası hariç diğer iyon odaları için TRS 398^[3] ile hesaplanan

soğurulan doz TRS 381^[2] ve TRS 277^[1] no'lu protokollerde hesaplanandan daha fazla bulunmuştur. Marcus iyon odası için üç farklı protokole göre

hesaplanan soğurulan dozlar - %2.04 ile %2.64 arasında değişmektedir. Marcus dışındaki diğer paralel plak iyon odalarında değişimin az olmasının nedeni bu odaların iyi korunmuş olmasıdır. Marcus hariç diğer iyon odaları için 6 MeV enerjisindeki farklılık farklılık %0.11 ile %3.38 arasında iken, 8 MeV için %0.33 ile %1.37 arası, 10 MeV için %0.12 ile %1.71 arası, 12 MeV için %1.35 ile %0.23 arası, 15 MeV için %1.69 ile %0.24 arası 18 MeV için %0.22 ile %1.74 arası fazla bulunmuştur (Tablo 3-10). Sonuçlarımız literatür^[4,5] ile uyumludur. Bu verilere göre foton enerjilerinin aksine elektron enerjilerinde protokoller arası absorbe doz farkı özellikle düşük enerjili elektronlar için yüksek bulunmuştur. Farklılığın büyük kısmının TRS 277^[1] no'lu protokolde perturbasyon faktörünün "1" kabul edilmesinden dolayı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, TRS 398^[3] no'lu protokolle soğurulan dozun hesaplanması daha çok doğruluk sağlamaktadır.

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 'The use of plane parallel ionization chambers in high energy electron and photon beams: An international code of practice for dosimetry. Technical Reports Series No: 381, Vienna, Austria: 1997.
3. 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.
4. Stewart KJ, Seuntjens JP. Comparing calibration methods of electron beams using plane-parallel chambers with absorbed-dose to water based protocols. Med Phys 2002;29(3):284-9.
5. Andreo P, Huq MS, Westermarck M, Song H, Tilikidis A, DeWerd L, et al. Protocols for the dosimetry of high-energy photon and electron beams: a comparison of the IAEA TRS-398 and previous international codes of practice. International Atomic Energy Agency. Phys Med Biol 2002;47(17):3033-53.