محاسبهٔ نسبت جذب در دوزیمتری ید-۱۳۱ بوسیلهٔ کد MCNP-4A

دکتر کمال حداد[۱]، دکتر مهرالسادات علوی[۲]، مهندس یگانه گرجی[۱]

۱ـ دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه شیراز ، ۲ - دانشگاه علوم پزشکی شیراز

چکیده

رابطهٔ مربوط به تعیین دوز جذب شده بوسیلهٔ کل بدن شامل دو بخش می باشد. بخش مربوط به جذب بتا و بخش مربوط به جذب اشعهٔ گاما. قسمت اول عموماً به کمک داده های کلینیکی محاسبه می شود، در حالیکه قسمت دوم دارای پارامتری به نام نسبت جذب می باشد که این پارامتر به کمک روشهای محاسباتی تعیین می گردد. امروزه روشهای شبیه سازی مونت کارلو بهترین روش برای محاسبهٔ نسبت جذب می باشند. ما در اینجا از کد شبیه سازی MCNP-4A استفاده کردیم و نسبت جذب را برای کل بدن و همچنین غدهٔ تیروئید محاسبه نمودیم. چشمه ما یک چشمهٔ پخش شدهٔ یکنواخت از ید- ۱۳۱ بود و برای تمام فوتونهای ساطع شده از ید-۱۳۱ باتوجه به نسبت آنها شبیه سازی انجام شد. فانتوم مورد استفاده یک بیضیگون با ابعاد بدن یا غدهٔ تیروئید بود و درون آن را یک بار آب و یک بار از ماده ای شبیه به بافت بدن و چگالی نزدیک به چگالی آب در نظر گرفتیم. نتایج بدست آمده با داده های Brownell وهمکاران مقایسه شد و اختلافات قابل قبول بود. برای مشاهده دقت برنامهٔ استفاده شده یکبار هم یکی از فانتومها را به سلولهای cm ۵×۵×۵ تقسیم نمودیم. تفاوت مشاهده شده جالب توجه بود. تمام شبیه سازیها برای تاریخچه های بیش از ۵۰۰۰۰ انجام شد و با استفاده از روش های کاهش واریانس، خطای نسبی به کمتر از ۱٪ بدست آمد.

واژه های کلیدی : *تیروئید، ید- ۱۳۱، نسبت جذب، روش مونت کارلو ، دوز جذبی، MCNP4A*

مقدمه

امروزه روشهای شبیه سازی مونت کارلو بهترین روش برای محاسبهٔ نسبت جذب می باشند.ماکزیمم اکتیویته ای که می توان به بیمار تزریق نمود، A_{max} برابر است با اکتیویتهٔ تزریق شده ای که دوز جذبی حاصل از آن در خون ۲ Gy باشد. A_{max} با استفاده از محاسبهٔ دوز تیروئید بدست می آید که در آن اکتیویتهٔ ردیاب (A_{tracer})به بیمار تزریق می شود و سپس کینتیک رادیو دارو در خون و کل بدن نمایش داده می شود. دوز خون شامل دو مؤلفه می باشد، دوز بتا و دوز اشعهٔ گاما. هدف ما در این مقاله بررسی دوز ناشی از گاما در خون و غدهٔ تیروئید می باشد.

مواد و روشها

از آنجائیکه نرخ جذب رادیو دارو و آزاد شدن آن در خون و کل بدن می تواند متفاوت باشد، اکتیویته های تجمعی هم به همان نسبت متفاوت می باشند. با داشتن انرژی متوسط به ازای هر واپاشی (Δ) و نسبت جذب(φ)، ماکزیمم اکتیویتهٔ مجاز از طریق رابطهٔ زیر بدست می‌آید(۱):

معادلهٔ(۱) $$A_{max}=2Gy/\{[(\tilde{A}\Delta)_{\beta}+(\tilde{A}\varphi\Delta)_{\gamma}]/\tilde{A}_{tracer}\}$$

فرض بر این است که جذب ید خطی است و انرژی الکترون به صورت ناحیه ای بر جای می‌ماند. ($\tilde{A}$) تعداد کل واپاشی ها بوسیلهٔ روش ارائه شده بوسیلهٔ Benua بدست می آید (۲) در اینجا به بررسی قسمت دوم معادلهٔ (۱) که مربوط به جذب گاما می باشد، می پردازیم.

دوز جذب شده از اشعهٔ گاما :

رابطهٔ موجود برای محاسبهٔ دوز جذب شدهٔ فوتون به ازای هر اکتیویتهٔ ردیاب به صورت زیر می باشد:

$$(D/A_{tracer}) = \bar{A}_\gamma \Delta_\gamma \varphi / (A_{tracer}\, M) \qquad \text{معادله(۲)}$$

که M جرم کل بدن به گرم می باشد.عامل $\bar{A}_\gamma$ که اکتیویتهٔکل بدن می باشد به کمک داده های کلینیکی و روابط ریاضی بدست می آید(۳). Δ_γ نیز در جداول موجود می باشد. A_{tracer} بر مبنای استاندارد آماده سازی بیمار قبل از درمان با ید- ۱۳۱ تعیین می گردد. A_{tracer} در مورد بیماران در درمان سرطان تیروئید بین MBq ۳۷ تا MBq ۱۸۵ (۱ mCi تا ۵ mCi) می باشد. φ ، نسبت جذب برای تابشهای مختلف ید-۱۳۱ به وسیلهٔ کد شبیه سازی مونت کارلو (MCNP-4A) (۴) محاسبه شد

در این شبیه سازی هندسهٔ بیماران بوسیلهٔ بیضیگونهای حاوی آب با چگالی $1\ gr/cm^3$ و همچنین ترکیبی شبیه به بافت بدن با چگالی نزدیک به چگالی آب (۵) و ابعاد نزدیک به ابعاد بدن انسان شبیه سازی شد. انرژی بجای مانده داخل بیضیگون بوسیلهٔ ثبت انرژی بجای مانده در طول مسیر الکترونهای ثانویه محاسبه‌می‌شود. نسبت‌انرژی بجای مانده‌درون بیضیگون به انرژی ساطع شده، نسبت جذب را می دهد.

در اینجا چشمهٔ گاما به صورت یکنواخت درکل بدن یا غدهٔ تیروئید پخش می شود .انرژیهای مختلف ید-۱۳۱ از Table of Isotopes (۶) بدست آمده است. تاریخچهٔ ذرات بارسیدن به سطح بیضیگون پایان میابد. همچنین هرگاه انرژی ذرات به زیر ۱۰keV برای فوتونها و۰/۵۲۱MeV بزای الکترونها برسد ذره از گردونه خارج می شود . شبیه سازی برای تاریخچه های ۵۰۰۰۰ و بیشتر انجام گرفت تا خطای نسبی به زیر ۱٪ برسد. این شبیه سازی به همین ترتیب برای غدهٔ تیرولید هم انجام گرفت و نسبت جذب در غده تیروئید هم محاسبه شد. نسبت جذب ید رادیواکتیو در تیروئید ۲۰٪ در نظر گرفته شده است.

شبیه سازی برای گروههای مختلف سنی و افراد با ابعاد مختلف با تغییر دادن ابعاد بیضیگون هم انجام شد. در یک مورد نیز فانتوم را به سلولهای کوچک cm ۵×۵×۵ تقسیم کردیم و انرژی بجای مانده در هریک از سلولها را بدست آوردیم. تقارن مشاهده شده بخصوص در تاریخچه های زیاد جالب توجه و نشان دهندهٔ دقت محاسبه توسط کد MCNP-4A است.

نسبتهای جذب بدست آمده را با نتایج ارائه شده توسط Brownell و همکاران(۵) مقایسه نمودیم. تطابق مشاهده شده قابل قبول بود.

یافته‌ها

در افراد بزرگسال با ابعاد متوسط نسبت محورهای بیضیگون که توسط Brownell و همکاران معرفی شده به صورت ۹/۳: ۱/۸: ۱ می باشد. ما این نسبت را برای افراد در اوزان مختلف در نظر گرفتیم و نسبت جذب را برای آنها محاسبه نمودیم. در جدول(۱) نسبتهای جذب در افراد مختلف در بیضیگون محتوی آب و در جدول (۲) در بیضیگون محتوی ترکیب شبیه بافت بدن آمده است. در جدول (۳) این نتایج با داده های Brownell و همکاران مقایسه شده است. در مرحلهٔ بعد فانتوم ۵۰kg را به سلولهای ۵×۵×۵cm تقسیم نمودیم. درx های مختلف انرژی بجای مانده در سلولها را بدست آوردیم. شکل ۱ تقارن موردانتظار در انرژی بجای مانده در سلولها را در تاریخچه های مختلف نشان می دهد. دیده می شود که تقارن موجود با افزایش تاریخچه بهبود می یابد. این شکل برای فانتوم آب رسم شده اند.

تنها روش کاهش واریانس بکارگرفته شده در این برنامهٔ مونت کارلو استفاده از IMP card است. در قسمت بعد همین روش شبیه سازی برای محاسبهٔ انرژی بجای مانده در غدهٔ تیروئید انجام شد. در این مرحله غدهٔ تیروئید را به صورت یک کرهٔ کوچک ۲۰ گرمی شبیه سازی کردیم. نتایج در جدول ۴ آمده است.

جدول شماره ۵ نیز انرژی بجای مانده از فوتونهای ساطع شده از ید-۱۳۱را در فانتوم آبی نشان می دهد. این محاسبات بر پایهٔ نسبت هرکدام از فوتونها صورت گرفته تا نقش آنها در درمان معین گردد. با توجه به جدول ۵ چنین نتیجه گیری می شود که بیشترین سهم را از انرژی بجای مانده فوتونهای ۰/۳۶۴ MeV برعهده دارند و در مطالعهٔ اثرات تابش ناشی از ید-۱۳۱ در نظر گرفتن تنها همین تابش چندان دور از واقعیت نیست.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده دیده می شود که کد

جدول ۱- نسبت جذب در بیضیگون محتوی آب برای فوتون با انرژی 0.364 MeV برای 500000 تاریخچه.

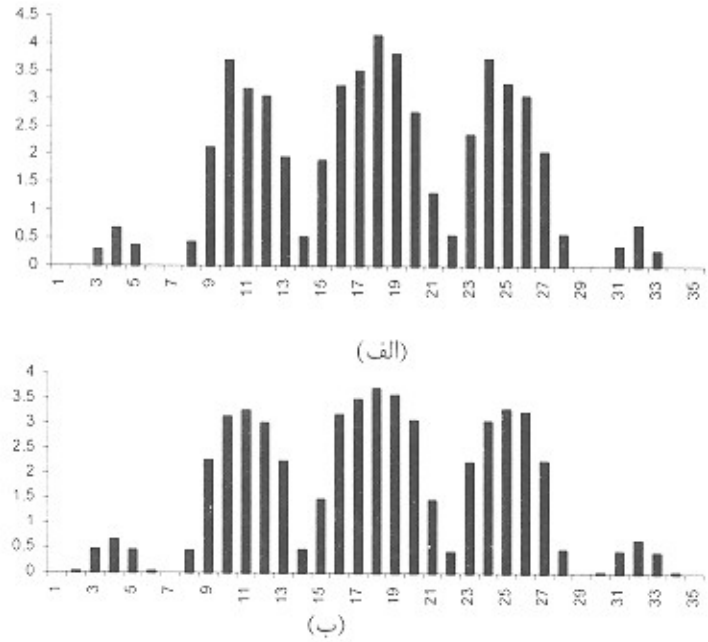
جرم بدن (Kg)	انرژی بجای مانده (MeV)	نسبت جذب	خطای نسبی
5	0.0548	0.1500	0.0022
10	0.0673	0.1850	0.0020
15	0.0756	0.2080	0.0019
20	0.0820	0.2250	0.0018
25	0.0874	0.2400	0.0017
30	0.0920	0.2530	0.0017
40	0.0995	0.2730	0.0016
50	0.1060	0.2900	0.0016
60	0.1110	0.3050	0.0015
70	0.1150	0.3170	0.0015
80	0.1200	0.3280	0.0014
90	0.1230	0.3380	0.0014
100	0.1270	0.3480	0.0014

جدول ۲ - نسبت جذب در بیضیگون محتوی ترکیب بافت با انرژی اولیهٔ فوتون 0.364 MeV برای 500000 تاریخچه

جرم بدن (Kg)	انرژی بجای مانده	نسبت جذب	خطای نسبی
4	0.0514	0.141	0.0023
5	0.0549	0.151	0.0022
1	0.0674	0.185	0.002
15	0.0757	0.208	0.0019
20	0.0822	0.226	0.0018
25	0.0875	0.240	0.0017
30	0.0921	0.253	0.0017
40	0.0997	0.274	0.0016
50	0.1060	0.291	0.0016
60	0.1110	0.305	0.0015
70	0.1160	0.318	0.0015
80	0.1200	0.329	0.0014
90	0.1230	0.339	0.0014
100	0.1270	0.348	0.0014

جدول۳ – مقایسهٔ نتایج با داده های Brownell و همکارا ن.

جرم بدن (Kg)	نسبت جذب (500000 history)	نسبت جذب (1000000 history)	Brownel
4g	0.1408	0.1413	0.148
5	0.1504	0.1508	#
10	0.1848	0.1851	0.2
15	0.2076	0.2081	#
20	0.2254	0.2258	0.245
25	0.2400	0.2405	#
30	0.2526	0.2531	0.273
40	0.2733	0.2738	0.293
50	0.2901	0.2907	0.312
60	0.3046	0.3052	0.327
70	0.3173	0.3179	0.34
80	0.3285	0.3292	0.351
90	0.3384	0.3392	0.362
100	0.3477	0.3484	0.371



شکل۱- انرژی بجای مانده در سلولهای فانتوم آبی در مقطع x= 0.

در فانتوم محورy به ۷ قسمت مساوی و محور z به ۵ قسمت مساوی تقسیم شده اند. در این شکل محورx شماره سلولها درx=0 درفانتوم می باشد. شمارهٔ۱،سلول (۲- ،۳۰-)، شمارهٔ ۲،سلول (۲- ،۲۰-) و به همین ترتیب شمارهٔ ۳۵ سلول (۲، ۳) است.

شکل۱- الف- در این شکل تاریخچه ۵۰۰۰۰ می باشد.

شکل۱- ب- در این شکل تاریخچه ۵۰۰۰۰۰ می باشد.

جدول۴- انرژی بجای مانده در تیروئید در فانتوم آبی و ترکیب بافت با تاریخچه ۱۰۰،۰۰۰

	انرژی بجای مانده MeV	نسبت جذب	خطای نسبی
فانتوم آبی	1.33E-02	0.036461	0.0033
فانتوم ترکیب بافت	1.33E-02	0.036507	0.0033

جرم تیروئید ۲۰گرم در نظر گرفته شده است

جدول۵- انرژی بجای مانده در فانتوم آبی در اثر تابش فوتونهای ید-۱۳۱ با توجه به نسبت هریک برای بدن با جرم ۵۰ Kg و تاریخچه ۵۰،۰۰۰

انرژی فوتون (Mev)	نسبت	انرژی بجای مانده (MeV)	خطای نسبی	تاریخچه	جرم بدن
0.72289	0.018025	3.75E-03	0.0017	500000	50kg
0.6427	0.002195	4.05E-04	0.0017	500000	50kg
0.63697	0.072605	1.31E-02	0.0017	500000	50kg
0.50299	0.003605	5.27E-04	0.0016	500000	50kg
0.36448	0.81164	8.57E-02	0.0016	500000	50kg
0.2843	0.060521	4.95E-03	0.0015	500000	50kg

MCNP-4A بخصوص در حجمهای کم نتایج قابل قبولی می دهد و بنابراین می توان در محاسبهٔ دوز دریافتی در بیماران از آن استفاده نمود. همچنین در محاسبهٔ میزان جذب غدهٔ تیروئید هم می توان از این کد استفاده کرد. برای محاسبهٔ دوز دریافتی در کل بدن با استفاده از معادلهٔ (۲) ، کافیست با توجه به ابعاد بدن بیمار مورد نظر، بیضگون را تعریف کرده و سپس به کمک کد نسبت جذب را محاسبه نمود. همچنین در کلینیکهای درمانی هسته ای می توان اکتیویتهٔ کل بدن را به کمک آشکارساز مناسب و روشهای موجود بدست آورد، و دوز کل بدن را محاسبه نمود.

منابع

1) Furhang EE, Larson SM, Buranapong P, Humm JL. Thyroid cancer dosimetry using clearence fitting. *J Nucl Med.* 1999; 40:131-136.
2) Mazzaferri EL, Jhing SM. Long-term impact of initial surgical and medical therapy on papillary and follicular thyroid cancer. *Am J Med.* 1994: 97; 418-428.
3) Benua R.S, Cicale NR, Sonenberg M, Rawson RW: The relation radioiodine dosimetry to results and complications in the treatment of metastatic thyroid cancer *Am. J. Roentgenol* 1962;87: 171-182.
4) Briesmiester J: MCNP- A General Monte Carlo Code N-Particle transport code Version 4A. Nov. 1993; LA-12625-M.

5) Brownell GL, Ellet WH, Reddy AR. MIRD pamphlet 3: absorbed fractions for photon dosimetry.*J Nucl Med.* 1968; 9: 27-39.

6) Firestone RB, Shirley VS, Baglin CM and Zipkin J :Table of Isotopes CD ROM. Eighth Edition, LBNL, University of California, March 1996;Version 1.0.