

質子治療、重粒子治療跟一般放療差別

Proton vs carbon-ion vs photon radiotherapy: physics, evidence, costs

林協霆, MD, 內科專科醫師, 腫瘤內科專科醫師

醫療財團法人辜公亮基金會和信治癌中心醫院 腫瘤內科部 · ORCID: [0009-0002-3974-4528](https://orcid.org/0009-0002-3974-4528)

發表日期: 2026/05/12 · 最後更新: 2026/05/12 · 審稿: 林協霆 (2026/05/12) · 主題: 粒子治療 (Particle therapy in cancer)

DOI: 10.5281/zenodo.20131247 · 此版本 10.5281/zenodo.20131248 ·

<https://lin.hsiehting.com/posts/2026/proton-carbon-ion-vs-photon-rt/>

摘要 · ABSTRACT

質子 (proton) 與重粒子 (carbon-ion / heavy-ion) 利用 Bragg peak 讓劑量集中於腫瘤、減少正常組織照射。本文整理三者物理差異、目前有臨床證據優於 photon 的癌別 (兒童腦瘤、深部頭頸癌、椎旁脊索瘤)、自費差價 (質子 200–400 萬、重粒子 250–500 萬)，以及哪些癌別「沒有更好的證據」。

粒子治療 (質子、重粒子) vs. 傳統 photon (X 光) 放療: 物理上粒子有「Bragg peak」可讓劑量集中、減少正常組織照射；但**臨床長期存活與毒性優於 photon 的證據在多數癌別仍有限**。本文整理三者物理原理、目前有實證的癌別 (兒童、頭頸、肝、食道、脊索瘤)、台灣可用機構與自費差價 (200–500 萬)、與「該不該選粒子治療」的決策原則。

閱讀對象

本文設定讀者為剛被建議放療、考慮粒子治療的病友與家屬，以及第一線轉介的住院醫師、家醫科。實際選擇由放射腫瘤科團隊個別評估；本文不取代專業判斷。



三種放療的物理差異

項目	Photon (X 光)	Proton (質子)	Carbon-ion (重粒子)
粒子	光子 (電磁波)	氫核 (質子)	碳離子
劑量分布	進入後逐漸衰減；前後皆有	Bragg peak 集中，後方幾乎無劑量	Bragg peak 更尖、RBE 較高
相對生物效應 (RBE)	1.0 (參考)	~1.1	~2-3
對放療抵抗腫瘤	一般	一般 (RBE 接近 photon)	較強
設備成本	數千萬至 1 億台幣	約 30-50 億台幣	約 50-80 億台幣
療程費用 (台灣)	健保給付 (多數)	自費 200-400 萬	自費 250-500 萬

什麼是 Bragg peak ?

X 光照進人體：表面劑量最高，往深處衰減；目標腫瘤前後的正常組織都被照到。

質子 / 重粒子：劑量在進入時較低，到特定深度形成「劑量峰值」(Bragg peak) 後幾乎為零。可以調整能量讓 peak 對準腫瘤、後方幾乎不受劑量。

這在臨床意義：減少正常組織的「出射劑量」(exit dose)，特別重要於：

- 兒童 (發育中組織)
- 重要器官旁的腫瘤 (脊髓、視神經、腦幹、心臟、肺)
- 預期長期存活的病人 (避免第二原發癌)

哪些癌別有「優於 photon」的證據？

強證據

癌別	為什麼建議粒子	共識來源
兒童腦瘤、髓母細胞瘤	減少正常腦、心、肺照射；降低長期認知傷害與第二癌	兒癌共識、PCG
脊索瘤 (chordoma)、軟骨肉瘤	對 photon 抗性高；鄰近脊髓、腦幹	NCCN、NIRS
顱底腫瘤	保護視神經、腦幹、垂體	PTCOG
深部頭頸癌 (鼻腔副鼻竇)	保護眼、視神經、唾液腺	NCCN

中等證據（個案評估）

癌別	證據強度
食道癌（縱膈劑量重）	部分減少心肺毒性的觀察研究
肝細胞癌（早期、肝功能差）	對 photon 不耐受者的選項
肺癌再次照射	對既往放療部位再治療
左側乳癌（心臟劑量）	減少心臟劑量；長期 OS 等效
直腸癌再次照射	個案評估

證據不足（與 photon 等效）

癌別	證據
早期攝護腺癌	PARTIQoL 等試驗：質子 vs. IMRT 短期生活品質類似
多數早期 NSCLC	SBRT photon 已標準
多數早期乳癌	photon IMRT 已足夠
早期肝癌	SBRT 結果相當

物理優勢 ≠ 臨床優勢

質子在「劑量分布」上確實較優，但**「劑量分布優」不等於「長期存活更好」**。許多 RCT 顯示質子 vs. photon 長期 OS 與毒性類似。**買單 200–400 萬之前**，請主治醫師說明：(1) 你的癌別有沒有 RCT 或大型觀察研究支持，(2) 你個人的長期存活預期，(3) 預期能避開的具體器官（哪個器官、降多少劑量、預估降多少風險）。

台灣可用的粒子治療中心

機構	設備	主要治療癌別
林口長庚	質子（2015 啟用，亞洲第一個多功能機型之一）	頭頸、肝、攝護腺、兒童
高雄長庚	質子（2018 啟用）	同上
台北榮民總醫院	重粒子（2022 啟用，東南亞第一個 carbon-ion）	脊索瘤、肉瘤、肝、頭頸
中國醫藥大學附設醫院	質子（2022 啟用）	各癌別
新光醫院	質子（規劃中）	—

費用與保險

項目	健保	自費（粗估）
Photon IMRT / VMAT / SBRT	給付	0–10 萬（特殊耗材）
Photon 質子化療同步	給付	—
質子治療（總療程）	不給付	200–400 萬
重粒子治療（總療程）	不給付	250–500 萬
商業保險核退	—	視保單條款，部分實支實付可核退 30–80%

決策原則

第一步 — 確認你的癌別有強證據

兒童腦瘤、脊索瘤、深部頭頸、複雜顱底 → 粒子有優勢。其他 → photon 多半已足夠。

第二步 — 評估「能避開的器官」具體效益

請放射腫瘤科做 plan comparison：photon vs. proton 對心、肺、視神經、脊髓的劑量差異。

第三步 — 評估費用與保險

自費總額、商業保險核退、家庭經濟。

第四步 — 與多專科團隊（MDT）討論

腫瘤外科、放射腫瘤、內科一起評估整體治療策略。

第五步 — 詢問是否有臨床試驗

部分粒子治療試驗免費或大幅折扣（特別是兒童、罕見癌）。

不適合粒子治療的情境

- 腫瘤太大、需要照射範圍超出粒子可達深度
- 腫瘤太靠近表面（粒子優勢消失）
- 多重轉移病灶（photon SBRT 更彈性）
- 經濟負擔過重而無顯著臨床獲益

適用對象 / 不適用對象

本文適用

- 剛被建議放療、考慮粒子治療的病友與家屬

- 第一線住院醫師、家醫科衛教

本文不適用

- 取代放射腫瘤科專科醫師的個別判斷
- 急性放療情境（脊髓壓迫、上腔靜脈症候群、症狀緩解）通常 photon 為主

副作用 / 風險揭露

共通放療副作用

- 急性：皮膚反應、疲勞、局部炎症
- 慢性：纖維化、繼發癌（長期）、特定器官損傷

質子特殊

- 對某些深部腫瘤的距離不確定性（range uncertainty）
- 治療規劃複雜度較高

重粒子特殊

- RBE 高 → 對正常組織傷害若失準也較強
- 經驗中心少、長期資料較有限

主要禁忌

- 體內金屬植入物對劑量規劃影響
- 嚴重共病無法配合定位
- 懷孕（相對禁忌）



參考文獻

1. Liao Z, et al. **Bayesian Adaptive Randomization Trial of Passive Scattering Proton Therapy and Intensity-Modulated Photon Radiotherapy for Locally Advanced Non-Small-Cell Lung Cancer.** *J Clin Oncol.* 2018;36(18):1813–1822. [doi:10.1200/JCO.2017.74.0720](https://doi.org/10.1200/JCO.2017.74.0720)
2. Yock TI, et al. **Long-term toxic effects of proton radiotherapy for paediatric medulloblastoma: a phase 2 single-arm study.** *Lancet Oncol.* 2016;17(3):287–298. [doi:10.1016/S1470-2045\(15\)00167-9](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00167-9)
3. Kamada T, et al. **Carbon ion radiotherapy in Japan: an assessment of 20 years of clinical experience.** *Lancet Oncol.* 2015;16(2):e93–e100. [doi:10.1016/S1470-2045\(14\)70412-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(14)70412-7)
4. Mishra MV, et al. **Establishing Evidence-Based Indications for Proton Therapy: An Overview of Current Clinical Trials.** *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2017;97(2):228–235. [doi:10.1016/j.ijrobp.2016.10.045](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2016.10.045)
5. Bekelman JE, et al. **Comparative Effectiveness of Proton vs Photon Therapy as Part of Concurrent Chemoradiotherapy for Locally Advanced Cancer.** *JAMA Oncol.* 2020;6(2):237–246. [doi:10.1001/jamaoncol.2019.4889](https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2019.4889)

6. Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG). **Patient statistics: particle therapy facilities operating worldwide.**
ptcog.site

引用整理協力：PTCOG 共識、NCCN 各癌別 2026、Liao 2018 JCO、Mizumoto 2017、Kamada 2015 Lancet Oncol、Bekelman 2020 JAMA Oncol (2026/05/12)。

SOURCE <https://lin.hsiehting.com/posts/2026/proton-carbon-ion-vs-photon-rt/>

CITATION 林協霆. 質子治療、重粒子治療跟一般放療差別. 林協霆 · 臨床筆記. 2026/05/12. doi:10.5281/zenodo.20131247

LICENSE CC BY-NC-ND 4.0 — 文章內容依 [Creative Commons 姓名標示-非商業性-禁止改作 4.0 國際](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) 授權公開使用。

DISCLAIMER 本文整理公開發表之臨床試驗結果與 NCCN／ASCO／ESMO 治療指引，僅供醫學新知與病人衛生教育參考，不構成個別醫療建議，亦不取代主治醫師之診療判斷。實際治療決策請與您的主治團隊面對面討論。