

حساب نسبة الجرعة الممتصة في الأعضاء خلال التصوير المدمج PET/CT باستخدام مركب الفلوروديوكسي غلوكوز FDG الموسوم بالـF18 لتشخيص سرطان البروستات

رنا أبو الخير الحلاق¹

¹ جامعة الرشيد الخاصة RU، كلية الصيدلة، قسم الكيمياء الحيوية والأحياء الدقيقة.

الملخص:

خلفية البحث: يسمح التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني المدمج مع الطبقي المحوري (PET/CT) في الحصول على معلومات تشريحية باستخدام التصوير المقطعي المحوسب (CT)، ومعلومات وظيفية لأعضاء جسم المريض باستخدام التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) من خلال فحص واحد. يعتبر مركب ثنائي ديوكسي فلوريد الغلوكوز (^{18}F -2-deoxy-D-glucose) F-FDG (من أكثر المركبات الصيدلانية الإشعاعية شيوعاً لتشخيص الأورام باستخدام جهاز التصوير المدمج (PET/CT)).

هدف البحث: حساب الجرعة الإشعاعية الممتصة الناتجة عن حقن المركب الصيدلاني F-FDG 18 عند التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني في سياق تحديد المرحلة السريرية لسرطان البروستات.

المواد والطرائق: استخدم في البحث كود المحاكاة الإشعاعية MCNP لمحاكاة الفانتوم الرياضي MIRD المماثل للبنية التشريحية للبالغين بقصد حساب الجرعة الإشعاعية الناتجة عن حقن المركب الصيدلاني F-FDG 18 عند التصوير المدمج بالـPET/CT في سياق تشخيص سرطان البروستات.

النتائج: تبين من خلال الدراسة أن النسبة المئوية للجرعة الإشعاعية الممتصة في الأعضاء والنتيجة عن التصوير بالـPET أقل مما ينتج عن التصوير المقطعي المحوسب CT، باستثناء الأعضاء ذات الخطورة العالية للتعرض للإشعاع (OARs) مثل: الأمعاء الدقيقة، الخصيتين، جدار المثانة، والقضيب. حيث وصلت الجرعة الممتصة في هذه الأعضاء الناتجة عن التصوير بالـPET إلى تلك الناتجة عن التصوير بالـCT القيم التالية: 3.37، 5.34 مقابل 3.43، 5.10 msv على التوالي.

الكلمات المفتاحية: التصوير المدمج PET/CT، مركب ثنائي ديوكسي فلوريد الغلوكوز F-FDG 18، الكود MCNP، الجرعة الممتصة.

تاريخ القبول: 2023/10/8

تاريخ الإيداع: 2023/9/6

حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

ISSN: 2789-7214 (online)

<http://journal.damascusuniversity.edu.sy>



Calculation Of Absorbed Dose Ratio In Organs During PET/CT Prostate Scan Using 18F-FDG (18F-2-deoxy-D-glucose)

Rana Al-Hallak¹

¹Al Rasheed Private University, Faculty of Pharmacy, Dept. of Biochemistry and Microbiology.

Abstract:

Background: Combined positron emission tomography with computed tomography (PET/CT) allows to get acquisition data of anatomic and functional information through CT and PET imaging, respectively. This imaging modality provides co-registered of anatomic and functional images for the patient within a single examination. However, 18F-2-deoxy-D-glucose (18F-FDG) is the most commonly radiopharmaceuticals used in the diagnostic procedures with combined PET/CT scanners.

Purpose: To estimate the doses resulting from the injection of 18F-FDG in the radiological diagnosis of prostate cancer.

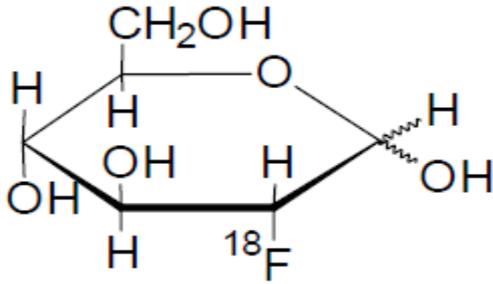
Method: In this research, the MCNP code were used to simulate the MIRD phantom of adult man and calculate the absorbed dose resulting from 18F-FDG in the prostate gland during PET/CT scan.

Results: The absorbed doses in all organs resulting from PET is less than that resulting from CT, except for organs at risk (OARs), such as: sigmoid colon, testes, urinary bladder wall, penis and scrotum, where the ratio of the absorbed dose resulting from PET and CT scan to was 3.37 and 5.34 versus 3.43 and 5.10, respectively.

KeyWords: Combined (PET/CT) , 18F-2-Deoxy-D-Glucose (18F-FDG), MCNP, Absorbed Dose.



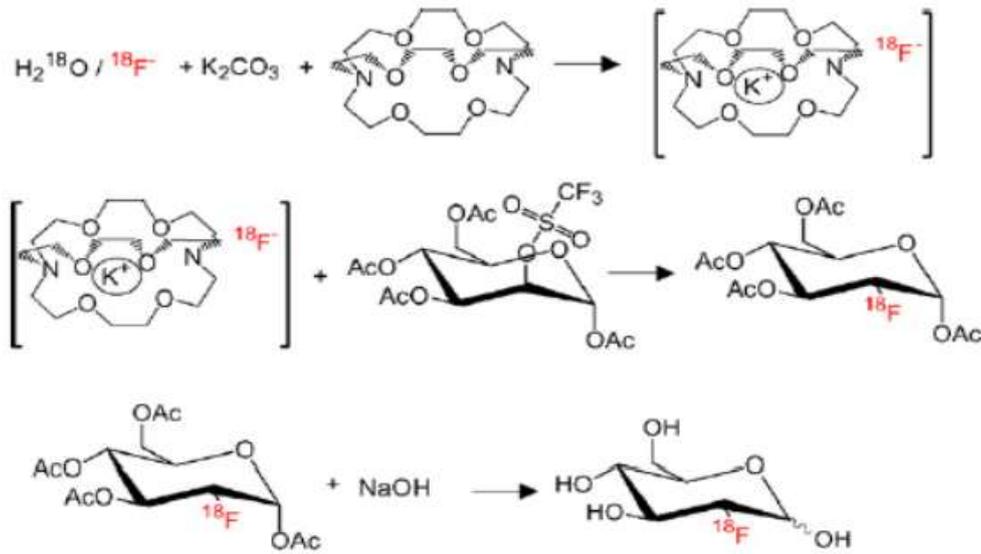
المقدمة:



الشكل(1): البنية الكيميائية لمركب FDG

يبدأ إنتاج مركب 18F-FDG بإنتاج الفلور 18F المشع باستخدام مسرع السيكلترون Cyclotron وحجيرة هدف تحتوي 18O-H₂O، يتبع ذلك تفاعل نووي مع مركب tetra-O-acetyl-2-O-trifluoromethanesulfonyl-β-D-mannopyranose [2].

يوضح الشكل(2) مراحل إنتاج مركب الـ 18F-FDG.



الشكل(2): مراحل إنتاج مركب FDG [3]

الجدول(1): نواتج التفكك الإشعاعي للنظير 18F

Radiation /Emission	% per Disintegration	Mean energy
Poistron (β^+)	96.73	249.8 keV
Gamma (\pm) (Produced by positron annihilation)	193.46	511.0 keV

يبلغ ثابت أشعة غاما النوعي للفلورين 18F القيمة 6.0 R/hr/mCi (0.3 Gy/hr/kBq) وذلك عند مسافة 1 cm.

يعتبر مركب ثنائي ديوكسي فلوريد الجلوكوز -2-18F (18F-FDG) من أكثر المركبات الصيدلانية الإشعاعية شيوعاً للأغراض التشخيصية في أجهزة التصوير المدمج (PET/CT). يستخدم عن طريق الحقن وله الصيغة الكيميائية ^{18}F 5 ووزن جزيئي 181.26 Daltons. يوضح الشكل (1) التركيبة الكيميائية لهذا المركب [1].

يتم تجهيزه بعد ذلك في محلول عديم اللون يحتوي كل 1mL منه على 0.740 to 7.40 GBq (20.0 – 200 mCi) من مركب 18F-FDG، وتراوح قيمة الـ pH لهذا المحلول بين 5.5 إلى 7.5.

يتحلل مركب 18F-FDG بإصدار البوزيترونات β^+ ، التي تملك عمر نصف 109.7 min دقيقة، بتفاعل البوزيترون الصادر مع إلكترونات خلايا النسيج بتفاعل فناء ينتج عنه فوتونين من أشعة غاما، كل فوتون بطاقة 511 keV [4]. يوضح الجدول(1) نواتج التفكك الإشعاعي للنظير 18F.

تشريحية (نتيجة عن جهاز الـCT)، ووظيفية (نتيجة عن جهاز الـPET) للمريض، وبشكل متزامن، من خلال فحص واحد. وكذلك يوفر صور مسجلة أيضا [5]. لكن من السلبيات الأساسية لهذا النوع من التصوير هو تعريض المريض إلى مصدرين من الإشعاع: أحدهما داخلي ناتج عن أشعة غاما التي تتحرر من المستحضرات المشعة المستخدمة في التصوير البوزيتروني PET، والآخر خارجي ناتج عن فوتونات الأشعة السينية لجهاز الـCT.



الشكل(3): جهاز التصوير المدمج PET/CT

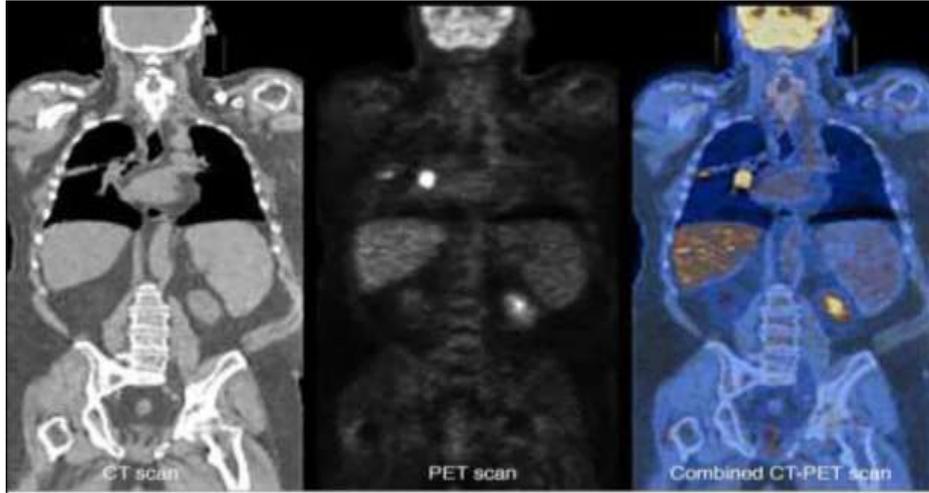
يوضح الشكل 4 الفرق في الصورة الناتجة عن التصوير المحوسب CT (على اليسار)، وتلك الناتجة عن التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني PET (في الوسط)، والنتيجة عن التصوير المدمج PET/CT (على اليمين) هدف الدراسة.

يعتمد المبدأ الأساسي في استخدام مركب 18F-FDG في التشخيص على احتوائه على سكر الجلوكوز الذي يتركز في الخلايا ذات النشاط (خلايا الورم) نظرا لاعتمادها على سكر الجلوكوز كمصدر للطاقة. يتم نقله عبر غشاء الخلايا من خلال بروتينات نقل الجلوكوز ثم تتم فسفرته داخل الخلية إلى 6-phosphate FDG- [18F] بوساطة أنزيم الهيكسوكيناز (hexokinase enzyme). يتم حقن المركب عبر الوريد والانتظار فترة زمنية تتراوح ما بين 30 إلى 40 دقيقة لإجراء التصوير. تجدر الإشارة إلى أن امتصاص مركب 18F-FDG قد يزيد أو ينقص حسب نوع الورم وموقعه من الجسم، وتتميز الخلايا المصابة بالالتهاب بقطبها لهذا المركب كما هو الحال بالنسبة للخلايا السرطانية مما يجعل التشخيص بالـPET غير نوعي للسرطان. يتم طرح 18F عن طريق الكليتين والمجاري البولية حيث يتم التخلص منه بشكل كامل تقريباً خلال حوالي 24 ساعة [1].

الجرعة الإشعاعية الموصى بها للبالغين (70 kg) هي 185-370 MBq (5-10 mCi) كحقن وريدية لأغراض التشخيص [2]، [3].

التصوير المدمج PET/CT

يعتبر التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) مع التصوير المقطعي المحوسب CT أداة فعالة وآمنة لتشخيص العديد من الأورام الخبيثة الشكل (3). يسمح هذا النوع من التصوير المدمج بالحصول على معلومات



الشكل(4): يوضح الفارق بين التصوير المحوسب CT (على اليسار)، والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني PET (في الوسط)، والتصوير المدمج PET/CT (على اليمين) هدف الدراسة

هدف الدراسة:

المودعة، الجرعة الممتصة، الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعرض لأنواع الإشعاعات المختلفة، حساب النشاط الإشعاعي للمواد والعناصر، إضافة للعديد من المسائل الأخرى التي يمكن دراستها باستخدام هذا الكود.

تمت محاكاة النموذج الرياضي (MIRD (ORNL MIRD version) 1996 المكافئ في تركيبته الفيزيائية والهندسية لرجل البالغ باستخدام الكود MCNP.

يرسم الفانتوم على المحور Z باتجاه الأعلى، بحيث يقع مبدأ الإحداثيات تماماً في منتصف قاعدة الجذع، والمحور X يمر بالجزء الأيسر من الفانتوم. تُمثل الأعضاء والمسافات بين الأعضاء المختلفة بأشكال هندسية من خلال معادلات رياضية، حيث يتم إدخال الأبعاد بوحدة السنتميمتر وبدقة 1/100 أي رقمين بعد الفاصلة العشرية، فمثلاً يمثل الجذع في هذا الفانتوم (باستثناء الثديين) بمجسم اسطوانة ذات مقطع إهليلجي (قطع ناقص) يعطى بالمعادلتين:

$$\left(\frac{x}{A_T}\right)^2 + \left(\frac{y}{B_T}\right)^2 \leq 1 ; 0 \leq z \leq C_T$$

حيث قيم الثوابت A_T , B_T في المعادلتين إضافة لحجم وكتلة المنطقة تؤخذ من جداول خاصة وذلك تبعاً للعمر.

يوضح الشكل (5) مقطعاً في النموذج الرياضي MIRD المستخدم في الدراسة موضحاً عليه موقع البروستات.

مقارنة الجرعة الإشعاعية الداخلية الناتجة عن مركب 18F-FDG في التصوير البوزيتروني مع الجرعة الإشعاعية الخارجية الناتجة عن جهاز التصوير المقطعي المحوسب عند التصوير المدمج بال-PET/CT في سياق تشخيص سرطان البروستات.

الطرائق والمواد:

استخدم في هذه الدراسة كود المحاكاة الإشعاعية MCNP الذي يعتمد على طرائق مونت كارلو وهي إحدى طرائق الإحصاء الرياضي والاحتمالات. تتكون هذه الطرائق من مجموعة من الخوارزميات الحسابية التي تعتمد على تكرار العمليات الحسابية انطلاقاً من قيم بدئية عشوائية حتى الوصول لحل المسألة. وكلما ازداد عدد مرات التكرار ازدادت دقة النتائج. يعد الكود (MCNP) (Monte Carlo) (N-Particle code) من أشهر الكودات الحاسوبية التي تعتمد طرائق مونت كارلو في الحساب [8]. هذا الكود معد بلغة الفورتران حيث يمكن استخدام الكود MCNP في دراسة تدريع المنشآت الإشعاعية المختلفة [9]، دراسة الطيف الطاقي للأشعة الصادرة عن المنابع والمصادر الإشعاعية المتنوعة (للنوترونات، الفوتونات، والإلكترونات)، الكشف عن الأشعة، تقدير كفاءة كاشف [10]، تعيين مقدار عد الجسيمات في نقطة، معدل تدفق الجسيمات عند نقطة أو سطح أو داخل خلية [11]، حساب الطاقة

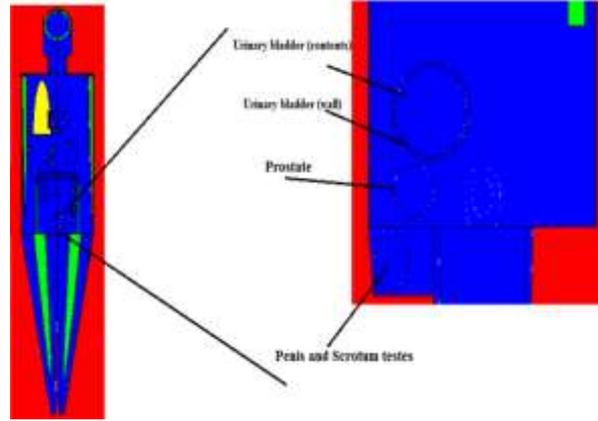
$$D = \frac{k\bar{A} \sum_i n_i E_i \phi_i}{m} \quad (1)$$

المرحلة الأولى: تم فيها دراسة توزيع مركب 18F-FDG والجرعة الإشعاعية الممتصة في الأعضاء الداخلية والنااتجة عن هذا المركب، وهي جرعة داخلية ضمن النسيج مصدرها البروستات، واستخدمت لحسابها العلاقة التالية [7]:
المرحلة الثانية: حسب الجرعة الإشعاعية الخارجية الممتصة والنااتجة عن جهاز التصوير المحوسب CT بطول مسح يعادل 15 cm وجهد أنبوبية 120 kVp وشدة تيار زمن 300 mAs. تم حساب الجرعة الإشعاعية الممتصة في هذه المرحلة باستخدام البطاقة F6 المتاحة في الكود MCNP، والتي تعطي الجرعة الإشعاعية الممتصة في كل خلية بوحدة (MeV/g)، وفق العلاقة التالية:

$$D \left(\frac{\text{Gy}}{\text{source particle}} \right) = DE \left(\frac{\text{MeV}}{\text{g}} \right) \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-13} \left(\frac{\text{J}}{\text{MeV}} \right) \dots (2)$$

حيث: D: الجرعة الممتصة مقدرةً بـ (Gy)،
A: النشاطية التجميعية (MBq)،
n_i: عدد الجسيمات ذات الطاقة E_i الناتجة عن كل انتقال،
E_i: طاقة الجسيمات مقدرةً بـ (MeV)،
φ_i: الجزء من الطاقة الممتص في العضو الهدف،
m: كتلة العضو الهدف (kg)،
k: ثابت التناسب بوحدة (Gy kg/MBq MeV).

يستخدم مركب 18F-FDG لتحديد مرحلة سرطان البروستات بنشاط 300MBq يحتاج إلى 60min. لامتناصه [7].



الشكل (5): مقطع في النموذج الرياضي MIRD المستخدم في الدراسة موضحاً عليه موقع البروستات

نميز في هذا النموذج ثلاث مناطق مختلفة من حيث الكثافة وهي (منطقة العظام، النسيج اللينة، الرئتين).

الجدول (2): التركيبة الكيميائية للمناطق الثلاث في النموذج الرياضي

[6] MIRD

element	Percent by weight		
	lung	Skeleton	soft tissue
H	10.134	7.337	10.454
C	10.238	25.475	22.663
N	2.866	3.057	2.490
O	75.752	47.893	63.525
F	0	0.025	0
Na	0.184	0.236	0.112
Mg	0.007	0.112	0.013
Si	0.006	0.002	0.030
P	0.080	5.095	0.134
S	0.225	0.173	0.204
Cl	0.266	0.143	0.133
K	0.194	0.153	0.208
Ca	0.009	10.190	0.024
Fe	0.037	0.008	0.005
Zn	0.001	0.005	0.003
Rb	0.001	0.002	0.001
Sr	0	0.003	0
Zr	0	0	0.001
Pb	0	0.001	0
Density	0.296 g/cm ³	1.4 g/cm ³	1.04 g/cm ³

يوضح الجدول (2) التركيبة الفيزيائية وكثافة هذه المناطق [6]. بالنسبة للمصادر الإشعاعية جرت محاكاة مصدري الأشعة وفقاً للتعرض الإشعاعي في التصوير المدمج PET/CT. لذلك تمت الدراسة على مرحلتين:

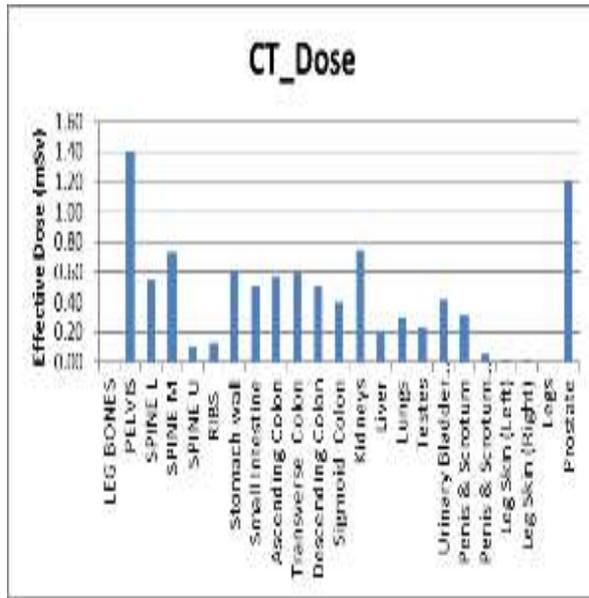
النتائج:

جهاز التصوير المقطعي المحوسب CT (الجرعة الخارجية).

يظهر من الجدول (3) النتائج التي جرى الحصول عليها من حساب الجرعة الفعالة الناتجة عن حقن مركب 18F-FDG (الجرعة الداخلية)، والجرعة الفعالة الناتجة عن

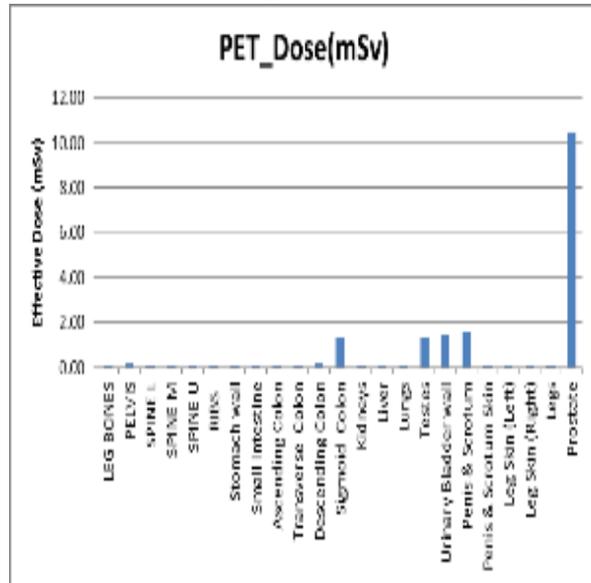
الجدول(3): نتائج حساب الجرعة الفعالة الداخلية الناتجة عن حقن مركب 18F-FDG ، والجرعة الفعالة الخارجية الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب CT لدى المرضى المصابين بسرطان البروستات

Organ	Effective Dose (mSv)		Organ	Effective Dose (mSv)	
	PET	CT		PET	CT
LEG BONES	0.01	0.01	Kidneys	0.01	0.75
PELVIS	0.16	1.40	Liver	0.00	0.20
SPINE Lower	0.01	0.54	Lungs	0.00	0.29
SPINE Middle	0.00	0.73	Testes	1.27	0.24
SPINE Upper	0.00	0.10	Urinary Bladder wall	1.41	0.41
RIBS	0.00	0.13	Penis & Scrotum	1.56	0.31
Stomach wall	0.01	0.61	Penis & Scrotum Skin	0.06	0.05
Small Intestine	0.09	0.51	Leg Skin (Left)	0.00	0.01
Ascending Colon	0.10	0.57	Leg Skin (Right)	0.00	0.01
Transverse Colon	0.05	0.59	Legs	0.01	0.01
Descending Colon	0.16	0.50	Prostate	10.47	1.21
Sigmoid Colon	1.36	0.40	SUM	16.77	9.59

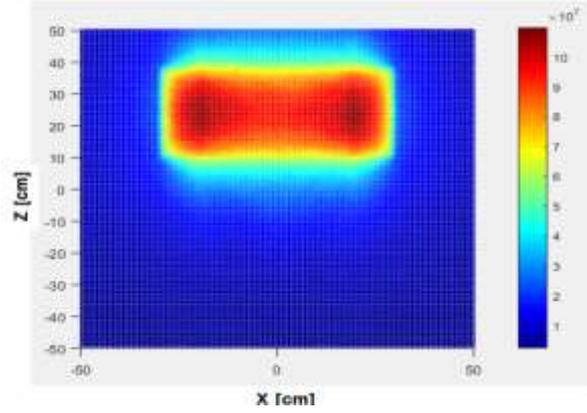


الشكل(6): توزع الجرعة الفعالة الداخلية الناتجة عن حقن مركب 18F-FDG والخارجية الناتجة عن جهاز التصوير المقطعي المحوسب في الأعضاء القريبة من البروستات

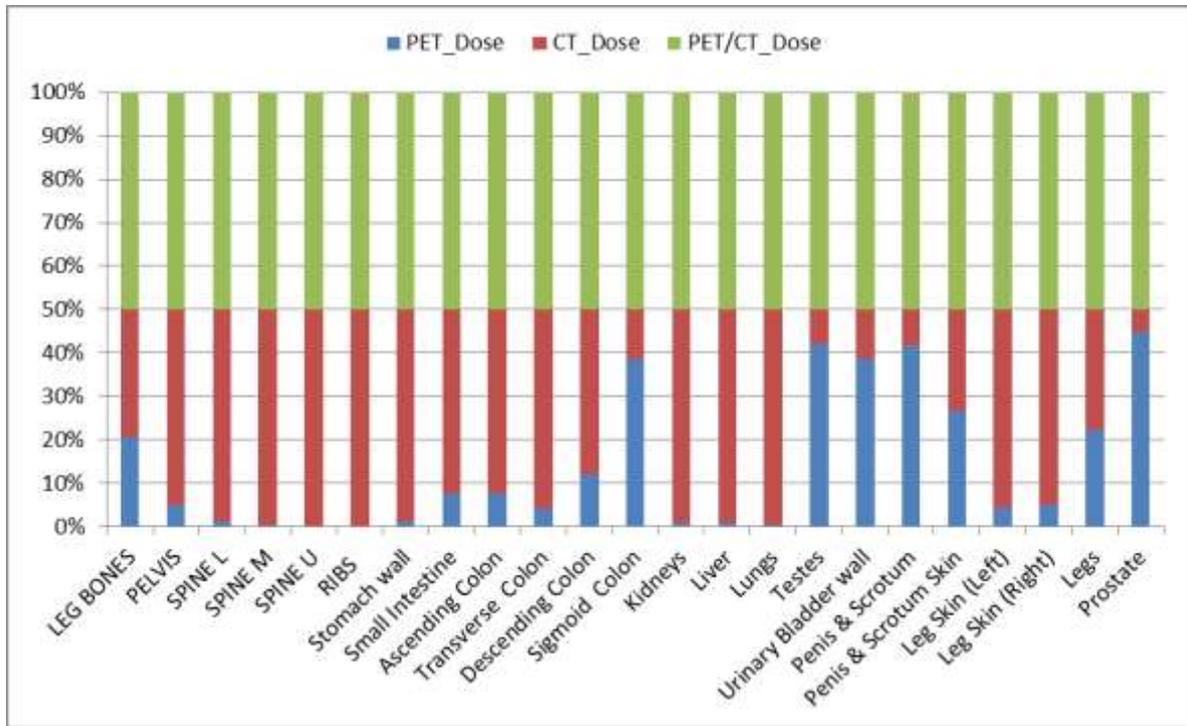
يوضح الشكل (6) توزع الجرعة الفعالة (الداخلية والخارجية) في الأعضاء القريبة من البروستات. بينما يبين الشكل (7) معدل تدفق الفوتونات الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب ضمن النموذج الرياضي.



هذا و يظهر الشكل (8) مقدار الجرعة الشعاعية التي يتعرض لها كل عضو على حدة عند التصوير المقطعي المدمج (PET/CT) ومدى مساهمة كل من التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني PET والتصوير المقطعي المحوسب CT في الجرعة الكلية للأعضاء المختلفة لدى مرضى سرطان البروستات



الشكل(7): معدل تدفق الفوتونات الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب CT ضمن النموذج المدروس



الشكل(8): الجرعة الكلية التي يتلقاها مرضى سرطان البروستات لدى التصوير المدمج PET/CT ومدى مساهمة كل من التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني PET والتصوير المقطعي المحوسب CT

أما في حال التعرض للإشعاع الداخلي الناتج عن حقن مركب 18F-FDG فقد تبين أن البروستات تتعرض لأعلى قيمة للجرعة الداخلية (10.47 mSv) التي يتلقاها المريض، فالقضيبي و كيس الصفن (1.56 mSv)، ثم المثانة (1.41 mSv). يلاحظ من الجدول (3) أن مجموع الجرعة الفعالة الكلية (جرعة كامل الجسم) الناتجة عن التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني تصل إلى 16.77 mSv،

يلاحظ من الشكل (6) والجدول (3) أن الجرعة الإشعاعية تبلغ قيمة عظمى في حالة التصوير المقطعي المحوسب في منطقة الحوض (1.4 mSv)، يليها البروستات (1.2 mSv)، فالكلبتان (0.8 mSv)، فالعمود الفقري (0.7 mSv)، ثم المعدة (0.6 mSv). وهذا يعود إلى أن معظم الفوتونات ذات الطاقة العالية تفقد طاقتها ضمن هذه المناطق القريبة من مصدر الإشعاع الخارجي.

بينما يبلغ مجموع الجرعة الفعالة التي يتلقاها مريض سرطان البروستات نتيجة التصوير المقطعي المحوسب 9.59mSv. نلاحظ من الشكل (8) أن التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني يساهم بحدود 90% من الجرعة الممتصة في البروستات والأعضاء الذكرية وجدار المثانة، بينما لا تتعدى قيمة مساهمة التصوير المقطعي المحوسب CT الـ 10%.

أما بالنسبة لبقية الأعضاء فإننا نلاحظ بأن التصوير المقطعي المحوسب يساهم بالقسم الأكبر من الجرعة الإشعاعية التي تتلقاها هذه الأعضاء مقارنة بالتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني.

يبين الجدول (4) النسبة بين الجرعة الممتصة الداخلية (الناجمة عن حقن مركب 18F-FDG) إلى الجرعة الممتصة الخارجية (الناجمة عن التصوير المقطعي المحوسب CT).

الجدول(4): النسبة بين الجرعة الممتصة الداخلية (الناجمة عن مركب 18F-FDG) إلى الجرعة الخارجية الممتصة (الناجمة عن التعرض الإشعاعي التالي للتصوير المقطعي المحوسب CT)

Organ	$\frac{Dose_{PET}}{Dose_{CT}}$	Organ	$\frac{Dose_{PET}}{Dose_{CT}}$
LEG BONES	0.71	Kidneys	0.02
PELVIS	0.11	Liver	0.02
SPINE Lower	0.02	Lungs	0.01
SPINE Middle	0.01	Testes	5.34
SPINE Upper	0.00	Urinary Bladder wall	3.43
RIBS	0.00	Penis & Scrotum	5.10
Stomach wall	0.02	Penis & Scrotum Skin	1.14
Small Intestine	0.18	Leg Skin (Left)	0.10
Ascending Colon	0.18	Leg Skin (Right)	0.11
Transverse Colon	0.09	Legs	0.81
Descending Colon	0.32	Prostate	8.65
Sigmoid Colon	3.37	SUM	1.75

مقارنة النتائج:

الكلية مع مثيلاتها في الدراسة المرجعية [7] التي حُسبت فيها مكونات هذه الجرعة عند بروتوكولات تصوير مختلفة يوضحها الجدول التالي (الجدول 5).

يبين الجدول (6) نتائج مقارنة النسبة المئوية للجرعة الإشعاعية في التصوير المدمج PET/CT وقيمة الجرعة

الجدول(5): بروتوكولات التصوير المعتمدة في المرجع [7] لدراسة الجرعة الإشعاعية الفعالة في التصوير المدمج PET/CT

CT protocol	Tube potential (kV)	Tube current-time (mAs)	Pitch	Acq. slice thickness (mm)	Beam Collimation (mm)	Table feed (mm)	Reconstructed slice thickness (mm)
A	120	30	1.75	0.625	10	17.5	3.75
B	120	50	1.75	0.625	10	17.5	3.75
C	120	100	1.75	0.625	10	17.5	3.75
D	120	150	1.75	0.625	10	17.5	3.75
E	140	150	1.75	0.625	10	17.5	3.75

الجدول(6): نتائج مقارنة النسبة المئوية للجرعة الإشعاعية في التصوير المدمج PET/CT وقيمة الجرعة الكلية مع مثيلاتها في الدراسة المرجعية [7]

البروتوكول	الجرعة الكلية الناتجة عن التصوير المدمج PET/CT	نسبة الجرعة الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب CT	نسبة الجرعة الناتجة عن التصوير المقطعي البوزيتروني PET
A	8.0	32%	68%
B	9.85	45%	55%
C	14.20	62%	38%
D	18.65	71%	29%
E	24.05	77%	23%
-	26.36	36.38%	63.57%

حساب الأخطاء الستاتيكية النسبية وتباين الفرق variance

of the variance (vov) ورقم الجدارة (FOM).
يوضح الجدول (7) الخطأ النسبي المسجل في الكود MCNP في حساب الجرعة الفعالة الناتجة عن حقن مركب 18F-FDG والتصوير المقطعي المحوسب CT عند التصوير المدمج PET/CT.

حساب الأخطاء:

كما هو معلوم، يجب ألا يتجاوز الخطأ النسبي R قيمة 0.1 (10%)، حيث أن $R \sim 1/\sqrt{N}$ وبالتالي فإن زيادة عدد الحوادث (الجسيمات) التي تتفاعل في الثانية يخفض من قيمة الخطأ النسبي المسجل [7]. يوفر الكود mcnp إمكانية

الجدول(7): الخطأ النسبي المسجل في نتائج حساب الجرعة الداخلية الفعالة الناتجة عن حقن مركب 18F-FDG

والجرعة الخارجية الفعالة الناتجة عن جهاز التصوير المقطعي المحوسب CT

Organ	Effective Dose (mSv)		Organ	Effective Dose (mSv)	
	PET	CT		PET	CT
LEG BONES	0.01±1.1%	0.01±1.3%	Kidneys	0.01±5.0%	0.75±1.5%
PELVIS	0.16±0.8%	1.40±6.2%	Liver	0.00	0.20±4.1%
SPINE Lower	0.01±1.8%	0.54±5.4%	Lungs	0.00	0.29±3.9%
SPINE Middle	0.00±1.2%	0.73±5.2%	Testes	1.27±4.2%	0.24±4.2%
SPINE Upper	0.00±1.0%	0.10±5.0%	Urinary Bladder wall	1.41±5.1%	0.41±3.2%
RIBS	0.00±3.9%	0.13±2.3%	Penis & Scrotum	1.56±3.4%	0.31±4.4%
Stomach wall	0.01±3.2%	0.61±1.9%	Penis & Scrotum Skin	0.06±3.1%	0.05±7.1%
Small Intestine	0.09±1.8%	0.51±10.2%	Leg Skin (Left)	0.00	0.01±0.2%
Ascending Colon	0.10±2.4%	0.57±4.2.1%	Leg Skin (Right)	0.00	0.01±0.7%
Transverse Colon	0.05±0.8%	0.59±7.3%	Legs	0.01±2.2%	0.01±2.1%
Descending Colon	0.16±1.3%	0.50±2.1%	Prostate	10.47±2%	1.21±4%
Sigmoid Colon	1.36±1.8%	0.40±4.5%	SUM	16.77±4%	9.59±3%

المناقشة:

نستنتج من هذه الدراسة أن الجرعة الناتجة عن التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني هي الأعلى وخاصة في بعض الأعضاء (القولون، الخصيتين، جدار المثانة، القضيب وكيس الصفن) القريبة من غدة البروستات والتي

نلاحظ مما سبق أن الخطأ النسبي المسجل لمعظم القيم لا يتجاوز الـ 10% وهي قيمة مقبولة للخطأ، مع استثناء بعض الأعضاء البعيدة نسبياً عن المنطقة المدروسة، والتي تجاوزت قيمة هذا الخطأ (الـ 10%) كون الجرعة في هذه الأعضاء ناتجة بشكل رئيسي عن الأشعة الثانوية المتبعثرة.

تكتسب جرعة إشعاعية مرتفعة عند التصوير البوزيتروني PET. ولذلك يمكن تصنيف هذه الأعضاء على أنها أعضاء معرضة للخطر أو أعضاء تحت الخطر (OARs) في التصوير المدمج بال PET / CT.

كما أظهرت دراستنا أن الجرعة الفعالة الكلية الناتجة عن التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني تصل إلى 16.77 mSv في الفحص الواحد وهي أكبر بحدود 17 مرة من الجرعة السنوية المسموح بها، بينما تبلغ الجرعة الفعالة الكلية الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب 9.59mSv وهي أكبر بحدود 10 مرات من الجرعة السنوية المسموح بها للعموم. أما الجرعة الفعالة الكلية فهي تصل إلى حوالي

26 mSv في حالة التصوير المدمج PET/CT، وهي قيمة مرتفعة للجرعة يجري العمل على تخفيضها من خلال عدة أمور أهمها:

1. تخفيض الجرعة الإشعاعية الموصى بها للبالغين كحقن وريدية لأغراض التشخيص، مما يخفض من الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التصوير البوزيتروني PET، وهذا ما عملت على توفيره الأجهزة الحديثة من خلال تخفيض جرعة الـ FDG المحقونة للمريض عند التصوير.

2. استخدام واقيات رصاصية لتغطية الأعضاء الخارجية السليمة، مما يخفض من الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب CT.

References:

- [1] LIJ Research Institute Cyclotron/Radiochemistry Facility .Fludeoxyglucose F 18 Injection. Manhasset, NY 11030, NDA 21-870.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(IAEA). CYCLOTRON PRODUCED RADIONUCLIDES: GUIDANCE ON FACILITY DESIGN AND PRODUCTION OF [18F]FLUORODEOXYGLUCOSE (FDG). IAEA radioisotopes and radiopharmaceuticals series, ISSN 2077–6462 ; no. 3, VIENNA, (2012).
- [3] Asim Kichloo, Rawan Amir, Michael Aljadah, and et al. FDG-PET Versus PSMA-PET: A Patient With Prostate Cancer. Journal of Investigative Medicine High Impact Case Reports, Volume 8: 1–4 (2020).
- [4] W. Wadsak, M. Mitterhauser. Basics and principles of radiopharmaceuticals for PET/CT. European Journal of Radiology 73 (2010) 461–469
- [5] Aruna Kaushik, Abhinav Jaimini, Madhavi Tripathi, and et al. Estimation of patient dose in 18F-FDG and 18F-FDOPA PET/CT examinations. Journal of Cancer Research and Therapeutics - July-September 2013 - Volume 9 – Issue 3,
- [6] Center for Radiation Protection Knowledge. Description of the mathematical phantoms. [Internet]. Available from: <http://crpk.ornl.gov/resources/Mird.pdf>. [accessed 22.05.01].
- [7] B. Adeleye and N. Chetty. Radiation dose from 18F-FDG PET/CT procedures: influence of specific CT model and protocols. Radioprotection 2018, 53(2), 107–113.
- [8] X-5 Monte Carlo Team .April 24, 2003 .MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5 : Los Alamos National Laboratory ,April 24, 2003 .LA-CP-03-0245.
- [9] Marzieh H., Mehdi H., Mohammadreza R., Eysa S., et al. .(February 2022). Studies of the mechanical and neutron shielding features of concrete by incorporation of green additive materials: Experimental and numerical study. Radiation Physics and Chemistry , ELSEVIER, Volume 191, February 2022, 109846.
- [10] Mehdi H., Parvin D., Mohammadreza R., Marzieh H., et al. .(September 2022). Study of alpha spectrometry for detection of radon and progeny using gas micro-strip detector. Applied Radiation and Isotopes, ELSEVIER, Volume 187, September 2022, 110344.
- [11] Mehdi H., Saeedeh Kh., Mohammadreza R., and et al.. (September 2022).The efficacy of thick gas electron multiplier detector in measuring 14C for dating purpose. Radiation Physics and Chemistry , ELSEVIER, Volume 198, September 2022, 110288.