

مقاله پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
جلد پنجم، شماره اول، بهار ۱۳۸۵، ۷-۱۰

محاسبه دز جذبی ناشی از I^{131} در تیروپید با استفاده از کد MCNP برای ۵ و میدان کروی و استوانه‌ای

دکتر علی اصغر مولوی^۱، علی رضا بینش^۲

دریافت مقاله: ۱۳۸۳/۱۰/۱۴ اصلاح نهایی: ۱۳۸۴/۱۱/۲۶ پذیرش مقاله: ۱۳۸۵/۳/۳

چکیده

زمینه و هدف: رادیوایزوتوپ I^{131} در درمان پرکاری و سرطان تیروپید به طور گستردۀ استفاده می‌شود. از این رو محاسبه دقیق دز جذبی در تیروپید و دیگر اعضای بدن حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، با توجه به روش MIRD و با استفاده از کد محاسباتی MCNP، دز جذبی ناشی از چشمۀ رادیواکتیو I^{131} برای تیروپید با جرم و اندازه معین محاسبه شده است.

یافته‌ها: نتایج حاصل از دو هندسه در نظر گرفته شده برای هر لوپ تیروپید (کروی و استوانه‌ای) با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که اگر جرم تیروپید از ۲۰ گرم تا ۷۰ گرم تغییر کند، دز جذبی به ازای یک واپاشی ۴/۲٪ افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که اولاً در یُد درمانی، بایستی به جای جرم کل تیروپید از روش‌های دقیق برآورد جرم فعال غده تیروپید استفاده شود. ثانیاً در محاسبه دز تجویزی برای درمان پرکاری و سرطان تیروپید، تغییرات دز جذبی بر حسب جرم تیروپید نیز مورد توجه قرار گیرد، زیرا دز جذبی به ازای یک واپاشی وابسته به جرم تیروپید است.

واژه‌های کلیدی: دز جذبی، رادیوایزوتوپ I^{131} ، روش MIRD، کد محاسباتی MCNP، غده تیروپید

مقدمه

می‌گردد [۴]. در فرآیند ید درمانی، محاسبه دقیق دز جذبی در تیروپید و دیگر اعضای بدن از اهمیت زیادی برخوردار است.

کد محاسباتی MCNP [۴] یک ابزار توانمند برای شبیه‌سازی تراپرید تابش‌ها و محاسبه دز است [۵-۷]. در این پژوهش به روش MIRD و به کمک روش مونت کارلو و با استفاده از کد محاسباتی MCNP مقدار دز جذبی به ازای یک واپاشی محاسبه شده است. کمیته دز تابش داخلی درمانی (MIRD) انجمن پزشکی هسته‌ای برای محاسبه جذب جزئی

کاربرد ایزوتوپ‌های پرتوزا در پزشکی به دو بخش کاربردهای درمانی و تشخیصی تقسیم می‌شود. I^{131} از جمله رادیو ایزوتوپ‌های مناسب در تشخیص و درمان پرکاری و سرطان‌های تیروپید است [۱-۲]. این رادیو ایزوتوپ به صورت یدور سدیم نشاندار (NaI^*) محلول در آب به بیمار خورانده می‌شود. بد رادیواکتیو پس از جذب در غده تیروپید تجمع می‌یابد. از مقایسه آهنگ شمارش در ناحیه گردن مریض و فانتوم استاندارد گردن، میزان شدت عوارض تیروپید مشخص

- (نویسنده مسئول) استادیار گروه آموزشی فیزیک دانشکده علوم دانشگاه تربیت معلم سبزوار
تلفن: ۰۵۷۱-۴۴۱۱۶۱، فاکس: ۰۵۷۱-۴۴۱۰۱۰۵، پست الکترونیکی: amowlavi@sttu.ac.ir

- دانشور و عضو هیأت علمی گروه آموزشی فیزیک دانشگاه پیام نور فریمان

ازای یک واپاشی با MCNP محاسبه نمود. نتایج حاصل برای کره هم ارز بافت عبارتند از:

$F8 = 0.043358(1\pm 0.003) \text{ MeV/t}$ برای پرتوهای بتاها

$F6 = 7.22632 \times 10^{-5}(1\pm 0.004) \text{ MeV/gr}$ برای فوتون

$$\begin{aligned} E_{\text{total}} &= E_e(\beta) + E_e(\gamma) = F6 \times m(\text{kg}) + *F8 = \\ &7.22623 \times 10^{-5} \times 600 + 0.1748 = 0.218158 \text{ MeV/t} \end{aligned}$$

در نتیجه آهنگ دز عبارت است از:

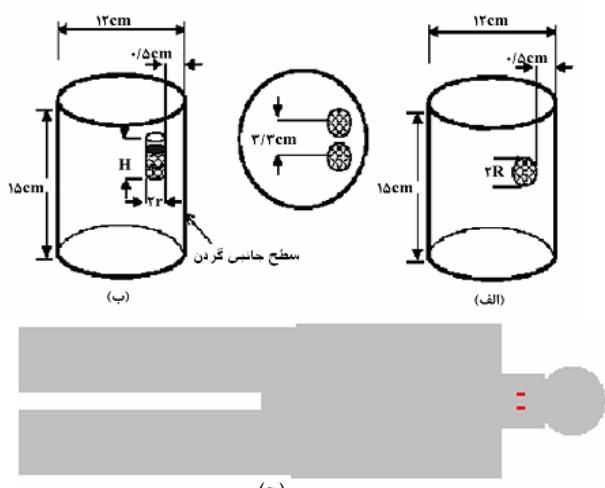
$$D = \frac{[qBq \times ltps / Bq \times E_e \text{ MeV}t \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times 8.64 \times 10^4 \text{ s/d}]}{m \text{ kg}}$$

$$= 0.00502636 \text{ Gy/d}$$

که $E_e(\beta)$ و $E_e(\gamma)$ به ترتیب انرژی جذب شده بتاها و فوتون‌ها بر حسب MeV به ازای یک واپاشی است. این نتیجه با آنچه H.Cember گزارش کرده است توافق بسیار خوبی دارد [۱۰].

نتایج

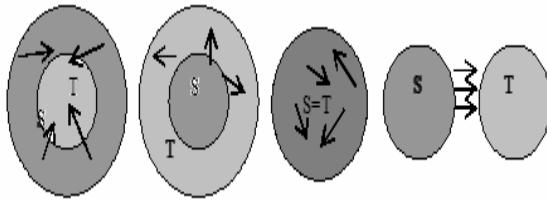
محاسبات دز برای تیرووید: در شبیه‌سازی بدن و محاسبه دز دریافتی ناشی از تیرووید به کمک کد MCNP، فانتموهای بدن و گردن را مطابق شکل ۲ در نظر گرفته‌ایم و مقدار دز جذبی در تیرووید و بقیه بدن را برای دو هندسه کروی و استوانه‌ای هر لوب غده تیرووید محاسبه نموده‌ایم. توجه به این نکته ضروری است که تالی‌های خروجی MCNP به ازای یک ذره چشمی است، و برای فعالیت‌های پرتوزایی و نیمه عمرهای موثر می‌توان مقدار دز جذبی را محاسبه نمود.



شکل ۲: (الف) فانتم گردن بالوب کروی برای تیرووید [۱۱]، (ب) فانتم گردن بالوب استوانه‌ای برای تیرووید [۱۱]، (ج) فانتم بدن مورد استفاده برای محاسبات MCNP

انرژی گاما در اندام‌ها و بافت‌ها روشی ارایه داده است که با آن می‌توان دز جذب شده در اندام هدف (T) و اندام چشمی (S) که ایزوتوپ پرتوزا در آن به طور یکنواخت توزیع شده است را محاسبه کرد [۱۰-۱۱]. این روش مبتنی بر کسر جذبی (Φ) است، که عبارت است از کسری از انرژی تابش شده از اندام چشمی که در اندام هدف جذب می‌گردد:

$$\Phi = \frac{\text{انرژی جذب شده در هدف}}{\text{انرژی گسیل شده از چشمی}}$$



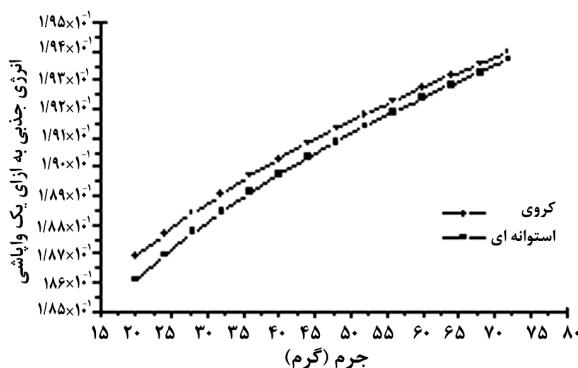
شکل ۱: چهار وضعیت مختلف اندام‌های چشمی و هدف [۱۰]

به روش مونت کارلو می‌توان کسرهای جذبی برای چهار وضعیت اندام‌های چشمی و هدف نشان داده شده در شکل ۱ را محاسبه کرد. روش مونت کارلو مبتنی بر گام زدن تصادفی است که با آن هر فرآیند آماری یا شبیه‌آماری مثل ترابرد تابش‌ها را می‌توان شبیه‌سازی کرد. در این روش تاریخچه تک تک ذرات گسیلی از چشمی دنبال می‌شود و متوسط کمیت‌های مورد نظر نظیر انرژی ذخیره شده در اندام هدف، محاسبه می‌گردد. مزیت روش مونت کارلو بر سایر روش‌ها، توانمندی آن در شبیه‌سازی هر نوع هندسه و مواد است. کد محاسباتی MCNP توانایی انجام محاسبات ترابرد نوترون، گاما و الکترون به روش مونت کارلو را دارد [۴].

مواد و روش‌ها

روش محاسبات: محاسبه دز به روش MIRD مبتنی بر چند پیش فرض است که مهم‌ترین آن‌ها توزیع یکنواخت ماده رادیواکتیو در اندام هدف یا تومور است.

محاسبه دز برای یک کره هم ارز بافت: ابتدا محاسبات دزیمتری برای یک کره تشکیل شده از ماده هم ارز بافت به جرم 0.06 kg ، از ماده رادیواکتیو ^{131}I در آن بطور یکنواخت پخش شده است، انجام داده‌ایم. برای این منظور می‌توان با استفاده از تالی (Tally) F6 برای پرتوهای گاما و از تالی F8 برای الکترون مقدار انرژی جذب شده را به



نمودار ۳: مقایسه انرژی کل جذب شده در تیروپید با لوب کروی و تیروپید با لوب استوانه‌ای به ازای یک واپاشی.

نیمه عمر بیولوژیکی ید حدود ۳۳ روز است که با توجه به نیمه عمر فیزیکی آن، نیمه عمر مؤثر حدود $6/43$ روز است. در این صورت رابطه واپاشی عبارت است از:

$$q(t) = q_0 e^{-\lambda_e t}, \quad \lambda_e = \frac{\ln(2)}{(t_{1/2})_e}$$

که λ_e ثابت واپاشی مؤثر و $(t_{1/2})_e$ نیم عمر مؤثر است.

آهنگ دُز جذبی در تیروپید به صورت زیر است:

$$\dot{D} = \frac{q(t) \times 1tps/Bq \times E_e MeV/t \times 1.6 \times 10^{-13} J/MeV}{m \ kg}$$

به این ترتیب دُز کل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

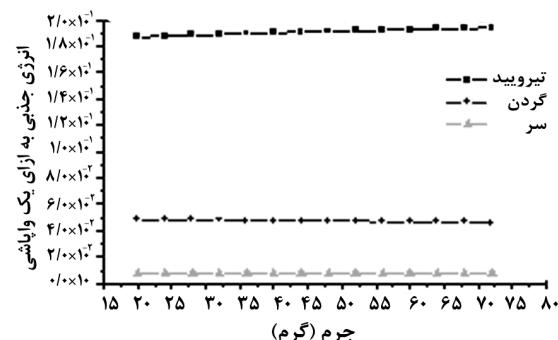
$$D = \frac{1tps/Bq \times E_e MeV/t \times 1.6 \times 10^{-13} J/MeV}{m \ kg} \int q(t) dt$$

بنابراین با توجه به رابطه فوق و داشتن کسر جذبی که به روش مونت کارلو در این مقاله به محاسبه آن پرداختیم، به سادگی دُز کل محاسبه می‌شود.

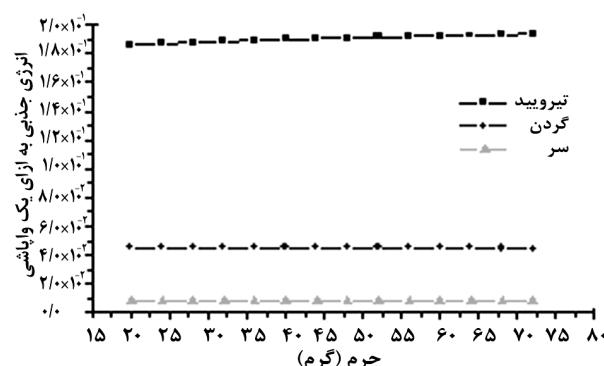
بحث

محاسبات مونت کارلوی انجام شده با کد MCNP نشان می‌دهد که اگر جرم تیروپید از ۲۰ گرم تا ۷۰ گرم تغییر کند، کسر جذبی برای هندسه کروی $\approx 3/78$ و برای حالت استوانه‌ای $\approx 4/27$ افزایش می‌یابد. بعضی از منابع خطا در برآورد دُز جذبی یک اندام عبارتند از درصد برداشت رادیو دارو توسط اندام هدف، فعالیت هدف، نیمه عمر مؤثر و برآورد جرم اندام [۱۲-۱۴]، که در ید درمانی برآورد دقیق جرم تیروپید بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در شکل ۳ تصویر تیروپید دو بیمار که به روش SPECT با دوربین گاما تهیه شده نشان داده شده است. نمودار ۴ نیز نتایج برآورد حجم تیروپید سه بیمار به دو روش اکوگرافی و SPECT را نشان می‌دهد. بهوضوح دیده می‌شود که تفاوت حجم کل با حجم فعل تیروپید قابل ملاحظه است.

نمودارهای ۱ و ۲ تغییرات مقدار کسر جذب شده کل به ازای یک واپاشی در تیروپید، گردن و سر بر حسب جرم غده تیروپید را برای دو وضعیت هندسی نشان می‌دهند. در نمودار ۳ کسر جذبی کل برای تیروپید بر حسب جرم برای دو هندسه کروی و استوانه‌ای نشان داده شده است، دیده می‌شود که دُز جذبی در تقریب کروی، به خاطر بزرگ‌تر بودن نسبت حجم به سطح آن از حالت استوانه‌ای بیشتر است. برای وضعیت واقعی تر که هر لوب غده تیروپید به شکل بیضی گون است، دُز جذبی بین دو حالت فوق می‌باشد. شکل و اندازه دقیق بافت پرکار یا فعال تیروپید معمولاً به روش سانتی‌گرافی اندازه‌گیری و تعیین می‌شود [۲، ۱۱]. در تمام محاسبات انجام شده در این پژوهش، خطای نسبی کمتر از $5/100$ بوده است.

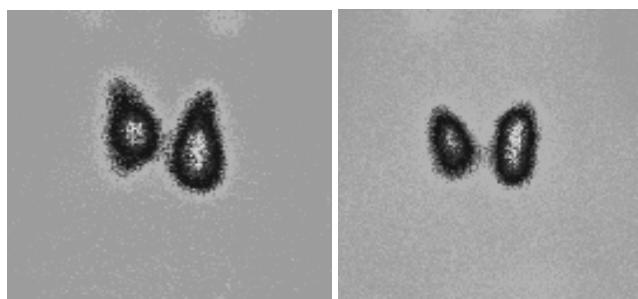


نمودار ۱: انرژی کل جذب شده در تیروپید با لوب کروی به ازای یک واپاشی.

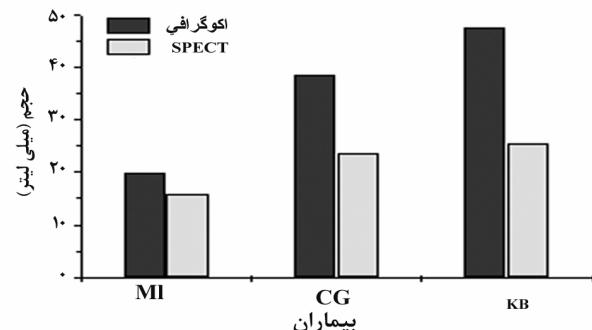


نمودار ۲: انرژی کل جذب شده در تیروپید با لوب استوانه‌ای به ازای یک واپاشی.

استفاده شود؛ یعنی بجای استفاده از روش‌هایی نظریه تخمین لمسی، MRI و اکوگرافی که جرم کل تیروئید را برآورد می‌نمایند؛ از روش‌هایی مانند عکسبرداری SPECT و سانتی‌گرافی که به کمک آن‌ها می‌توان جرم توده فعال تیروئید را که اندازه‌گیری نمود، استفاده شود. ثانیاً در محاسبه دز تجویزی برای درمان پرکاری و سرطان تیروئید، تغییرات دز جذبی بر حسب جرم تیروئید نیز مورد توجه قرار گیرد، زیرا دز جذبی به ازای یک واپاشی وابسته به جرم تیروئید است و اگر جرم تیروئید از ۲۰ گرم تا ۷۰ گرم تغییر کند، کسر جذبی برای هندسه کروی $\frac{۳}{۷۸}$ % و برای حالت استوانه‌ای $\frac{۴}{۲۷}$ % افزایش می‌یابد. بعضی از منابع خطا در برآورد دز جذبی یک اندام عبارتند از درصد برداشت رادیو دارو توسط اندام هدف، فعالیت هدف، نیمه عمر مؤثر و برآورد جرم اندام [۱۲-۱۴]؛ که در يد درمانی برآورده دقیق جرم تیروئید بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در بهینه کردن دز تجویزی به بیمار و افزایش دقت آن مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳: تصویر تیروئید دو بیمار که به روش SPECT با دوربین گاما تهیه شده است.



نمودار ۴: نتایج برآورده حجم تیروئید سه بیمار به روش اکوگرافی و SPECT نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اولاً بهتر است در یه درمانی، از روش‌های دقیق برآورده جرم فعال غده تیروئید

References

- [1] Vini L, Harmer C. Radioiodine treatment for differentiated thyroid cancer. *Clin Oncol (Rcoll Radiol)*, 2000; 12(6): 365-72.
- [2] Matheoud R, Canzi C, Reschini E, Zito F, Voltini F, Gerundini P. Tissue-specific dosimetry for radioiodine therapy of the autonomous thyroid nodule. *Med Phys*, 2003; 30(5): 791-8.
- [3] Erdi YE, Macapinlac H, Larson SM, Erdi AK, Yeung H, Furhang EE, et al. Radiation Dose Assessment for I-131 Therapy of Thyroid Cancer Using I-124 PET Imaging. *Clin Positron Imaging*, 1999; 2(1): 41-6.
- [4] Briesmeister JF. MCNP Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C, Los Alamos National Laboratory, 2000.
- [5] Sohrabpour M, Hassanzadeh M, Shahriari M, Sharifzadeh M. Gamma irradiator dose mapping simulation using the MCNP code and benchmarking with dosimetry. *Appl Radiat Isot*, 2002; 57(4): 537-42.
- [6] Oliveria C, Salgado J. Isodose distributions and dose uniformity in the portuguese gamma irradiation facility calculated using the MCNP code. *Radiat Phys Chem*, 2001; 61(4): 791-3.
- [7] Sohrabpour M, Hassanzadeh M, Shahriari M, Sharifzadeh M. Dose distribution of IR-136 irradiator using a Monte Carlo code and comparison with dosimetry. *Appl Radiat Isot*, 2002; 63(3-6): 769-72.
- [8] Loevinger R, Budinger T, Watson E. MIRD Primer for Absorbed Dose Calculations, Society of Nuclear Medicine, New York, 1988.
- [9] Watson EE. The MIRD Method of Internal Dose Methodology, Medical Physics Publishing, Madison, 1994.
- [10] Cember H, Introduction to Health Physics, 3rd ed, McGraw Hill Inc, New York, 1996; pp: 185-92.
- [11] van Isselt JW, de Klerk JM, van Rijk PP, van Gils APG, Polman LJ, Kamphuis C, et al. Comparison of methods for thyroid volume estimation in patients with Graves' disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2003; 30(4): 525-31.
- [12] Kramer GH, Hauck BM, Chamberlain MJ. Biological half-life of iodine in adults with intact thyroid function and in athyreotic persons. *Radiat Prot Dosimetry*, 2002; 102(2): 129-35.
- [13] Ying M, Brook F, Ahuja A, Metreweli C. The value of thyroid parenchymal echogenicity as an indicator of pathology using the sternomastoid muscle for comparison. *Ultrasound Med Bio*, 1998; 24(8): 1097-105.
- [14] Zaidi H. Comparative methods for quantifying thyroid volume using planer imaging and SPECT. *J Nucl Med*, 1996; 37(8): 1421-26.