

棕色脂肪組織在F-18 FDG PET/CT的表現

趙逸玲¹、李佩璇²、楊朝璋²

澄清綜合醫院中港分院 放射線技術組¹、核子醫學科²

摘要

正子斷層掃描 (Positron Emission Tomography/Computed Tomography, PET/CT) 是一種針對體內生化或生理過程進行造影的技術。檢查中使用的放射性同位素 F-18 FDG 會被棕色脂肪組織 (Brown Adipose Tissue, BAT) 攝取，因此容易導致偽陽性診斷。了解患者體內哪些部位及情況容易出現棕色脂肪攝取，是判讀影像時的重要依據。棕色脂肪組織常見於婦女與兒童，主要分布於頸部、鎖骨上、縱膈腔、脊椎旁及大血管附近，這些區域正是 PET/CT 檢查中可能誤判為病灶的來源。研究也指出，年齡、性別與寒冷天氣會影響棕色脂肪組織的活化，增加 F-18 FDG 的攝取量，進一步提高 PET/CT 出現偽陽性結果的風險。因此，正確認識棕色脂肪組織的分布及影響因素，對於降低 PET/CT 檢查中的偽陽性率、提升診斷準確性，具有重要意義。(澄清醫護管理雜誌 2026; 22 (1): 26-31)

關鍵詞：正子斷層掃描、棕色脂肪組織、F-18 FDG

通訊作者：李佩璇

通訊地址：台中市西屯區台灣大道四段 966 號

E-mail: a0955769599@gmail.com

受理日期：2025 年 5 月；接受刊載：2025 年 9 月

前言

人體至少由兩種不同功能脂肪組織組成，分別為白色脂肪組織與棕色脂肪組織 (Brown Adipose Tissue, BAT)。白色脂肪組織是一種內分泌器官，主要儲存能量和平衡體內胰島素、瘦體素等荷爾蒙的功能 [1]，當白色脂肪組織過量堆積會導致肥胖。BAT 呈現棕色是因其細胞內含有大量血紅蛋白和粒線體。粒線體上含有豐富的解偶聯蛋白 -1 (Uncoupling Protein-1, UCP1)，主要負責熱量產生而非能量儲存 [2,3]。BAT 在寒冷或交感神經刺激下會活化 UCP1，開始大量燃燒能量來產熱，以提供這種能量需求，BAT 會增加對葡萄糖的攝取，類似於肌肉運動時的情況 [4]。BAT 通常積聚在頸部、鎖骨上、縱隔、脊椎及大血管附近區域，在胎兒和新生兒中更為豐富，約佔體重的 5%。當體溫降至閾值以下時，BAT 參與非顫抖性產熱作用，並為身體重要部位 (如主要血管和縱膈腔) 提供緩衝和保護 [5]。正子斷層掃描 (Positron Emission Tomography/Computed Tomography, PET/CT)，主要是對體內生化或生理過程進行造影的技術。2-deoxy-2-[18F]fluoro-D-glucose (FDG) (F-18 FDG) 全身造影檢查，是利用正子電腦斷層提供葡萄糖代謝分布情形，廣泛應用於檢測體內腫瘤或發炎組織。利用 FDG-PET/CT 作為癌症診斷，即以局部攝取 FDG 較同類正常組織為高時，認定為代謝較高，亦即有癌細胞活動的可能。然而，將 FDG 注射入體內後，除了癌細胞會吸收外，正常細胞也會吸收 [6]。研究指出，有一部分受檢者表現出 BAT 攝取 FDG，可能造成偽陽性結果發生 [7]。因此，為了提高影像判讀

的精確度，了解 BAT 的分佈及影響因子，這對於臨床 FDG-PET/CT 的判讀是相當重要的。

影響棕色脂肪組織在F-18 FDG PET/CT的因素

一、年齡

嬰兒與兒童的 BAT 比例明顯高於成人 [8]，因為他們的肌肉系統尚未成熟，不能靠肌肉顫抖產熱，因此必須依賴 BAT 進行非顫抖性產熱來維持體溫。隨著年齡增長，BAT 的絕對量與活性都會逐漸下降。許多研究也觀察到了這個現象，Cohade 等人研究指出，18 歲或以下患者的在 FDG-PET/CT 掃描中，BAT 攝取的發生率為 23.8%，而 18 歲以上患者的掃描中，BAT 攝取的發生率為 5.9% [9]。Gelfand 等人的研究也指出，在 69 名兒科患者的 FDG-PET/CT 掃描中，觀察到 46.6% 的 BAT 攝取 [10]。

二、性別

在 FDG-PET/CT 掃描中，BAT 在女性患者中比男性患者中更為常見。在兒童成長過程中，BAT 分佈會發生變化，年輕男性比年輕女性更容易脫落脂

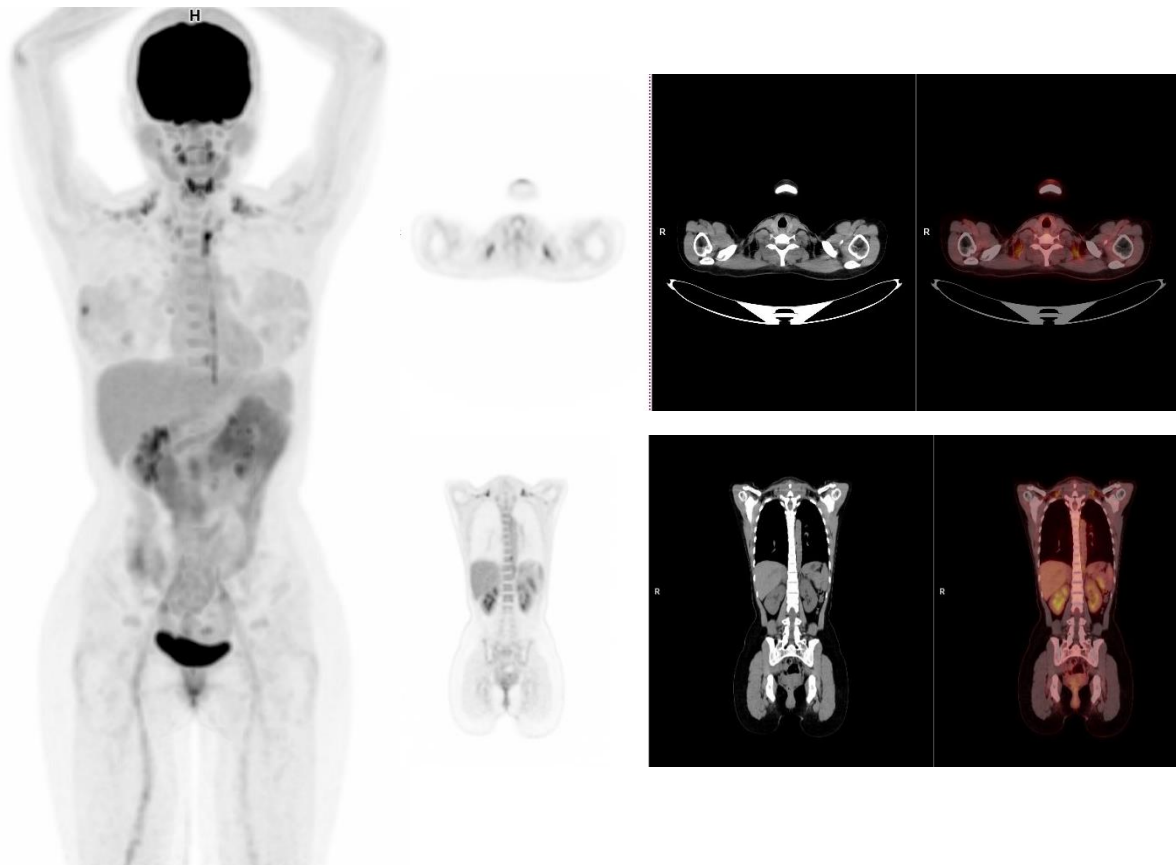
肪組織。因此，有理論認為，女性傾向於保留更多的 BAT 是由於生理差異和分娩的影響 [5]。

三、溫度

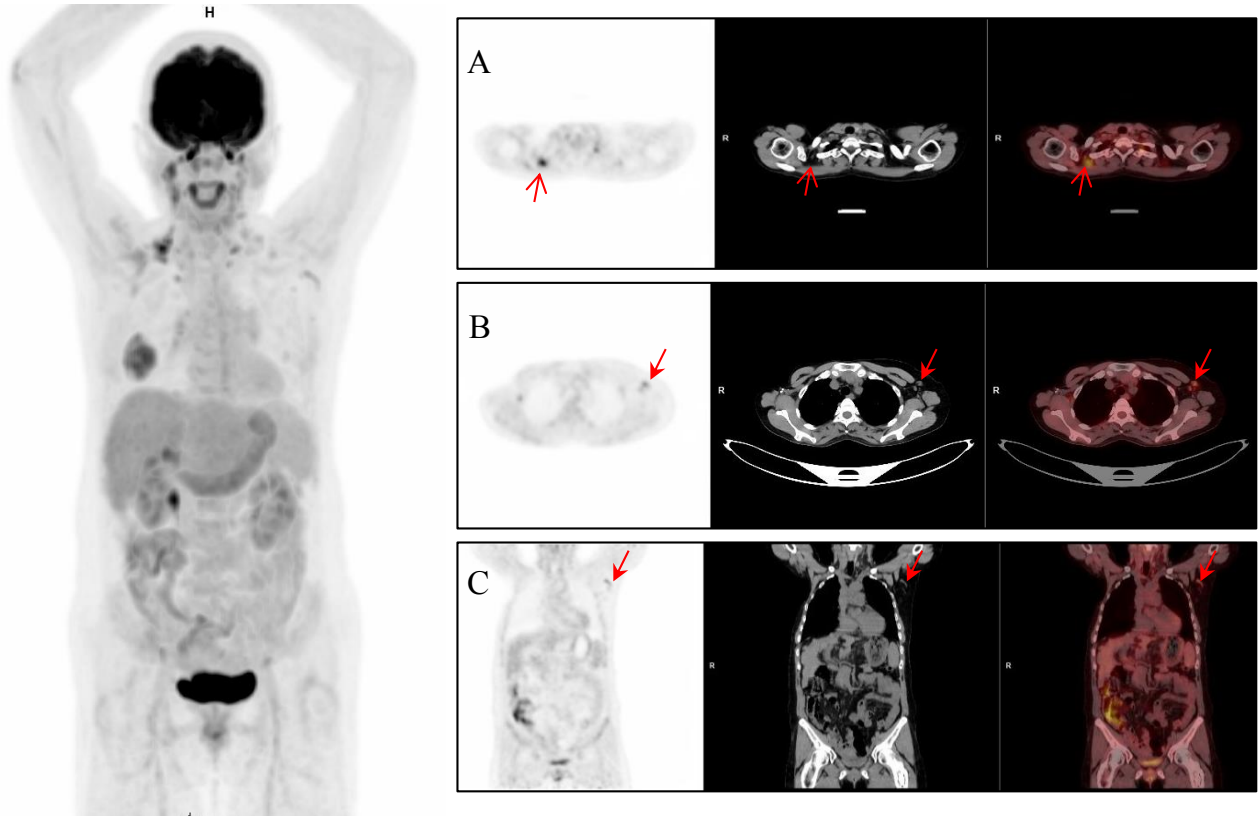
低溫是刺激 BAT 最重要的因素之一。在冬季寒冷的天氣下，FDG-PET/CT 掃描中，可以觀察到 BAT 攝取 FDG 增加 [11-14]。Saito 等人研究指出，年輕受試者（年齡 23 至 35 歲）處於 19°C 的低溫環境中 2 小時後，32 人中有 17 人；年長受試者（年齡 38 至 65 歲）24 人中有 2 人，於鎖骨上與脊椎旁的 BAT 出現明顯的 FDG 攝取現象，相比之下，當受試者處於溫暖環境（27°C）時，則未觀察到 FDG 攝取 [15]。

棕色脂肪組織在F-18 FDG PET/CT的影像表現

綜合上述，我們在臨床上，確實觀察到在低溫、年輕女性身上，更容易出現 BAT 攝取。2022 年 12 月與 2023 年 1 月，兩位罹患乳癌的 33 歲與 45 歲女性，在影像上可以看到，在頸部、鎖骨上、縱隔及脊椎附近區域，有 BAT 攝取 FDG 造成的熱點（圖一、圖二 A）。



圖一 一名33歲女性。除了腦部、心臟、肝臟、泌尿系統等生理攝取及右側乳房腫瘤外，在頸部、鎖骨上、縱隔及脊椎附近區域看到許多異常的熱點（BAT攝取）



圖二 一名45歲女性。PET/CT結合影像，除了正常生理攝取與右側乳房腫瘤外，(A)在PET影像有看到熱點（BAT攝取），但對應在CT影像上，卻沒有發現淋巴結或其他軟組織（虛箭頭），(B、C)PET影像有看到熱點，對應在CT影像上，明顯有發現腋窩淋巴結異常攝取（實箭頭）

討論

PET/CT 中，有許多因素可能導致 FDG 的異常攝取，進而產生偽陽性結果。其中，BAT 的高度代謝活性是一個重要影響因子。當影像上在頸部、鎖骨上窩、縱隔以及脊椎旁等常見 BAT 分布區域出現 FDG 高度攝取時，可能會與惡性淋巴結腫大表現相似，甚至重疊，進而增加影像判讀的困難度。由於這些區域同時也是淋巴瘤或其他惡性腫瘤常見的侵犯位置，因此臨床上必須格外謹慎。目前，FDG-PET/CT 的整合在鑑別 BAT 攝取與惡性病灶方面提供了相當大的幫助。透過 CT 影像中不同組織的密度表現，可以有效進行代謝與解剖的對應。例如，脂肪的 CT 值大約介於 -20 至 -100 Hounsfield Unit (HU)，在 CT 影像上呈現為低密度、黑色的區域；相對地，淋巴結的 CT 值約落在 10 至 20HU，影像上可清楚辨識其結構與邊界（圖二 B、C）。因此，結合 PET 與 CT 的優勢，能夠在多數情況下正確區分 BAT 與淋巴結，降低誤判為惡性病灶的風險。然而，在少數情況下，即使進行了代

謝影像與解剖影像的正確比對，仍可能存在判讀困難。例如，BAT 的攝取可能與鄰近軟組織、胸腺、肺部或肌肉的病灶相互混淆，導致誤判為淋巴結或結外侵犯 [16]。這種情形下，即便具備影像融合技術，仍然可能產生偽陽性結果，對臨床診斷與後續治療計畫造成影響。特別是在縱隔腔這類影像複雜的區域，BAT 攝取所造成的干擾更需小心處理。臨床上已有研究指出，當在 FDG-PET/CT 影像上發現縱隔區異常 FDG 攝取時，醫師應將 BAT 攝取納入鑑別診斷的考量，避免將其誤判為原發性惡性腫瘤或淋巴結轉移 [17]。

另外，BAT 攝取 FDG 不僅可能造成偽陽性，也可能間接影響腫瘤顯影的敏感度。由於 BAT 會消耗大量 FDG，可能導致體內可供腫瘤攝取的 FDG 相對減少，進而降低腫瘤顯影的清晰度，造成病灶偵測不足或低估腫瘤活性 [18]。這在需要精確評估腫瘤代謝狀態或追蹤治療反應的情境下，可能會帶來潛在風險。

為了降低 BAT 攝取 FDG 對 PET/CT 判讀的干

擾，臨床上已有多種方法被提出。首先，環境溫度的控制是最基本的方式之一。在 FDG 注射前，若能提供患者溫暖的環境，或是給予額外的衣物以減少受寒冷刺激的可能，就能降低交感神經活化，減少 BAT 的代謝活性 [14]。其次，藥物干預亦是一種有效策略，例如在注射 FDG 前使用 β -阻斷劑 (β -blockers) 及苯二氮平類藥物 (Diazepam)，可以減少 BAT 對葡萄糖的利用 [19]。此外，飲食調控也是重要方法之一。有研究指出，在檢查前提供患者高脂肪、低碳水化合物餐的餐飲，能夠改變能量來源，降低 BAT 對葡萄糖的依賴性，進而減少 FDG 攝取 [16]。儘管如此，臨床上仍無法完全避免 BAT 攝取 FDG 的現象，尤其是在年輕患者、女性、或是在低溫環境下接受檢查時，BAT 活性往往較高。即使採取上述措施，BAT 的攝取仍可能存在，因此醫師與影像技術人員在判讀時，必須對 BAT 的典型分布、影像特徵以及可能的干擾效應有充分認識。唯有如此，才能有效降低偽陽性的發生率，提升 FDG-PET/CT 在腫瘤診斷中的準確性與臨床價值。

癌症的分期在乳癌治療與預後評估中扮演極為關鍵的角色。其中，美國癌症聯合委員會 (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 所制定的 TNM 分期系統，是目前全球臨床與研究上最廣泛使用的標準。該系統主要依據三個核心要素進行評估：腫瘤大小與侵犯深度 (T, Tumor)、淋巴結受侵犯情形 (N, Node)、以及是否出現遠端轉移 (M, Metastasis)。透過這三項指標的組合，可以將乳癌患者的病程區

分為不同分期 (Stage 0 至 Stage IV)，進而作為臨床治療規劃與預後判斷的重要依據 (表一) [20]。在這些因素之中，淋巴結轉移的有無與程度，被認為是影響乳癌患者存活期與復發風險的最重要預測因子之一。尤其是淋巴轉移的數量與範圍，與後續是否需要化學治療、標靶治療或放射治療有直接關聯性。在臨床實務中存在潛在干擾因子，其中最重要的一項便是 BAT 的攝取。BAT 是一種代謝活性極高的脂肪組織，特別容易在寒冷環境或交感神經活化的情況下消耗葡萄糖並攝取 FDG。其分布位置往往集中於頸部、鎖骨上窩、縱隔以及脊椎旁，恰好與乳癌淋巴結轉移的常見部位高度重疊。當 BAT 在 FDG-PET/CT 影像上出現 FDG 高度攝取時，極易與轉移性淋巴結表現混淆，導致誤判。這種現象不僅存在於乳癌中，其實所有癌症的分期判斷都可能受到 BAT 的影響。舉例來說，在淋巴瘤、肺癌、甲狀腺癌等疾病的 FDG-PET/CT 評估過程中，BAT 的活化亦可能導致偽陽性結果，進而干擾醫師對淋巴結或結外轉移的判斷。此一問題若未能被正確識別，可能導致患者被誤分期，進而接受過度治療，或因誤解腫瘤範圍而影響治療策略的最佳化。

結論

醫師與影像專業人員在進行 FDG-PET/CT 判讀時，除了需熟悉乳癌的典型轉移模式外，更應對 BAT 的典型分布區域、影像特徵及影響因素有所認識。臨床上也已有多種降低 BAT 攝取的方法，例如保持患者溫暖、使用藥物、或在檢查前調整飲食，以減少 BAT 的代謝活化。儘管如此，要完全避

表一 乳癌分期對照表 (AJCC第8版)

分期 (Stage)	TNM 定義	臨床特徵
Stage 0	Tis N0 M0	原位癌 (DCIS、LCIS、Paget's Disease Without Mass)
Stage I	T1 (≤ 2 cm) N0 M0	小腫瘤，無淋巴結轉移
Stage II A	T0-T1 N1 M0 T2 (2-5cm) N0 M0	腫瘤小但有1-3個腋下淋巴結轉移；或腫瘤2-5cm無淋巴轉移
Stage II B	T2 N1 M0 T3 (>5cm) N0 M0	腫瘤2-5cm+淋巴轉移；或腫瘤>5cm無淋巴轉移
Stage III A	T0-T3 N2 M0	腫瘤 ≤ 5 cm，但有中度淋巴結轉移
Stage III B	T4 N0-N2 M0	腫瘤侵犯胸壁或皮膚，可能伴隨淋巴結轉移
Stage III C	任何T N3 M0	廣泛淋巴結轉移
Stage IV	任何T任何N M1	有遠端轉移 (常見骨、肺、肝、腦)

免 BAT 對 FDG 的攝取仍具有挑戰性，因此臨床上必須將此視為一個重要的干擾因子，並在判讀時納入考量。綜上所述，乳癌分期的準確性對治療選擇與預後判斷至關重要，而 FDG-PET/CT 在分期、轉移偵測及治療反應評估中皆佔有不可或缺的地位。然而，BAT 攝取所造成的影像干擾，無論是在乳癌還是其他癌症中，皆可能導致誤判。因此，正確認識 BAT 的特徵並應用適當的方法降低其影響，對於提升 FDG-PET/CT 的診斷準確性與臨床價值，具有重要意義。

參考文獻

1. Trayhurn P, Beattie JH: Physiological role of adipose tissue: white adipose tissue as an endocrine and secretory organ. *Proceedings of the Nutrition Society* 2001; 60(3): 329-339.
2. Cypess AM, Lehman S, Williams G, et al.: Identification and importance of brown adipose tissue in adult humans. *New England Journal of Medicine* 2009; 360(15): 1509-1517.
3. Park SY, Choi EK, Oh JK, et al.: Brown fat activation demonstrated on FDG PET/CT predicts survival outcome. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology* 2023; 149(8): 4847-4851.
4. Hany TF, Gharehpapagh E, Kamel EM, et al.: Brown adipose tissue: a factor to consider in symmetrical tracer uptake in the neck and upper chest region. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 2002; 29: 1393-1398.
5. Evans KD, Tulloss TA, Hall N: 18FDG uptake in brown fat: potential for false positives. *Radiol Technol* 2007; 78(5): 361-366.
6. Wang Y, Chiu E, Rosenberg J, et al.: Standardized uptake value atlas: characterization of physiological 2-deoxy-2-[18F] fluoro-d-glucose uptake in normal tissues. *Molecular Imaging and Biology* 2007; 9: 83-90.
7. Cohade C: Altered biodistribution on FDG-PET with emphasis on brown fat and insulin effect. *Seminars in Nuclear Medicine*: Elsevier; 2010: 283-293.
8. Smolik S, Miller AL, Mong DA, et al.: Incidence and Risk Factors for Brown Adipose Tissue Uptake in PET Imaging in Pediatric Patients. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology* 2024; 46(1): e60-e64.
9. Cohade C, Osman M, Pannu HK, et al.: Uptake in supraclavicular area fat ("USA-Fat"): description on 18F-FDG PET/CT. *Journal of Nuclear Medicine* 2003; 44(2): 170-176.
10. Gelfand MJ, O'Hara SM, Curtwright LA, et al.: Pre-medication to block [18F] FDG uptake in the brown adipose tissue of pediatric and adolescent patients. *Pediatric Radiology* 2005; 35: 984-990.
11. Heaton JM: The distribution of brown adipose tissue in the human. *Journal of Anatomy* 1972; 112(Pt 1): 35.
12. Kim S, Krynyckiy BR, Machac J, et al.: Temporal relation between temperature change and FDG uptake in brown adipose tissue. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 2008; 35: 984-989.
13. Au-Yong IT, Thorn N, Ganatra R, et al.: Brown adipose tissue and seasonal variation in humans. *Diabetes* 2009; 58(11): 2583-2587.
14. Gerngroß C, Schretter J, Klingenspor M, et al.: Active brown fat during 18F-FDG PET/CT imaging defines a patient group with characteristic traits and an increased probability of brown fat redetection. *Journal of Nuclear Medicine* 2017; 58(7): 1104-1110.
15. Saito M, Okamatsu-Ogura Y, Matsushita M, et al.: High incidence of metabolically active brown adipose tissue in healthy adult humans: effects of cold exposure and adiposity. *Diabetes* 2009; 58(7): 1526-1531.
16. Paes FM, Kalkanis DG, Sideras PA, et al.: FDG PET/CT of extranodal involvement in non-Hodgkin lymphoma and Hodgkin disease. *Radiographics* 2010; 30(1): 269-291.
17. Truong MT, Erasmus JJ, Munden RF, et al.: Focal FDG uptake in mediastinal brown fat mimicking malignancy: a potential pitfall resolved on PET/CT. *American Journal of Roentgenology* 2004; 183(4): 1127-1132.
18. Christensen CR, Clark PB, Morton KA: Reversal of hypermetabolic brown adipose tissue in F-18 FDG PET imaging. *Clinical Nuclear Medicine* 2006; 31(4): 193-196.
19. Bi L, Rosenthal AC, Kuo PH, et al.: Physiologic 18F-FDG Uptake in Brown Adipose Tissue and Lactating Breast in a Patient with Hodgkin Lymphoma. *Journal of nuclear Medicine Technology* 2024; 52(2): 177-178.
20. Giuliano AE, Edge SB, Hortobagyi GN: of the AJCC cancer staging manual: breast cancer. *Annals of Surgical Oncology* 2018; 25(7): 1783-1785.

Brown Adipose Tissue in F-18 FDG PET/CT Imaging

Yi-Ling Chao¹, Pei-Hsuan Li², Chao-Wei Yang²

Department of Radiology¹, Nuclear Medicine Division², Chung Kang Branch, Cheng Ching Hospital

Abstract

Positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) is used to visualize biochemical and physiological processes within the human body. During PET/CT examination, the radiotracer, fluorine-18-2-fluoro-2-deoxy-D-glucose (F-18 FDG), can be taken up by brown adipose tissue (BAT), which may lead to false-positive interpretations. A thorough understanding of the anatomical regions and clinical conditions predisposed to uptake of F-18 FDG in BAT is therefore essential for accurate interpretation of images. BAT is most frequently observed in females and children, typically distributed in the cervical region, supraclavicular fossa, mediastinum, paraspinal areas, and perivascular regions. Uptake of F-18 FDG in these regions may be misinterpreted as representing pathological lesions during PET/CT assessments. Previous studies have further demonstrated that factors, such as age, sex, and environmental cold exposure, significantly influence activation of BAT and increase uptake of 18F-FDG, thereby elevating the risk of a false-positive interpretation. Consequently, comprehensive understanding of the distribution of BAT and its modulatory factors is critical for minimizing the false-positive rate and improving the overall diagnostic accuracy of PET/CT imaging. (Cheng Ching Medical Journal 2026; 22(1): 26-31)

Keywords : *Positron emission tomography/computed tomography, Brown adipose tissue, F-18 FDG*

Received: May 2025; Accepted: September 2025