



中華民國核醫學學會
Society of Nuclear Medicine, Taiwan (R.O.C)

Lu-177

標靶核種治療 專業版

臨床核醫學與輻射安全建議



衛生福利部中央健康保健署署長 序

癌症精準醫學在預防、診斷與治療上有許多新的進展，可謂是「萬箭齊發」，其標的就是減少惡性腫瘤對人類健康的威脅。守護全民健康與大家站在抗癌第一線打拼，一直是政府念茲在茲的重點，對於全體醫、護、藥、技從業同仁的努力，我們給予絕對肯定，對於醫藥結合新科技的進展，我們持續關心並適時導入醫療照護常規，期盼能夠將資源有效強化精準抗癌力量，保障國人的健康。

核子醫學利用放射性同位素藥物在醫療上進行影像診斷及特殊的核種治療。在精準診療的趨勢下，最新的發展結合核醫分子影像與標靶核種治療成為所謂的療診合一(theranostics)，前者像雷達一樣搜尋身體適合治療的腫瘤病灶，經過評估特定核種治療的成功率，再決定是否給予後者之治療及其適當劑量與時機，雖然醫藥費用可能較高，但提供更有效率的抗癌治療，更精準打擊腫瘤病灶，降低了正常組織的傷害，不啻提高治癌成效，也避免無效治療之浪費與減少身體受到不必要的傷害。

感謝核醫學學會編撰此書，針對Lu-177標靶核種藥物用於神經內分泌腫瘤與去勢抗性攝護腺癌治療提出建議與指引，作為第一線醫護專業同仁的參考。書中對於Lu-177藥物治療注意事項詳細說明，常見的臨床問題也能夠在此找到答案，這本經由核醫專業同仁撰寫之指引值得推薦，包括本人及關切Lu-177治療發展的同仁，閱讀此書必心有戚戚焉。Lu-177新藥物治療讓我們未來抗癌武器選擇更多元化，期許國人的健康防護及抗癌作戰在新科技的介入能夠更有裨益，相信核醫界的努力會讓我們抗癌精準診療更上一層樓。

石崇良 署長

中華民國113年9月

序 言

核子醫學一直就不是處在螢幕之後的鍵盤醫學！

從 2000 年開始出現「theranostics (核醫療診合一)」這個醫學名詞，很快地，這個名詞就由概念而至於實際臨床運用；近年來，美國 FDA 通過許多相關製劑的應用、國際藥廠以核醫製藥為標的的併購案等，實質性的推動著核醫精準醫療的發展，特別是在 Lu-177 標記的放射性藥物治療中，將這一概念充分運用到了臨床，也為核子醫學的領域注入了新的活力。

Lu-177 是結合了診斷與治療功能的放射性同位素，通過精準的生物標靶定位，Lu-177 能夠有效地針對腫瘤細胞進行精確的治療，同時在治療中或後也可以經由核醫影像掃描完整反應藥物的分布，尤其在攝護腺癌和神經內分泌腫瘤等多種惡性腫瘤的治療中，展現出具體的治療效果。這除了是核醫診療的精準與創新，更是我們對患者健康的深切關懷。Lu-177 的高度選擇性標靶治療機制，不僅能有效抑制腫瘤生長，還能顯著減少對周圍正常組織的損傷，這標誌著核醫治療技術向前邁出了重要的一步。

然而，推廣與普及 Lu-177 治療和核醫診療合一的理念並非易事，這需要我們每一位同仁深入理解、熟練掌握操作規範、並與臨床合作提升專業品質，唯有如此，我們才能夠在實際的臨床作業中為患者帶來真正有效的幫助。當然，除了醫界的努力推動之外，我們更需要產業界、政府機構與學術界的通力合作。首先，產業界的創新與投入是確保 Lu-177 的品質與供應穩定的基石；其次，我們也需要政府部門有關法規與政策的支持與監管保障；此外，學術界則肩負著持續研發與培養專業人才的重任，通過不斷創新推動核醫診療合一的進步與發展。

對於年輕一代的核醫醫師，我們尤為期待各位能在這個快速發展的領域中展現創新精神，勇敢迎接挑戰，並在實際的臨床治療中不斷學習與成長。各位是核醫的未來，也是推動核醫診療合一的關鍵力量。希望各位都能夠充

分利用這本指引，提升專業能力，在臨床中搭配運用，造福廣大的患者群體。

感謝同位素及精準治療委員會的規劃與推動，我們推出這本 Lu-177 治療指引，旨在為大家提供一個學習與交流的平台。我們相信，除了 Lu-177，在可見的未來將有更多精準治療的同位素製劑進入臨床應用，為患者提供更多有效的治療選擇並改善他們的生活品質。只要我們攜手並進，核醫診療的路是無限的寬廣，而這一切的努力與成果也都將回報在您我的未來。

中華民國核醫學學會

王昱豐 敬序

目 錄

01

第一章

- 1.1 Radio-theranostics 於神經內分泌腫瘤與去勢抗性攝護腺癌治療概述..... P.06
- 譔鴻遠

02

第二章

- 2.1 Lu-177 核種介紹 - 黃玉儀 P.11
2.2 Lu-177 DOTATATE 藥物 & 治療介紹 - 李佩瑛 P.14
2.3 Lu-177 PSMA 藥物 & 治療介紹 - 黃玉儀 P.17

03

第三章

- 3.1 Lu-177 標靶核種治療之輻射安全規範建議 - 劉晉昇 P.20
3.2 Lu-177 標靶核種治療後影像與劑量學考量 - 柯冠吟 P.22
3.3 Lu-177 標靶核種治療後中短期內輻射安全建議 - 邱宇莉 P.24
3.4 Lu-177 標靶核種治療之輻射廢棄物管制 - 林亭君 P.26

04

第四章

- 4.1 Lu-177 DOTATATE 標靶核種治療之適應症、禁忌症、治療計劃與療程、注意事項
- 鄭媚方 P.28
4.2 Lu-177 DOTATATE 標靶核種神經內分泌腫瘤治療之團隊分工
- 林立凡 P.32

04

第四章

- 4.3 Lu-177 DOTATATE 藥物準備、注射執行步驟與注射期間可能遇到的問題**
 - 姚珊汎 P.35
- 4.4 Lu-177 DOTATATE 於神經內分泌腫瘤治療後常見之醫務及輻射安全監測**
 - 陳世欣 P.42

05

第五章

- 5.1 Lu-177 PSMA 標靶核種治療之適應症、禁忌症、治療計劃與療程、注意事項**
 - 黃玉儀 P.45
- 5.2 Lu-177 PSMA 標靶核種攝護腺癌治療之團隊分工** - 李岳 P.49
- 5.3 Lu-177 PSMA 藥物準備、注射執行步驟與注射期間可能遇到的問題**
 - 路景竹 P.51
- 5.4 Lu-177 PSMA 於攝護腺癌治療後常見之醫務及輻射安全監測**
 - 曾敬仁 P.53

- 參考文獻 P.56
- 附 錄 P.60
- 作者及編審專家簡歷 P.62

1.1 Radio-theranostics 於神經內分泌腫瘤與去勢抗性攝護腺癌治療概述

■ 湛鴻遠

前言

19 世紀初諾貝爾醫學獎得主 Paul Ehrlich 首倡「神奇子彈」的概念，強調「精準發現並摧毀腫瘤病灶，減少正常組織傷害」，1946 年放射碘首次用於甲狀腺癌的治療開啟了精準治療大門，放射碘治療前與後影像更是醫學史上最早的療診合一 (theranostics，結合治療與診斷) 應用[1]，後來許多腫瘤治療發展也體現了此概念，例如 Anti-CD20 單株抗體用於淋巴瘤，抗 ERBB2 藥物用於乳癌，2001 年第一個分子標靶藥物 Imatinib 用於胃腸道基質瘤治療，藉由阻斷 KIT 或 PDGFRA 酪胺酸激酶而達到抑癌的效果，2017 年更有所謂的 Tumor agnostic 的酪胺酸抑制劑應用於各式癌症治療[2]，也就是經由檢測腫瘤驅動基因 (driver gene)，給予基因對應的抗癌藥物，因此 theranostics 成為個人化治療的代表，以放射核種藥物發展的 theranostics (又稱 Radio-theranostics[3] 或 Nuclear Medicine theranostics) 也應用在不同癌症的核種治療，例如：Ra-223 於攝護腺癌骨轉移，I-131 MIBG 於嗜鉻細胞瘤、神經母細胞瘤，Lu-177 DOTATATE 於神經內分泌腫瘤及 Lu-177 PSMA 於攝護腺癌等，Radio-theranostics 治療共通特色在其治療前有對應功能或分子影像評估，如放射碘治療前以鈉碘分子為主的影像，Lu-177 PSMA 治療前以 PSMA 為標的之正子影像，有關放射核種治療的適應症及對應分子影像見表1。

Radio-theranostics 的治療前分子影像可評量治療標的病灶 (位置、分子表現量)，於預期療效及正常組織可能累積該放射藥物的輻射累積劑量提供量化資訊，結合病灶與正常組織治療前的劑量學評估，理論上於治療時所

施用的藥物放射活度選擇、推測可能療效與毒性是極為重要的參考。治療後短期內通常也會進行治療後影像，用以確認病灶對於該放射藥物的吸收。定量身體不同病灶與正常組織吸收之累積劑量可用於驗證療效與放射毒性的評估，病人經過治療的歷次影像比較也可以用於臨床療效判定。通常治療前的影像採用的放射核種治療以伽馬 (γ) 射線為主，而治療時所用可能是阿爾法 (α) 或貝他 (β) 粒子，因此治療後影像經常需要以 α/β 核種衰變過程中伴隨之 γ 射線或利用治療射線與組織碰撞後產生之制動輻射 (bremsstrahlung radiation) 成像 [4]。

神經內分泌腫瘤

神經內分泌腫瘤過去被認為是罕見的腫瘤，部分原因可能是其初期幾乎無症狀，或是出現非常不專一的症狀，臨床醫師對此腫瘤也相對缺乏意識。由於其源自神經內分泌細胞，發生位置在全身都有可能，依其發生的位置，以腸胃道 (48%)、肺 (25%) 以及胰臟 (9%) 等為主[5]，其他部位例如乳房、攝護腺、胸腺、皮膚亦有可能，由於神經內分泌細胞可能分泌某些荷爾蒙，因此引發功能異常症狀，例如潮紅、慢性腹瀉等，此外部分細胞可能分泌嗜鉻粒蛋白 A(chromogranin A, CgA)，因此可用於血液腫瘤標記[6]，而部分腫瘤細胞因為有體抑素受體 (Somatostatin receptor 簡稱 SSTR) 表現，病理學組織診斷可以免疫組織化學染色辨識或臨床也可以用 SSTR 影像評估全身具該分子表現之病灶[7]，近來更發展以 SSTR 為標的之核種治療，例如 Lu-177 DOTATATE 對於轉移性神經內分泌腫瘤治療[8]，其主要就是利用腫瘤細胞表面的 SSTR 攝入放射藥物於細胞內，進而釋放 β 粒子殺死腫瘤細胞。功能性的神經內分泌腫瘤因過量分泌不同之荷爾蒙引起對應之內分泌失調症狀 (例如潮紅、腹瀉、高血糖等)，但不具功能性的腫瘤則因為生長

壓迫鄰近組織產生症狀。

病理診斷時需區分級別 (grading) 以評估分化程度，等級高 (G3) 意味分化差，其中分化不良者 (poorly differentiated) 又稱神經內分泌癌，G3 與晚期 (亦即無法切除或遠端轉移) 腫瘤需要特別留意。血或尿液中有些生物標記可用於評估腫瘤負荷，例如 CgA 具有極佳之敏感度 (53-91%) 但專一性不足[6]，部分功能性神經內分泌腫瘤依其細胞類別亦有特定生物標記可供臨床參考，例如胰島素瘤 Insulinoma 分泌胰島素，胃泌素瘤 Gastrinoma 分泌之 gastrin 等。影像評估 CT 或 MRI 可以對不同部位局部獲得解剖資訊，而核醫或正子影像則是全身性的功能或分子影像，主要利用該腫瘤細胞的 SSTR 能吸收 Octreotide，像是 In-111 或 Ga-68 標化這些與體抑素類似的核藥進行全身影像評估，通常分化較好的神經內分泌腫瘤可用這類 SSTR 影像診斷，但分化較差的腫瘤細胞 SSTR 可能會消失，因此必須改用以 Glucose transporter 為分子標的之 FDG 正子影像評估。針對局部性的神經內分泌腫瘤，手術切除是可能痊癒的，但是如果為多發性或已有遠端轉移病灶，或復發轉移及惡化病灶，手術切除病灶以降低腫瘤負荷之外亦考慮輔助治療，例如體抑素類似藥物 (如 Lanreotide、Octreotide)，這類藥物可解除功能性腫瘤的異常症狀，也有抑制腫瘤生長的效果，有些口服分子標靶藥物例如 Everolimus、Sunitinib 經臨床試驗證明其抑癌效果。最近發展的 Lu-177 標化體抑素類似藥物則是藉由具 SSTR 表現的神經內分泌腫瘤能攝取 DOTATATE 而將 Lu-177 釋放的 β 粒子殺死腫瘤細胞，臨床試驗如 NETTER-1 證實其有效延長無惡化存活[9]，但值得注意的是其副作用包括腎功能異常、骨髓抑制、腸胃不適等，此外過去文獻雖有主張化療的療效，但需要更多的實證。

去勢抗性攝護腺癌

一般而言原發攝護腺癌可以手術、電燒等方式清除，轉移癌病灶則以荷爾蒙療法抑制雄激素產生為主要治療策略。但復發或晚期疾病的癌細胞會演變成不依賴雄激素而快速生長，轉化成去勢抗性攝護腺癌 (castration-resistant prostate cancer, 簡稱 CRPC)，需採進一步治療以控制腫瘤快速惡化。去勢抗性攝護腺癌的定義是在體內睪固酮抑低至 <50 ng/dl 時，腫瘤仍然惡化[10] (經由連續三次抽血生化指標 PSA 上升，兩次上升幅度都 50% 以上，或影像評估判定)，這個階段的治療選擇相當多元，通常要考慮病人年齡、病情、共病、病人接受度等，除了加入更進階的荷爾蒙治療抑制雄激素受體或阻斷其訊號傳遞，可用藥物[11]例如 abiraterone、enzalutamide、apalutamide 及 darolutamide，此外還有化療、免疫療法、標靶核種治療、核糖聚合酶 PARP 抑制劑治療等選項。理論上標靶核種治療對於殺死癌細胞可能有更大的優勢，利用核種於腫瘤細胞連續釋放輻射能量，因此正常組織與腫瘤對於放射藥物吸收的相對差異，可以集中輻射劑量予標的之腫瘤，因此治療輻射劑量可以提高，例如鐳-223 經注射後因其與鈣的化性類似而聚積於骨轉移病灶，因為 α 輻射的特性 (短距離釋放高能量 $80-100$ keV/ μm) 產生細胞 DNA 破壞，所以對於骨轉移有顯著療效 (參閱 ALSYMPCA[12])，進而延長整體存活。最近經美國 FDA 核准的 Lu-177 PSMA 治療則是利用部分 ($>80\%$) 去勢抗性攝護腺癌細胞膜豐富 PSMA 表現，以 PSMA 配體 (如 PSMA-617) 攜帶 Lu-177 至腫瘤細胞而釋放 β 輻射於腫瘤。此核種治療也是 Radio-theranostics 的典型例證，經過 PSMA 分子影像評估腫瘤的狀況再給予治療，過去使用 Ga-68 PSMA 藥物 (如 Ga-68 PSMA-11)，最

近發展使用 F-18 PSMA 影像 (如F-18 DCFPyL、F-18 rhPSMA7.3)。第一個多中心第三期臨床試驗 Vision 針對曾經接受化療或者雄激素受體阻斷藥物治療的此類病人，並確認 PSMA 陽性病灶者施以 Lu-177 PSMA 藥物治療 (每6週一次、4-6次) 有明顯療效[13]。由於 Lu-177 PSMA 治療在去勢抗性攝護腺癌的定位仍有改善空間，例如與不同化療或者標靶藥物及荷爾蒙治療之順序及能否併用，還有一些大型臨床試驗在進行，其結果值得我們關注。相對而言 Lu-177 PSMA 治療的副作用較輕微且會自行恢復，包括輕微的倦怠感、口乾、眼睛乾澀、噁心感或食慾不振，以及暫時性輕微骨髓抑制，罕有健康威脅或生活品質影響。

放射核種治療的適應症及對應 Radio-theranostics 分子影像

治療核種藥物	適應症	診斷分子影像	標的分子或細胞攝入藥物原理
I-131	甲狀腺癌	I-123、I-131掃描 I-124正子影像	Na ⁺ /I ⁻ symporter (NIS)
I-131 MIBG	嗜鉻細胞瘤	I-123、I-131 MIBG掃描	Na ⁺ /adrenaline transporter (NAT)
Ra-223	攝護腺癌骨轉移	Tc-99m MDP骨掃描 F-18 NaF正子影像	生骨性轉移或骨破壞 修復時Ca離子 turnover增加
Lu-177 DOTATATE	神經內分泌腫瘤	In-111 Octreotide Ga-68 DOTATATE 正子影像	Somatostatin receptor (SSTR)
Lu-177 PSMA	去勢抗性攝護腺癌	Ga-68 PSMA正子影像 F-18 PSMA正子影像	Prostate-specific membrane antigen (PSMA)

2.1 Lu-177 核種介紹

■ 黃玉儀

Lutetium - 核種

Lutetium (鐳) 是元素週期表中的第 71 號元素，擁有 71 個質子，自然界中穩定狀態的鐳元素是 lutetium-175。Lutetium-177 (Lu-177) 是一種人造的放射性同位素，質量數為 177，半衰期約為 6.65 天，主要發射 β 粒子，最大能量約為 498 KeV，具有摧毀癌細胞的能力，在人體組織穿透距離平均僅 0.23 mm (最長 1.7 mm)，非常適合應用在癌症治療。Lu-177 同時也釋放 γ 射線，主要的能量有 208 KeV (11%) 以及 113 KeV (6.2%)，因此也可用於診斷造影，幫助追蹤放射性物質在體內的分布。

Lutetium - 177 製造方法

Lu-177 的製造通常有兩種主要方法 (如附圖)，第一為直接法，第二為間接法，簡單介紹如下。

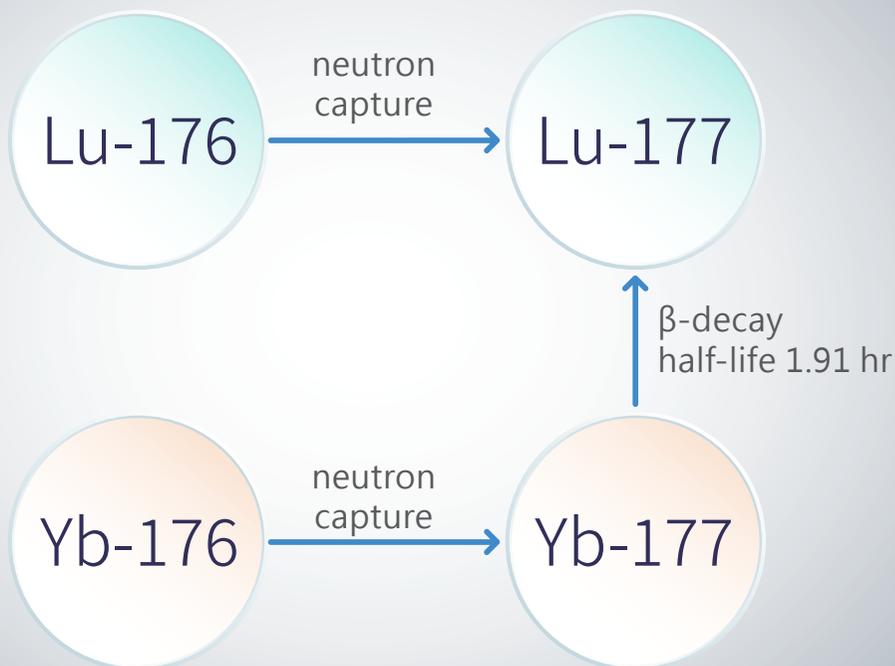
一、直接法：

這是一種常見的製造方法，以中子源直接照射 Lutetium-176 (Lu-176) 同位素，Lu-176 吸收一個中子後即變成 Lu-177，然而此製造法最終產物仍會包含少量未完全反應且無法被分離的殘餘 Lu-176，以及伴隨其他長半衰期的不純物同位素 Lu-177m，因此被稱為 carrier added Lu-177 (Lu-177 c.a.)。此方法的優點是產量高，成本低。但缺點是其中的不純物 Lu-177m 半衰期長達 160.4 天，雖然含量相當低，但仍會造成輻射防護管理上的問題。

二、間接法：

此生產方式是使用反應爐以熱中子射束撞擊 Ytterbium-176 (Yb-176) , Yb-176 吸收中子後轉變成 Yb-177 , 而 Yb-177 會以 1.9 小時的半衰期進行 β 衰變 , 直接衰變成為 Lu-177 , 最終產物不會包含其他不純物同位素。這種方法產生的 Lu-177 純度高 , 雜質少 , 因此被稱為 no carrier added Lu-177 (Lu-177 n.c.a.) , 更適合用於臨床應用。但缺點是生產成本高 , 因此價格昂貴。

Lu-177 的製造方法



Lutetium-177 的醫學應用

Lu-177 是用於治療和診斷 (theranostics ; 診療學) 的理想 β 放射性同位素，其 6.65 天半衰期能夠讓藥物進行長程運送，而其發射 208 KeV (11%) 和 113 KeV (6.2%) 的 γ 射線，還可用於影像評估與進行劑量學 (dosimetry) 測定。

Lu-177 與 Gallium-68 (Ga-68; 鎂-68) 共享的化學金屬螯合特性，讓 Lu-177 與 Ga-68 成為診療學發展中最重要的共伴元素。目前 Lu-177-DOTATATE 以及 Lu-177 PSMA 已經成為兩個臨床上使用的重要癌症治療藥物。

2.2 Lu-177 DOTATATE 藥物 & 治療介紹

■ 李佩瑛

神經內分泌腫瘤

神經內分泌腫瘤 (neuroendocrine tumor, NET) 是由神經內分泌系統中的細胞所形成的癌症。它們好發於胃腸道、肺和胰腺，但也可能出現在身體任何部份。神經內分泌腫瘤的治療方法有多種，包括手術、體抑素、化療、標靶治療，肝動脈栓塞、放射栓塞治療、射頻燒灼術、和胜肽受體放射核種治療等。

Lu-177 DOTATATE 藥物介紹

Lu-177 DOTATATE 屬於新型的胜肽受體放射核種治療 (Peptide Receptor Radionuclide Therapy, PRRT)。它由放射性核種 Lu-177 連結體抑素 (somatostatin) 類似物構成。Lu-177 DOTATATE 可結合至胃腸胰神經內分泌腫瘤 (Gastroenteropancreatic neuroendocrine tumor; GEP - NET) 腫瘤細胞表面所表現的體抑素受體，進入神經內分泌腫瘤的細胞內後，釋放高能量的 β 粒子殺死腫瘤細胞。

目前，Lu-177 DOTATATE 核准用於治療罹患無法手術切除或轉移性、持續惡化、分化明確 (G1 和 G2) 且帶有體抑素受體的 GEP-NET (包括前腸、中腸、後腸神經內分泌腫瘤) 成人患者。

Lu-177 DOTATATE 治療介紹-臨床試驗

在 NETTER-1 臨床試驗中，共有 229 例患有晚期體抑素受體陽性中腸[14]GEP-NET 的患者。結果顯示，合併使用 Lu-177 DOTATATE 和

octreotide 的患者與單獨使用 octreotide 的患者相比，無惡化存活期 (progression-free survival) 大幅降低 82%。在患者之整體存活期，給予 60 mg octreotide 之患者整體存活期的中間值為 27.4 個月，而 Lu-177 DOTATATE 結合 30 mg octreotide 治療組別之患者整體存活期的中間值截至 42 個月時仍有超過一半以上的患者存活。

最終分析資料[15]顯示，Lu-177 DOTATATE + octreotide 組的中位整體存活期 (median overall survival) 為 48 個月 (95% CI : 37.4-55.2)，對照組為 36.3 個月 (95% CI : 25.9-51.7)。雖然並無統計上的差異 (HR [95% CI]，0.84 [0.60-1.17]; P=0.30)，但此結果可能是因試驗期間，有 36% 對照組患者轉換到 Lu-177 DOTATATE 組導致的因素。另一項研究 (ERASMUS) 中，共計 360 名體抑素受體陽性之 GEP-NET 患者接受 Lu-177 DOTATATE 後，16% 患者其腫瘤達到完全或部分縮小的療效。

Lu-177 DOTATATE 治療介紹-藥物安全性[16]

1. 血液毒性

接受 Lu-177 DOTATATE 治療的患者，多數皆曾發生骨髓抑制。大部分血液事件為輕度或中度，且為暫時性。

2. 繼發性骨髓增生不良症候群 (MDS) 及白血病 (Leukemia)

Lu-177 DOTATATE 治療後曾有遲發性骨髓增生不良症候群 (Myelodysplastic syndromes, MDS) 和急性白血病的案例報告。NETTER-1 試驗中，追蹤時間中位數為 24 個月，接受 LU-177 DOTATATE 加長效型 octreotide 的患者中，有 3 人 (2.7%) 發生 MDS，但高劑量長效型 octreotide 組患者則無。ERASMUS 試驗中，16 名患者 (2%) 發生 MDS，4

名 (0.5%) 發生急性白血病。MDS 發生時間中位數為 28 個月 (9 至 41 個月)，急性白血病為 55 個月 (32 至 155 個月)。

3. 腎臟毒性

ERASMUS 試驗中，8 名患者 (1%) 接受 Lu-177 DOTATATE 治療後 3 至 36 個月期間發生腎衰竭。

4. 肝膽毒性

ERASMUS 試驗中，2 名患者 (0.25%) 報告發生肝腫瘤出血、水腫或壞死，其中 1 名患者 (0.12%) 發生充血性肝病變及肝內膽汁鬱積。

5. 荷爾蒙急症

荷爾蒙急症 (hormonal crisis，或稱類癌急症 carcinoid crisis)，表現為潮紅、腹瀉、支氣管痙攣和低血壓，在 ERASMUS 試驗中有 1% 的患者發生，此狀況通常在第一劑 Lu-177 DOTATATE 給藥期間或給藥後 24 小時內出現。

6. 不良反應(發生頻率≥10%)

依據 NETTER-1 和 ERASMUS 臨床試驗資料顯示，Lu-177 DOTATATE 治療所引起的不良反應 (發生頻率 ≥ 10%) 包括噁心 (58.9%)、嘔吐 (45.5%)、倦怠 (27.7%)、血小板減少 (25%)、淋巴球減少 (22.3%)、貧血 (13.4%)、食慾減退 (13.4%)、全血球減少 (10.2%)。

2.3 Lu-177 PSMA 藥物 & 治療介紹

■ 黃玉儀

Lu-177 PSMA 藥物介紹

PSMA代表“Prostate-Specific Membrane Antigen”，即攝護腺特異性膜抗原。它是一種第二型跨膜蛋白，PSMA分子由三個主要結構組成：一為細胞內蛋白，由19個胺基酸分子組成；二為穿膜蛋白，由24個胺基酸分子組成；最後一部分是膜外蛋白，由707個胺基酸分子組成。PSMA具有酵素的功能，是一種傾向分解麩胺酸的羧肽酶(glutamate-preferring carboxypeptidase)，它也具有將細胞外的蛋白內化至細胞內的功能[17]。在正常情況下，它主要表現在攝護腺上皮細胞表面，然而PSMA更會在攝護腺癌細胞上大量表現[18]，並且惡性度越高的攝護腺癌細胞，其表現的PSMA量就越高。然而，PSMA也可以在其他組織中發現，但通常表現量較少。

PSMA在攝護腺癌中的過度表現使得它成為可以診斷和治療攝護腺癌的標靶，PSMA可以被利用來開發各種影像學和治療學的技術，當標記以正子放射性同位素，如鎵-68 (Ga-68) PSMA 或氟-18 (F-18) PSMA，這些製劑就可以用來進行偵測攝護腺癌的正子掃描。當標記以具有療效的 β 或 α 放射性同位素，如鐳-177 (Lu-177) PSMA，該藥物就可以用來治療攝護腺癌。經過PSMA正子掃描的篩選確認腫瘤是否表現足夠的PSMA抗原後，病人就可以考慮接受Lu-177 PSMA治療。

Lu-177 PSMA 治療介紹

由於PSMA的進展，也進一步改變攝護腺癌的治療方式，包括體外放射

線治療、手術、以及 Lu-177 PSMA 治療。2018 年澳洲 Peter MacCallum Cancer Centre 的 Hofman 等學者進行的第二期臨床試驗研究發現，研究中 57% 的轉移性去勢抗性攝護腺癌 (metastatic castration-resistant prostate cancer; mCRPC) 病人在經過 Lu-177 PSMA 治療後，PSA 可下降超過 50%，而治療的相關副作用大多屬於輕度，因此治療的耐受性相當良好[19]。Lu-177 PSMA 用於治療 mCRPC 病人的全球性第三期臨床試驗已經在 2021 年 9 月正式發表研究結果，證實了此療法能有效延長病人整體存活時間、延後復發時間、減少骨骼相關併發症。在接受過至少一到兩線的荷爾蒙療法以及至少一種紫杉醇類 (taxane) 化療的 mCRPC 病人，研究中發現，有一半的病人可以存活超過 15.3 個月，而沒有接受 Lu-177 PSMA 治療病人，一半僅存活 11.3 個月，以統計學的角度分析，Lu-177 PSMA 治療為這群病人爭取了增加 4 個月的平均存活時間，降低了 38% 的死亡風險，研究中也發現 46% 的 mCRPC 病人在經過 Lu-177 PSMA 治療後，PSA 可下降超過 50%。然而依據研究結果，即使接受了 Lu-177 PSMA 治療，也有約一半的病人療效未達預期，甚至約二到三成可能無效[13]。在 2023 年 10 月的歐洲腫瘤學學會年會 (ESMO Congress 2023) 中，腫瘤治療研究領域的大師 Oliver Sator 報告了最新的第三期臨床試驗“PSMAfore”的研究結果，針對經雄激素受體途徑抑制劑 (Androgen receptor pathway inhibitor; ARPI，或稱二代荷爾蒙) 治療後仍然進展的 mCRPC，並且尚未接受過化學治療的病人，試驗顯示相較於進行 ARPI 切換(例如原本澤珂失效後，再將治療藥物換成安可坦)的對照組，使用 Lu-177 PSMA 治療的試驗組病人展現了更佳的療效。使用 Lu-177 PSMA 的患者，復發風險 (rPFS) 減少了 59%，Lu-177 PSMA 和 ARPI 切換的中位 rPFS 分別為 12.02 個月和 5.59 個月。此結果意味與切換 ARPI 用藥相比，Lu-177 PSMA 可延後病

人的復發時間約半年[20]。此研究也讓 Lu-177 PSMA 的治療往病程的前線推進。目前也尚有許多大型三期臨床試驗正在進行中或預計進行，未來 Lu-177 PSMA 治療的階段角色應會更加擴大。

而 Lu-177 PSMA 治療的副作用基本上都很輕微，比例最高的副作用是輕微程度的全身倦怠感、口乾、眼睛乾澀、噁心感或食慾不振，以上副作用與 Lu-177 PSMA 的生理代謝途徑有關，通常會在一到二周的時間內自行緩解。另外需要注意的就是輕微程度的血球下降，此類副作用通常與病人的骨骼轉移程度有關，因此治療後須依照病情小心追蹤，少數病人血球下降的情況可能較嚴重，這時就需要調整 Lu-177 PSMA 的治療計畫。

3.1 Lu-177 標靶核種治療之輻射安全規範建議

■ 劉晉昇

目前國內核子醫學相關輻射安全規範及國際標準

(1) 目前國內各項核子醫學影像檢查，病人在醫院口服或注射放射性同位素，例如鎝-99m (Tc-99m) 或鈾-201 (Tl-201)，在影像檢查完畢後，即可正常活動不必接受隔離住院，直接返家。這是因為一般核醫檢查所使用放射性同位素活度低 (約在 5-20 mCi)、半衰期短 (例如 Tc-99m 半衰期6小時、F-18 半衰期 109 分鐘)，評估病人核醫影像檢查後，返家過程給周圍人員的輻射曝露量低至可以不用特別留置。

(2) 病人接受核子醫學接受放射性同位素治療後之病人外釋及相關議題，目前國內輻射安全法規並無明確規範。

(3) 依據1997年美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC) 聯辦法規 (10 CFR) 第 10 章 35.75 “釋放含有未密封副產品物質或植入物的個人”，或稱為“病人外釋規則” [21]，其中針對劑量限制建議應維持合理抑低 (as low as reasonably achievable; ALARA)，對周圍任何個人曝露總有效劑量以不超過 5 毫西弗為劑量限度，為達成此目標可以提供適當的保護。同時建議若對周圍人員曝露有可能超過1毫西弗時，輻射管制人員應對病人、家屬或照護者提供適當的輻射安全說明及建議事項，以減少上述人員接受到的輻射曝露量。在此份報告中提供計算方式評估同位素核種治療在給予特定劑量後，造成他人的輻射曝露量為何，用以建議病人外釋標準。值得注意的是依據各種同位素核種的半衰期、釋放粒子種類與能量的不同，攝入活度的釋放標準值也會有所不同，必須查閱相關資料，若無相關資料，輻射管制人員則需要依同位素物理特性，自行評估計算釋放活度

或實際測量劑量率。

Lu-177 相關輻射安全規範試算及建議

(1) NRC 10CFR 35.75 並無明確規定 Lu-177 釋放活度及測量曝露率，且 Lu-177 為貝他發射體核種，最高貝他粒子能量為 498 KeV (79%) 及兩個光子 208 KeV (11%) 與 113 KeV (6.2%)，並無明確伽馬曝露常數，查閱文獻保健物理與放射保健手冊資料[22]，本節將比較 I-131 與 Lu-177 兩者數據伽馬曝露常數，估算出 Lu-177 病人釋放活度及測量曝露率，以作為未來 Lu-177 臨床實務輻射防護的建議值。

(2) Lu-177 的基本物理參數如下表，以 I-131 做比較參考 [22, 23]：

同位素	半衰期 (天)	伽馬曝露常數 Γ (mSv/hr)/MBq	衰減係數 μ (cm ⁻¹)
Lu-177	6.65	7.636E-6	10.935
I-131	8.08	6.647E-5	2.409

在射源劑量曝露率公式 $D = \frac{\Gamma \cdot A}{r^2} * 1.44 * \tau_{1/2} * OF$

其中 D 為劑量 (毫西弗)，A 為活度 (毫居里)，r 為距離 (米)， $\tau_{1/2}$ 為半衰期 (天)，OF 為佔用因子 (Occupancy factor 設定為 1/4)

在點射源距離 1 米處，計算劑量限度 5 毫西弗估算 Lu-177 病人釋放活度為 305.7 毫居里，病人釋放曝露率為 86 μ Sv/hr。因此病人接受 Lu-177 治療，每次醫囑活度若為 200 毫居里，是可直接返家自主管理，不用留置在隔離病房治療，對周圍人員劑量貢獻不超過 5 毫西弗。

3.2 Lu-177 標靶核種治療後影像與劑量學考量

■ 柯冠吟

治療後影像定量

在核子醫學領域中，影像定量的方法是透過一轉換因子，將記錄到的計數數量與輻射源的放射性濃度之間做轉換。隨著單光子電腦斷層造影儀 (Single photon emission computed tomography/computed tomography; SPECT/CT) 的出現以及影像疊代重建方法的發展，提高重建影像的品質與精準度，除了使用電腦斷層進行衰減校正，運算法中也考量了散射輻射及準直儀-偵檢器反應 (collimator-detector response)，顯著減少偏差，提高定量方式在臨床上的可應用性。

在標靶核種治療領域，對於收集治療後 SPECT/CT 影像的時間點目前並未標準化；許多醫院選擇在藥物注射後的 24 小時或 48 小時進行掃描。過去，大家認為相較於正子影像，Lu-177 SPECT 具有顯著較低的空間解析度，因此未被考慮用於常規的治療反應評估，但目前已有文獻報導 Lu-177 DOTATATE 與 Lu-177 PSMA SPECT/CT 定量的可行性，其單光子影像參數與相對應治療前的 Ga-68 正子影像之間存在密切的相關性[24]。並且，過去的研究發現 Lu-177 SPECT 在識別疾病進展方面具有相當的潛力，但反過來說，因受限於空間解析度，Lu-177 SPECT 可能難以確認所有疾病部位是否完全緩解，仍須仰賴正子影像。未來，有賴更多研究來精確定義 Lu-177 SPECT/CT 定量參數於臨床應用的限制，包含識別治療療效所需的病灶體積變化量之閾值[25]。另外，SPECT/CT 定量參數還可與現行發展的評分系統 (Krenning score、NETPET score等) 及臨床資訊等作結合，以提高對標靶核種治療反應的預測。

劑量學考量

Lu-177 治療後的成像，包含平面影像與 SPECT/CT，傳統上被認為可以用來決定腫瘤病灶和健康器官的吸收劑量，但對於放射敏感器官吸收劑量之耐受性以及治療有效所需的腫瘤吸收劑量目前尚未有定論。在 Lu-177 DOTATATE 治療中，被視為潛在風險的器官包括腎臟、骨髓以及腦下垂體。對於 Lu-177 PSMA 治療而言，主要的潛在風險器官則為腮腺、淚腺和骨髓。骨髓和腮腺的放射生物學反應於治療後的早期和晚期均會發生，而腎臟和腦下垂體通常被認為是晚期才會反應的組織。這些風險器官的吸收劑量資訊，有助於我們對治療毒性的評估。

許多針對 Lu-177 DOTATATE 和 Lu-177 PSMA 劑量與治療反應的相關性研究已經陸續展開。在用於神經內分泌腫瘤的 Lu-177 DOTATATE 治療，觀察到腫瘤體積變化與病灶吸收劑量之間的關聯性 [26]。然而使用在攝護腺腫瘤的 Lu-177 PSMA 治療，研究觀察到治療後攝護腺特異抗原 (prostate specific antigen; PSA) 下降的病人之病灶平均吸收劑量相較於 PSA 無反應者來得高 [27]。目前已有劑量學引導之臨床試驗，希望能在提高腫瘤吸收劑量與考量腎臟耐受性兩者間取得平衡，以期制定量身訂做的治療方針，包含調整治療的次數與給予藥物的放射活度。

劑量學的計算需要在治療後的多個時間點進行影像檢查。在 Lu-177 DOTATATE 和 Lu-177 PSMA 治療，針對大家感興趣的組織來說，時間上有充分間隔的三次掃描便足以進行藥物動力學分析。通常，最後一次影像應該在組織的有效半衰期之後收集，若是對於腫瘤而言，這一時間點可能會遲至到給藥後的多天。關於 Lu-177 DOTATATE 和 Lu-177 PSMA 治療，健康器官和腫瘤吸收劑量的研究數據日益增加。透過這些數據，我們對標靶核種治療有更深層的理解，為 Lu-177 DOTATATE 和 Lu-177 PSMA 的個人化及劑量學引導的治療奠定了深厚的基礎 [28]。

3.3 Lu-177 標靶核種治療後中短期內輻射安全建議

■ 邱宇莉

Lu-177 可由尿液及其它排泄物排出體外，接受治療數週後體內仍有少量的 Lu-177，故建議注意事項如下，以維護病人及民眾的輻射安全 [29-38]。

個人生活注意事項

1. 飲水：治療當天與治療後 2-7 天內建議適當補充水分 (宜多喝水) 並盡量排尿，以降低體內輻射。
2. 如廁：治療當天與治療後 3-7 天內如廁採坐姿，以防尿液噴濺汙染環境。可使用衛生紙將尿液擦掉，衛生紙丟入馬桶沖掉。如廁後可酌量增加沖水次數，以減少 Lu-177 殘留於馬桶。如廁後務必洗淨雙手，以防雙手汙染環境。沾有排泄物 (例如血液、尿液、唾液、糞便等) 的物品宜丟入馬桶沖掉，無法沖掉的物品則需清洗乾淨 (例如便盆) 或單獨放入塑膠袋中 (不宜與其它廢棄物裝在一起)，塑膠袋放置處宜遠離孩童及寵物。
3. 洗澡和洗衣：治療當天與治療後 7 天內建議每天淋浴，不宜泡澡。不要與他人共用牙刷、毛巾、浴巾、衣物、浴缸、餐具等，盥洗用品、餐具、貼身衣物等應與他人分開清洗。在醫院期間使用的物品 (除盥洗用品及貼身衣物外) 不會殘留大量輻射，出院後無需丟棄。

與他人相處注意事項

1. 與他人接觸：治療當天與治療後 3-7 天內建議與他人保持 1 至 2 公尺以上

距離，避免近距離接觸 (Lu-177 DOTATATE 需持續至少 3 天；Lu-177 PSMA 需持續至少 2 天)。避免與幼兒、孩童及孕婦長時間近距離接觸，每天近距離接觸時間應限制在 15 分鐘內，需持續至少 7 天。

2. 睡眠：治療當天與治療後 3-7 天內建議單獨睡覺。若無法分房睡，建議分床睡並保持 1 至 2 公尺以上距離。若有幼兒、孩童及懷孕伴侶，建議需持續至少 15 天。
3. 性行為：治療當天與治療後至少 7 天內建議避免性行為。治療期間及最後一次治療後 (Lu-177 DOTATATE 女性病人需持續 7 個月、男性病人需持續 4 個月；Lu-177 PSMA 需持續 14 週)，從事性行為時需使用有效的防護措施，避免使自身或配偶受孕[29、31、32、35、36、37]。
4. 搭乘交通工具：治療當天與治療後 3-7 天內，如非必要，不宜搭乘公共交通工具。若需搭乘公共交通工具，應盡量與旁人保持距離，增加更換座位或車廂頻率。搭乘計程車或家人開車時，請坐在司機斜後方。治療後 3 個月內有出國計畫者，出國前宜向醫師申請近期內曾接受 Lu-177 治療的醫療證明。
5. 重返工作：治療當天與治療後 3-7 天內，工作場所若有機會接近幼兒、孩童及孕婦者 (例如從事幼教、嬰幼兒照護等工作)，建議由輻射專業人員評估返回工作崗位的時機。工作場所若有機會接近門框輻射偵檢器者 (例如於機場、垃圾場、核能發電廠等場域工作者)，宜向醫師申請近期內曾接受 Lu-177 治療的醫療證明。

3.4 Lu-177 標靶核種治療之輻射廢棄物管制

■ 林亭君

目前 Lu-177 藥物來源主要為直接或間接途徑兩種生產方式。當核種來源若為間接途徑則排除了壽命長的放射性雜質 (Lu-177m, $<10^{-5}$ %) (低於可檢測值)，可忽略 Lu-177m 的影響，但因此途徑產量較低且昂貴，故目前市場來源仍以直接途徑生產為主，此方式產物含有非需要的 Lu-177m，其半衰期 160.4 天較 Lu-177 長 (6.65 天)，且難以分離，另外，Lu-177 治療病人所產生之放射性廢棄物可區分為液態及固態兩種，故對此相關輻防作業及廢棄物處理應做考量[39]。

液態廢棄物

液態廢棄物的產生，意指病人注射 Lu-177 標靶核種治療後排泄的尿液。治療期間病人需要留置於同位素治療病房或治療室內，而醫療機構須收集病人於同位素治療病房或治療室專用廁所及盥洗盆排泄之放射性廢水，收集之時間及方式必須符合該醫療機構經主管機關核備之 Lu-177 治療輻射防護安全計畫書內容，一般約需 6 小時。上述放射性廢水經由專用污水管路經化糞槽，再依序排入放射性廢水衰減槽留置衰變，放射性廢水排放前需執行廢水取樣作業，分析項目需涵蓋 Lu-177/Lu-177m 此兩種核種進行伽馬能譜分析，確認取樣廢液之放射性活度濃度，若低於「游離輻射防護安全標準」附表四之二規定時，始得排入院內污水處理槽。

固態廢棄物

固態廢棄物的產生，像是於注射過程中所產生之放射性廢棄物如三路通管、點滴管、試劑瓶、手套、吸附除汗紙等相關耗材，應收集至專用放射性

廢棄物專用桶貯存待衰變。而住院期間亦衛教指導病人及其協助者，接觸病人之體液應戴手套，並丟至放射性廢棄物專用桶內，當病人有嘔吐、尿布發生情況，可先裝入病房所提供之塑膠袋包妥後再丟棄於病室內放射性廢棄物專用桶，減少汙染發生[34]。

病人離開病室後，核醫科輻防人員前往病室執行環境偵測，若有污染之床單、被單等，可裝入塑膠袋包妥，而後量測表面輻射劑量率，當數值大於環境背景值 ($>0.3 \mu\text{Sv/hr}$) 時，則須放置於同位素治療病房專用廢料間內貯存待衰變。待衰變時間結束後，再取出該廢棄物量測其表面劑量率，低於背景值時 ($<0.3 \mu\text{Sv/hr}$) 再依一般醫療廢棄物處理即可 [40]。

病室內廢棄物處理完畢且經量測病室已無輻射汙染安全之虞，才能允許清潔人員進行清潔作業。以上作業之相關偵測資料則應依規定保存，以供主管機關備查。

4.1 Lu-177 DOTATATE 標靶核種治療之適應症、禁忌症、治療計劃與療程、注意事項

■ 鄭媚方

適應症

Lu-177 標靶核種治療，也稱為胜肽受體放射核種治療 (peptide receptor radionuclide therapy, PRRT)，為一種全身體內放射核種治療。治療的放射核種與腫瘤細胞表面過度表現的體抑素受體結合，可以準確、近距離的殺死腫瘤細胞。此療法已被納入國際治療指引 [29, 41-45]，適合病人為：手術無法完整切除之胃腸胰腺神經內分泌腫瘤 (gastroenteropancreatic neuroendocrine tumor, GEP-NET)，經體抑素類似物 (somatostatin analogue) 或標靶藥物治療病情持續惡化，且腫瘤表現足夠體抑素受體 (可經由核子醫學的功能性分子影像證實) 之 12 歲以上患者 [46]。由於此標靶核種治療對分化程度好的腫瘤有較好的療效，可使腫瘤縮小並延長存活時間，治療前的功能性影像評估尤為重要，為評估核種治療適應症方法之一 [47]。

禁忌症

1. 絕對禁忌

- (1) 已知或疑似懷孕。
- (2) 併發其他嚴重急性疾病。
- (3) 嚴重且無法控制的精神疾病：若有相關疾病或症狀，建議於治療前轉介專業醫師進行評估。

2. 相對禁忌

(1) 哺乳 (持續哺乳)。

骨髓功能嚴重低下

白血球 (white blood cell)	<2,000/ μ L
血小板 (platelet)	<70,000/ μ L
血紅素 (hemoglobin)	<8 g/dL

參考資料: NANETS/SNMMI Procedure Standard for Somatostatin Receptor–Based Peptide Receptor Radionuclide Therapy with ^{177}Lu -DOTATATE. Journal of Nuclear Medicine July 2019, 60 (7) 937-943.

(3) 腎功能嚴重不良: 估算的腎絲球過濾率 (estimated glomerular filtration rate) 小於 50 mL/min。

(4) 嚴重肝功能不良: 總膽紅素 (total bilirubin) 高於正常值上限 (upper limit of normal, ULN) 3 倍或白蛋白 (albumin) 低於 3 g/dL。

(5) 嚴重心衰竭: 若有相關疾病或症狀, 建議於治療前轉介專業醫師進行評估。

決定是否接受標靶核種治療前應透過多專科團隊會議討論並擬定最佳治療方針。

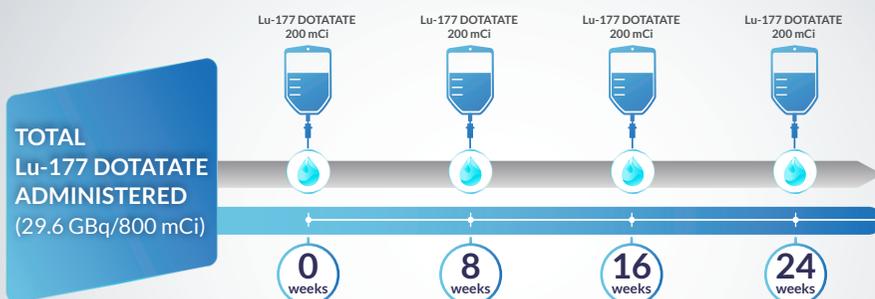
治療計劃與療程 [44]

Lu-177 DOTATATE 標靶核種治療共需注射 4 個療程, 每隔 8 到 12 週進行一次療程, 每次建議藥物劑量為 200 毫居里 (mCi) (如附圖)。注射期間會在醫院同位素單人病房以靜脈注射方式給藥。每次療程前必須暫停使用長效

型體抑素類似物約 4 週，必要時可以給予短效的體抑素類似物且需在注射放射性治療藥物前 24 小時停止使用，但具體治療方案仍須依據臨床安排決定。每次療程之放射性藥物輸注約 30 分鐘，因為未和腫瘤細胞結合之放射性藥物會從經由腎臟從尿液排出，因此會在放射性藥物給藥前、中、後為患者輸注胺基酸以保護腎臟，過程約需 4-6 小時。在胺基酸輸注之前會給病人止吐劑以降低不適。每次療程後 24 小時至一週內，會安排病人接受單光子造影，用以評估 Lu-177 標靶核種在體內的分佈情形。每個治療週期後的第 4 週和第 6 週應抽血檢驗造血、肝及腎功能，如出現 WHO 毒性第 3 或 4 級，應改為每 2 週檢驗。

Lu-177 DOTATATE 標靶核種治療療程

Lu-177 DOTATATE Treatment Regimen



- Lu-177 DOTATATE 7.4 GBq (200 mCi) is administered as an IV infusion over 30-40 min every 8 weeks for a total of 4 doses (4 x 200 mCi = 800 mCi)
- **In case of toxicity:** the interval between each infusion can be extended up to 16 weeks

注意事項

放射性藥物給藥前、中、後請患者大量喝水，以促進未和腫瘤細胞結合

之放射性藥物排出體外。若是治療之前或之中發現患者血液功能嚴重受損、或肝腎毒性較嚴重時，應降低劑量或暫停投藥。少部分患者在注射放射性藥物後會出現荷爾蒙急症 (hormonal crisis) 或類癌急症 (carcinoid crisis)，導致發燒、低血糖、心跳加速、血壓升高等症狀，因此應在注射藥物後 6 到 8 小時於院內觀察，待患者情況穩定且身上的輻射曝露量低於法定上限之後再出院。

4.2 Lu-177 DOTATATE 標靶核種神經內分泌腫瘤治療之團隊分工

■ 林立凡

神經內分泌腫瘤 (neuroendocrine tumor, NET) 可能會分泌多種激素和胜肽 (如血清素、胃泌素、胰島素、抑鈣素、血管活性腸胜肽等) , 導致其臨床表現各異, 並可能因此導致診斷延遲以及增加治療照顧上的困難程度, 因此目前NET的治療指南非常強調「多專科團隊 (Multidisciplinary team, MDT)」的重要性, 希望以病人為中心, 藉由不同專業領域的醫療專業人員互相合作, 以提供病人最佳的醫療照顧[48,49]。而當病人的病情進展至需要接受「胜肽受體放射核種治療 (Peptide Receptor Radionuclide Therapy, PRRT)」時, 考量此治療之複雜程度, 需要不同專業領域的醫療人員, 如內科 (腫瘤、腸胃、內分泌科等)、核子醫學科、放射腫瘤科, 影像醫學科、病理科等各科專科醫師, 以及核種治療相關專業醫療人員 (如放射藥師、護理師、放射師、輻射防護人員、醫學物理師及個案管理師等) 通力合作, 才能順利達成此一治療模式, 茲說明如下。

治療前

1. 病人選擇及治療前評估：

當病人 NET 進展至無法手術切除且對體抑素類似物 (somatostatin analogue) 治療無效時, 腫瘤科醫師 (或其主責之其他專科醫師) 可將病人提至 NET 多專科討論會討論, 由病理科專家評估病人之病理型態是否為第一、二級 NET, 並由核醫科專家透過鎳-68 (Ga-68) DOTATOC/DOTATATE 正子造影, 評估腫瘤之體抑素受體 (somatostatin receptor, SSTR) 表現情形, 此外也需檢測病人之肝腎及骨髓功能等, 以評估病人是否能安全接受

PRRT 並可能從中獲益[50]。詳細內容請參見「4.1 適應症、禁忌症」一節所述。適當選擇的病人將被安排接受 PRRT，並應先安排核醫專家對病人說明治療前相關準備，如停止長效型體抑素類似物藥物 [34]，及相關之輻射安全指導。

2. 放射藥物管理：

當病人確認將接受 PRRT 時，核醫部門將進行相關藥物訂購及管理。因治療所用之放射藥物自國外進口抵台後有效期相當短，且牽涉到輻射物質之運送、儲存、防護等議題，此部分需有賴專業之核醫放射藥師處置。

3. 治療藥物給予 (含 PRRT 藥物及腎臟保護劑)：

可安排病人於治療前日住院，由腫瘤科醫師再次確認病人狀況適合接受本治療。治療當日病人轉送至特殊之放射藥物注射區域，由核醫專科醫師、放射護理師，及放射藥師一同執行放射藥物輸注，相關細節將於下一節「4.3 藥物準備、注射執行步驟」進行說明。

治療中及治療後

1. 治療中及外釋後之輻射安全：

在 PRRT 治療過程中，由於病人會接受放射性藥物的注射，輻射安全將是重要考量之一。放射藥物注射前會由放射藥師再次確認藥物放射活度是否符合治療標準。注射過程中，核醫醫師與輻射防護人員將密切配合，確保整個治療過程符合安全標準，尤其是管路安全，以避免輻射物質洩漏造成汙染。放射護理師負責在治療前後教育病人有關輻射安全的措施，並確保病人遵守居家輻射安全指南，如使用私人衛浴設施、避免與家庭成員密切接觸等

[51]。

2. 治療中及治療後副作用監控及處置：

治療過程中，因腎臟保護劑輸注的關係，病人可能會有噁心、嘔吐等腸胃副作用，因此需由照顧之護理師持續監控並給予適當的支持與介入，在必要時，核醫專科醫師也須介入調整藥物輸注速度及決定是否暫停治療流程，以確保病人安全。治療後將由腫瘤科醫師持續監控是否有肝臟、腎臟、或造血系統之異常，並給予適當支持性處置，必要時，也可會診相關腸胃、腎臟、血液科等專家提供協助。輻射安全與副作用處置之細節將於下一節「4.4 治療後常見之醫務及輻射安全監測」進行說明。

3. 治療後效果評估：

治療後的效果評估通常由腫瘤科及核醫科醫師主導，以 Ga-68 DOTATOC/ DOTATATE 正子造影為主，並可搭配傳統電腦斷層/磁振造影等影像學工具，評估 NET 腫瘤治療後的變化。同時針對有功能性症狀的病人，也可觀察臨床症狀的改善情形，以評估 PRRT 的治療功效並決定是否安排病人接受下一輪的 PRRT。

4. 長期追蹤：

NET 病人接受 PRRT 後仍須長期持續監測，以評估是否有潛在的遲發性副作用以及病情的再次變化。這個過程有賴癌症個案管理師持續追蹤病人狀況，以確保病人有按時回診，監控腫瘤變化及肝腎造血等功能狀況，使病人在病情有變化時可及時得到必要的醫療介入。

透過上述各專業醫事人員在每個流程的緊密合作，醫療團隊將能夠為神經內分泌腫瘤病人提供更為周全的治療與照護，提高 PRRT 的治療效果並達到最佳的病人照護品質。

4.3 Lu-177 DOTATATE 藥物準備、注射執行步驟與注射期間可能遇到的問題

■ 姚珊汎

藥物準備

在執行 PRRT 治療時，需要輸注的藥品除了放射核種藥物 Lu-177 DOTATATE 之外，亦需要同時使用預防及保護性的藥包括作為腎臟保護劑的胺基酸及止吐藥。處理放射性藥品需要良好屏蔽，藥瓶外可用鉛或是壓克力樹脂做防護，而進行藥品操作的人建議使用雙層手套。

1. 胺基酸：Lu-177 DOTATATE 在腎臟的近曲小管會再吸收，在間質會過度滯留，因而增加腎臟的輻射劑量，在高血壓及糖尿病患者會有加劇的可能性。胺基酸可以降低腎臟的輻射劑量約9-53%，可在Lu-177 DOTATATE 注射前30分鐘使用，建議與Lu-177 DOTATATE使用分開的兩條靜脈輸注管路，Lu-177 DOTATATE注射結束後仍需持續輸注，約需輸注4-5小時。胺基酸配方為離胺酸 (Lysine HCl) 25g及精胺酸 (Arginine HCl) 25g 在 1 公升的純水溶液中，其滲透壓較低，患者噁心反應較少。市售胺基酸通常為離胺酸 18 到 24g 及精胺酸 18 到 25g 在 1.5 到 2.2 公升的溶液中，其滲透壓小於1050 mOsmol/L。美國臨床試驗中使用的 Aminosyn II 10%有額外添加必需和非必需胺基酸及電解質，其滲透壓為1040 mOsmol/L，這種配方較易造成噁心和嘔吐。高滲透壓溶液在注射時要注意電解質不平衡（高鉀離子或高鈉離子）、代謝性酸血症及心律不整。

2. 止吐藥：胺基酸注射後，病人可能會產生噁心或嘔吐，建議在胺基酸注射前 30 分鐘使用預防性的止吐藥，如血清素拮抗劑 (5-HT3 antagonist) 或類固醇，與各醫療院所在化療期間使用的止吐做法相同。

注射執行步驟

建議輸注放射性藥品與胺基酸使用分開的兩條靜脈輸注管路。在注射方法學上，提供三個方法做為參考(如附圖)：

A. 重力法

• 需使用兩套管路：

1. 第一套管路自生理食鹽水袋連接到一短針 (建議長 2.5 公分之 20 號針頭)，目的是滴注生理食鹽水至 Lu-177 DOTATATE 藥瓶內以產生壓力。
2. 第二套管路是以長針 (建議長9公分之18號針頭) 自藥瓶底部導出藥物至病人體內。

• 給藥前準備：

1. 先完成短針管路與生理食鹽水袋的連接，並填充無菌生理食鹽水至整套管路(含針頭)，同樣也預先填充生理食鹽水至已連接長針頭的整套管路，務必完全排出管路內的空氣，確認管路通暢及無氣泡存在後備用。
2. 病人床位降至最低，確認靜脈留置針暢通無滲漏後再準備開始注射。
3. 以下程序須注意以無菌操作原則進行：
 - (1) 先將短針插入藥瓶，務必確保針尖不會接觸到瓶內藥物溶液表面(並注意之後整個輸注過程中必須維持此狀態)，此時還不可開始生理食鹽水的輸出。
 - (2) 再將長針插入藥瓶，確認針尖接觸並固定在瓶底(並注意之後整個輸注過程中必須維持此狀態)，再將管路輸出端接上病人手

上之靜脈留置針。

• **開始給藥：**

1. 完成前述動作並確認整個細節無誤後，先打開從藥瓶到病人的管路(長針管路)，再打開生理鹽水端的管路(短針管路)開始滴注生理鹽水至藥瓶內。
2. 生理食鹽水之輸注速度應調整使 Lu-177 DOTATATE 藥物輸注的時間介於 30 到 40 分鐘。(參考：50 毫升~100 毫升/小時輸注 5~10 分鐘，接著再改以 200 毫升~300 毫升/小時再輸注 25 到 30 分鐘)
3. 開始輸注後可使用輻射偵檢器偵測至病人端的給藥管路的放射活性變化，以確認出藥的順暢。
4. 輸注尾聲階段，確認給藥管線之放射活性穩定於低點至少 5 分鐘後，停止生理鹽水的輸注。
5. 從病人端移除給藥管線，注意過程不要有液體溢出。
6. 測量整個藥瓶及移除管路中剩餘的放射性活度，計算給予病人的正確劑量。
7. 其他注意事項：
 - (1) 藥罐的密封橡膠被針穿刺後就不可再拔出針頭重新穿刺，因為這可能會使瓶內壓力改變使本法失效。
 - (2) 長針管路中若有大氣泡存在可能會導致藥物無法被引出，因此下長針前務必確認沒有氣泡，因為一但下針後就不能再拔出針頭重新充填生理食鹽水。

(3) 在輸注過程中，確保Lu-177 DOTATATE 藥瓶中的溶液水平面不可接觸到短針針尖。

B. 輸注泵浦

• 同樣使用短針和長針：

1. 短針的目的是製造通氣使藥瓶內藥物溶液得以排出。
2. 長針的目的是導出藥物溶液。

• 給藥前準備：

1. 連接到長針的管道應在連接到輸注泵浦之前用生理食鹽水溶液充滿並排氣，另一端連接到病人的靜脈注射通路。
2. 短針連接一個三通開關，並在插入藥瓶之前在排氣處安裝過濾器。
3. 以下程序須注意以無菌操作原則進行：

- (1) 短針插入藥瓶後應確認針尖保持在液面之上。
- (2) 長針需插入到尖端位於藥瓶底部。

• 開始給藥：

1. Lu-177 DOTATATE 藥瓶內藥物藉由輸注泵浦產生正壓將液體驅入病人體內。
2. 速率由輸注泵浦控制，輸送速度通常設定在 0.8至 0.9 毫升/分鐘，總輸注時間為 25 至 30分鐘。
3. 輸注結束後移除使用過的靜脈注射管路，測量整個裝置中剩餘的

放射性活度，計算給予病人的正確劑量。

C. 自動針筒輸注泵浦

- 需使用自動針筒輸注泵浦：

1. 將 Lu-177 DOTATATE 溶液從藥瓶內抽入一個無菌的鉛屏蔽注射器中。
2. 將注射器安裝在自動針筒輸注泵浦上，以輸注 Lu-177 DOTATATE。
3. 這種方法會使抽取溶液的人員暴露於輻射風險中。

- 給藥前準備：

1. 使用預先填充無菌生理食鹽水的連接管，將含有 Lu-177 DOTATATE 的注射器連接到病人的靜脈管路。
2. 在開始輸注之前，先確認患者靜脈管路的通暢性。

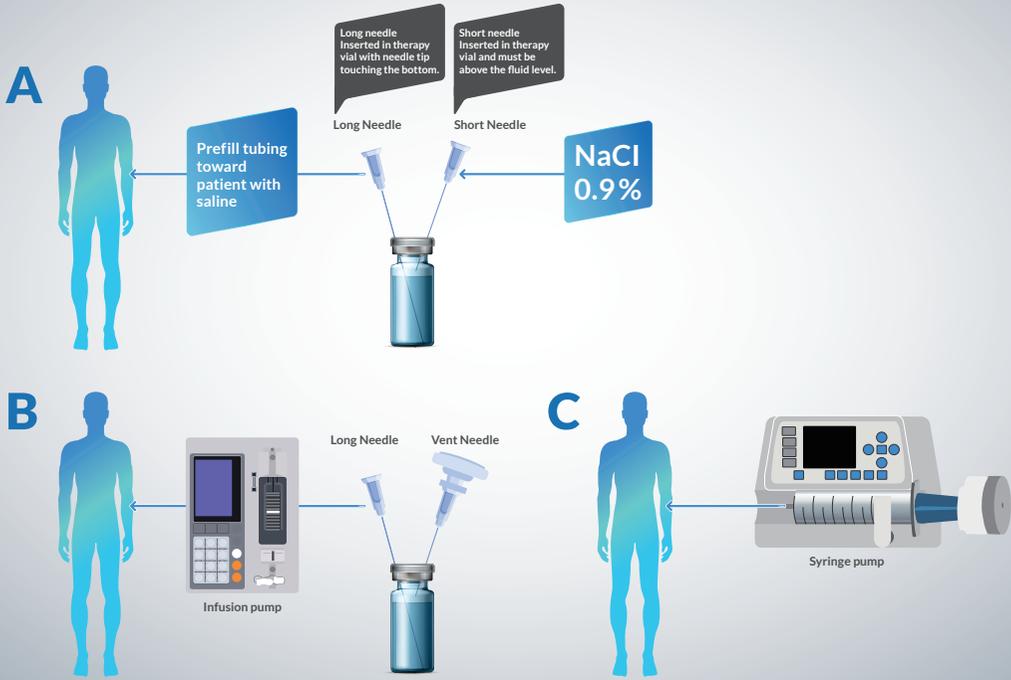
- 開始給藥：

1. 輸送速度設定在 30 分鐘內注射完全部藥物，例如以 60 毫升/小時的速度輸送 30 毫升藥物。
2. 輸注完成後，可以用 25 毫升無菌生理食鹽水沖洗連接管，以將管內剩餘的藥物洗入病人體內。
3. 在處理該裝置時需要注意避免溢出並使用工具來降低輻射曝露。
4. 輸注結束後移除靜脈管路，測量裝置和藥瓶中的剩餘放射性活度，計算給予病人的正確劑量。

注射期間可能遇到的問題

依據注射方法不同，輸注期間可能會碰到不同的問題。同樣的問題如病人靜脈輸注處不通暢、接頭外滲、脫落等。有異常時先終止藥物注射，管路不通暢或血管外滲出時，可換另一處再次進行藥品注射，外滲位置後續追蹤組織的變化，紀錄有無嚴重副作用或壞死。接頭外滲或脫落時，先進行汙染控制與排除，再重新評估管路，確保可正常輸注後再恢復輸注；治療前場地防水紙的鋪設有利迅速控制與排除汙染。重力法可能會碰到藥瓶的真空喪失，導致藥品無法被生理食鹽水順利地往病人端輸注，此時可觀察到藥瓶內藥水滿溢，需考慮到更換其他輸注方式，如針筒泵浦法。泵浦法可能會碰到的常見問題是設備故障無法正常運作，需有備援設備更換使用。

Lu-177 標靶核種治療注射方法



4.4 Lu-177 DOTATATE 於神經內分泌腫瘤治療後常見之醫務及輻射安全監測

■ 陳世欣

治療後常見之醫療上的安全監測

Lu-177 DOTATATE 注射應於配備急救設備和藥物的場所進行。在給藥期間及兩小時後，應密切觀察是否出現血管性水腫等過敏反應，必要時及時給予肌肉注射腎上腺素、靜脈注射抗組織胺、皮質類固醇等。

注射前應確保靜脈注射管路通暢，注意注射部位是否有腫脹或疼痛，若發生藥物外滲，可熱敷、壓迫、抬高肢端，並報告輻防人員計算皮膚劑量[52]。

對於功能性神經內分泌腫瘤患者，需留意注射後可能引發的功能性症狀，並準備相應的處置。對於類癌急症，特別是在首次注射及注射後 24 小時到 48 小時內，應留意潮紅、腹瀉、支氣管痙攣和低血壓等症狀，必要時給予體抑素類似物、靜脈注射皮質類固醇，並給予液體和電解質支持[53]。

注射過程中可能出現噁心、嘔吐，這可能與高滲透壓的胺基酸輸注有關。改用離腎保這類只含有精胺酸、離胺酸的專用胺基酸溶液後，已少見此類情況，但仍建議在開始胺基酸輸注前預防性給予止吐藥。治療後常見的副作用包括骨髓抑制和肝腎功能影響。若出現第二、第三級以上的異常，建議延後治療等待恢復，若無法完全恢復，則下次注射可考慮適當減量。若超過16週仍未恢復，則建議停止 Lu-177 DOTATATE 治療。

骨髓抑制通常在 4-6 週達到谷底。雖然淋巴球減少很常見，但常造成減量或治療中止的是血小板減少。腎功能不良、年老、廣泛性骨轉移

和化學治療等都是骨髓抑制的高風險因子[54]。不建議對血紅素低於 8 g/dL、血小板低於 70,000/ μ L 或白血球低於 2000/ μ L 的患者展開治療。另外，治療後約有 2% 的患者可能發生骨髓增生不良症候群，1% 的患者可能發生急性骨髓性白血病[55]。

腎毒性在使用離胺酸和精胺酸阻斷近端腎小管的重吸收後已經減少，但仍需注意是否有尿路阻塞造成藥物排泄困難的情況。若有水腎的情形，建議在治療前先放置輸尿管導管或經皮腎造口術等校正之[56]。胺基酸注射可能導致高血鉀，但一般在 24 小時內恢復正常。注射前應確認無高血鉀情況，並在注射過程中持續監控患者是否出現呼吸困難、虛弱、麻木、胸痛和心臟表現 (傳導異常和心律不整) 等症狀。若出現嚴重的高血鉀症狀，可考慮停止胺基酸溶液輸注。

肝毒性在總膽紅素超過正常值上限 3 倍的患者中有造成肝衰竭的風險，建議不要在這類患者使用此藥物。

對腦部或脊髓轉移的患者，Lu-177 DOTATATE 治療可能會暫時造成水腫，進而使神經學症狀惡化。有神經壓迫風險的患者，可考慮併用 dexamethasone 4mg BID 一週，但要小心皮質性類固醇可能降低體抑素受體的表現[57]。

腸繫膜轉移嚴重的患者在治療後三個月內應小心可能出現腸阻塞，可考慮在給藥後給予預防性的皮質性類固醇。若發生腸阻塞，可能需要手術和全靜脈營養支持[58]。

治療後可在第一、三、六、十二個月抽血，包括 complete blood count

with differential (CBC/DC), aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, alkaline phosphatase, total bilirubin, albumin, creatinine。療效評估可在療程完成後的一到三個月接受影像學評估如電腦斷層加上肝臟磁振造影，若不確定或懷疑疾病惡化，可做鎵-68 體抑素類似物正子掃描[34]。

治療後常見之醫療上的安全監測

Lu-177 DOTATATE 注射後，Lu-177 釋出的貝他粒子會被身體阻擋，而伽馬射線含量不高、能量也不強 (113 KeV、208 KeV 各佔 6.2% 及 11%)，因此對周遭環境的輻射影響並不大[59]。在注射後距離病人一公尺量測的放射活性約為35微西弗/小時，注射後平均 2.3 小時後就低於 25 微西弗/小時 [60]。未被吸收的藥物會快速經腎臟從尿液排出。注射後四小時就有大約一半的放射活性從尿液排出，注射後24小時大約只剩不到 30% 的放射活性存在體內[61]。因此治療後的輻射安全考量主要是尿液，應鼓勵患者多飲水，以減少藥物滯留在體內；坐著排尿、沖水至少二次、徹底洗手等；其他與家人或大眾相關的輻射安全建議可參考 3.3 章節。

5.1 Lu-177 PSMA 標靶核種治療之適應症、禁忌症、治療計劃與療程、注意事項

■ 黃玉儀

在 2021 年 9 月正式發表的第三期 Lu-177 PSMA 治療全球性臨床試驗結果，Lu-177 PSMA 已被證實能有效延長轉移性去勢抗性攝護腺癌病人整體存活時間、延後復發時間、減少骨骼相關併發症[13]，並在 2022 年 3 月底獲得美國食藥署核准使用。

適應症 [30]：

1. PSMA 正子掃描確認病灶為 PSMA 受體陽性之轉移性去勢抗性攝護腺癌患者。
2. 經過至少一線的荷爾蒙治療以及一至二線的紫杉醇類化學治療後無效。
3. 經過一線的新一代荷爾蒙藥物治療後無效 (novel hormonal agents (NHA) 或稱雄激素受體途徑抑制劑 androgen receptor pathway inhibitor (ARPI))。
4. 其他經臨床試驗實證之情境。

實證醫學的角度來看，目前 Lu-177 PSMA 治療的適應症為經抗荷爾蒙治療以及紫杉醇化療無效後的轉移性攝護腺癌，但許多病人因為肝腎功能或其他體質因素無法進化學治療，此時也是可以提早考慮 Lu-177 PSMA 治療。有些患者會希望在疾病復發更早的階段就接受 Lu-177 PSMA 治療，例如不到五處骨轉移，仍有機會以體外放射線治療來控制的時候。類似上述情況的 Lu-177 PSMA 治療並非不可行，只是尚待實證告訴我們是否能夠有最佳的療效。

禁忌症 [30]：

1. 絕對禁忌：

無絕對禁忌症。但須衡量患者治療後改善的機會應該超過對患者造成傷害的風險，例如對於高度骨髓抑制的患者進行治療應該謹慎，並應事前確立具備足夠應對併發症的應變措施。

2. 相對禁忌：

相對禁忌症並非不可進行治療，而是須謹慎評估治療後可能發生的併發症或其他問題，再決定是否治療，或調整治療計畫。

- (1) 預期壽命 < 3個月，除非主要目的是舒緩與腫瘤相關的症狀。
- (2) 血球不足：白血球 < 2500/uL；絕對嗜中性白血球數 < 1500/uL；血小板 < 75,000/uL。
- (3) 器官功能進行性惡化/多重器官衰竭風險，例如腎絲球過濾率 (GFR) < 30毫升/分鐘，肌酸酐 (creatinine) 高於正常值上限 (upper limit of normal; ULN) 的兩倍，肝酶 (liver enzymes) 高於正常值上限的五倍。
- (4) 急性感染、其他嚴重 (例如心血管) 合併症等。
- (5) 急性尿路梗阻或腎積水，患有診斷或有尿滯留風險的患者，應考慮事先規劃疏通的計畫以減少可能的副作用，及以利輻射防護管理。
- (6) 對輻射防護管理可能造成問題的狀況，如 ECOG ≥ 3 患者之照顧者和親屬的輻射曝露量、無法控制的尿失禁、無法控制的精神疾病合併症...等等。

治療計畫與療程

目前標準的 Lu-177 PSMA 治療方式與療程為：

1. 靜脈注射 200 mCi (毫居里) 的 Lu-177 PSMA 藥物
2. 每 6 周一次
3. 共 4~6 次治療

由於 Lu-177 PSMA 藥物屬放射性同位素製劑，此類治療必須在專門的核醫同位素治療病房 (或治療室) 內進行。

注意事項

1. 治療前必須以 PSMA 正子掃描確認轉移病灶為 PSMA 受體陽性，PSMA 正子掃描上若以定量確認藥物吸收越多，基本上也代表 Lu-177 PSMA 藥物吸收越多。
2. 即使接受了 Lu-177 PSMA 治療，也有一半的病人療效未達預期。
3. 研究也發現若搭配過去最常使用的葡萄糖藥物 (FDG) PET 檢查，也可以輔助評估療效，Lu-177 PSMA 的療效非常可能隨著 FDG PET 的病灶出現而減弱，因此 FDG PET 的病灶量可視為療效反指標。
4. 當骨骼轉移的情況非常嚴重時，治療後造成的血球下降 (骨髓毒性) 也會很明顯，除了影響到治療的時程外，更要小心併發症對性命的威脅，治療前確立具備足夠應對併發症的應變措施。
5. 腎功能減退、曾接受過多次化療 (或其他可能造成紅骨髓儲備減少之治療) 的患者，可能更容易出現較高程度的骨髓毒性。

6. 治療前 4 週應停止或避免大範圍的體外放射治療、化療或放射性骨標靶治療，以降低合併治療可能產生的骨髓毒性。
7. 對於腎功能中度減退的患者 (GFR 30-50 毫升/分鐘)，臨床經驗仍然有限。對於此類患者應定期仔細監測 GFR，如果 eGFR 降至 <30 毫升/分鐘，應考慮停止 Lu-177 PSMA 治療。
8. Lu-177 PSMA 為放射性藥物，治療期間及治療後須配合相關輻射防護措施，詳細內容請參見3.3章節所述。

5.2 Lu-177 PSMA 標靶核種攝護腺癌治療之團隊分工

■ 李岳

Lu-177 PSMA 標靶核種治療涉及了相當複雜的評估及處置流程，包含且不限於治療前的臨床評估、影像判讀、衛教；治療中的藥物準備、給藥以及輻射防護；治療後的療效評估、副作用追蹤處置以及後續治療的安排等等，絕非單一醫師能夠獨力完成，需要多專科的合作。依據歐洲核醫學會及美國核醫與分子影像學會於 2023 年針對 Lu-177 PSMA 標靶核種攝護腺癌治療共同提出的流程指引[30]，也建議此治療宜在具備多專科團隊 (multidisciplinary team, MDT) 的醫院進行。本節旨在說明團隊中各科專家的分工合作。

泌尿科/腫瘤內科

通常 Lu-177 標靶核種治療的需求評估會由泌尿科或腫瘤科醫師提出。此治療目前適應症被定位在轉移性去勢抗性攝護腺癌，並非大部分患者的第一線治療，泌尿/腫瘤科醫師的角色在於綜合評估患者病情是否已經無法以前線的療法控制，進而提出標靶核種治療的要求。此外，患者在每次療程前後的藥物、檢驗、檢查等醫囑開立，療效評估及副作用處置均需要在泌尿/腫瘤科/核醫醫師的門診持續進行。在標靶核種治療療程結束或因副作用/效果不佳等原因中斷後，後續的治療追蹤也需要由泌尿/腫瘤科醫師決定和進行。

核醫科

Lu-177 PSMA 標靶核種治療前需要進行 PSMA PET 的影像檢查，核醫科醫師判讀影像評估患者的病灶範圍以及預測病灶是否會攝取治療藥物，並綜合評估患者整體情況 (如骨髓、肝腎功能等)，進而決定患者是否適

合接受治療[62]。確定要進行治療後，核醫科須對患者進行治療前衛教、訂購藥物、並完善治療場域的準備。治療時要負責給藥；治療進行治療場域的輻射偵檢除汙、輻射廢棄物處理、對患者進行出院衛教、劑量監測及急性副作用評估。治療之期程和評估結果須與泌尿/腫瘤科醫師溝通密切配合。由於治療目前已標準化且給予固定活性，若需要個人化精準治療，醫囑核醫體內劑量建議諮詢專業醫學物理師。

除此之外，亦有可能需要其他科別的專家之合作，例如放射科醫師評估電腦斷層、磁振造影等。由於不同專科之間的溝通和協調至關重要，進行此治療的個案應在定期的多專科團隊會議中列管追蹤，確保每個專科都能分享信息和提供專業意見[63]。

5.3 Lu-177 PSMA 藥物準備、注射執行步驟與注射期間可能遇到的問題

■ 路景竹

藥物準備

藥物抵達時應確認藥品資訊正確並與病人資訊相符。Lu-177 PSMA 通常儲存於透明容器中，外部以輻射屏蔽材質如鉛包覆，使用前應檢視其溶液為無色澄清，並做劑量測量。

治療前可考慮建立兩條適當的輸液管道，通常是以肢體之周邊靜脈為主，若是周邊靜脈管道建立困難，可考慮使用周邊置入中心靜脈導管 (Peripherally Inserted Central Catheter, PICC)，若已存在可使用之人工血管亦可經評估後使用。在操作及處理 Lu-177 PSMA 時須使用無菌技術和輻射屏蔽處理，並根據需要使用夾子以盡量減少人員手部輻射曝露。Lu-177 PSMA 不可注入任何其他靜脈注射藥物作為混合施打。治療前可選擇性給予止吐藥物與類固醇，在沒有心臟問題的情況下，治療前或期間應給予至少 500 mL 的生理食鹽水以利 Lu-177 PSMA 藥物的代謝。整個治療過程須確保輸液管道的暢通，因此開始治療前應先充分以生理食鹽水靜脈沖洗，且確保所有將使用的管線中已充滿生理食鹽水且無氣泡。

注射執行步驟

Lu-177 PSMA 注射方法有三種，針筒注射 (syringe method)、容器注射 (vial method) 或重力法 (gravity method)。

A. 針筒注射

- 可選擇直接注射或以幫浦輔助。
- 注射時間為1至10分鐘緩慢施打。

B.重力法

- 給藥前準備：
 1. 先將一導管連接到 500 mL 的 0.9% 無菌生理食鹽水的短針 (例如 2.5 公分之 20 號針) 插入 Lu-177 PSMA 藥瓶，須確保短針不接觸藥瓶中的溶液。
 2. 再將一長針 (9 公分之 18 號針) 插入藥瓶，確保長針在整個輸液過程中接觸並固定在藥瓶底部，此長針連結預先填充有 0.9% 無菌生理食鹽水之導管，專門用於導出 Lu-177 PSMA 藥物至靜脈導管之病人端。
- 開始給藥：
 1. 給藥期間使用夾鉗或輸液幫浦調整通過短針流入 Lu-177 PSMA 藥瓶的生理食鹽水流速，確保 Lu-177 PSMA 藥瓶中的溶液液位保持不變。
 2. 整個輸注時間通常介於 10 到 30 分鐘，由核醫科評估設定輸注時間以及進行相關設定。
 3. 輸注尾聲時，確認給藥管線之放射性活性穩定於最低點至少五分鐘後，即可停止重力法給藥
 4. 須通過靜脈導管向病人進行至少 10 mL 的 0.9% 無菌生理食鹽水靜脈沖洗，將管路中餘藥推注完畢。
 5. 其餘給藥方式及細節可參考 4.3 章節。

5.4 Lu-177 PSMA 於攝護腺癌治療後常見之醫務及輻射安全監測

■ 曾敬仁

治療後常見之醫療上的安全監測

1. 立即性影響

一般來說，Lu-177 PSMA 治療，在注射後數天之內，並不會有立即性醫療上的副作用或是安全疑慮[64]。但如果有其他不舒服，都還是可以跟醫療人員反映。

2. 血球的影響

通常要隔幾周之後才會有血球的影響。針對攝護腺癌大量骨頭轉移的病人 (high osseous tumor burden) [65]、之前做過化療的病人、或是在治療前已經有出現二級以上血球低下的病人[66]，則需要特別小心，上述這群病人，屬於發生骨髓抑制的高風險族群，比較容易在 Lu-177 PSMA 治療之後，出現嚴重的血球低下。

3. 腎功能的影響

Lu-177 PSMA 治療造成的腎功能影響有時候會被高估，事實上，Lu-177 PSMA 治療所造成的腎功能影響相對輕微[67]。甚至，在有慢性腎臟病、洗腎的病人身上，使用 Lu-177 PSMA 治療並沒有造成額外的副作用[68]。然而，在我們的經驗上，腎功能比較不好的病人，在治療追蹤的時候，要特別注意血球的狀況。

在過程中，為了增加腎臟的代謝，可以在藥物注射之後的 3-4 天多喝水。並且在藥物注射的最開始 6-10 小時之內，頻繁排尿，以降低膀胱的輻射劑量[30]。

4. 肝功能的影響

一般說來，Lu-177 PSMA 治療並不影響肝臟功能，但有些案例會有肝指數增加的情形[69]，然而這些案例通常不是因為 Lu-177 PSMA 治療導致，而是肝臟轉移、肝癌、酒精性肝炎...等原因。而 Lu-177 PSMA 對於肝轉移有顯著的效果，不只是能夠增加整體存活期 (overall survival, OS) 也能夠延長疾病無惡化存活期 (progression-free survival, PFS) [70]。

治療後常見之輻射安全監測

1. 藥物劑量的校正

國際上和台灣現行的劑量都是以固定劑量為主，無論身高體重，每個人每次治療皆是 200 毫居禮 (mCi)。目前台灣的藥物取得，都是由國外製藥，然後空運來台。然而由於放射性藥物有半衰期的關係，藥物在出廠時，會根據預估注射的時間，計算出廠需要的劑量。藥物空運抵台，專車運送，並抵達核醫科之後，還是需要由專業藥師量測，並且確認注入劑量。這一部分，需要藥師在注射藥物前後測量藥物活度，並且兩者相減，取得實際注射劑量。

然而，有些病人比較虛弱，或者前一次注射藥物有副作用產生，經過醫師評估，有可能會減少注入劑量。

2. 輻射安全

我們需要關注的並不是病人本身所遭受的輻射曝露，而是病人注射藥物後所散發的輻射對周遭其他人的影響。

國際上各國法規迥異，歐洲國家有些地區 (例如德國)，甚至在注射 Lu-177 PSMA 之後，需要住院兩天，而美國幾乎沒有特別設限 Lu-177 PSMA 注

射藥物之後的病人活動。通常美國地區，注射 Lu-177 PSMA 之後，就可以直接回家了。

台灣的法規，對一般民眾每年所受背景及醫用輻射外之輻射曝露的限制為 1 毫西弗；如有醫療需求，則不在此限制之內。台灣的背景輻射大概是 1.2 毫西弗/年左右。世界上有一些高天然背景輻射地區(印度的喀拉拉邦)，甚至為 15 毫西弗/年，當地人也並沒有出現特別的健康疑慮。在對於工作人員的輻射安全評估上，每治療一位 Lu-177 PSMA 病人，醫師大概增加 2 微西弗 (=0.002 毫西弗)，大概相當於半天到一天的台灣背景輻射[71]。

Lu-177 PSMA 注射 200 mCi 至病人體內，在第 0 分鐘立刻於 1 公尺處測量輻射劑量率，大約 30 微西弗/小時以下；2 公尺處大約 10 微西弗/小時以內。當經過 8 小時的代謝，於 1 公尺處測量輻射劑量率，大約 15 微西弗/小時以下。

若將病人出院的標準(外釋標準)訂定在 70 微西弗/小時，病人接受 Lu-177 PSMA 注射當下，其實已達到外釋標準，理論上並不需要因為病人本身的輻射，而有額外的輻射管制。然而，Lu-177 PSMA 主要為腎臟代謝，大概有一半的劑量在前幾個小時之內，由尿液快速排出體外。我們讓病人留院的緣故，大多是為了蒐集前面幾個小時的尿液，以免造成二次汙染。

參 考 文 獻

1. Choudhury, P.S. and M. Gupta, Differentiated thyroid cancer theranostics: radioiodine and beyond. *Br J Radiol*, 2018. 91(1091): 20180136.
2. Tateo, V., et al., Agnostic Approvals in Oncology: Getting the Right Drug to the Right Patient with the Right Genomics. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2023. 16(4): 614.
3. Bodei, L., et al., Radiotheranostics in oncology: current challenges and emerging opportunities. *Nat Rev Clin Oncol*, 2022. 19(8):534-550.
4. Miller, C., et al., Implications of physics, chemistry and biology for dosimetry calculations using theranostic pairs. *Theranostics*, 2022. 12(1): 232-259.
5. Hallet, J., et al., Exploring the rising incidence of neuroendocrine tumors: a population-based analysis of epidemiology, metastatic presentation, and outcomes. *Cancer*, 2015. 121(4): 589-597.
6. Singh, S. and C. Law, Chromogranin A: a sensitive biomarker for the detection and post-treatment monitoring of gastroenteropancreatic neuroendocrine tumors. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol*, 2012. 6(3): 313-334.
7. Koopmans, K.P., et al., Molecular imaging in neuroendocrine tumors: molecular uptake mechanisms and clinical results. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2009. 71(3):199-213.
8. van Essen, M., et al., Neuroendocrine tumours: the role of imaging for diagnosis and therapy. *Nat Rev Endocrinol*, 2014. 10(2): 102-114.
9. Strosberg, J.R., et al., NETTER-1 phase III: Progression-free survival, radiographic response, and preliminary overall survival results in patients with midgut neuroendocrine tumors treated with ¹⁷⁷Lu-DOTATATE. *Journal of Clinical Oncology*, 2016. 34(4_suppl): 194-194.
10. Scher, H.I., et al., Trial Design and Objectives for Castration-Resistant Prostate Cancer: Updated Recommendations From the Prostate Cancer Clinical Trials Working Group 3. *J Clin Oncol*, 2016. 34(12): 1402-1418.
11. Hatano, K. and N. Nonomura, Systemic Therapies for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: An Updated Review. *World J Mens Health*, 2023. 41(4): 769-784.
12. Parker, C., et al., Alpha emitter radium-223 and survival in metastatic prostate cancer. *N Engl J Med*, 2013. 369(3): 213-223.
13. Sartor, O., et al., ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer. *N Engl J Med*, 2021. 385(12): 1091-1103.
14. Strosberg, J., et al., Phase 3 Trial of ¹⁷⁷Lu-DOTATATE for Midgut Neuroendocrine Tumors. *N Engl J Med*, 2017. 376(2): 125-135.
15. Strosberg, J.R., et al., ¹⁷⁷Lu-DOTATATE plus long-acting octreotide versus high-dose long-acting octreotide in patients with midgut neuroendocrine tumors (NETTER-1): final overall survival and long-term safety results from an open-label, randomized, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol*, 2021. 22(12):1752-1763.
16. LUTATHERA: Prescribing Information. Millburn, NJ: Novartis AG.; 2018. Revised March 2023.
17. Rajasekaran, S.A., et al., A novel cytoplasmic tail MXXXL motif mediates the internalization of prostate-specific membrane antigen. *Mol Biol Cell*, 2003. 14(12):4835-4845.
18. Bostwick, D.G., et al., Prostate specific membrane antigen expression in prostatic intraepithelial neoplasia and adenocarcinoma: a study of 184 cases. *Cancer*, 1998. 82(11):2256-2261.
19. Hofman, M.S., et al., ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 radionuclide treatment in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (LuPSMA trial): a single-centre, single-arm, phase 2 study. *Lancet Oncol*, 2018. 19(6):825-833.

20. Sartor O, et al. Phase 3 trial of ^{177}Lu -PSMA-617 in taxane-naive patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (PSMAfore). ESMO Congress 2023, LBA13.
21. Shaffer, V., REGULATORY GUIDE 8.39 REVISION 1. In: U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide. U.S.NRC; 2020.
22. Shleien B, Slaback LA Jr, Birky BK, Chapter 6: Exposure and Shielding From External Radiation. In: Shleien B, Slaback LA Jr, Birky BK, eds. The Health Physics and Radiological Health Handbook, Baltimore : Williams & Wilkins, 1992: 169-170.
23. Nuclide Safety Data Sheet: Lutetium-177, Health Physics Society.
24. Thuillier, P., et al., Clinical Assessment of ^{177}Lu -DOTATATE Quantification by Comparison of SUV-Based Parameters Measured on Both Post-PRRT SPECT/CT and ^{68}Ga -DOTATOC PET/CT in Patients With Neuroendocrine Tumors: A Feasibility Study. Clin Nucl Med, 2021. 46(2):111-118.
25. Pathmanandavel, S., et al., Evaluation of ^{177}Lu -PSMA-617 SPECT/CT Quantitation as a Response Biomarker Within a Prospective ^{177}Lu -PSMA-617 and NOX66 Combination Trial (LuPIN). J Nucl Med, 2023. 64(2):221-226.
26. Hebert, K., et al., Absorbed Dose-Response Relationship in Patients with Gastroenteropancreatic Neuroendocrine Tumors Treated with ^{177}Lu -DOTATATE: One Step Closer to Personalized Medicine. J Nucl Med, 2024. 65(6):923-930.
27. Violet, J., et al., Dosimetry of ^{177}Lu -PSMA-617 in Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: Correlations Between Pretherapeutic Imaging and Whole-Body Tumor Dosimetry with Treatment Outcomes. J Nucl Med, 2019. 60(4):517-523.
28. Kratochwil, C., et al., EANM procedure guidelines for radionuclide therapy with ^{177}Lu -labelled PSMA-ligands (^{177}Lu -PSMA-RLT). Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019. 46(12): 2536-2544.
29. Love, C., et al., ACR-ACNM-ASTRO-SNMMI Practice Parameter for ^{177}Lu - DOTATATE Therapy. Am J Clin Oncol, 2022. 45(6):233-242.
30. Kratochwil, C., et al., Joint EANM/SNMMI procedure guideline for the use of ^{177}Lu -labeled PSMA-targeted radioligand-therapy (^{177}Lu -PSMA-RLT). Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2023. 50(9): 2830-2845.
31. LUTATHERA Prescribing Information. Millburn, NJ: Novartis AG.; April 2024.
32. Lutathera: EPAR – Product Information. Summary of product characteristics. 2024.
33. Hosono, M., et al., Manual on the proper use of ^{177}Lu -labeled somatostatin analogue (^{177}Lu -DOTA-TATE) injectable in radionuclide therapy (2nd ed.). Ann Nucl Med, 2018. 32(3): 217-235.
34. Hope, T.A., et al., NANETS/SNMMI Procedure Standard for Somatostatin Receptor-Based Peptide Receptor Radionuclide Therapy with ^{177}Lu -DOTATATE. J Nucl Med, 2019. 60(7):937-943.
35. Pluvicto Prescribing Information. Millburn, NJ: Novartis AG.; March 2022.
36. Pluvicto: EPAR – Product Information. Summary of product characteristics.
37. Ladriere, T., et al., Safety and Therapeutic Optimization of Lutetium-177 Based Radiopharmaceuticals. Pharmaceutics, 2023. 15(4):1240.
38. Kendi, A.T., et al., Therapy With ^{177}Lu -DOTATATE: Clinical Implementation and Impact on Care of Patients With Neuroendocrine Tumors. Am J Roentgenol, 2019. 213(2):309-317.
39. Pillai, A.M. and F.F. Knapp, Jr., Evolving Important Role of Lutetium-177 for Therapeutic Nuclear Medicine. Curr Radiopharm, 2015. 8(2):78-85.
40. Cappon, D.J., et al., Clinical Best Practices for Radiation Safety During Lutetium-177 Therapy.

- Health Phys, 2023. 124(2):139-146.
41. Kos-Kudla, B., et al., European Neuroendocrine Tumour Society (ENETS) 2023 guidance paper for nonfunctioning pancreatic neuroendocrine tumours. *J Neuroendocrinol*, 2023. 35(12):e13343.
 42. Krug, S., et al., Finding the Appropriate Therapeutic Strategy in Patients with Neuroendocrine Tumors of the Pancreas: Guideline Recommendations Meet the Clinical Reality. *J Clin Med*, 2021. 10(14):3023.
 43. Pavel, M., et al., Gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*, 2020. 31(7):844-860.
 44. Bodei, L., et al., The joint IAEA, EANM, and SNMMI practical guidance on peptide receptor radionuclide therapy (PRRT) in neuroendocrine tumours. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2013. 40(5): 800-816.
 45. Shah, M.H., et al., NCCN Guidelines Insights: Neuroendocrine and Adrenal Tumors, Version 2.2018. *J Natl Compr Canc Netw*, 2018. 16(6): 693-702.
 46. FDA approves lutetium ¹⁷⁷Lu-DOTATATE for pediatric patients 12 years and older with GEP-NETS. U.S. Food and Drug Administration. Updated April 23, 2024. <https://www.fda.gov/drugs/resources-information-approved-drugs/fda-approves-lutetium-lu-177-dotatate-pediatric-patients-12-years-and-older-gep-nets>
 47. Hope, T.A., et al., Appropriate Use Criteria for Somatostatin Receptor PET Imaging in Neuroendocrine Tumors. *J Nucl Med*, 2018. 59(1): 66-74.
 48. Oberg, K., et al., Neuroendocrine gastroenteropancreatic tumours: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*, 2010. 21 Suppl 5:v223-v227.
 49. Metz, D.C., et al., A rationale for multidisciplinary care in treating neuroendocrine tumors. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*, 2012. 19(4):306-13.
 50. Hope, T.A., et al., NANETS/SNMMI Consensus Statement on Patient Selection and Appropriate Use of ¹⁷⁷Lu-DOTATATE Peptide Receptor Radionuclide Therapy. *J Nucl Med*, 2020. 61(2): 222-227.
 51. Riveira-Martin, M., et al., Radiation exposure assessment of nuclear medicine staff administering ¹⁷⁷Lu-DOTA-TATE with active and passive dosimetry. *EJNMMI Phys*, 2023. 10(1):70.
 52. Bonta, D.V., R.K. Halkar, and N. Alazraki, Extravasation of a therapeutic dose of ¹³¹I-metaiodobenzylguanidine: prevention, dosimetry, and mitigation. *J Nucl Med*, 2011. 52(9):1418-1422.
 53. Del Olmo-Garcia, M.I., et al., Prevention and Management of Hormonal Crisis during Theragnosis with ¹⁷⁷Lu-DOTATATE in Neuroendocrine Tumors. A Systematic Review and Approach Proposal. *J Clin Med*, 2020. 9(7):2203.
 54. Bergsma, H., et al., Subacute haematotoxicity after PRRT with ¹⁷⁷Lu-DOTA-octreotate: prognostic factors, incidence and course. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2016. 43(3):453-463.
 55. Bodei, L., et al., Long-term tolerability of PRRT in 807 patients with neuroendocrine tumours: the value and limitations of clinical factors. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015. 42(1):5-19.
 56. Becx, M.N., et al., A Clinical Guide to Peptide Receptor Radionuclide Therapy with ¹⁷⁷Lu-DOTATATE in Neuroendocrine Tumor Patients. *Cancers (Basel)*, 2022. 14(23):5792.
 57. de Bruin, C., et al., Mifepristone effects on tumor somatostatin receptor expression in two patients with Cushing's syndrome due to ectopic adrenocorticotropin secretion. *J Clin Endocrinol Metab*, 2012. 97(2):455-462.
 58. Strosberg, J.R., et al., Risk of Bowel Obstruction in Patients with Mesenteric or Peritoneal Disease

- Receiving Peptide Receptor Radionuclide Therapy. *J Nucl Med*, 2021. 62(1): 69-72.
59. Olmstead, C., et al., Quantifying public radiation exposure related to ¹⁷⁷Lu-octreotate therapy for the development of a safe outpatient treatment protocol. *Nucl Med Commun*, 2015. 36(2):129-134.
 60. Calais, P.J. and J.H. Turner, Radiation safety of outpatient ¹⁷⁷Lu-octreotate radiopeptide therapy of neuroendocrine tumors. *Ann Nucl Med*, 2014. 28(6): 531-539.
 61. Kobayashi, N., et al., Safety and efficacy of peptide receptor radionuclide therapy with ¹⁷⁷Lu-DOTA(0)-Tyr(3)-octreotate in combination with amino acid solution infusion in Japanese patients with somatostatin receptor-positive, progressive neuroendocrine tumors. *Ann Nucl Med*, 2021. 35(12): 1332-1341.
 62. Toderas, L., et al., Clinical Implementation of ¹⁷⁷Lu-PSMA therapy, including SPECT/CT imaging post therapy. *Journal of Nuclear Medicine*, 2023. 64(supplement 1):T56.
 63. Suh, M. and G.J. Cheon, Multidisciplinary Team Approach in Prostate-Specific Membrane Antigen Theranostics for Prostate Cancer: A Narrative Review. *J Urol Oncol*, 2024. 22(1):11-20.
 64. Ahmadzadehfar, H., et al., Therapeutic response and side effects of repeated radioligand therapy with ¹⁷⁷Lu -PSMA-DKFZ-617 of castrate-resistant metastatic prostate cancer. *Oncotarget*, 2016. 7(11):12477-88.
 65. Kind, F., et al., Bone marrow impairment during early ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 radioligand therapy: Haematotoxicity or tumour progression? *EJNMMI Res*, 2022. 12(1): 20.
 66. Ahmadzadehfar, H., et al., Early side effects and first results of radioligand therapy with ¹⁷⁷Lu-DK-FZ-617 PSMA of castrate-resistant metastatic prostate cancer: a two-centre study. *EJNMMI Res*, 2015. 5(1):114.
 67. Rosar, F., et al., Renal Safety of ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 Radioligand Therapy in Patients with Compromised Baseline Kidney Function. *Cancers (Basel)*, 2021. 13(12): 3095.
 68. Mercolli, L., et al., ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 Therapy in a Patient with Chronic Kidney Disease. *J Nucl Med*, 2023. 64(10):1570-1573.
 69. Treiber, H., et al., Liver Enzyme Elevation After ¹⁷⁷Lu-PSMA Radioligand Therapy for Metastasized Castration-Resistant Prostate Cancer. *J Nucl Med*, 2021. 62(7):1016-1019.
 70. Khreish, F., et al., Response and outcome of liver metastases in patients with metastatic- castration-resistant prostate cancer (mCRPC) undergoing ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 radioligand therapy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021. 48(1):103-112.
 71. Demir, M., et al., Evaluation of radiation safety in ¹⁷⁷Lu-PSMA therapy and development of outpatient treatment protocol. *J Radiol Prot*, 2016. 36(2):269-278.

附錄：中英文對照表

中文	英文	英文縮寫
絕對嗜中性白血球數	Absolute neutrophil count	ANC
白蛋白	Albumin	
阿爾法	Alfa	α
雄激素受體途徑抑制劑	Androgen receptor pathway inhibitor	ARPI
精胺酸	Arginine HCl	Arg
合理抑低	As low as reasonably achievable	ALARA
貝他	Beta	β
膽紅素	Bilirubin	
制動輻射	Bremsstrahlung radiation	
類癌急症	Carcinoid crisis	
去勢抗性攝護腺癌	Castration-resistant prostate cancer	CRPC
嗜鉻粒蛋白A	Chromogranin A	CgA
準直儀-偵檢器反應	Collimator-detector response	
肌酸酐	Creatinine	
劑量學	Dosimetry	
估算的腎絲球過濾率	Estimated glomerular filtration rate	eGFR
氟-18	Fluorine-18	F-18
氟化去氧葡萄糖	Fluorine-18-2-fluoro-2-deoxy-D-glucose	FDG
鎂-68	Gallium-68	Ga-68
鎂-68 PSMA	Gallium-68 Prostate-specific membrane antigen	Ga-68 PSMA
伽馬	Gamma	γ
胃泌素	Gastrin	
胃泌素瘤	Gastrinoma	
胃腸胰神經內分泌腫瘤	Gastroenteropancreatic neuroendocrine tumor	GEP-NET
腎絲球過濾率	Glomerular filtration rate	GFR
麩胺酸的羧肽酶	Glutamate-preferring carboxypeptidase	
血紅素	Hemoglobin	Hb
荷爾蒙急症	Hormonal crisis	
銻-111	Indium-111	In-111
胰島素瘤	Insulinoma	
碘-131	Iodine-131	I-131
碘-131 MIBG	Iodine-131 Metaiodobenzylguanidine	I-131 MIBG
白血病	Leukemia	
離胺酸	Lysine HCl	Lys
鐳-177	Lutetium-177	Lu-177
鐳-177 DOTATATE	Lutetium-177 DOTA ⁰ -Tyr ³ -octreotate	Lu-177 DOTATATE
鐳-177 PSMA	Lutetium-177 prostate-specific membrane antigen	Lu-177 PSMA

中文	英文	英文縮寫
磁共振造影	Magnetic resonance imaging	MRI
中位整體存活期	Median overall survival	mOS
轉移性去勢抗性攝護腺癌	Metastatic castration-resistant prostate cancer	mCRPC
毫居里	Millicurie	mCi
毫西弗	Millisievert	mSv
微西弗/小時	Microsievert/hour	μSv/hr
多專科團隊	Multidisciplinary team	MDT
骨髓增生不良症候群	Myelodysplastic syndromes	MDS
神經母細胞瘤	Neuroblastoma	
神經內分泌腫瘤	Neuroendocrine tumor	NET
新一代荷爾蒙藥物	Novel hormonal agent	NHA
佔用因子	Occupancy factor	OF
整體存活期	Overall survival	OS
胜肽受體放射核種治療	Peptide receptor radionuclide therapy	PRRT
血小板	Platelet	PLT
正子造影	Positron emission tomography	PET
無惡化存活期	Progression-free survival	PFS
攝護腺特異抗原	Prostate specific antigen	PSA
攝護腺特異性膜抗原	Prostate-specific membrane antigen	PSMA
放射治療	Radiation therapy	RT
鐳-223	Radium-223	Ra-223
紅血球	Red blood cell	RBC
紅骨髓儲備	Red-marrow reserve	
血清素拮抗劑	Serotonin 5-hydroxytryptamine-3 antagonist	5-HT3 antagonist
單光子造影儀	Single photon emission computed tomography	SPECT
單光子電腦斷層造影儀	Single photon emission computed tomography/ computed tomography	SPECT/CT
體抑素	Somatostatin	
體抑素類似物	Somatostatin analogue	SSA
體抑素受體	Somatostatin receptor	SSR; SSTR
鎝-99m	Technetium-99m	Tc-99m
睪固酮	Testosterone	
鉈-201	Thallium-201	Tl-201
總膽紅素	Total bilirubin	
正常值上限	Upper limit of normal	ULN
白血球	White blood cell	WBC
鐳-176	Ytterbium-176	Yb-176

發行人：王昱豐

學歷：國防醫學院醫學系醫學士
高雄醫學大學藥學系博士

單位：台北榮總核子醫學部
中華民國醫學學會

副發行人、總編輯：湛鴻遠

學歷：國防醫學院醫學系醫學士
美國俄亥俄州州立大學生理學
暨細胞生物學博士

單位：高雄榮總核子醫學科
中華民國核醫學學會

作者及編審專家

■ 湛鴻遠 (副發行人、總編輯、負責章節：第一章)

學歷：國防醫學院醫學系醫學士
美國俄亥俄州州立大學生理學暨細胞生物學博士

單位：高雄榮總核子醫學科
三軍總醫院(兼)
中山醫大附醫(兼)

■ 黃玉儀 (執行編輯、負責章節：第二章、第五章)

學歷：國立陽明交通大學醫學系醫學士
國立政治大學EMBA碩士

單位：和信治癌中心醫院核子醫學科

■ 邱宇莉 (執行編輯、負責章節：第三章)

學歷：國防醫學院醫學系醫學士
義守大學資訊工程所碩士

單位：高雄榮總核子醫學科

■ 李佩瑛 (負責章節：第二章)

學歷：台北醫學大學醫學系醫學士

單位：和信治癌中心醫院核子醫學科

■ 劉晉昇 (負責章節：第三章)

學歷：東海大學物理系學士
清華大學生醫工程與環境科學所博士

單位：高雄榮總放射腫瘤部

■ 柯冠吟 (負責章節：第三章)

學歷：高雄醫學大學醫學系醫學士
台灣大學臨床醫學研究所博士

單位：台大癌醫中心分院核子醫學部

■ 林亭君 (負責章節：第三章)

學歷：元培科技大學放射技術系學士

單位：和信治癌中心醫院核子醫學科

■ 鄭媚方 (負責章節：第四章)

學歷：台灣大學醫學系醫學士
台灣大學環境與職業健康科學研究所博士

單位：台大醫院核子醫學部

■ 林立凡 (負責章節：第四章)

學歷：國防醫學院醫學系醫學士
國防醫學院醫學科學研究所博士

單位：三軍總醫院核子醫學部

■ 姚珊汎 (負責章節：第四章)

學歷：輔仁大學醫學系醫學士

單位：台北榮總核子醫學部

■ 陳世欣 (負責章節：第四章)

學歷：慈濟大學醫學系醫學士
英國倫敦大學博士

單位：基隆長庚核子醫學科

■ 李岳 (負責章節：第五章)

學歷：國防醫學院醫學系醫學士

單位：三軍總醫院核子醫學部

■ 路景竹 (負責章節：第五章)

學歷：台北醫學大學醫學系醫學士
台灣大學公共衛生學院流行病與預防醫學研究所博士

單位：台大醫院核子醫學部

■ 曾敬仁 (負責章節：第五章)

學歷：長庚大學醫學院醫學士
長庚大學醫學影像暨放射科學博士

單位：新北市立土城醫院核子醫學科

■ **陳慶元** (文稿審查)

單位：台中慈濟醫院核子醫學科

■ **陳毓雯** (文稿審查)

單位：高雄醫學大學附醫核子醫學科

■ **林美靖** (助理編輯) 至113.08.10

單位：三軍總醫院核子醫學部

■ **高峻皓** (編輯助理)

單位：三軍總醫院核子醫學部

■ **蔡名峰** (文稿審查)

單位：嘉義長庚核子醫學科

■ **曾能泉** (文稿審查)

單位：童綜合醫院核子醫學科

■ **詹宏彬** (助理編輯)

單位：高雄榮總核子醫學科

■ **楊月桂** (編輯助理) 113.08.10接任助理編輯

單位：台灣甲狀腺健康促進協會

 **NOVARTIS**

贊助印製



中華民國核醫學學會

Society of Nuclear Medicine, Taiwan (R.O.C)

