中華腫瘤醫學發展協會

JOURNAL OF CHINESE ASSOCIATION OF ONCOLOGY DEVELOPMENT

期刊



中華腫瘤醫學發展協會發行

3

2021

第三卷 第一期

Volume 3 Number 1



【行業的領跑者】自 1974 年開始，公司致力於電解還原水機的研發與製造，該水機能夠將自來水轉化為純淨、健康，具有還原能力和富『氫』的功能水。堅持『日本原廠製造』，致力於高品質、高技術和真的健康理念，使其成為全球電解水行業的先行者和領導者。

電解還原水機不是普通的過濾器，由於使用醫療級鈦白金電解分離技術製水，能有效實現對生活用水的科學管理及應用，因此由日本最權威的預防醫學機構認可推薦作為家庭保健水機 以及日本厚生省核發的醫療器械認定。

中華腫瘤醫學第 3 卷第 1 期期刊

目錄

1	碳離子治療機在臺北榮民總醫院的發展	藍耿立、陳光耀
14	台灣中子治療的臨床應用和產業發展前景	陳光耀
22	全球腫瘤統計和日本兵庫縣立粒子治療簡介	劉志偉
28	中國大陸硼中子治療產業動態	柴華
32	千伏線性聚焦即時影像引導放射外科治療系統	黃泰然
38	寵物腫瘤診療的現況和未來	趙良曉、陳光耀
41	CyberKnife M6 系統每日輸出和自動品質保證定性分析	林其達、周貴鼎等
45	Monte Carlo 和 Ray Tracing 演算法應用於腦、肺及攝護腺腫瘤之電腦刀治療計畫的劑量分布比較	游雅芝、徐可欣等

新冠疫情專論

49	低劑量全肺放射治療新冠病毒肺炎	趙良曉、趙興隆

放射腫瘤醫學史

52	參訪南非國立多用途加速器中心	陳光耀

碳離子治療機
在臺北榮民總醫院的發展

藍耿立醫師、博士
臺北榮民總醫院腫瘤醫學部放射治療科主任

陳光耀醫師、博士
臺北榮民總醫院腫瘤醫學部顧問
中華腫瘤醫學發展協會理事長

一 . 前言

碳離子治療機乃醫療界國之重器，也是臺北榮民總醫院癌病治療中心（腫瘤醫學部前身）陳光耀博士在主管任內（1971-1997）努力耕耘粒子治療的實現。粒子治療包括中子、質子和碳離子（重離子）治療。粒子治療是歷來最複雜、昂貴和期望最高的治療方法。台灣粒子治療機建設的願景最早緣於陳光耀於 1967-1971 年在德州大學 MD 安德森醫院及腫瘤研究院（MD Hospital and Tumor Institute）進修時，參與了該中心使用德州農工大學（Taxes A and M University）50MeV 的中子治療機治療頭頸癌的臨床研究計劃。早在 1971 年陳光耀和他德州大學第二位業師 R.Withers 按幅射生物學原理如何在缺乏預算下使用光子治療獲得中子治療的生物效應。[1]1970 年臺北榮民總醫院放射治療科創科主任江澤春醫師，離台赴美後在芝加哥費米國立加速器實驗室（Fermi National Accelerator Laboratory）參與中子治療癌患多年（該實驗室累積中子治療超過 3100 例癌患）。而早陳光耀一年在安德森癌醫院進修的 J.R.Castro 醫師離該院後，前往美國加州主持羅倫斯 - 伯克利國立實驗室（Lawrence Berkeley National Laboratory，LBNL）以粒子射線治療多種癌患。1980-1990 年代，安德森腫瘤醫院先後安裝了以醫院為基地的中子和質子治療機，繼續粒子治療的臨床研究工作。多年後陳光耀以 Project investigator 身份再次到德州大學 MD 安德森腫瘤醫院從事研究工作，並多次橫跨太平洋出席國際會議包括國際粒子治療合作組會議 PTCOG 以及學者訪問，所有這些歷練和活動，孕育了中子、質子、重離子等粒子治療在台灣發展的構想，1976 年也曾發表文章倡議治癌新法研究。[2]

二 . 粒子治療建設的醞釀

重離子治療機源自帶電粒子（charge particles）治療發展而來。美國學者 Robert R. Wilson 1946 年在放射線學 Radiology 期刊發表質子和重離子治療腫瘤有三大物理優勢而揭開核能研究實驗室在物理學、生物學、動物和人體腫瘤 40 年的研究 , 期

間使用不帶電的中子，和帶負電的負派介子（negative Pi mesons）及各種帶正電的例如質子、重氧、氦、氖、氧、碳等離子，自 1954 年的 LBNL 至 1957 年的瑞典 Gustaf Werner 研究所、1961 年美國東北的麻省（Massachusetts）、1967 年蘇聯的 Dubna 聯合核子研究所、莫斯科理論和實驗研究所（Institute of Theorectical and Experimental Physics,ITEP,1969）和聖彼德堡 Gatchina（1975），20 年間癌患都從醫院送到各國核能研究所治療。1973 年起由於電腦斷層（CT）三維影像技術逐漸改善，腫瘤在體內的立體形狀和正確定位，加上質子、重離子治療顯示出優良的效果，經篩選後認定了質子和碳離子放療最具發展發展潛力。因為碳離子比質子約重 12 倍，現在所謂重離子通常指碳離子。到 1980 年代中期從美國醫學中心開始探討，以更適合人體工學的質子治療機安裝在醫院，展開各種腫瘤治療臨床收費應用的可能性。美國加州 Lomo Linda 大學附屬醫院得教會捐款、政府撥款和發債籌款約 8000 萬美元，首先著手委請費米國立加速器實驗室組織的公司（Electus Technology），籌建全球第一台以醫院為基地的質子治療機，並 1990 年初展開臨床使用。陳光耀藉同時期在德州大學安德森癌中心進修的 James Slater 主任醫師校友之便，數次前往參觀 Lomo Linda 醫學中心，與質子治療機籌備時期和臨床使用期間的人員分別交流，後來也多次參訪美國麻省哈佛大學迴旋加速器實驗室（Cyclotron Laboratory Harvard University，HCL） 160MeV 質子治療機治療眼球腫瘤（陳光耀德州大學第一位業師 Herman D. Suit 接待）、也多次參訪日本千葉縣國立放射科學研究所（National Institute of Radiological Science）。

1987 年 10 月 12-23 日陳光耀在國科會支持下，參訪了南非開普敦市的國立加速器中心。南非自 1977 年建立國立加速器中心以來，是該國粒子基礎、臨床核醫、治癌、工業應用研究多元發展的重鎮，至 1987 年已擁有 16MeV 氖和氘離子加速器、6MeV 范氏加速器和 280MeV 分區迴旋加速 器（separated sector cyclotron）， 除了 4 支導管提取粒子線做研究用之外，另有 3 支導管把粒子線分別導至三個放射治療室做癌病臨床治療之用，由開普敦大學和 Stellenbosch 大學附屬醫院、Groote Schuur 醫院、Tygerberg 醫院共同選送癌患前往治療。[3] 其磁體組件及大量的機件都由該國人員自行製造，因此陳光耀萌生台灣選派人員前往學習，自行製造質子治療機的構想。

1990 年代初，陳光耀開始和陽明大學輻射生物學專家吳國海教授（他在美國加州國立實驗室 LBNL 從事粒子輻射生物學研究多年），先後策劃在國內推動硼中子捕獲治療和質子治療的研究和籌建質子治療機的途徑，[4,5] 經多年斡旋，得國家衛生研究院吳成文院長、原子能委員會核能研究所丁幹副所長和行政院國家同步輻射研究中心劉遠中主任的支持，先於 1993 年 9 月行政院科技顧問大會時，倡議成立質子加速器醫用研究

群，旋於 1995 年 11 月 28 日至 12 月 9 日由吳國海博士（代表陽明大學輻射生物學界）、陳光耀醫師（代表臺北榮民總醫院）、許文林醫師（代表三軍總醫院）和翁武忠博士（代表新竹國家同步輻射研究中心）四人，組團前往美國和日本考察，行程包括：

1. 波士頓麻省總醫院（MGH）建造中的東北質子治療中心（Northeast Proton Therapy Center）：後來改名 Francis H. Burr 中心，該中心將建 235MeV 迴旋加速器和兩個可旋轉射束的治療室和一個固定射束治療室。
2. 哈佛迴旋加速器實驗室：170MeV 質子射束，自 1961 年至參訪時已治眼球和顱部腫瘤約 6000 多例。
3. 底特律市的 Wayne State University 附屬 Harper 醫院：參觀 500MeV 中子治療機，醫學物理學 Richard Maughan 博士接待。
4. 密西根州立大學國家迴旋加速器實驗室：參觀由 Blosser 博士團隊所建的 500MeV 及 2.2GeV 的大型迴旋加速器，他表示該實驗有 100 位科學家和工程師，有能力替我們台灣建造質子治療機。
5. 加州洛杉磯 Loma Linda 醫院大學附屬 Lomo Linda 醫院：質子治療機由費米國家實驗室專家設計和建造，有三個可旋轉射的治療室，另有一個含兩固定射束的治療室，建築物和設備 8000 萬美元，每天治療 60 人，60% 為前列腺癌 , 其餘為顱內及身體各部腫瘤，James Stater 主任醫師（陳光耀德州大學校友）熱情而詳細的接待。
6. 日本筑波大學（University of Tsukuba）的質子醫學研究中心（Proton Medical Reseach Center，PMRC：質子能量為 250MeV，有兩間治療室，皆為固定射束，仍然由病人將就射線的方向而擺位，不能由病人安穩仰睡，調整射線方向將就病人，當時已治療各器官腫瘤 400 多人，包括國內高發的肝癌、肺癌和食道癌等內臟癌。
7. 日本千葉縣的重離子醫學加速器中心（Heavy Ion Medical Accelerator Center，HIMAC，Chiba）：該中心自 1994 年 6 月開始以碳離子治療癌患，Tsujii 醫師認為 5000 萬美元應可為台灣建造質子治療機，包括建築及設備費用。

參訪回國後一方面向國家衛生研究院呈遞了中華民國質子加速器及科學應用設備可行性評估研究報告，[6] 有感於短療程放射的優勢和放射外科在全球新發展的趨勢，2008 年 4 月 24-27 日陳光耀應邀出席在福州舉辦的第三屆泛珠江放射腫瘤大會暨第一屆海峽兩岸放射腫瘤會議，演講「Hypofraction -The Future of Radiothrrapy（低分割照射 - 放射治療的未來）」，也發表論文，[7] 特別提到粒子治療尤其是重離子低分割放療在美國 LBNL 用氦離子治療大腦動靜脈畸形、垂體腺瘤、巨人症、Cushing 氏病；德國 GSI 治療中心使用碳離子治療底脊索瘤、軟骨肉瘤；日本國立放射科學研究所用碳離子治療 I 期肺癌和肝癌逐漸向只照 1 次和 2 次的例子，學理上碳離子比質子更適合做短療程低

次放療但更昂貴，當時估計建設一部含 3 個可旋轉治療射束的質子治療機設備需要預算約新臺幣 10 億元，另加建築費用。由醫院向政府爭取如此龐大的金額，遲遲無法定案。直到陳光耀主任的繼任者顏上惠主任、部長（2017 年癌病中心擴大編制為腫瘤醫學部）、繼任的趙毅部長、放射治療歷屆主任王令瑋、蕭正英、劉裕明、藍耿立、和技師李玉麟、醫學物理師劉晉昇博士，得林芳郁、張德明院長、陳光國、陳適安副院長的支持，共同多年持續努力，籌建粒子治療機漸有進展。其中醫學物理師劉晉昇於 2009 年 10 月 28 日出席在南非開普敦國家加速中心舉辦的「第 11 屆中子與離子劑量會議」之學習出國心得報告，獲得各級主管的肯定和支持，並將原來硼中子捕獲治療的醫學物理研究主軸，在硼中子捕獲治療於 2010 年進入臨床試驗後，轉移到粒子治療作深入研究，並協助籌畫粒子治療中心的建設，才共同解決了預算、建築用地、選購機種、培訓核心種子人才。到 2020 年 11 月 21 日台灣放射腫瘤醫學會年會由藍耿立主任正式報告「The Upcoming Carbon Ion Therapy Facility at Taipei Veterans General Hospital」，醫學界國之重器台灣第一部安裝進行中的碳離子治療機，落戶在臺北榮民總醫院的初期面貌，乃公諸於大眾面前。

三 . 粒子治療的物理、生物特性

光子（X 射線和伽馬射線的統稱）、質子和碳離子治療劑量分佈的特色不同，後兩者入射健康組織劑量較低、經調配粒子能量後可讓布拉格峰（Bragg peak）恰當落在形狀和厚薄不同的腫瘤靶區使腫瘤劑量最大而均勻，腫瘤後的健康組織劑量為零，充分保護腫瘤前後和周圍的正常組織，而單束光子射線最高劑落在深部腫瘤前的健康組織量較大，腫瘤後的人體組織劑量則緩慢降低如圖 1 和圖 2 所示，因此光子照射形成穿透腫瘤的分佈，而粒子（質子和重離子）的治療則劑量止於腫瘤。

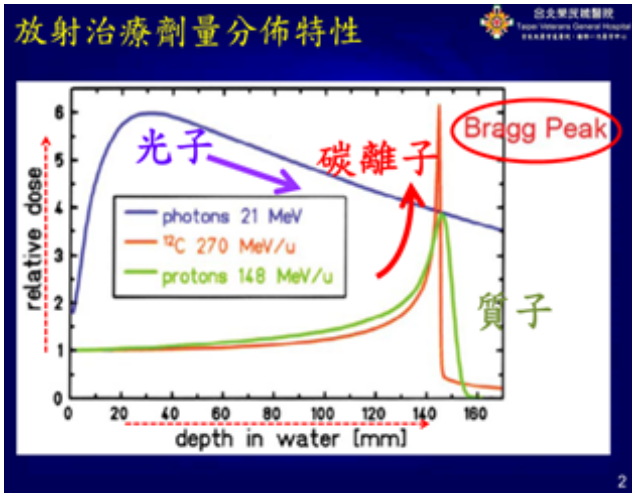


圖 1、光子、質和碳離子放射治療在水假 體深度劑量的分佈特性

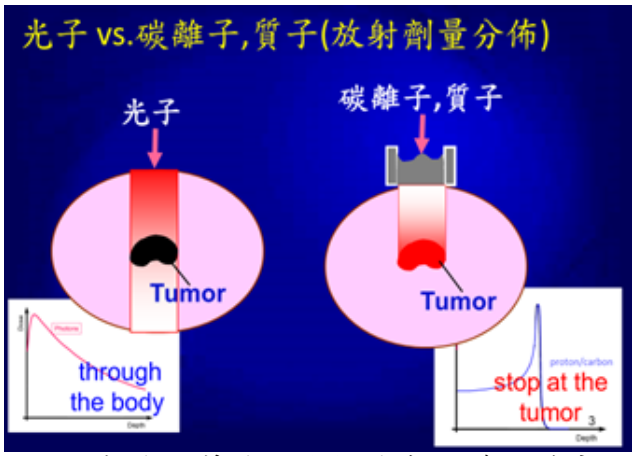


圖 2、光子和質子、碳離子在人體和腫瘤的劑量分佈

在生物學上光子和碳離子照射人體，致命傷害來自射線穿過細胞時產生正、負離子對（ion pairs），當離子對的能量轉移至細胞，對分子結合鏈產生破壞，尤其是對 DNA 雙絞鏈同時斷裂型的破壞，因雙鏈斷裂處的分子無法修補導致細胞死亡。光子主要造成 DNA 單鏈斷裂，細胞仍有快速修補的機制，其他分子傷害如水分子（占人體質量 80%），不會威脅細胞的生命。碳離子的照射，因碳原子含 6 個正電子高能量（MeV）的碳離子 $^{12}_{6}C^{6+}$，高速撞擊水和 DNA 的次級離子對（secondary ion Pairs）非常密集（單位距離能量轉移 LET 值較大），雙股的絞鏈同時斷裂的機會比質子照射高，比光子照射更高，因此碳離子擁有較高的比較生物效應值（RBE, relative biological effectiveness），再加上對光子射線較有抗性的缺氧腫瘤細胞，在碳離子照射時致死效果也很顯著，因此，無論是富氧（oxic）或缺氧（hypoxic）癌細胞對碳離子射線的抗性大為減弱，形成碳離子治療有較高生物效應的特性，而為醫學界普遍推崇的免手術、不流血、無痛苦而精準的治癌法（圖 3）。

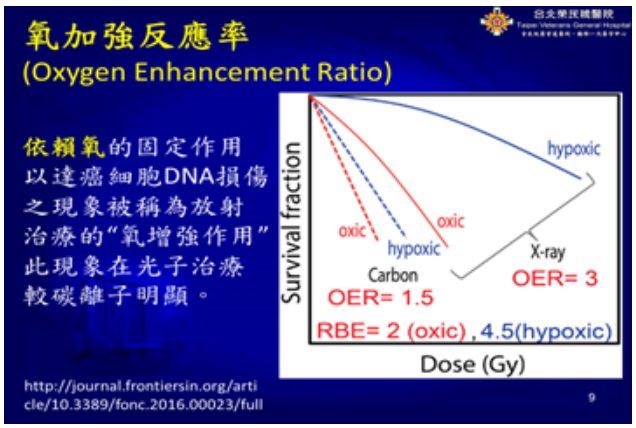


圖 3、碳離子和光子射線對腫瘤內富氧和缺氧細胞間的氧增強反應率各為 1.5 和 3，推算碳離子和光子的比較生物效應有 2 倍和 4.5 倍之多

雖然重離子治療機是目前醫學界造價最高的儀器（相當於一架先進的飛機的價格），但是由於對癌患生命挽救有統計上的優勢，人們漸能接受高價位的治療費用甚至納入醫療保險（圖 4）。

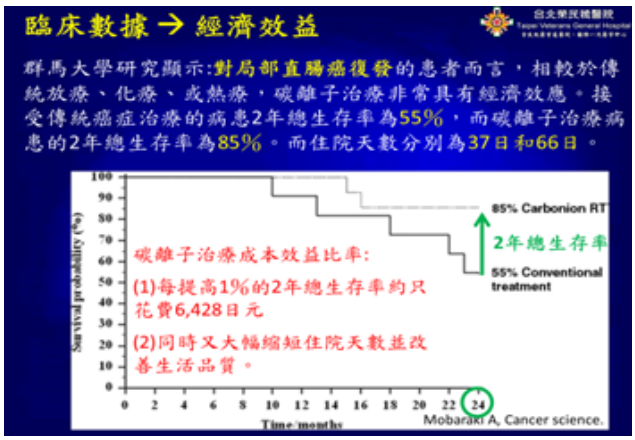


圖 4、日本群馬大學（Gunma U）比較用碳離子和常規治療對直腸癌復發的癌患研究，以兩年總生存率分別為 85% 及 55% 推算，每提高 1% 總生存率，離子治療只多花費 6,428 日元，可大幅縮短住院日期並改善生活品質

四 . 臺北榮民總醫院重離子治療機建設

臺北榮民總醫院在 1990 年代努力籌畫的粒子治療，除了成功的實現了和新竹清華大學合作以硼中子捕獲治療頭頸癌以外，一直以建設質子治療為目標，但是等到 2016 年預算和土地有著落時，臺灣林口長庚醫院的質子治療機已在初期使用，高雄長庚醫院及其他多家醫院都有建設質子治療計畫，因此到張德明院長和癌中心顏上惠主任在任時，最後決定以超越時代的精神，選擇建設

碳離子治療機，且得到主管單位國軍退除役官兵輔導委員會、行政院原子能委員會、衛福部和行政院的同意，醫學界國之重器碳離子治療機便落戶在臺北榮民總醫院重離子癌病治療中心新的建築中。

臺北榮民總醫院在建設重離子計畫，估算總價新臺幣 42 億元。預算籌措當時，重粒子癌病治療中心建築 15 億元由潤泰集團總裁尹衍樑先生建造並捐贈，裝備採購等預算 27 億由宏國和宏泰集團林謝罕見女士和林堉璘先生各捐贈 3 億元，其餘費用核准由醫院分三年預算編列。因此臺北榮民總醫院重粒子治療中心的建設，是政府、多位院長包括林郁芳和張德明兩位院長、各單位工作同仁和社會各界的支持，才得以實現。附圖顯示安裝設備建設過程，進入磁體和加速管安裝（圖 5 至圖 11），圖 12 顯示目前全球重離子和質子治療機已建、在建和籌建分佈。表 1 是所採購日本日立公司（Hitachi）的重離子治療機的主要項目和規格，能量提取採用多段式提取技術（圖 13）。治療機頭導管出口（nozzle）非常關鍵和巧妙的結構如圖 14 所示，其規格見表 2，碳離子治療機在治療室安裝完成時，外貌如圖 15 所示。



圖 5、2010 年臺北榮民總醫院和長榮公司總部開會 .（左起 . 張主任、廖偉志、林院長、張總裁、顏主任、鍾肇雄、李技師

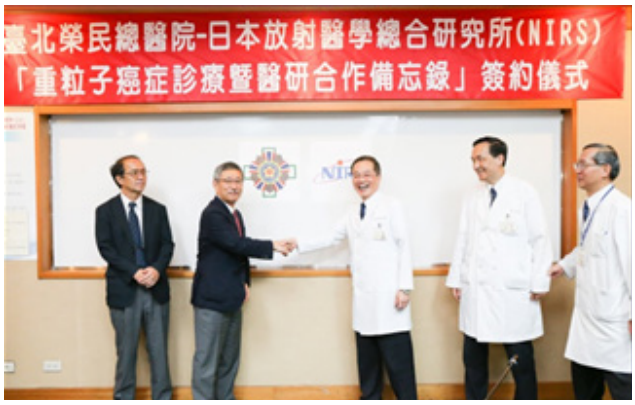


圖 6、2015 年 7 月 20 日臺北榮民總醫院張德明院長和日本放射原學總合研究所簽署重粒子癌症診療暨醫研合作備忘錄



圖 7、2015 年 12 月 21 日尹衍樑先生和林謝罕見女士向臺北榮民總醫院捐贈重粒子治療中心建築結構儀式



圖 8、2019 年 1 月 14 日臺北榮民總醫院重離子癌症治療中心動土開工



圖 9、重離子治療中心地下一樓平面圖

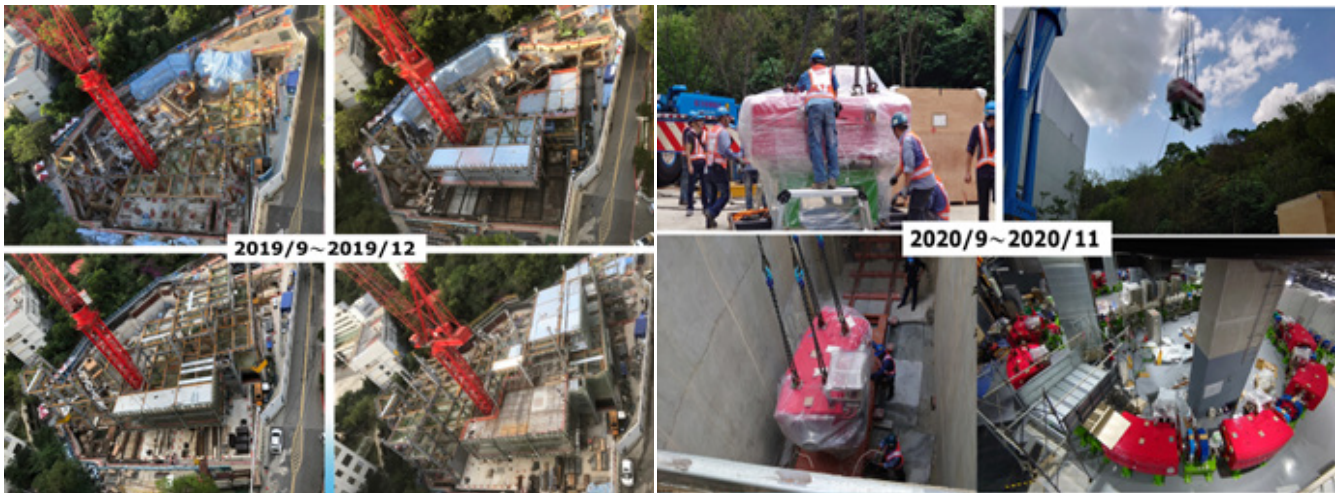


圖 10、2019 年 9 月至 12 月主要機件裝吊工程



圖 11、2020 年 6 月 30 日尹衍樑先生現場視察捐贈和完工的重離子治療中心建築



圖 12、目前全球重離子和質子治療機已 建、在建和籌建分佈

表 1、臺北榮總安裝的重離子治療機的主要項目和規格

Specification

編號	項目	規格
1	加速器	同步 加速器(Synchrotron)
2	離子源	$12C^{4+}$
3	注射器(能量)	RFQ 和IH-DTL (4MeV/u)
4	加速能量範圍	140 -430 MeV/u
5	能量提取方式	多段式能量提取(MEE) 技術
6	能量切換	300 ms
7	治療室間束流切換時間	60 sec
8	掃描速度	Y 100 m/sec X 50 m/sec
9	射束強度	$2x10^9$ ppp
10	劑量率	2Gy/min(物理劑量) 1公升(10 cm x 10cm x 10 cm 體積)其遠端邊緣在水中至 25 cm 深度 劑量均勻性 ≤ 3%

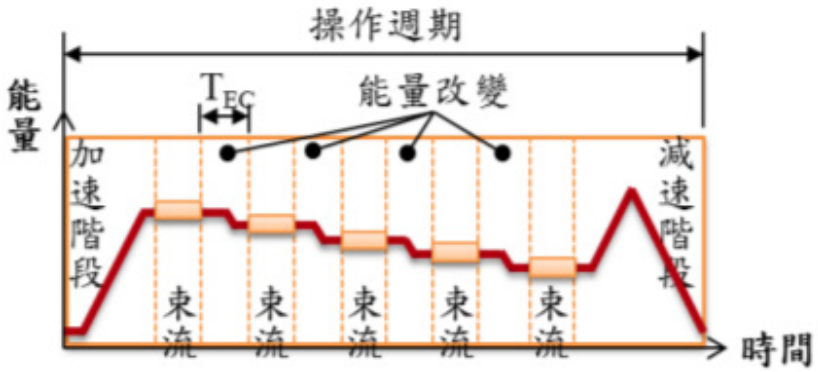


圖 13、能量提取採用多段式提取技術

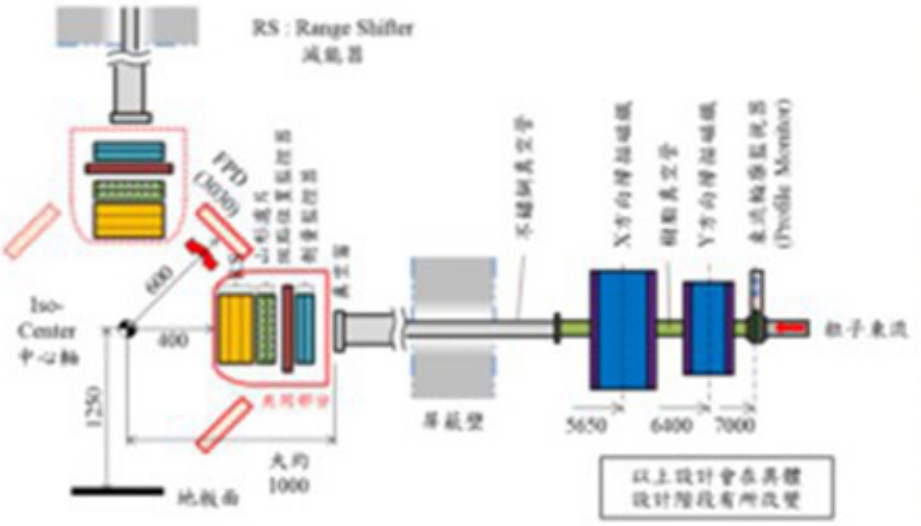


圖 14、治療機頭導管出口裝置結構



圖 15、安裝完成的重離子治療機外型

表 2、治療機頭導管出口規格

■ 照野面積	20 cm x 20 cm
■ 最大射程	30 g/cm^2
■ 最小射程	4 g/cm^2
■ 掃描方式	Spot scanning
■ 掃描位置精準度	±0.5 mm

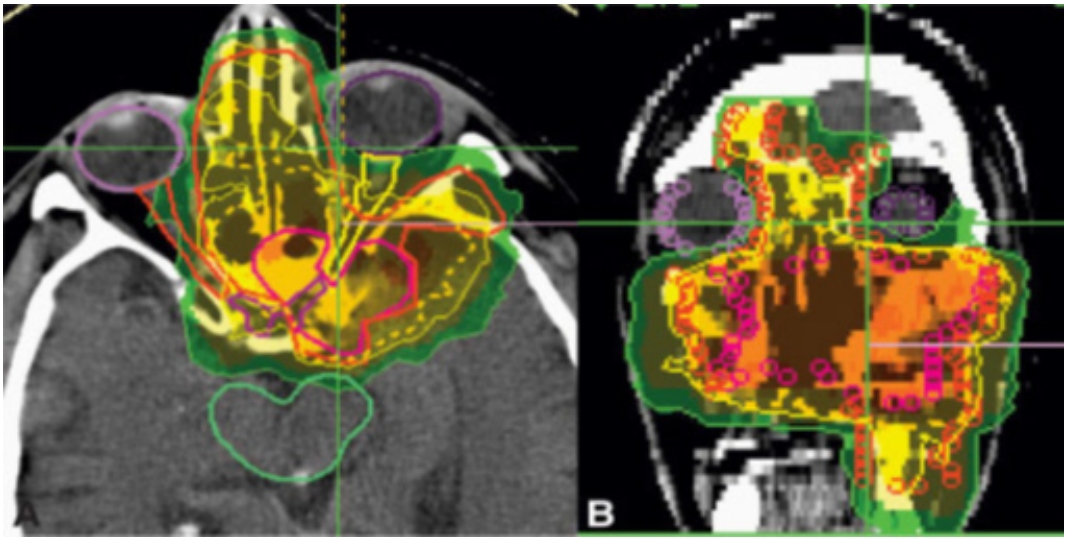


圖 16、局部進展期的類線囊癌先用光子治療 54Gy（左）再用碳離子加強治療 18GyE（右）的等劑量曲線圖

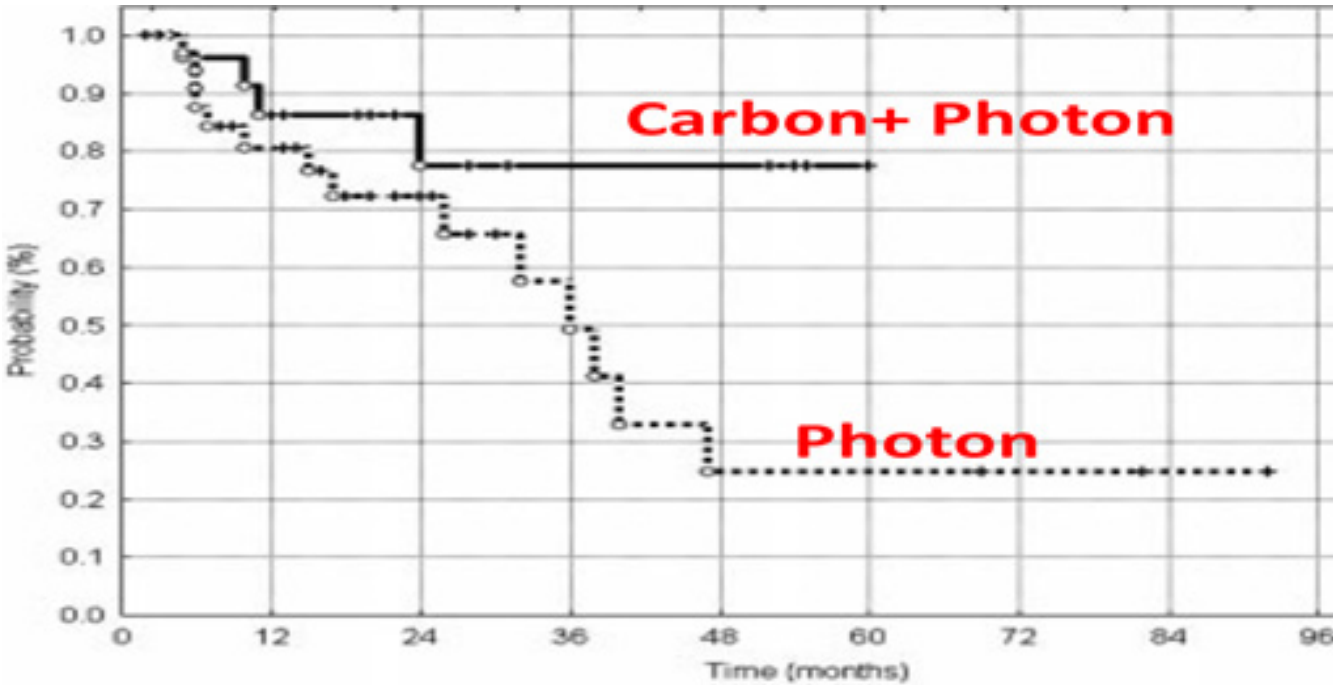


圖 17、34 例類線囊癌單用光子（虛線）和 29 例合併碳離子照射後 60 個月的腫瘤控制率分別為 24% 和 78%

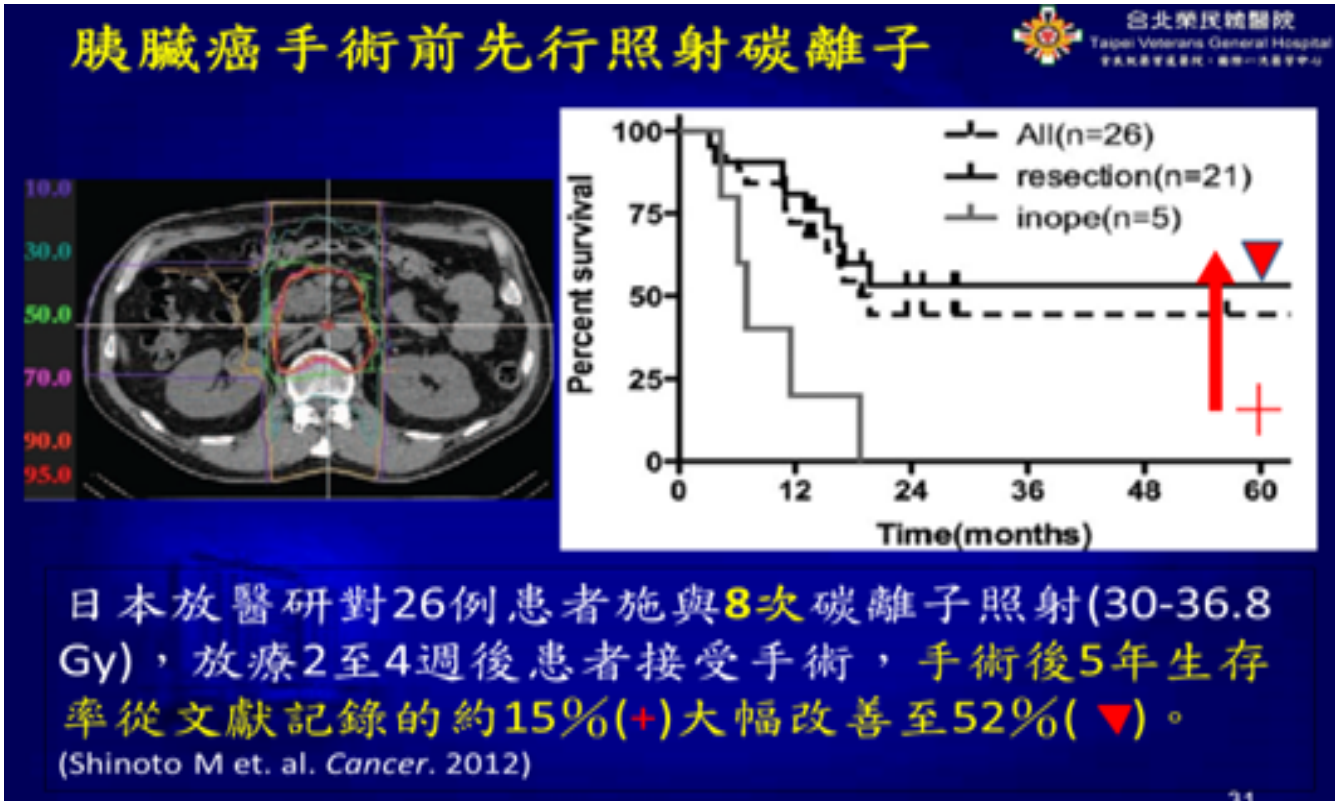


圖 18、日本研對 26 例胰臟癌先施與 8 次碳離子照射 , 然後手術切除 ,5 年生存率和文獻記錄比較 , 從 15% 提升至 52%

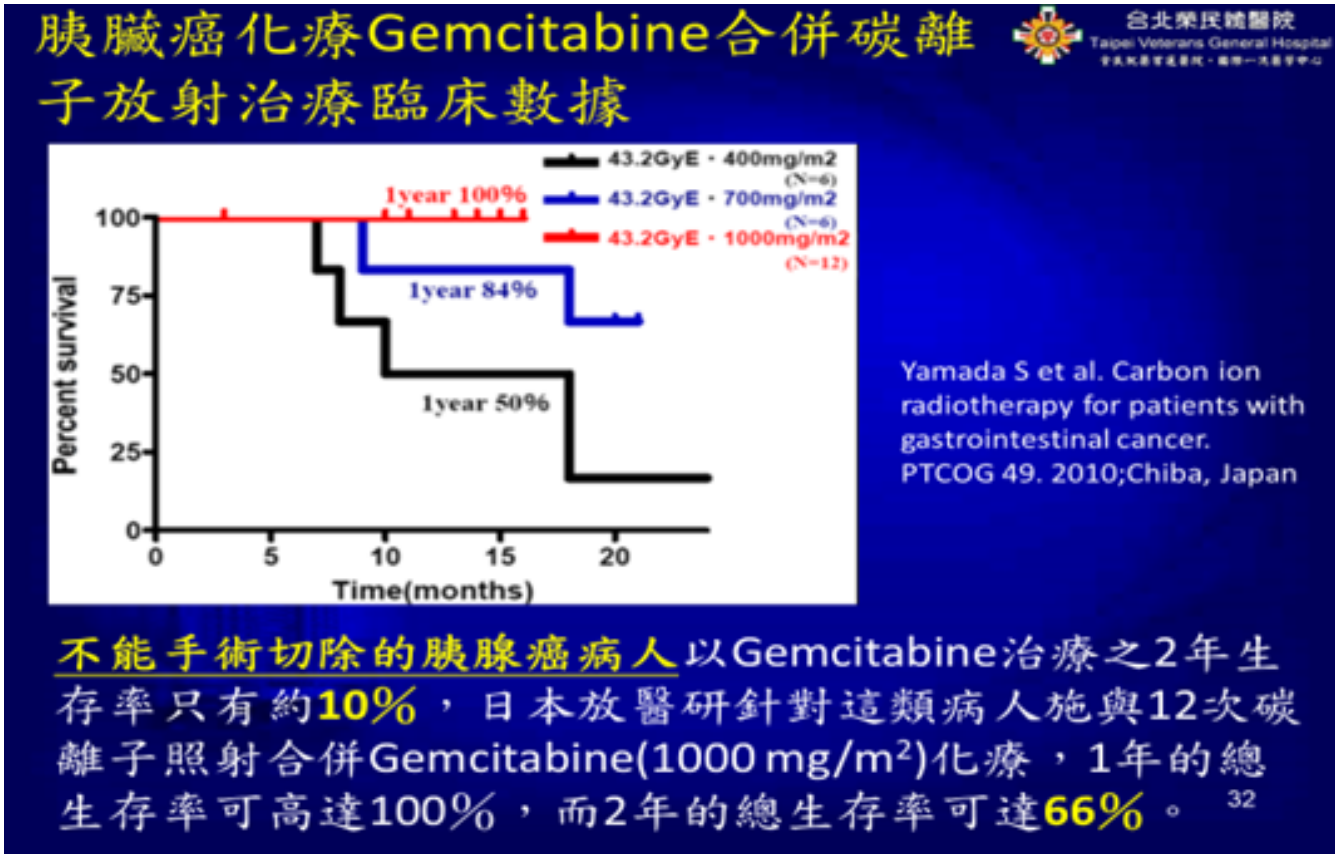


圖 19、對不能手術的胰臟癌 , 日本放醫研如只用 Gemcitabine 化療 ,1 年和 2 年生存率只有 50%, 和 10%, 如用 12 次碳離子照射合併同樣藥的化療 ,1 和 2 年存活期提升到 100% 和 66%

五 . 結語

帶電粒子和中子腫瘤治療機，是醫學界單一儀器最昂貴、最複雜而精密的治癌利器，從 1946 年開始研究開發， 1990 年以前把病人從醫院送到核能研究單位治療與發展，以及 1990 年後把治療機安裝在醫院裡做臨床應用和推廣，至今已整整走過 66 個年頭。日本的碳離子治療給人們帶來過兩次衝擊，第一次在 2002 年千葉重離子醫學加速器中心報導了 2-4 次照射，就可治癒肝癌的事件，轟動全球醫學界，在日本、歐洲甚至全球掀起一股碳離治療熱；第二次是該中心在 2006 年已治療了 3200 例癌患，使人們認真考慮碳離子在治癌上的醫學價值。因此碳離子治療日本在全球發展最為成熟，目前日本在臨床使用共有 6 部。第一部碳離子治療機於 1994 年在千葉縣重離子醫用加速器中心（HIMAC）開始臨床試驗，至今已治療 12710 例。臺北榮民總醫院的中子治療和帶電粒子治療也從陳光耀醫師在 1968 年於美國德州大學 MD 安德森醫院腫瘤研究院參與 50MeV 中子治療頭頸癌而動了初心，從 1971 年經過漫長的研究、教學、成立中華民國放射線醫學會放射治療組及 1993 年創辦中華民國放射腫瘤學會（後改名台灣放射腫瘤學會），並擔任理事長六年、培育人才，終於在十年前，由顏上惠主任主導下，先實現了用新竹清華大學的水池式反應器開始了硼中子捕獲治療頭頸癌的臨床試驗（2010 年 8 月 11 日 1）。十年之後的 2020 年，來到了碳離子治療機安裝的階段，預期 2021 年下半年，進入裝備接收、調試和臨床試用階段，等到真正用碳離子治療癌患，至少走過 43 個年頭，完成了單一醫院擁有兩種粒子治癌的能力，距離日本重離子醫用加速器中心 1994 年起用碳離子治療第一例癌患相隔約 26 年，1995 年 11 月由陽明大學吳國海教授聯絡和組織陳光耀、許文林醫師和翁武忠博士四人前往美國和日本 7 個粒子治療研究單位考察時，當時並無穩定、商業化的粒子治療機，一度曾考慮結合位於新竹的國立同步輻射研究中心的科學家和工程師，聘請台、美科學家、台灣企業界及美國密西根州立大學國家迴旋加速器實驗室 Blosser 博士領導的團隊訂做較為省錢，但考慮到他們並無原型機作參考，要在台灣國產質子治療機風險太大而作罷。如果向美國費米國家實驗室專家組成的 Electus Technology 公司訂購，他們雖然有設計 Loma Linda 醫院質子治療機經驗，但造價很貴，似乎向日本訂造較為合適。果然經過 20 年的籌畫，臺北榮民總醫院的碳離子治療機，最後向日立公司訂購，2020 年 9 月起開始安裝設備，計畫 2022 年 7 月 1 日臨床試驗，以後能否平順、永續經營，一方面要依靠不斷的人才培育、研究和應用，作更深入探討和進步，還要獲得社會、醫學界和癌患的支持，克服每年高額裝備維修費、治療費和納入健保等問題（日本厚生省批准碳離子一個療程的醫保價為 320 萬日元，美國目前沒有碳離子全療程醫保價，醫療保險規

定質子治療每次約一千美元）。

參考文獻

1. 陳 光 耀：Withers HR,Chen KY. Poor man's neutron（correspondence）. British J Radiol 1971;44:813.
2. 陳光耀：癌病研究的目標與選擇 . 中華放射醫誌 1976；1：83-92.
3. 陳光耀：台灣質子加速器治癌設備規劃與建立 . 放射治療與腫瘤學 .1994；4：411-414.
4. Chao MM, Chen KY et al: The potential of Monte Carlo techniqes in proton cancer therapy. Therapeutic Radiol Oncol.1994; 4:387-393.
5. 陳光耀：南非國立加速器中心 . 核能彙刊 .35-38,2 月 1988 年 , 行政院原子能委員會 .
6. 吳國海、陳光耀（主編）：中華民國質子加速器醫學及科學應用設備可行性評估研究報告 .1996 年 11 月 1 日 .
7. 陳光耀：低分割照射 - 放射治療的未來 . 腫瘤 .2008 年（5 月）28 卷第 5 期 ,1-4 頁 .
8. Schulz-Ertnrr,D.,et al.Theraputic strategies for locally advanced adenoid cystic carcinomas using modern radiation therapy techniques. Cancer 104（2）:338-344,2005.
9. Shinomo M et al. Cancer, 2012.
10. Yamada S et al. Carbon ion radiotherapy for patients of gastrointestinal cancer. PTCOG 49, Chiba, Japan.

台灣中子治療的臨床應用和產業發展前景

陳光耀醫師、博士
台北榮民總醫院腫瘤醫學部顧問醫師
中華腫瘤醫學發展協會理事長

一 . 前言

醫學中放射治療所用的射線，分成有重量和沒有重量的射線，有重量的射線包括電子（electrons）、質子（protons）、中子（neutrons）和重離子（heavy ions）等射線；沒有重量的射線包括 X 線（X 光線）和伽馬線（gamma rays），兩者同屬有能量併有重量的電磁射線（electromagnectic radiations），能量高低隨電磁波的波長或頻率而異，波長越短或每秒震波頻率越高，則能量越高，穿進人體深層的劑量比例也越大；伽馬線來自原子核，X 線來自 X 光管或加速管（加速器），伽馬線和 X 線都是電磁射線合稱光子射線（photon radiation）。由於電子的重量約為質子和中子 1800 分之一，一般所謂粒子治療（particle therapy），主要指質子、中子或重離子的治療，不納入電子射線的治療。重離子的種類很多，例如重氧、氦氖、氧和碳等離子，經過多年臨床試驗，最後發現最有臨床應用價值的是碳離子，因此重離子治療往往指碳離子治療。台北榮民總醫院重離子治療機的安裝已完成，臨床試驗預計 2022 年 7 月 1 開始。

台北榮民總醫院和清華大學合作硼中子治療的臨床試驗自 2010 年開始，但籌畫的過程非常緩慢。

二 . 台灣中子治療的摸索和基礎研究

台灣粒子治療的孕育，應該推算到盧致德先生的人才培育。1959 年初入醫學領域的陳光耀醫師，是國防醫學院盧致德院長的畢業生。經一年在馬祖 813 軍醫院當外科醫師後，1960 年 7 月於清大原子爐即將啟用時，被選派至梅貽琦為校長的國立清華大學第一屆放射線物理保健（health physics）訓練班，1962 年 7 月和 1963 年 7 月先後分別再接受清華大學放射科學和放射線同位素技術一個月的短期訓練班。1962 年 4 月陳光耀醫師以國防醫學院物理醫學系助教兼台北榮民總醫住院總醫師身分，接受國防醫學院和榮民總醫院合辦的第一屆為期一年的放射治療醫師進修班，上課地點在

榮民總醫院放射治療科，那個時期盧致德先生是國防醫學院院長兼榮民總醫院院長。1964 年 10 月至 12 月，陳光耀醫師選派到菲律賓接受國際原子能總署（International Atomic Energy Agency）舉辦的醫用核子醫學應用訓練班。1967 年復選派至美國休士敦市德州大學 MD 安德森醫院及腫瘤研究院（MD Anderson Hospital and Tumor Institute）和德州大學生物醫學科學研究院（University of Texas Graduate school of Biomedical Sciences） 接近 5 年的學習和研究。1968 年陳光耀醫師首次參加了 MD 安德森醫院和德州農工大學（A and M University of Texas）50 MeV 中子射線治療頭頭癌的研究應用，病人從 MD 安德森醫院用救護車送到農工大學核子反應爐中子加速管導入的中子治療，猶如 40-50 年後台北榮民總醫院送頭頸癌病人至清華大學原子爐接受熱中子治療的模式一樣。但是那個時代想到台灣的經濟條件距離用中子治療非常遙遠，陳光耀和業師 R. Withers 教授構想，以 X 線密集小劑量照射的輻射生物學原理，取得中子治療的生物效應的觀念，因而 1971 年在英國放射線學期刊發表了「窮人的中子」文章（1）。陳光耀想在台灣推動粒子治療的構想，還受兩位學者的啟發，一是台北榮民總醫院放射治療科創科主任江澤春醫師 1970 赴美進芝加哥費米國立加速器實驗室（Fermi National Accelerator Laboratory）參與中子治療癌患（該實驗室累積中子治療的癌患超過 3100 例）。二是早他一年進 MD 安德森醫院的學長 J.R. Castro 醫師 1968 年前往羅倫斯 - 伯克利（Lawrence-Berkley）國立實驗室，長期主持粒子治療癌患的臨床治療研究。1971 年陳光耀醫師、博士回台在台北繼續在國防醫院物理醫學系教學兼榮民總醫院癌病治療中心臨床服務期間，連續多年和新竹的國立清華大學合作，推動原子爐醫用中子束輸送加建計畫及實驗室研究計畫。早期加入合作計畫的學者，清華大學方面有原子科學研究所的袁立基、胡俊明，化學所的黃見富、凌永健，輻射生物研究所郝道猛、蔡宗杰。台北榮總除癌病中心陳光耀、趙良曉、李玉麟、程崇德、黃柏榮柏外，還有國立陽明醫學院醫技系陳富都博士，部分研究論文見（2）、（3）、（4）、（5）、（6），也促成了 1993 年 8 月 28 日在台北市立仁愛醫院舉辦「硼捉中子治療研討會」。參加研討會的單位除清華大學和台北榮民總醫院外，還有行政院原子能委員會，核能研究所、台北醫學院附屬醫院、馬偕紀念醫院、高雄長庚醫院，出席發表並完成論文撰寫與刊登者有 10 篇。（7）

三 . 台灣硼捉中子治療臨床試驗

中子治療在醫學上分兩個方向發展，其一是精準的、高能量中子射束作體外遠距放療（teleradiotherapy）；其二是先靜脈注射癌細胞高濃度吸收的含硼葯，俟癌細胞和正常細胞含硼比差異最高的時間，自體外照射低能量中子線（超熱中子），讓硼

原子在熱中子通過時，瞬間捕捉中子在個別細胞內形成億萬個單一原子的原子彈爆炸，所釋放的反跳性 ^{7} 鋰離子和 ^{2} 氦離子也就是（recoiling lithium nuclei）和阿爾發（alpha, α）帶正電和帶能量的粒子，消融個別的癌細胞。這兩個方向發展的中子治癌法，最終都要在醫院內執行。考慮到未來在醫院內建造體積夠小、生產高能中子束的原子反應器十分渺茫，而在醫院安裝生產熱中子治療機的可行性較高。因此自 1980 年代以後，硼捉中子治療逐漸形成熱門研究的方向，而日本的研究尤其突出。日本住友重工公司（Sumitomo Heavy Industry Ltd.）於 2000 年代之初設計迴旋加速器，讓質子束撞擊鈹靶產生熱中子供硼捉中子治療，頗有可在醫院發展的趨勢，台灣因地利和台日關係較好之便，借鑒日本醫界的發展，顯得順理成章。千禧年前後之際，台北榮民總醫院癌病中心顏上惠主任、清華大學原子科學技術發展中心周鳳英主任和日本京都大學粒放射腫瘤研究中心小野 公二（Koji Ono）教授領頭，多次借台日放射腫瘤年會的機會，逐年加強日台硼捉中子治療合作研究關係。重要事蹟記錄如下：（8）

1.2005 年台北榮總癌病中心顏上惠主任邀請京都大學原子爐研究中心（Kyoto University Research Reactor Institute）阿部 光幸（Mitsuyuki Abe）教授來台參加第 4 屆亞洲神經腫瘤會議，報告其在硼捉中子治療在腦瘤成功的臨床應用，因此建立了台日硼中子治療臨床試驗的合作基礎。

2.2008 年 5 月顏上惠主任邀請日本廣島大學附屬醫院放射腫瘤中心永田 靖教授來台出席第 13 屆台灣聯合腫瘤年會之際，決定台灣硼捉中子治療研究人員組團出席 2008 年 10 月於日本第 21 屆日本放腫年會，期望加強和京都大學原子反應試驗中心主任小野 公二教授的合作聯繫。

3.2008 年 10 月 16-18 日清華大學的周鳳英主任，劉淵豪博士和台北榮民總醫院的王令瑋主任、劉裕明和陳一瑋醫師及李玉麟物理師組團前往北海道札幌第 21 屆日本放射腫瘤年會，和硼捉中子治療專家京都大學的小野 公二（Koji Ono）教授及川崎醫大附醫放腫科主任平塚 純一（Junichi Hiratsuka）深入交流，並探討未來台日硼捉中子治療進一步的合作研究。

4.2010 年 3 月 22 日台北榮民總醫院癌病中心顏上惠主任、清華大學原子科學技術發展中心周鳳英主任和京都大學粒子放射腫瘤研究中心主任小野 公二簽署三方硼捉中子治療合作備忘錄，協議三方每年固定舉辦交流研討會。

5.2010 年 8 月 11 日，利用新竹清華大學 THOR 反 應 器（Tsing Hua Open-Pool Reactor），清華大學和台北榮民總醫院双方的研究團隊展開了亞洲僅次於日本的硼捉中子治療的臨床試驗，初期以復發性頭頸癌為主。

6. 台灣團隊出席 2010 年 10 月 25-28 日在阿根廷舉辦的第 14 屆國際硼捉中子治療

雙年會，台灣團隊共 11 人出席，提供 8 篇口頭報告論文及 2 篇論文展，清華大學出席者有江祥輝教授、薛燕婉教授、劉淵豪博士、周鳳英教授及青年學者；台北榮民總醫院出席者有王令瑋主任、王世禎主任等，台灣團隊王令瑋等三位學者被選為國際會議委員會委員。日本京都大學和住友重工公司（Sumitomo Heavy Industry Ltd.）合作發表可安裝在醫院，以迴旋加速器為基礎的中子治療機。北京團隊亦報告可安裝在醫院的小型原子反應器作硼捉中子治療。

7.2011 年 5 月 20-21 日在日本京都大學原子爐試驗中心舉辦台日三方硼捉中子治療交流會議。台方出席者 12 人，臨床方面由台北榮民總醫院顏上惠主任領隊，出席者有王令瑋主任、劉晉昇物理師；清華大學方面有江祥輝教授、周鳳英教授、薛燕婉教授、劉淵豪博士、梁正宏教授等，台方發表論文 7 篇，包括王令瑋發表復發性頭頸癌的硼中子治療的初步效應。

8. 台灣團隊主辦 2011 年國際硼捉中子治療會議，出席者來自中國大陸、俄羅斯、伊朗、瑞典、芬蘭、日本、美國台灣約 100 位學者，第一基礎科學部分於 12 月 5-8 日在新竹清華大學校園報告重點在基礎研究，由日本京都大學粒子放射腫瘤研究中心主任小野 公二教授（Koji Ono）致開幕詞，清華大學江祥輝教授為大會主席結尾致詞。

第二臨床治療部分於 12 月 10 日在台北榮民總醫院科技大樓一樓舉行。由顏上惠主任及核能研究所丁幹 教授共同開幕詞。首先請阿部 光幸（Mitsuyuki Abe）教授作大會演講，隨即清大江祥輝教授報告台灣硼捉中子治療的研究發展史，日本京都大學小野 公二教授發表研究以迴旋加速器為基礎的中子源治療機的進展。日本筑波大學亦發表以直線加速器為基礎的中子源治療機，這兩款中子治療機如研究成熟，可安裝在醫院做臨床治療用。芬蘭及德國亦相繼報告各自研究的經驗，芬蘭更是全球第一個把硼捉中子治療正式納入國家認可的癌病治療。

第二階段時日本筑波大學神經外科山本 哲哉（Tetsuya Yamamoto）和大阪醫科大學神經外科宮武 伸一（Shin-ichi Miyatake）分別報告硼提中子治療惡性腦瘤的經驗。下午時段由台北榮民總醫院王令瑋主任、日本川崎醫大平塚 純一醫師、東北大學加齡醫學研究所福田 寬（Hiroshi Fukuda）、芬蘭赫爾辛基大學 Leena Kankaanranta 醫師分別報告硼捉中子治療的臨床經驗。並在圓山飯店國宴廳接待各國貴賓。這是台灣團隊舉辦硼捉中子治療國際會議難得的磨練和展示機會。

9.2012 年 6 月 1-2 日台日硼捉中子治療第三次會議在京都舉行，本次會議在京都大學原子爐試驗中心召開，有 16 位學者發表論文，台灣 6 位、日本 10 位。首場演講由台北榮民總醫院顏上惠主任對台灣硼捉中子治療之策略分析，接著京都大學田中

浩基博士報告以加速器生產中子束的研究進展，大阪大學醫學院的畑澤 順發表透過正子造影（PET）方式含硼葯在動物體內分布的動力學研究，岐阜葯理大學永澤 秀子教授發表含硼新的載體，可提升硼捉中子治療的療效。岡山大學醫學院的松井 秀樹教授則以胜肽訊號作為蛋白含硼葯讓癌細胞吸收的效益研究。臨床治療部分首先由京都大學團隊報告硼捉中子治療乳癌、肺癌、巨大型頭頸癌的療效。台北榮民總醫院王令瑋主任和陳一瑋醫師分別報告硼捉中子在復發性頭頸癌特性和肉瘤的治療效果。

第二天首先由大阪醫科大學的賴經 英倫那（女）醫師報告腦部放療後壞死的分子機制。接着由大阪醫科大學神經外科川端 信司醫師對其他醫院所執行的硼捉中子治療復發性惡性膠質瘤的成效分析。台灣學者清大教授周鳳英教授報告硼酸作含硼藥在大鼠肝癌的硼捉中子治療的效益分析。薛燕婉教授則提供清大的硼捉中子治療計畫的電腦軟體 THORplan 的設計，和在頭頸癌治療的應用及討論，最後由清大江祥輝教授針對硼捉中子治療遭遇的屏蔽問題提出建議。晚餐時邀請京都大學副校長吉川 潔作貴賓致詞。

10. 台日硼捉中子治療第 5 次會議在 2013 年 4 月 6 日在日本京都大學校園內舉行。本次會議獲知自 2012 月 1 月起京都大學原子爐試驗所開始用住友重工公司（Sumitomo Heavy Industry Ltd） 所設計的 30MeV 迴旋加速器中子治療機對復發性膠質母細胞瘤（glioblastoma）作第一期臨床試驗，中子束來自質子撞擊鈹（berylium）靶，已進行 3 例。此型治療機如試成功，可安裝在醫院應用。本次會議共有 20 個講題，台灣 7 個，日本 13 個。首先清大江祥輝教授發表台灣以加速器為基礎的硼捉中子治療機發展計畫，接著台北榮民總醫院劉晉昇博士硼捉中子合併多種放療的劑量計算和效益評。陳一瑋醫師針對榮總即將展開惡性腫瘤臨床試驗而目前國際試驗成效進行綜合比較分析。接著大阪大學神經外科醫師川端 信司（Kawabata Shinji）分享他在惡性腦腫瘤用硼捉中子治療的成果。會後同科的宮武 伸一（Miyatake Shinichi）教授亦分享其長期治療效果觀察的經驗。此外日本學者亦分別報告頭頸癌、黑色素瘤、胸部間皮細胞瘤等的硼提中子治療效果。清大周鳳英教授則發表硼酸新式含硼葯在兔子肝腫瘤的實驗模式。大阪大學生化教授切畑 光統（Kirihata Misunori）分享其合成同位素 18 氟標示含硼葯的製備技術。會後在京都大學校友會館聚餐，日方教授強調雙方共同的國籍是科學，共同的信仰是 BNCT（boron neutron capture therapy）。

11. 2015 年 1 月 24 日成立「台灣中子捕獲治療研究學會」，顏上惠是創會理事長。台日硼中子治療聯合研討會從此在台灣

中子捕獲治療研究學會下推動。

12. 第六屆台日硼捉中子治療研討會 2013 年 12 月在台灣舉行。接着 2014 年 3 月 28-29 日以一天半時硼捉中子研討會在日本京都舉行，地點選在關西機場臨空塔國際大飯店（Star Gate Hotel Kansai Airport）54 層樓中的 6 樓會議廳。會議講者 19 位包括台灣 6 位（清大周鳳英、薛燕婉、台北榮民總醫院劉裕明、陳一瑋、劉晉昇），芬蘭的 Leena Kankaanranta （國際硼捉中子治療學會主席）及義大利 Pavia 大學 Saverio Altieri 教授，日本學者多人。會議內容橫跨核子工程、醫學物理、化學製藥、基礎生物和臨床治病。台灣硼捉中子治療臨床試驗累積了 17 例，京都大學的治療病例已接近 600。本次會議的重點在深入研究硼捉中子治療對肝癌的供獻，義大利 Altieri 教授報告把肝癌組織切除在體外做硼中子照射後再移植回體內而成功的案例，特別引人注目。其餘報告以硼捉中子治療用在乳房 Paget 氏皮膚癌、胃腸腫瘤、骨骼轉移瘤、肉瘤等。最特別的是之堀 信一（Hori Shinichi）醫師介紹他在本次會議飯店 11 樓的 Gate Tower IGT 診所運用腫瘤血管注射含硼葯以提升硼捉中子治療的效果。

從本次會議的研討中，以直線加速器產生中子束的硼中子治療機，已成為國際研發趨勢，日本三菱重工公司（Mitsubishi Heavy Industry）及 CICS 公司（Cancer Intelligence Care Systems Itd）研發的治療機，可能一兩年之內便進入臨床試驗。

13. 2017 年 3 月硼捉中子治療腦瘤和復發性頭頸癌末病人，衛福部通過以可用緊急醫療條例收取含硼葯費和清大核子反應爐維修費進行，醫護費用仍不能收費。硼中子治療自臨床試驗改用緊急醫療政策後，自 2017 年至 2021 年每年治療人次約 50 例以上，如政策有強烈的支持，並增加醫療團隊人力，如專科醫師、醫學物理、腫瘤護理師、研究助理等，每年治療人數必可大幅增加。

14. 2017 年 6 月 15 日清大周鳳英、許銘華、國衛院生醫工程與奈米醫學研究所陳仁焜和日本大阪府立大學切畑 光統（Mitsunori Kirihata）等學者在台北國際會議中心分別在硼捉中子腫瘤療法會議作報告。2019 年 6 月 8 日硼捉中子醫療學研討會在清大李敏館舉行，清大葉宗洗、江啟勳、淡大潘伯申、國衛院陳仁焜等學者，台北榮總王令瑋、陳一瑋、吳元宏等醫師分別出席演講。2020 年 1 月 18 日台日硼中子會議合併第五屆台灣中子捕獲治療研究學會在台北舉行，新竹清華大學畢業的劉淵豪博士報告，他在中國大陸領導的公司對加速器型硼中子治療機產業研發的進展。

15. 2020 年 8 月 15 日榮清硼捉中子治療臨床試驗十週年學術演講，在榮民總醫院舉行，北榮副院長陳適安、陳光耀醫師、

清大李敏院長作貴賓致詞，北榮顏上惠、王令瑋、吳元宏、黃文盛等醫師，禾榮公司薛燕婉、清大江啟勳、黃國柱、劉鴻鳴等學者分別上台演講。自從 2020 年新冠疫情全球肆虐以後，台日硼捉中子治療會議改為視訊舉行，至 2021 年台灣參與硼中子治療的癌患約 200 人。

四 . 台灣硼中子治療的產業發展

台灣在醫療科技上因缺乏重工業的支撐，過去沒有開發過億元級的高科技醫療產品，硼中子治療機的研發，可以說是新的嘗試。硼中子治療機的研發存在兩個方向。

1. 從基礎研究到新產品

台灣新竹市國立清華大學 1960 年代在還沒有成立大學部之前，先籌辦研究所，研究所還沒有招大學部及碩、博士學生之前，先建設核子反應器（原子爐），本人 1960 年接受清華大學第一屆畢業後的放射線保健物理訓練班，同學中除醫師之外，還有各機關、學校、農、工背景的公務員、教師、醫師學員，政府急於羅致海外核子專家培養核工和核子科學教學和應用人才，表面的目的是建設醫、農、工、核能發電等和平用途人才隊伍，暗地裡是為包括製造原子彈儲備人才。核子反應器建成至今已有 60 年，的確培育了很多核子科學有關的人才，推動了眾多基礎研究、生物、醫學及農工應用，包括建設核能研究所及核能發電廠。

約在 30 年前即 1992 年前後，清大的師生們開始帶動台北榮民總醫院投入中子束在硼中子治癌領域的研究，2004 年針對癌病治療開始改建中子束輸送系統，2010 年一方面完成硼捉中子治療計畫軟體設計（THORplan），同時和台北榮民總醫院癌病中心合作，在主管機核准下開始復發性頭頸癌的臨床試驗。由於體驗到把癌患遠從台北運送至新竹學校做實驗性的臨床試驗，也就是非醫療機構和非醫療專用儀器在臨床使用的局限性，加上體會到某些國家醫療儀器公司發展在醫院安裝硼中子治療機的趨勢，2011 年清華大學和工業研究院合作計推動以加速器加速質子以產生中子束的計畫，從事研發以醫院為基礎的硼中子治療機。經 6 年的努力，2017 年獲高科技的漢民公司集團，以技術轉移成立禾榮科技公司（Heron Neutron Medical Corporation），專門從事企業研發和生產加速器型的硼中子治療機（AB-BNCT，即 accelerator-based boron neutron capture therapy）。2019 年禾榮公司和中國 醫葯大學合作，一旦中子治療機研發成熟，未來安裝在新竹生物醫學園區，推動臨床前研究和臨床試驗。

2. 硼中子治療在台灣產業發展的第二個方向：台北榮民總醫院腫醫醫學部、核子醫學部和陽明交通大學、清華大學有 30 年以上的合作研究經驗，硼中子治療臨床試驗和緊急醫療癌患的合作研究超過 11 年，基礎科學合作研究的時間則更長。台北榮民總醫院新建的長青大樓於 2022 年 4 月

即將落成啟用，大樓地下三樓，放射腫瘤科預設了硼中子治療室，因此台北榮民總醫院即將成全球範圍內，少有以醫院為基礎、具備硼中子治療經驗的醫療團隊和治療室空間的醫院，如果美國、日本、中國大陸、台灣、韓國等國家研發硼中子治療機的公司需要找醫院合作，以推動臨床前研究和臨床試驗，則台北榮民總醫院是非常合適的硼中子治療產學合作對象。

五 . 台灣硼中子治療發展的困境

1. 清華大學的核子反應器兼具基礎科學的研究和教學，因不是專屬的臨床醫療器材，雖然和台北榮民總醫院對癌患合作臨床試驗和緊急醫療超過 11 年，治療過的復發性頭頸癌和復發性腦瘤約 200 人，但是因有很多條件的限制，尚無法轉變為常規放療，可以合理收費甚至納入健保給付治療。
2. 台灣硼中子治療的基礎和臨床研究團隊不夠龐大和多元化，參加臨床試驗的醫師、科學家、病人數目和腫瘤病種不足，台日每年兩次的聯合學術研討會發表的論文內容和出席人數欠豐富，一方面這是世界級、國家型的醫學創新計畫，也可能是復發性頭頸癌、腦瘤及多種其他腫瘤用盡外科手術切除、常規放療、化療、標靶治療失敗後僅有的最後治療方法，但是至今尚未引起國家政策和研究主管單位的全力支持。
3. 台灣禾榮科技公司發展加速器型硼中子治療機是台灣創新的亮點，但會遭遇日本、中國大陸、美國、韓國等國家產業界類似產品的競爭，尚待國家政策和社會的強烈支持。

以上台灣發展硼中子治療的基礎研究、臨床試驗轉入常規放療和產業發展的困境，有待加快步伐，一一克服。

六 . 參考資料

1. Withers HR， Chen KY: Poor man's neutron. British J Radiol 1971;44，813。
2. 袁立基，胡浚明，趙良曉，陳光耀。硼捉中子治療超熱中子柱先導實驗。放射治療與腫瘤學。1994；2：129-134.
3. 袁立基，胡俊明，李玉麟，陳富都，劉晉昇。^{10}B（n，α）7、^{14}N（n，p）^{14}C 劑量量測技術的開發。放射治療與腫瘤學。1994；2：135-139.
4. 黃見富，凌永健，程崇德，黃柏榮，陳光耀。離子顯微 體測定硼在腫瘤細胞的吸收與分佈之可行性研究。放射治療與腫瘤學。 1994；2：141-149.
5. 趙良曉，陳光耀。蒙地卡羅法分析硼在細胞內的分析。放射治療與腫瘤學。1994；2：173-178.
6. 郝道猛，蔡宗杰。硼捉中子治療動物腫瘤的研究。放射治療與腫瘤學。1994；2：185-194.
7. 硼捉中子治療研討會論文集。放射治療與腫瘤學。1994；2：151-216.
8. 部分資料分別由顏上惠和陳一瑋醫師提供。

全球腫瘤統計和日本兵庫縣立粒子治療簡介

劉志偉
中華海峽兩岸交流協會

一. 前言

惡性腫瘤的粒子治療有三種，包括中子治療、質子治療和重（碳）離子治療。台灣硼中子治療的臨床試驗，2010 年 8 月 11 日由新竹清華大學開放水池式核子反應爐提供的熱中子射源，和臺北榮民總醫院癌病中心開始第一例臨床試驗癌患，到 2017 年起在衛福部恩慈條款核准下，復發性腦瘤頭頸癌患者，每年可自費接受硼中子治療約 50 例。台灣的質子治療 2015 年從林口長庚醫院開始，質子治療經 6 例臨床試驗後已納入自費治療。2018 年 11 月高雄長庚醫院也加入質子治療行列。目前正在安裝質子治療機的還有台灣大學癌症醫院和臺北醫學大學附屬醫院。臺北榮民總醫院於 2020 年 9 月也開始安裝碳離子治癌機，計畫在 2022 年 7 月 1 日開始做 6 例人體的臨床試驗；因此不久的將來，中子、質子和碳離子三種粒子治療在台灣都可提供臨床服務。

2021 年 2 月 9 日日本兵庫縣立粒子線醫療中心（Hyogo Ion Beam Medical Center）的寺嶋千貴醫師以視訊向華人直播，透露該中心粒子治療的現況（圖 1）。



圖 1、日本兵庫縣立粒子線醫療中心



圖 2、日本兵庫縣立粒子線醫療中心，放射科主任寺嶋千貴醫師

二．台灣惡性腫瘤統計

全球每個地區好發的癌病隨環境因素，飲食和生活習慣，群眾生活和工作壓力不同而異，同一種癌病因預防、癌病篩檢，診斷、治療技術的高低普和普及化程度而不同 .2019 年台灣十大癌病的發生數和死亡數按中華民國衛福部國民健康署公布如表 1 所示。[1]

表 1、台灣常見 10 種癌病（2019 年）

種　類	發生數 N	死亡數 n	% = n / N
大腸癌	17,302	6,436	37.1
肺　癌	16,233	9,701	60.1
乳　癌	14,856	2,633	17.7
肝　癌	11,272	7,881	69.9
口腔癌	8,204	3,425	41.7
攝護腺癌	7,115	1,538	21.6
甲狀腺癌	4,850	53	0.1
皮膚癌	4,442	124	0.3
胃　癌	3,938	2,379	60.4
子宮體癌	3,124	674	21.6
其　他	29,912	495	
總　數	121,248	35,339	

三．全球惡性腫瘤統計

根據國際癌病研究總署（International Agency for Research of Cancer）發布的全球癌患資料，2020 年中國大陸新發的癌患 457 萬例，癌患的死亡約 300 萬例（表 2），癌患發生和死亡數均位居全球第一。日本和全球的癌病發生數和死亡數如表 3 和表 4 所示（資料來源：Globcan）。[2]

表 2、2020 年中國大陸新發癌患數和死亡數

發 生 數			死 亡 數		
種 類	人 數	%	種 類	人 數	%
所有癌	4,568,754	100.0	所有癌	3,002,899	100.0
肺 癌	815,563	17.9	肺癌	714,699	23.8
結直腸癌	555,477	12.2	肝癌	391,152	13.0
胃 癌	478,508	10.5	胃癌	373,789	12.4
乳 癌	416,371	9.1	食道癌	301,135	10.0
肝 癌	410,038	9.0	結直腸癌	286,162	9.5
食道癌	324,422	7.1	胰腺癌	121,853	4.1
甲狀腺癌	221,093	4.8	乳癌	117,174	3.9
胰 癌	124,994	2.7	腦和中樞神經系統癌症	65,204	2.2
前列腺癌	115,426	2.5	白血病	61,694	2.1
子宮頸癌	109,741	2.4	子宮頸癌	59,060	2.0
其 他	997,121	21.8	其他	510,977	17.0

表 3、日本常見癌病

種 類	發生數	%	死亡數	%
肺 癌	138,532	13.5	82,369	19.6
胃 癌	138,470	13.5	46,024	11.0
前列腺癌	106,139	10.3	13,426	3.2
結直腸癌	96,781	9.4	42,226	10.1
乳 癌	92,024	8.9	17,081	4.1
直腸癌	50,668	4.9	17,155	4.1
肝 癌	45,663	4.4	28,155	6.7
胰 癌	44,307	4.3	40,393	9.6
膀胱癌	36,957	3.6	10,949	2.6
非淋巴瘤	33,000	3.2	15,218	3.6
食道癌	26,262	2.6	12,270	2.9

表 4、全球癌患發生數和死亡數

國　家	發生數	%	死亡數	%
中國大陸	4,568,754	23.7	3,002,899	64.5
美國	2,281,658	11.8	612,390	26.8
印度	1,324,433	6.9	851,678	55.9
日本	1,028,658	5.3	420,124	40.8
德國	628,519	3.3	252,065	40.1
巴西	592,212	3.1	259,949	43.9
俄國	591,371	3.1	312,122	52.8
法國	467,965	2.4	185,621	39.7
英國	457,960	2.4	179,648	39.2
義大利	415,269	2.2		
印尼			234,511	2.4
其他	6,936,010	36.0	3,647,126	36.9

四 . 日本兵庫縣立粒子線醫療中心

兵庫縣是日本神戶市轄下的一個縣，人口 550 萬。兵庫縣立粒子線醫療中心建於 2001 年 4 月 1 日。建立之初，旨在實現人類共同心願：消除癌病的威脅。面對這一頑疾，該院的武器是用兩種粒子治療，即質子治療和重離子（碳離子）治療。該院是世界首家同時擁有質子和碳離子這兩種粒子治療的醫療機構。（目前全球可同時提供兩種粒子治療的醫院有 6 家）。該中心到目前為止，用粒子治療惡性腫瘤已有 9,000 例，治療過的主要腫瘤種類如表 5 所示。

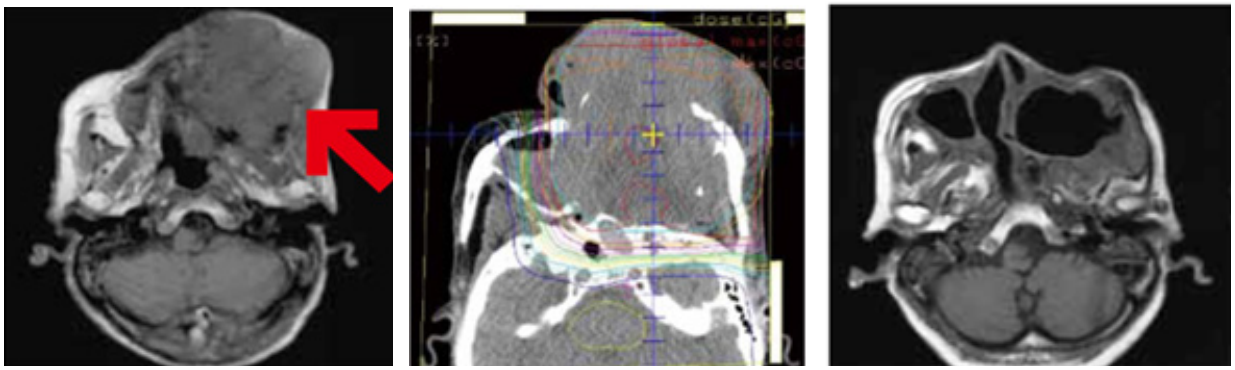
表 5、兵庫縣立粒子線醫療中心治療病例數

腫瘤種類	病例數
前列腺癌	2,852
肝癌	1,763
頭頸癌	1,120
肺癌	824
胰腺癌	692
骨骼與軟組織肉瘤	528
其他	1,495

在兵庫縣立粒子線醫療中心，眼球腫瘤、顱底腫瘤、頭頭部腫瘤、骨骼肉瘤、軟骨肉瘤、前列腺癌等，碳離子治療已納入醫療保險範圍；肺癌、胰癌、大腸癌、婦癌、食道癌、肝癌、腎癌、轉移瘤（肺癌、肝癌、淋巴瘤）的碳離子治療，在日本社會皆已確認為先進醫療。

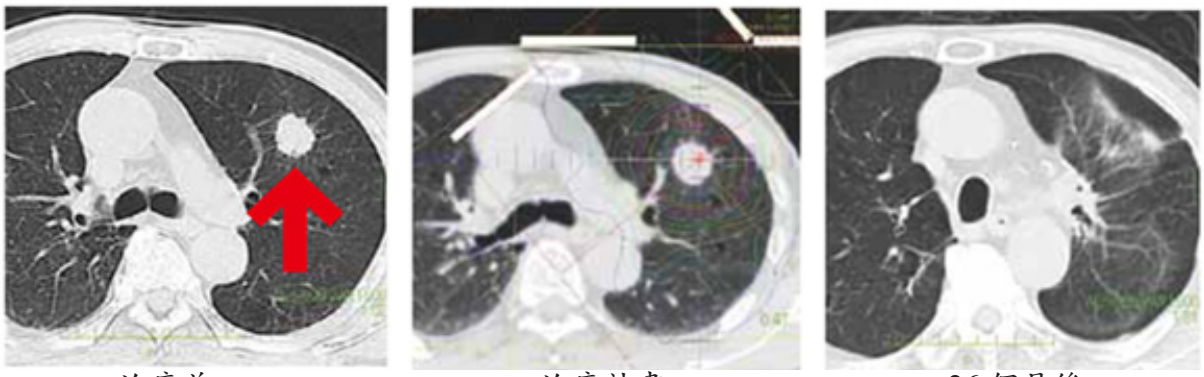
兵庫縣立粒子線醫療中心對一般醫院認

為難治的惡性腫瘤，獲得良好的效果，包括骨肉瘤、軟組織肉瘤、頭頸癌、胰癌、膽管癌、肝癌、肺癌等，只要 12 公分以內的腫瘤都有可能用粒子射線治療，治癌時間 1 周至兩個月都有。附 4 例各種腫瘤治療前後的像片。[3]



治療前　　治療計畫　　31 個月後

圖 3、頭頸癌粒子治療



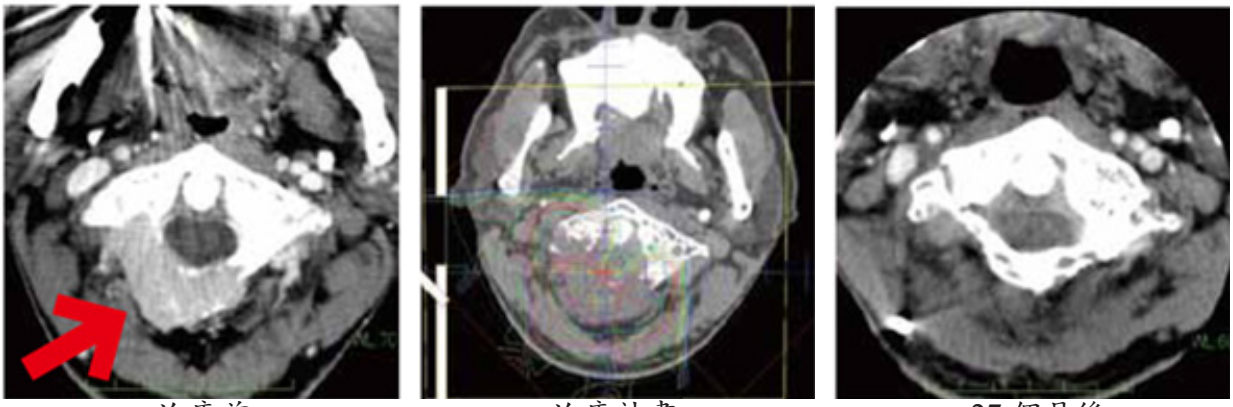
治療前　　治療計畫　　26 個月後

圖 4、肺癌粒子治療



治療前　　療計畫　　21 個月後

圖 5、肝癌粒子治療



治療前　　治療計畫　　27 個月後

圖 6、轉移性骨腫瘤粒子治療

五 . 結語

由於台灣於 2010 年 8 月 11 日台北榮民總醫院和新竹清華大學合作，開始硼中子臨床試驗，在 2017 年 3 月衛福部按恩慈條款，核准用緊急醫療方式對復發性腦瘤和頭頸癌患者給予硼中子治療。林口長庚醫院 2015 年的腫瘤治療已邁入質子治療的先進水準，台北榮民總醫院計畫在 2022 年第 3 季開始做碳離子治療的臨床試驗，因此收集台、日及全球腫瘤統計及日本最早擁有雙粒子治療的兵庫縣縣立粒子線醫療中心資料做參考。

六 . 參考資料

1. 中華民國衛生福利部國民健康署 .
2.Globcan.
3. 寺嶋千貴，日本兵庫縣縣立粒子線醫療中心 .

中國大陸硼中子治療產業發展動態

柴華
陶聲洋防癌基金會

一 . 前言

只需 1-2 次照射、低副作用，對中晚期、難治性癌症尤為有效，近期，央視等各大權威媒體集中重磅報導硼捉中子療法（Boron Neutron Capture Therapy, 簡 稱 BNCT），受到各界廣泛關注。

2020 年 3 月，世界第一台加速器型硼中子治療設備和含硼藥在日本獲批，硼中子治療首次正式進入臨床應用，成為冉冉升起的抗癌新星。硼中子治療是如何殺死癌細胞，具有哪些獨特優勢？大陸硼中子治療發展如何，它距離臨床應用還有多遠？

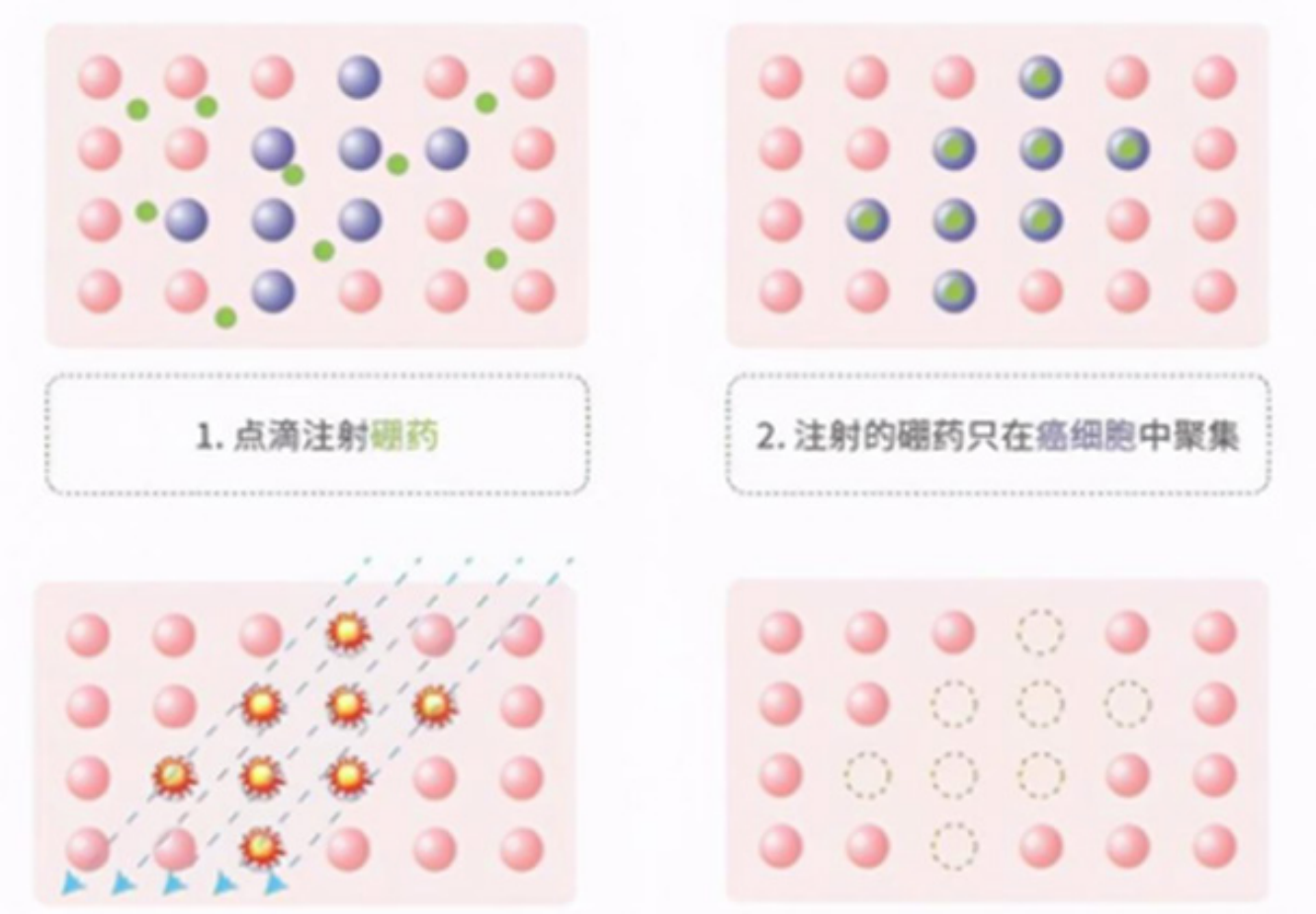


圖 1、細胞尺度的精準治療

硼中子治療是一種放射線療法，與時下火熱的質子治療、重離子治療同屬粒子放療領域，其治療原理是利用硼元素（^{10}B）與中子產生的核反應殺死腫瘤細胞。在硼中子治療中，先將攜帶 ^{10}B 的靶向藥物注射到人體，藥物特異性聚集於腫瘤細胞內，再對腫瘤部位用中子束進行照射治療，中子被硼原子捕獲產生單一原子的核反應，釋放出兩個射程僅約 10 微米（約一個癌細胞大小）、高線性能量轉移（liner energy transfer，LET）的重離子 ^{7} 鋰和 ^{2} 氦的原子核，使腫瘤細胞 DNA 雙股螺旋斷鍵，致使腫瘤細胞不可修復而徹底死亡，從而實現在細胞內定點擊殺癌細胞而不損傷正常組織。簡單來說，^{10} 硼元素就像是一個無害無毒的「特洛伊木馬」，通過親腫瘤的載體（硼原子攜帶劑）潛入癌細胞內，和中子束裡應外合，引爆癌細胞內億萬個單一硼原子的原子彈，一舉消滅癌細胞。

二 . 治療優勢明顯

與傳統放療不同，硼中子治療結合了「生物靶向」和「重離子放療」兩者優勢，可以選擇性地在細胞尺度內有效精準擊殺腫瘤細胞。

具體而言，可以大幅減少療程長，傳統放療及質子重離子治療流程需要 20-30 次照射，而硼中子治療僅需 1-2 次照射即可完成，因此且由於單獨中子或藥物不具療效，因此硼中子治療對正常組織損傷非常小，不會造成正常功能障礙，將大幅提高患者生存質量。

在以前的數以千計臨床研究試驗中，硼中子在治療腦部及頭頸部腫瘤臨床上均取得積極效果。

2019 年，日本南東北大學硼中子治療中心公佈臨床數據：使用加速器對不可切除的復發 / 局部晚期頭頸癌進行硼中子治療，21 名患者腫瘤緩解率為 71%，一年無進展生存率為 71%，而嚴重的副作用則少於常規的復發治療。

此外，2020ASCO（美國臨床腫瘤學會）報導了日本的惡性腦膠質瘤治療效果：27 例惡性腦膠質瘤患者 1 年存活率及中位生存期分別為 79.2% 及 18.7 個月，治療效果優於單獨使用貝伐單抗，臨床結果表明硼中子治療延長了復發性惡性腦膠質瘤患者的生存期。

從發展普及角度看，與質子、重離子設施相比，硼中子治療佔地小，建設成本較低、年治療人數多、可普及性高，硼中子治療越來越多的特異性硼藥發展，有更廣闊的適應症應用前景。

三 . 起源於歐美，興盛於日本

硼中子治療最早是美國科學家 Gorden. L.Locher 在 1936 年提出的，並由美國布魯克海文實驗室（Brook Haven National Laberatory）聯合麻省理工大學一直在推進實驗。意外的是，這項源於歐美的技術，卻在日本得到進一步發展。日本京都大學利用反應堆 KURRI 執行超過 400 例硼中子治療

試驗，包括惡性腦瘤、頭頸癌、肝癌、黑色素皮膚瘤、骨肉瘤等，均取得了積極的治療成果，有力驗證了硼中子治療有效性與臨床價值。

然而，早期硼中子治療依靠核反應堆作為中子源，受限於高昂的建造及維護費用，嚴格的核安全監管程序和體積龐大等問題，難以在醫院普及，導致臨床進展緩慢。直到 2010 年以後，質子加速器技術的發展以及靶向硼藥聯合正子造影（PET）分子影像技術的發展，硼中子治療在醫院廣泛應用成為可能。硼中子治療迎來了爆發式發展，再次成為腫瘤治療領域的焦點。

四 . 從 0 到 1 完成突破

當前，硼中子治療正處於高速發展的窗口期。日本住友重工、日立集團、東芝集團、美國 TAE、中國高能物理研究所、中硼醫療等國內外知名機構紛紛佈局其中，全力推動硼中子治療臨床普及進程。在這股浪潮中，成立於 2014 年，大陸首座硼中子治療中心系統技術提供商，佈局全球硼中子治療領域最多核心專利的中硼醫療無疑是最引人矚目的焦點。

中硼醫療創始團隊來自台灣地區硼中子治療臨床研究的核心成員（劉淵豪博士），「台灣臨床的成功，讓我們看到了硼中子治療的神奇療效，深刻認識到硼中子治療是真正能夠幫助癌症患者的，在腫瘤治療領域有無限的可能性。」中硼醫療負責人表示。

歷經四年多的技術攻關與工程實現，2018 年中硼醫療成功完成首台套醫用硼中子治療全系統設備的自主研發，並簽約落地於廈門弘愛醫院；2019 年 5 月大陸首個硼中子治療臨床示範中心於廈門弘愛醫院奠基開工。至此大陸加速器硼中子治療技術打破歐美日少數幾家企業壟斷，為中國硼中子治療發展贏得了主動權和話語權，標誌著大陸硼中子治療產業進 入全新時代。

五 . 首座治療中心預計年底完工

首座硼中子治療治療中心坐落於廈門島內美麗的五緣灣畔，中心配置的硼中子治療系統設備由中硼醫療自主研發設計，包括最新一代加速器中子源、束流整形體、劑量測量、束流監控系統、患者支撐、輻射探測、治療計劃系統以及附屬配套。



圖 2、廈門弘愛醫院建築圖

廈門市弘愛醫院硼中子治療中心採用全球首創的 3 治療室佈局設計，配有兩個水平治療室和一個垂直治療室，可以對人體不同部位（如頭頸部、胸部、腹部等）腫瘤進行照射，為患者提供全面的硼中子治療醫療服務。目前，中心建築施工與裝修已基本結束，正在進行硼中子治療系統設備安裝和調試，預計 2021 年底前完成運行驗收，全力為 2022 年開展臨床做準備。

六、參考資料

1. 柴華綜合新聞報導

千伏線性聚焦即時影像引導放射外科治療系統

黃泰然博士
美國 Imatrex 公司

一 . 緣由

隨著個人電腦保留基礎計算能力的情況下從大型機中推出，逐漸形成了數十億的龐大個人計算市場。同樣的模式也見於放療醫界，即一種用於癌病治療的低能量千伏（kV）、低成本放射治療設備的創新，能夠有效地與目前由高度複雜、數百萬美元的高能量兆伏（MV）的直線加速器（linear accelerator Linacs）競爭。柳葉刀腫瘤學術委員會（Lancet Oncology Commission）在 2015 年報告，預計到 2030 年全球癌病患者將達到 2500 萬例，在不斷增加的癌病發病率中，從 2015 年到 2035 年，全球放射治療的可及性將出現巨大缺口。放療只有資金雄厚的大醫院才能負擔得起，因此對低能量 （kV）、低成本放療且對癌病治療同樣有效的需求備受期待。

二 . 產品概要

一種新型放射治療，稱為線性聚焦放射外科系統（linear converging radiosurgery system,LCRS），由美國 Imatrex 公司設計、製造和軟件集成，是一種實時千伏（kV）影像引導放射治療系統。它創新了複雜的專有腦力，通過使用電子束 CT （EBCT）的 3D 成像識別和定位生理移動的腫瘤，並通過獲得專利的線性會聚 kV 級 X 射線准直技術實時瞄準移動的腫瘤，進行精準放射治療。不像傳統的輻射設備那樣使用昂貴的直線加速器，LCRS 對於大多數社區醫院來說要便宜得多，而且它需要的安裝空間也小得多。圖 1 顯示了聚焦放射外科治療機的原型。

LCRS 的獨特功能可以總結如下：

1. 系統採用專有的線性會聚千伏 X 射線，不使用複雜 / 昂貴的 MV 直線加速器。
2. 雙掃描電子束管提供：（a）用於診斷和跟踪生理運動腫瘤的電子束電腦斷層造影機（CT）.（b）聚焦的 kV 級 X 射線以實時瞄準移動的腫瘤進行放射治療。
3. 在設計治療計劃軟件時結合複雜的幾何形狀，以盡量減少對人工操作的依賴。
4. 一般電腦斷層造影室牆壁屏蔽就足夠了。

這些獨特的功能使聚焦放射外科治療機的成本更低，降低了統包運營成本，同時減

少了醫院房間的建築和住房空間，節省的資金可以使患者的治療費用降低而受益。公司在產品開發上投入了大量時間和財力。然而，取得商業成功的能力在很大程度上取決於與第三方成功合作進行商業化和銷售。



圖 1、說明了聚焦放射外科治療機與電子束掃描管和會聚准直器下方的病人和平板探測器上方的這種機架方向。低能耗系統可以安裝在普通病房或辦公室。

三 . 技術

聚焦放射外科治療機使用獨特的 200 kV 和 200 mA 掃描電子束進行放射治療和實時 3D 成像。治療體積中的劑量定位是通過使用多個小光束實現的，這些小光束排列成一個倒金字塔，在旋轉過程中會聚焦在一個等中心點上，類似於其他多光束產品如伽馬刀 Gamma -Knife 中使用的幾何形狀，但具有連續覆蓋小束，並且沒有放 射性同位素。通過將治療光束切換到由 19 個 X 射線成像目標組成的線性陣列，可以實現實時 3D 成像以實現腫瘤跟踪。這種切換以毫秒為單位進行，並與治療交錯，以提供由平板探測器接收的斷層掃描投影圖像。然後將投影數據重建為一個 3D 圖像，可以在治療過程中通過治療光束的眼睛查看或用於確認適當的患者設置和監測。跟踪軟件可以控制聚焦放射外科治療機以照射腫瘤以治療確切的腫瘤部位。

該系統使其對人類和寵物腫瘤市場都具有吸引力。聚焦放射外科治療機憑藉其強大、經濟高效的醫療應用，將擴大服務不足人群獲得放射治療的機會。在獸醫市場 中，儘管癌症是犬貓種群中與疾病相關的死亡的首要原因，但在大多數情況下，目前無法提供癌病廉價的診斷和治療。 圖 2 是使用聚焦放射外科治療機獲得的實時斷層圖像的示例。

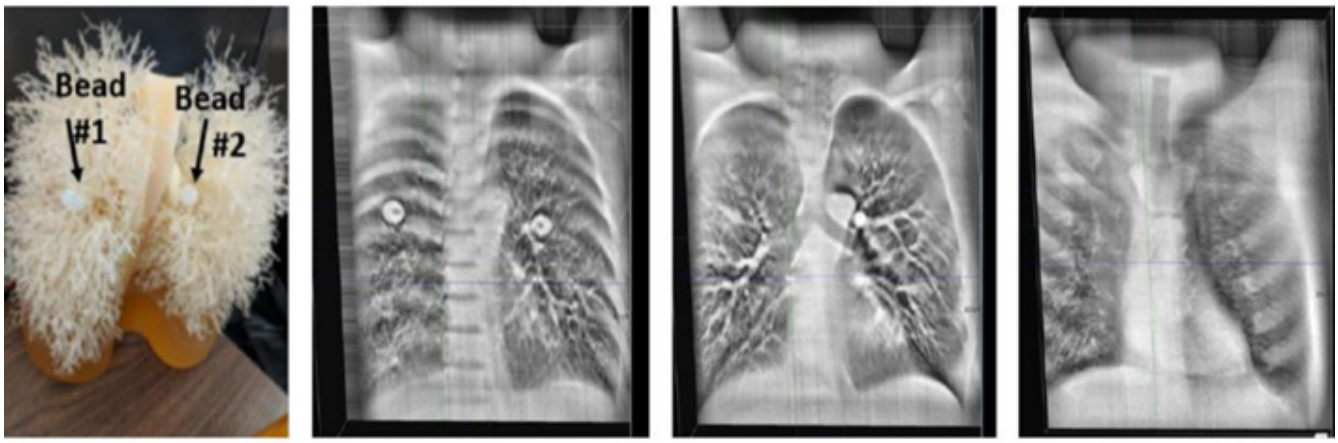
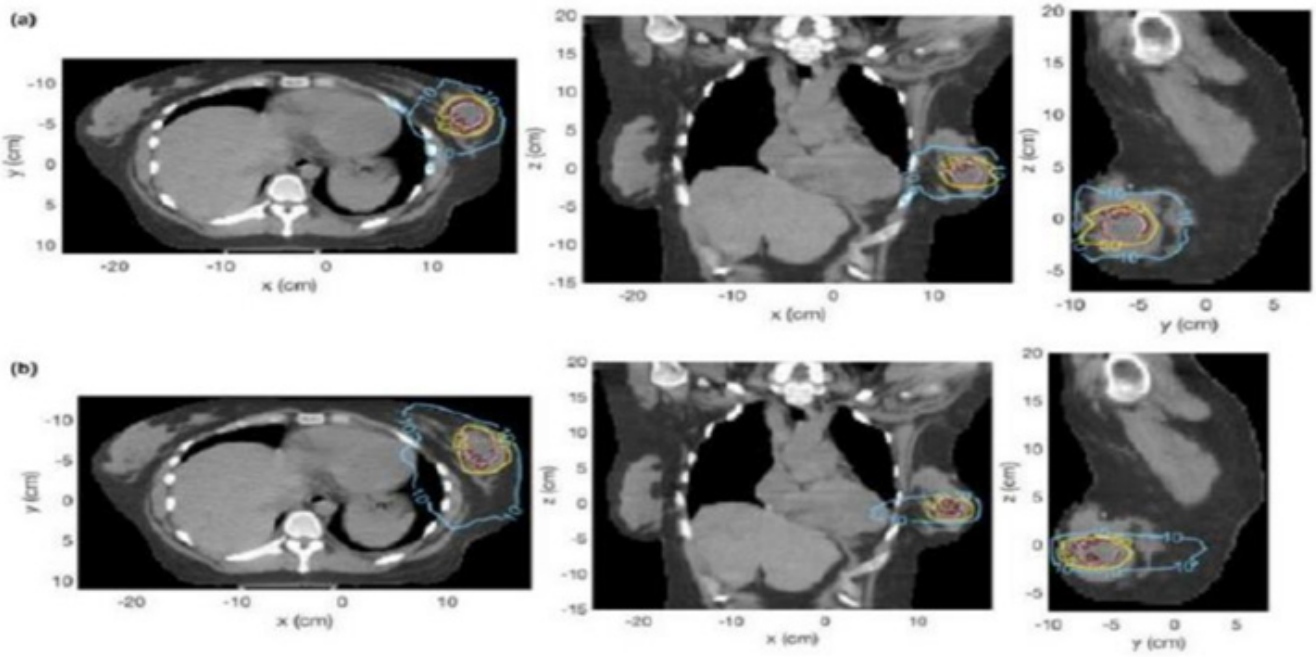


圖 2、帶有球形夾雜物的胸部體模（a）和 MIP 板重建視圖，取自直線聚焦放射外科治療機原型的 3 個不同深度的冠狀視圖：（b）正好位於脊柱上方，顯示兩個空心球替代病變，（c）從 3cm 到擬人模型的中心，和（d）在 5cm 到中心，顯示胸骨的一部分。從 13 個不同角度的投影圖像重建，沿著 40cm 的直線路徑均勻分佈在 28 度弧上。

四 . 產品差異化

大量同行評審的模擬和劑量學研究出版物表明，使用聚焦放射外科治療機治療癌症的有效性。圖 3 顯示了一個已發表的病例，將聚焦放射外科治療機對乳房病變的治療與使用傳統直線加速器（百萬伏特 MV）系統的結果進行了比較。在這些示例中，聚焦放射外科治療機治療劑量通常優於傳統方法的性能。



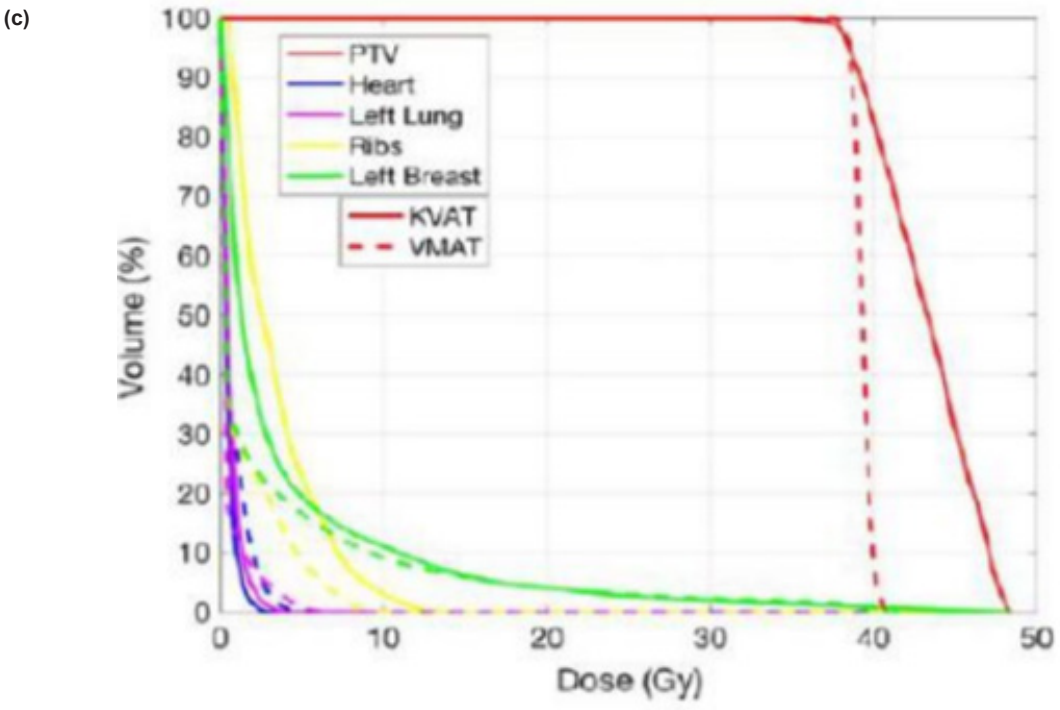


圖 3、比較了使用（a）聚焦放射外科治療機（上圖 200kV 與（b）標準 6MV Linac 計劃（下圖）顯示的治療計劃。這兩個計劃的劑量體積直方圖如右圖（c）所示，顯示新的聚焦放射外科治療機治療與傳統放射治療幾乎等效。

1. 聚焦放射外科治療機減少了就診次數，操作起來更方便，患者也更方便，最重要的是，實時圖像引導放射外科治療可以最大限度地減少對正常組織的不必要損傷。
2. 聚焦放射外科治療機其他的主要優勢包括：
   - 有效地會聚低能量 kV X 射線，為治愈性癌症治療提供具有醫學意義的輻射劑量
   - 使用 200 kV 掃描電子束對生理移動的腫瘤進行成像，並實時跟踪移動的腫瘤目標以進行精準放射治療
   - 在放射治療期間實時跟踪移動的腫瘤，從而獲得更大的正常組織保護，更高的靶向病灶投送劑量
   - 成本更低，預計總成本為每部治療機僅 100 萬美元
   - 無需建造 2 米厚的牆壁、天花板和地板屏蔽，減少安裝空間
   - 維護成本低
   - 內置治療電腦斷層造影機（CT）和使用人工智能快速處理治療計劃
   - 治療計劃軟件簡化了患者治療處理並減少了對訓練有素的技術人員的依賴
   - 無需具有相關處理要求的放射性同位素

聚焦放射外科治療機的上述優勢將吸引大多數社區醫院、私人診所或資金有限的醫院。它還具有彌合癌患治療可及性

的全球差距，並解決負擔得起的放射治療不足的潛力。相比之下，目前市場上的標準放射治療，例如瓦里安製造的系統，使用昂貴的直線加速器（Linac）來產生高能百萬伏特級（MV）的 X 射線

3. 當前的直線加速器系統具有以下固有缺點：
   - 需要使用直線加速器來產生高能 6-15 MV X 射線束
   - 需要 2 米厚的混凝土牆、地板和天花板來屏蔽高能輻射
   - 價格昂貴，交鑰匙操作的成本為 6-8 百萬美元或更高
   - 服務和零件的大量維護成本
   - 放療過程中無法實時跟踪，隨呼吸移動的腫瘤，導致周圍正常組織受損
   - 需要另外設置的治療模擬 CT 機用於定位及製作治療計劃
   - 嚴重依賴高技能技術人員

昂貴的直線加速器系統需要：容納重型屏蔽的大型建築空間、複雜的基礎設施、複雜的維護和更多的人力。這些要求使交鑰匙即能操作達到了令人望而卻步的境界。這限制了放療向全世界癌患人群的擴展。

五 . 知識產權

聚焦放射外科治療機已提交了廣泛的國際專利申請，共提交了 26 項申請，其中 8 項已發布，18 項在美國、歐洲、日本、俄羅斯、韓國、中國、台灣等重要地區國家正在申請中。

六 .FDA 備案

Imatrex 公司確定 LCRS 產品與目前市場上使用的謂用放射治療設備大體相似。它們屬於 FDA 指定的 II 類設備，需要申請 510（k）流程才能允許產品銷售。公司正準備在 2021 年第二季度提交 510（k）註冊，並預計在提交後 6 至 9 個月內獲得批准。由於聚焦放射外科治療機產品也可用於治療寵物腫瘤，這種疾病佔獸醫死亡率的近四分之一，因為美國 FDA 沒有規定必須由獲得許可的獸醫使用 X 射線設備的獸醫使用。這為聚焦放射外科治療機產品提供了很好的機會，可以在用於人類治療之前快速進入寵物市場以產生收入。

七 . 市場機會

2016 年，僅在美國，估計就有 305 萬癌患接受了放射治療。根據 AACR 2017 年報告的“美國癌症倖存者放射治療趨勢，2000-2030”，預計到 2020 年接受放射治療的癌症患者將達到 338 萬，到 2030 年將達到 417 萬。全球人口約為是美國的 20 倍，如果按同樣的比例計算，2020 年全球將有近 7000 萬癌症患者需要接受放射治療。

然而，如圖 4 所示，DIRAC（放射治療中心目錄）IAEA 2012 年報導，除了所需的基礎設施和熟練的技術人員之外，全球嚴重缺乏輻射設備以滿足需求，這主要是由於

目前輻射設備的成本過高。具有可負擔性和最低的基礎設施和運營成本，具有彌合差距的巨大潛力。

就獸醫市場而言，僅在美國，估計每年就有 600 萬隻狗和近 600 萬隻貓被診斷出患有癌病。類似數量的案例適用於歐盟和日本的寵物種群。使用與人類相似的市場因素，聚焦放射外科治療機有機會滿足高度缺乏的獸醫需求。

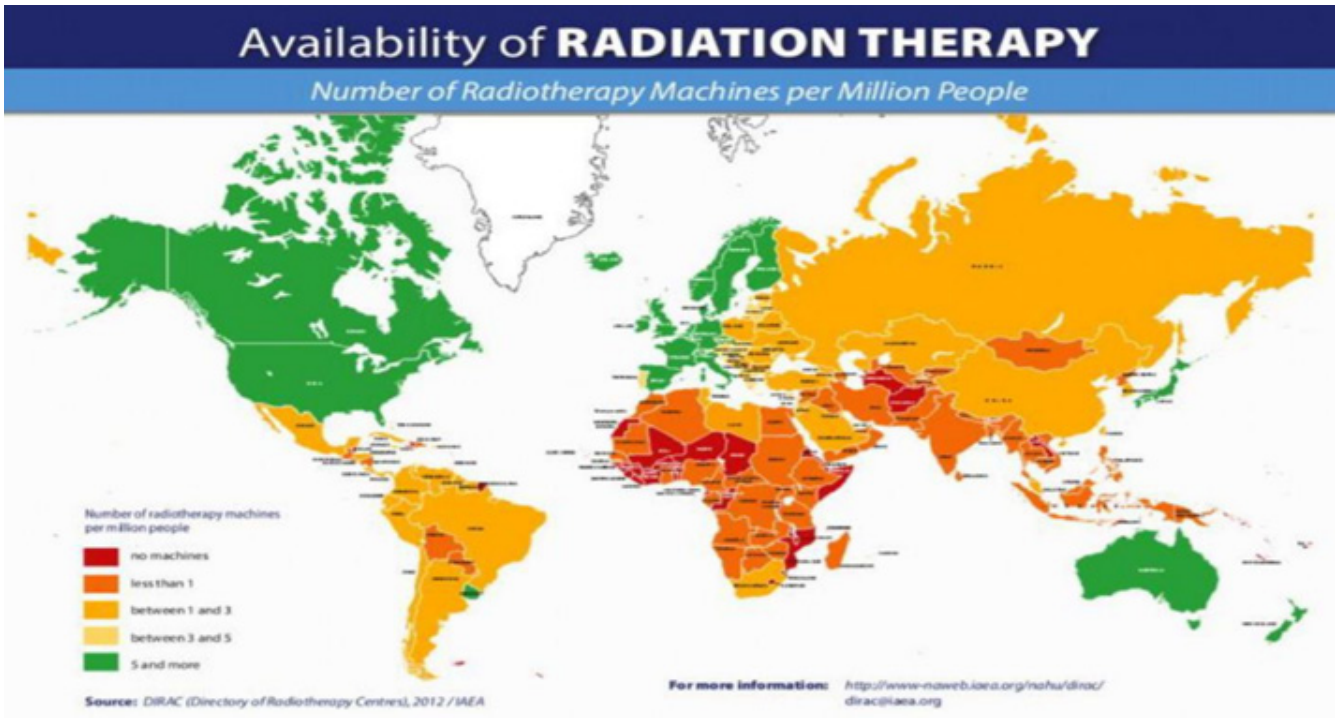


圖 4、只有綠色區域可以為癌病人群提供放射治療。由於當前輻射設備的高成本，世界其他地區的放療就醫受到限制。

八 . 參考文獻

1. Breitkreutz, D., M. Renaud, J. Seuntjens, M. Weil, S. Zavgorodni, M. Bazalova-Carter, Inverse.

2. White paper on LCRS.A real-time Kilovolt image-guided radiotherapy system, Imatrex, https：//physicsworld.com/a/physicists-innovate-to-close-the-global- radiotherapy-gap

寵物腫瘤診療的現況和未來

趙良曉
中華腫瘤醫學發展協會監事

陳光耀醫師、博士
陶聲洋防癌基金會董事長
中華腫瘤醫學發展協會理事長

一 . 前言

在臺灣因少子化、高齡化的現象逐年增進，人與人間的疏離，讓擁有狗、貓等寵物的家庭非常普遍，人和寵物間的感情、靈性契合等因素，使到人們對毛孩子一旦生病，願意在精神、體力和金錢上付出，而老年的狗和貓得惡性腫瘤的機率高達 40% 以上 . 近年因為有效的抗癌藥和寵物放療機的出現，有必要對寵物腫瘤的市場生態做簡單的介紹 . 尤其是市場上即將出現的 kV 級放射外科治療機，不但適合於治療人類腫瘤，也適合於治療寵物腫瘤，不需要外科手術及化療或標靶藥治療，可在約 3 天照射 3 次即可消融惡性腫瘤，對人類腫瘤和寵物腫瘤提供新的選擇和貢獻。

二 . 主要市場洞察

寵物中的癌病是全球寵物死亡的主要原因之一，癌病被定義為身體某些部位異常細胞不受控制的生長，而遍及人類和動物。如今，寵物更容易被診斷出患有癌病，因此可早日採用治療計劃，兒提高生存率。寵物首先被診斷出有腫塊，所構成的細胞不受控制的生長，最後很可能由病理學在顯微鏡下觀察，證實為惡性腫瘤。根據獸醫癌症協會的統計，每年 47% 的狗，尤其是十歲以上的狗和 32% 的貓，癌病是導致死亡的主要原因。

寵物癌病的患病率增加，乃因寵物中腫瘤或惡性腫瘤確診率增加，以及家庭中寵物擁有量的增加，是推動全球寵物照顧和醫療市場增長的因素。此外，診斷方式的進步，治療的便捷性和可負擔性，對動物健康和福利的認知提高，以及擁有寵物家庭的增加，都是推動全球寵物醫療市場增長的一些因素。根據動物癌症基會的統計，在美國有 6500 萬隻狗和 3500 萬隻貓，其中每年有 600 萬隻寵物被診斷為癌病。這些趨勢與其他因素相結合，有望積極推動寵物醫療市場的增長。

然而，動物保健費用的過高，寵物癌病診斷的缺乏，某些治療的副作用的出現，是限制全球寵物醫療市場增長的一些因素。

三 . 主導公司

在全球寵物癌病治療市場上存在的一些主要公司，包括勃林格殷格翰國際有限公司，ELIAS 動物保健公司，Karyopharm 治療公司，Aratn 治療公司，Regeneus 有限

公司，VetDC 和 Zoetis 服務有限責任公司等。

四 . 寵物腫瘤知識領域

在全球範圍內，各地人類對寵物的照顧以及對寵物腫瘤的處理，和傳統習俗及醫學經濟學的發展密切相關，表 1 按動物類型、癌病種類、腫瘤治療法和消費區域，以在所在地區，以理解寵物腫瘤的知識領域。

表 1、寵物腫瘤的知識領域。

分類	細 節
動物類型	•犬　•貓科動物　•馬　•其他
癌病類型	•肥大細胞癌　•淋巴瘤　•黑色素瘤 •鱗狀細胞癌　•乳癌　•肛門囊癌　•其他
治療法	•化學療法　•放射治療　•免疫療法 •靶向治療　•聯合療法　•其他
消費區域	獸醫醫院和臨床藥房 •在線藥房　•零售藥　•其他
按地區	•北美（美國和加拿大） •歐洲（英國，德國，法國，義大利，西班牙，斯堪的納維亞和歐洲其他地區） •亞太地區（日本，中國，印度，澳大利亞，東南亞和亞太其他地區） •拉丁美洲（巴西，墨西哥和拉丁美洲其他地區） •中東和非洲（南海灣合作委員會以及中東和非洲其他地區）

在 2018 年，肥大細胞癌的患病率增加和用於治療的藥物的可用性，在癌病類型中，肥大細胞癌主導了全球寵物癌病治療市場。預計該部分將在預測期內以相對較低的複合年增長率增長。

五 . 重要見解

要理解寵物市場的生態，從掌握下列 4 點著手

1. 重點地區的寵物癌患病率。
2. 主要國家 / 地區的寵物擁有率概述。
3. 管道分析，關鍵參與者。
4. 夥伴關係，合併和收購等行業的最新發展。

六 . 區域分析

由於許多因素，例如寵物領養率上升，寵物癌病患病率增加，診斷方式的進步，動物保健支出的意願增加，以及對動物保健意識的增強，Asia Pacific 公司在 2018 年主導了全球寵物癌病治療藥市場估計，亞太地區將有顯著的複合年增率增長。這是由於寵物數量增加，寵物癌病發病率增加，寵物收養率增加，對動物福利的認識提高，可支配收入增加，以及引入了新的寵物癌病治療藥。

七 . 關鍵行業發展消息

1.2019 年 3 月，輝瑞公司 Pfizenc. Palladia

治癌藥獲得 FDA 批准，Palladia 是第一種被正式批准用於治療狗癌的藥物，該藥物將於 2020 年底在市場上發售。

2.2017 年 10 月，VETCO 公司在台灣推出了動物癌病治療新藥 Antica，抗癌新藥 Antica 已獲得台灣農業委員會（COA）的批准，並且是全球批准的第三種抗癌藥物，在亞洲排名第一。

3. 國立陽明交通大學和台北榮民總醫院核子醫學合作，可提供寵物用正子斷層掃描造影檢查（PET-CT）服務。

4. 如果美國 Imatrex 公司的線性會聚放射外科系（linear converge radiosurgery system， LCRS ）在台銷售或在台灣做人類腫瘤臨床前試驗，寵物腫瘤的放射外科治療機，是最適合的臨床試驗和應用（請參閱本期論文「千伏線性聚焦即時影像引導放射外科治療系統」）。

八 . 參考資料

1.White paper on LCRS. A real-time Kilovolt image-guided radiosurgery system， Imatrex， Inc. https://physicsworld.com/a/physicists-innovate-to-close-the-global-radiotherapy-gap

2. 黃泰然，千伏線性聚焦即時影像引導放射外科治療系統 . 中華腫瘤醫學發展期刊 . 2021；1：32-37。

CyberKnife® M6 系統每日輸出和自動品質保證穩定性分析

林其達、周貴鼎、游雅芝、徐可欣、張立平
天主教耕莘醫療財團法人耕莘醫院放射腫瘤科

前言

新北市耕莘醫院放射腫瘤科 CyberKnife®（電腦刀）系統是第一個也是唯一一個具有機器人精準性的放射治療系統，有別於其他的放射治療設備，此系統將直線加速器安裝在德國 kak 公司機器人機械手臂上，因此在放射手術或是放射外科治療的射束傳遞上提供了更大的靈活性與運動自由度。 CyberKnife® 可提供連續的影像導航和及時追蹤功能，有助於確保放射治療的準確性（accuracy）和精確性（precision），藉此可在體內任何位置提供準確的亞毫米（<1 mm）立體定位放射外科治療。

為確保放射外科治療的品質的穩定，透過分析每日加速器劑量輸出和自動品質保證（automatic quality assurance, AQA） 測試的結果來評估 CyberKnife® M6 系統在劑量學上以及機械系統的穩定性。

研究方法

本研究分別對於耕莘醫院放射腫瘤科內 CyberKnife® M6 系統自 2016 年 1 月至 2020 年 6 月的每日劑量輸出和 AQA 做回顧性分析。使用 60 mm 固定式準直儀搭配 CheckMate 並加上 1.5 cm RW3 phantom，設定射源至假體表面距離 80 cm，量測每日的光子輸出穩定度。

分別對於三種不同的準直儀（Fixed、IRIS 及 MLC）做每日自動品質保證，利用 AQA 測試來檢查機械手臂是否失準和造影系統的穩定性。該測試類似於 Winston-Lutz 測試，執行 AQA 測試檢查兩組標定射束（垂直及水平）的重現性。此項測試會在膠片上施行 1 路徑 2 節點的治療計畫，依據膠片分析結果，判定並分析系統的穩定性。AQA 測試的規格要求須相對於基準值的徑向誤差 < 1mm。

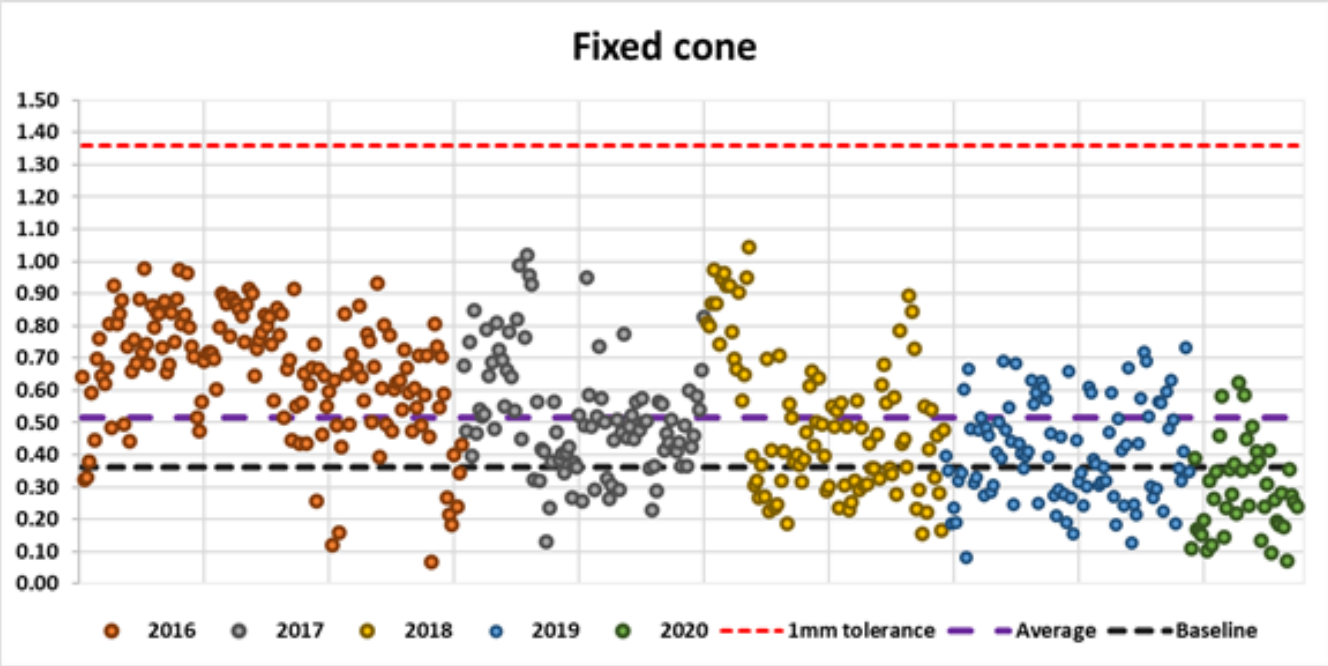


圖 1、Fixed cone 的自動品質保證（AQA）五年測試結果

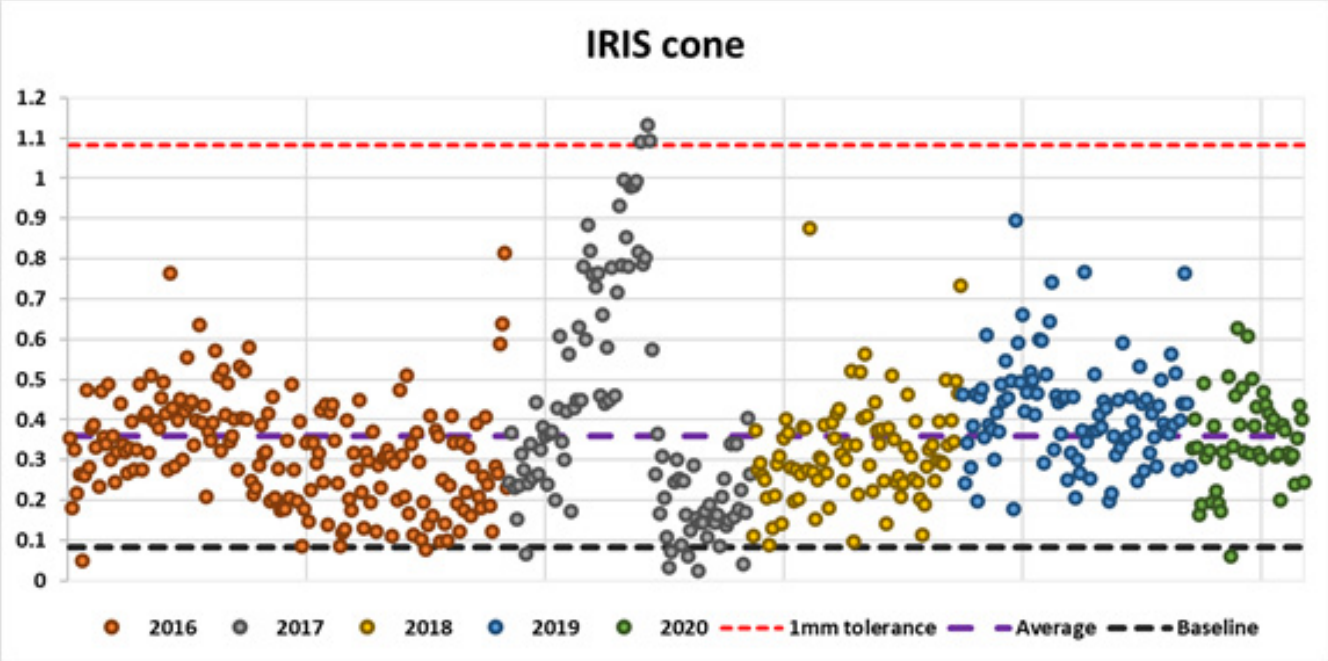


圖 2、IRIS cone 的自動品質保證（AQA）五年測試結果

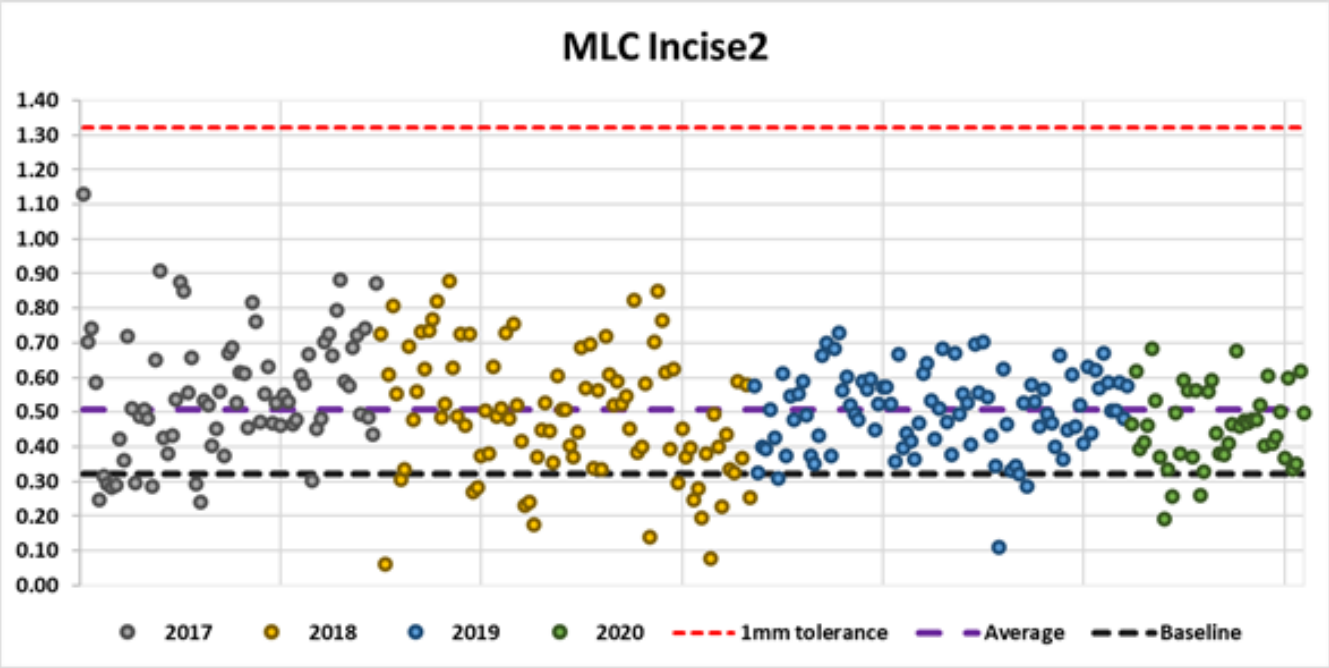


圖 3、MLC Incise2 的自動品質保證（AQA）四年測試結果

結果與討論

統計結果顯示在光子輸出穩定度的測試，97.3% 的劑量輸出在法規的容許誤差 ±2% 範圍內。而自 2016~2020 年的輸出穩定度平均分別為 101.31%、99.77%、100.05%、100.67%、100.66%。由於電腦刀的每日輸出穩定度法規容許誤差是在 ±2% 而有別於一般加速器的 ±3%，因此有可能誤認在範圍內而沒有及時的通報與調整，故當發生輸出有過高或過低的時候，務必調整機器輸出至容許範圍內。

AQA 的偏差源包含了：Film Scanner、Film Placement、kV imaging system、Robotic manipulator 等。利用 AQA 的結果來評估整體性的誤差範圍要在基準值的徑向誤差 < 1mm 內

$$Radial\ Error = \sqrt{Offset_{Inferior}^{Superior\ 2} + Offset_{Left}^{Right\ 2} + Offset_{Posterior}^{Anterior\ 2}}$$

三種準直儀系統的 AQA 測試結果皆符合規範，Fixed cone 平均值為 0.5166 mm；與基準值差異為 0.1564 mm。IRIS cone 平均值為 0.3579 mm；與基準值差異為 0.2761 mm。而 InCise2（MLC）平均值為 0.5064 mm；與基準值差異為 0.1854 mm。在 IRIS 2017 年的統計結果顯示有些許偏差是因為工程師調整機械手臂校正時，調整的方向錯誤，經過後續的驗證測試後將機械手臂的精準度調校回正確的範圍。

結論

根據我們這項研究的分析結果顯示，耕

莘醫院放射腫瘤科的 CyberKnife® 每日劑量輸出能符合法規之規範，並適用於癌症病患執行立體定位放射手術或稱放射外科治療。此外 CyberKnife® M6 系統在每日和長時間上機械穩定性是非常可靠的。這類的測試結果能幫助我們於臨床上提供病患更加精準、精確的放射手術與治療，相信持續執行電腦刀的 AQA 測試，對於精準放射外科治療是有其必要性。

參考文獻

1. Sonja Dieterich, Carlo Cavedon, and Cynthia F. Chuang , “Quality assurance for robotic radiosurgery：Report of AAPM Task Group 135,” Med. Phys. 38, 2914-2934（2011）
2. G. J. Kutcher, et al., “Comprehensive QA for radiation oncology： Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40,” Med. Phys. 21, 581–618（1994）.
3. W. Lutz, K. R. Winston, and N. Maleki, “A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator,” Int. J. Radiat. Oncol., Biol., Phys. 14, 373–381（1988）.
4. https：//www.accuray.com/cyberknife/

Monte Carlo 和 Ray Tracing 演算法應用於腦、肺及攝護腺腫瘤之電腦刀治療計畫的劑量分布比較

游雅芝、徐可欣、周貴鼎、林其達、張立平
天主教耕莘醫療財團法人耕莘醫院放射腫瘤科

一 . 前言

在放射腫瘤治療中，如何有效的透過放射治療計劃系統得到精確的放射治療劑量分佈以供臨床醫師進行評估一直是放射腫瘤技術中相當重要的議題。目前在臨床所使用的演算法中 Monte Carlo（MC）為目前所使用的演算法中具最高精準度之演算法。相較於以介質校正為基礎的 Ray Tracing（RT）演算法僅能在低異質性介質中能維持高劑量計算精準度；MC 演算法不論是在高或低異質度的介質中均能維持相同的計算能力得到精確的劑量分布。然而因其實際模擬治療中的光子與物質的反應情形，計算過程中帶來的龐大資料運算量使其增加了數倍的計算時間，因此仍未被臨床所廣泛運用。因此本研究便希望合併治療計劃系統中 RT、MC 兩演算法，探討並比較其於腦、肺部、攝護腺腫瘤放射治療計劃之應用情形。

二 . 研究方法

新北市耕莘醫院放射腫瘤科同仁，為本研究蒐集了腦部、肺部、攝護腺腫瘤病灶各 5 例，共 15 位患者。所有患者的治療計畫均透過 CyberKnife® M6（Accuray Inc., Sunnyvale, CA）之治療計畫系統 MultiPlan®（Accuray Inc., Sunnyvale, CA, V.5.3）製作治療計畫。所有患者將透過 MultiPlan® 得到 PlanRT/MC、PlanMC 兩治療計劃。

- PlanRT/MC：RT 演算法執行最佳化、MC 演算法執行劑量計算。
- PlanMC：MC 演算法執行最佳化、MC 演算法執行劑量計算。

在得到同一腫瘤的 PlanRT/MC、PlanMC 後將透過劑量體積直方圖（Dose Volume Histogram, DVH）評估 PTV 的平均劑量（Dmean）、最大劑量（Dmax）、最小劑量（Dmin）、90%PTV 體積接受之劑量（D90）、95%PTV 體積接受之劑量（D95）和接受處方劑量之體積百分比（Vp）等劑量參數。最後再透過差異百分比（Percentage Difference, PD）比較各劑量參數於 PlanRT/MC、 PlanMC 的差異情形

$$PD(\%) = \frac{Dose\ Parameter_{RT} - Dose\ Parameter_{MC}}{Dose\ Parameter_{MC}}$$

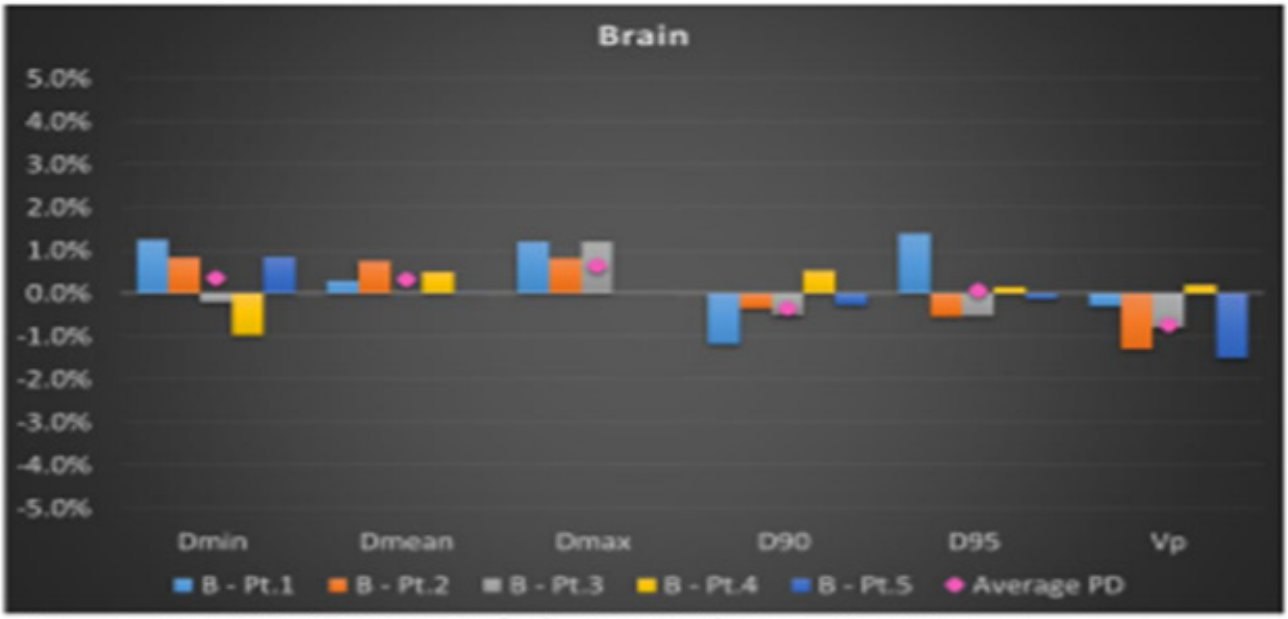


圖 1. 五例腦部腫瘤治療計畫中各劑量參數之差異百分比

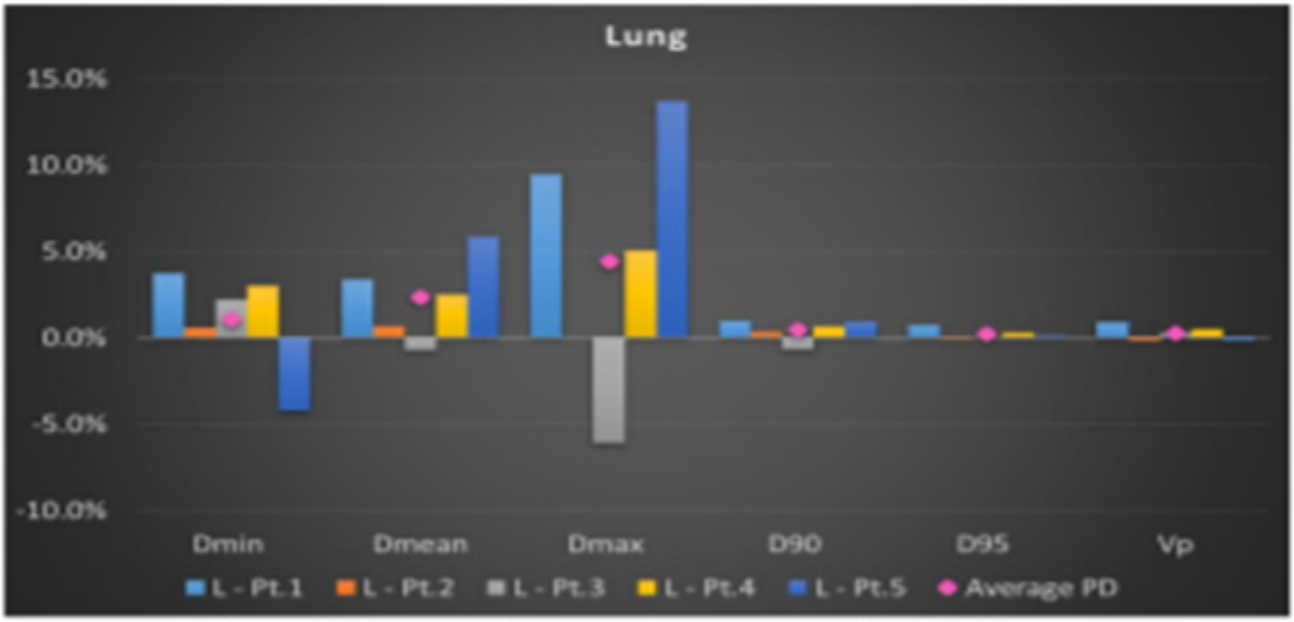


圖 2. 五例肺部腫瘤治療計畫中各劑量參數之差異百分比

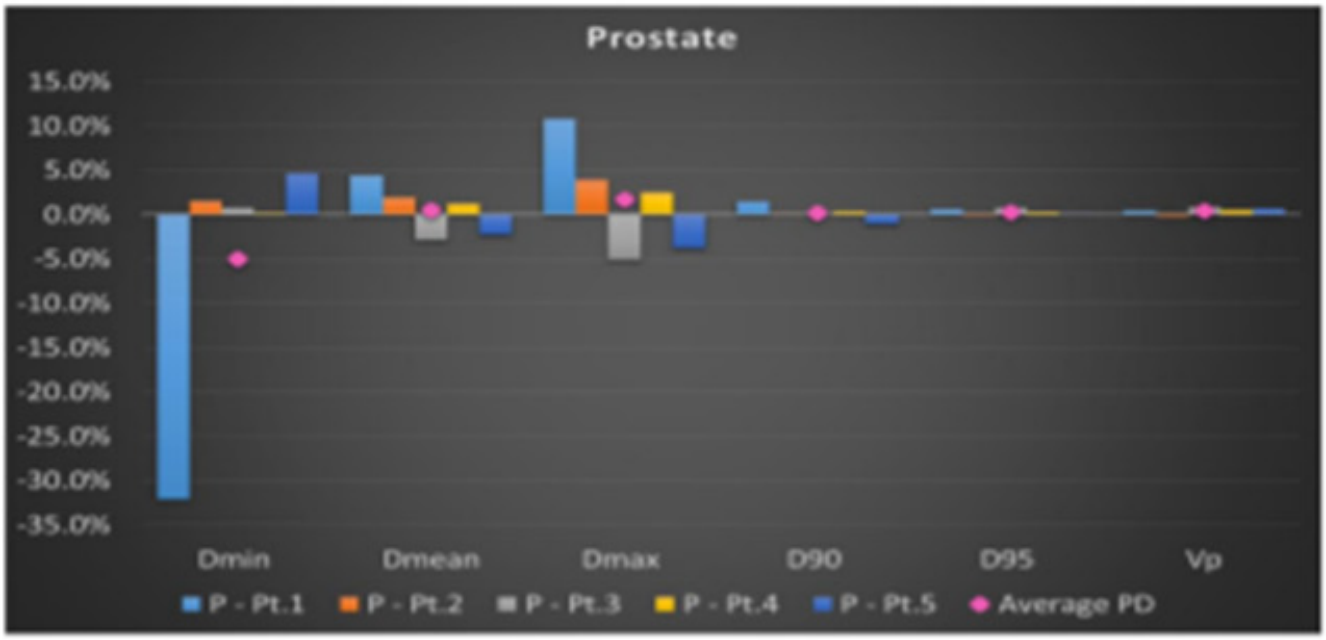


圖 3. 五例攝護腺腫瘤治療計畫中各劑量參數之差異百分比

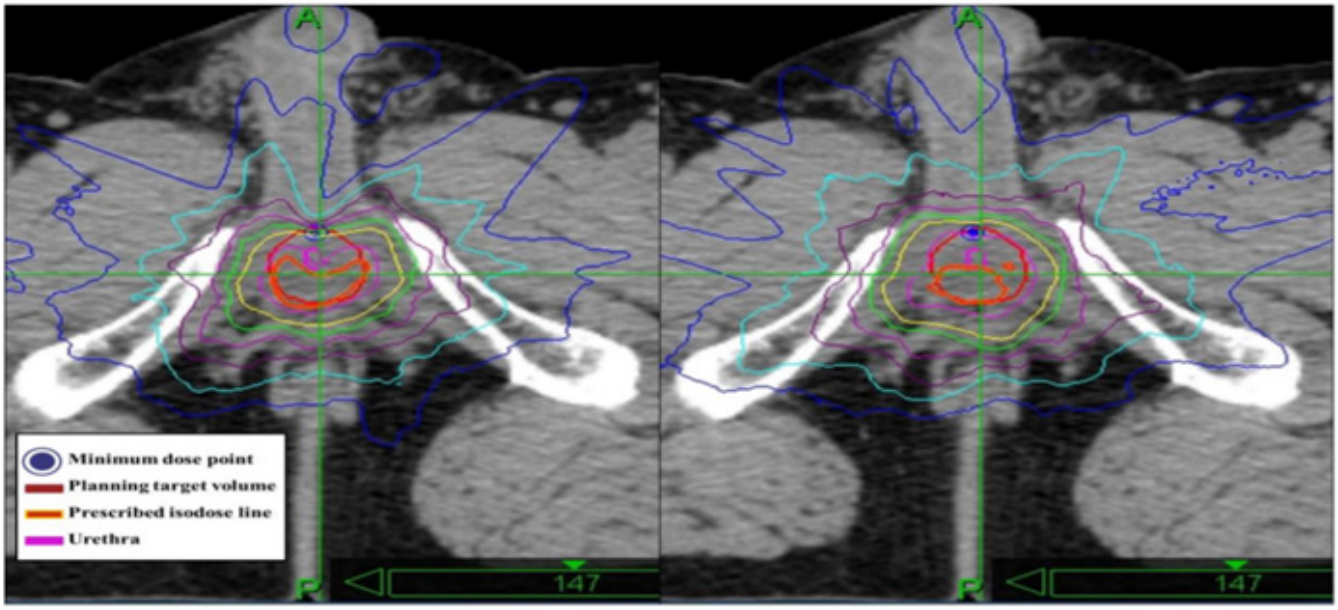


圖 4. 攝護腺腫瘤第一例案例之劑量分布圖 (A)$plan_{RT/MC}$(B)$plan_{MC}$

三 . 結果與討論

本研究的結果顯示不論是在腦、肺以及攝護腺腫瘤的放射腫瘤治療計畫劑量分布中，相較於做為比較標準的 PlanMC 而言 PlanRT/MC 中所有的劑量參數之平均 PD 皆小於 ±5% 以內。顯示在腫瘤治療方面透過 PlanRT/MC 方法可得到與 PlanMC 相同水準的治療計畫。此外在攝護腺腫瘤第一例可以發現，雖然 PlanRT/MC 在 Dmin 相

較於 PlanMC 相差 -32%，但從圖 4 可以發現此最低劑量點是為了保護尿道所導致，顯示 PlanRT/MC 在此案例上可以達到更好的劑量順形度、危及器官保護。

四 . 結論

新北市耕莘醫院放射腫瘤科透過 RT 合併 MC 演算法得到的 PlanRT/MC 在大幅減少治療計畫運算時間下， 與 PlanMC 相比可同時維持相當接近的腫瘤治療水準。此外在個案中也顯示有機會 提高腫瘤劑量順形度、危及器官保護情形。然而危及器官、實際治療的劑量接受情形還需進一步分析驗證。

五 . 參考文獻

1. Galonske, Kirsten, et al. "Comparison of treatment plans calculated by Ray Tracing and Monte Carlo algorithms for head and thorax radiotherapy with Cyberknife." Current Directions in Biomedical Engineering 3.2 （2017）: 647-650.
2. Okoye, Christian C., et al. "Comparison of ray tracing and Monte Carlo calculation algorithms for thoracic spine lesions treated with CyberKnife-based stereotactic body radiation therapy." Technology in cancer research & treatment 15.1 （2016）: 196-202.
3. Murali, V., et al. "Monte Carlo and ray tracing algorithms in the cyberknife treatment planning for lung tumours-comparison and validation." Journal of Radiosurgery and SBRT 2.2 （2013）: 85.
4. Wilcox, Ellen E., et al. "Comparison of planned dose distributions calculated by Monte Carlo and Ray-Trace algorithms for the treatment of lung tumors with cyberknife: a preliminary study in 33 patients." International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics 77.1 （2010）: 277-284.

低劑量全肺放射治療新冠病毒肺炎
Low-Dose Whole Lung Radiation Therapy for COVID-19

趙良曉
中華腫瘤醫學發展協會監事

趙興隆
台北市立萬芳醫院放射腫瘤科主任

一、前言

2019 年初新冠病毒（COVID-19）引起大流行，至今一年多已經對全球醫療系統造成了巨大的壓力和人命喪失，在大多數患者中肺部感染後的細胞因子風暴與呼吸系統損害和死亡具有因果關係，對該病毒感染的可行治療選擇的稀疏性和肺部併發症的後遺症，促使人們尋求新的治療方法。一種選擇是使用低劑量全肺放射療法（low dose whole lung radiotherapy, LDRT），這一被人們長期以來遺忘的想法，最近在學術中心引起了人們的興趣。本文我們概述了這種選擇的科學和基本原理，以及任何潛在治療價值的機制基礎，尤其是從免疫學的角度來看，我們還將討論檢查低劑量全肺放射治療 COVID-19 的前瞻性試驗的初步理解（根據已發表的文獻），從初步的臨床試驗中似有康復的可能性，因應未來新流行病毒出現後，可能有多一種治療的手段，唯尚需要更嚴謹及長期的追蹤。

二、放射治療和免疫反應

就免疫系統而言；輻射是一把雙刃劍，LDRT 和大劑量放療對免疫亞群有不同的影響，在臨床前研究中 LDRT 對內皮細胞、白細胞、巨噬細胞和樹突狀細胞產生影響，如下所述：這些共同地用於產生抗炎環境，經由全肺 LDRT 周邊血管單個核細胞群會降低，如圖 1 所示。

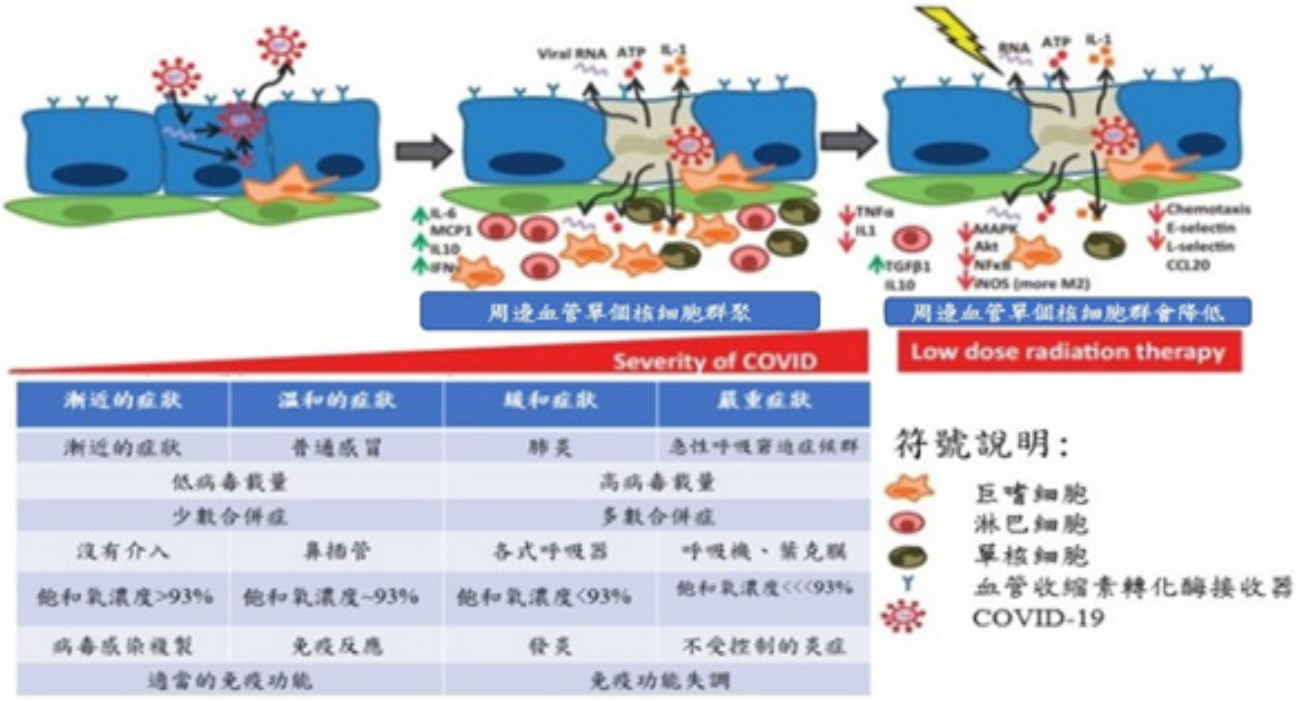


圖 1、嚴重急性呼吸系統綜合症冠狀病毒（SARS-CoV-2）感染的複製和免疫作用的示意圖

由圖一可了解低劑量放射治療的可能機制，頂部描繪的是藍色的肺上皮細胞卡通，綠色的內皮細胞卡通和橙色的常駐巨噬細胞，左側的卡通插圖說明了病毒的早期感染（帶有尖峰的紅色圓圈），內在化、複製、重組和釋放，在上圖中間是釋放病原體相關分子模式（PAMP）標記的描述，包括 ATP、病毒 RNA 和白介素 -1，被感染細胞的破壞（現在是灰色的）；和外周血單核細胞（PBMC）的募集，在這種趨化過程中對內皮細胞的粘附以及促炎細胞因子的宿主（綠色箭頭），右圖描繪了這種免疫失調的肺微環境的低劑量輻射的潛在後果，該環境中由於 E / L- 選擇素的下調、PBMC 的募集減少、趨化性降低，內皮粘附減少。

三、合理使用 LDRT 進行 COVID-19 治療

表 1 初步收集了 5 個國家，6 家醫院用低劑量放射線照射新冠病毒肺炎患者全肺的臨床試驗摘要。COVID-19 患者肺部狀況惡化的最直接原因是對引起細胞因子風暴的病毒感染，在未經檢查且無效的免疫反應，有希望的臨床前數據表明：LDRT 可能會減弱其他情況下的免疫激活，並且可以解釋過去觀察到的抑制益處感染性肺炎，使用 LDRT 來治療病毒性肺炎的這一歷史先例，再加上我們目前對 COVID-19 病理生理學和 LDRT 介導的免疫抑制的理解，可作為考慮適用於 COVID-19 的 LDRT，在沒有

對照臨床試驗的情況下，尚不清楚 LDRT 是否可以逆轉臨床病程並嚴重影響發病率和 / 或死亡率，前瞻性臨床試驗，最好是免疫和其他正常組織相關，到目前為止看起來很有希望，並且有望在未來幾個月內能回答這個問題。

表1、正在進行中的低劑量全肺放射治療新冠肺炎臨床試驗概述

詳細臨床試驗	病人數	年齡	補充氧氣	全肺照射劑量	結果指標
RESCUE1-19（美國埃默里大學）	10	≥18	是	150 cGy	安全 臨床復原
Imam Hossein Hospital(伊朗)	5	>60	是	50cGy （可追加50cGy)	飽和氧氣濃度 加護病房天數
COLOR-19（意大利）	30	≥50	是	70cGy	住院天數 臨床復原
VENTED(美國俄亥俄州)	24	≥18	是/呼吸器	80cGy	30天內死亡
All India institute trail（印度）	10	≥18	否(除非NEWS≥5)	70cGy	症狀改善逆轉 30天內加護病房入住率及死亡率
Hospital La Milagrosa（西班牙）	15	>18	是	80cGy	氧氣治療降級 飽和氧氣濃度

四、結論

從免疫學的角度來看，我們還將討論檢查低劑量全肺放射治 COVID-19 的前瞻性試驗的初步理解（根據已發表的文獻），從初步的臨床試驗中似有康復的可能性，因應未來新流行病毒出現後，可能多一種治療的手段，唯尚需更嚴謹及長期的追蹤。

五、參考資料

1. Krishnan S.etal Low-Dose Radiation Therapy for COVID-19: Promises and Pitfalls. JNCI Cancer Spectrum（2020）5（1）: pkaa103

參訪南非國立多用途加速器中心

陳光耀醫師、博士

一、前言

七十六年十月十二日至廿三日筆者得南非共和國（簡稱斐國）醫學研究署的邀請，在國科會的支持和協助下，有機會出席癌究會，因此對斐國的抗癌活動和癌病 究學者有了初步的認識。斐國在正式會議之後，安排了非常豐富的參觀訪問活動，經歷十分寶貴，如磁振造影機（MRI），台灣尚無該類利用核磁共振原理對人體所做的電腦斷層造影機。參觀訪問包括了四個大學醫學院、教學醫院、醫學研究署本部和一些直屬機構。其中對他們成立了國立加速器中心，覺得是一項十分出色的構想，得向國人介紹。

二、加速器中心

南非共和國於 1977 年成立國立加速器中心，目的在提供設備達到下列任務：（一）供應核粒子射線作基礎 究和應用研究之需，（二）從事癌病的粒子放射線治療，（三）為核子醫學、工業界和研究學界供應由加速器所生產的放射性同位素。因此該加速器中心可說是多元化的研究院，讓對加速粒子射線有興趣的醫師、生物學家和物理科學家在一起合作研究，各人在不同的專長互相激盪，開發共感興趣的新領域。

國立加速器中心目前共擁有三部加速器，一部是 16MeV（百萬電子伏特）的氘加速器，另一部是 6MeV 的范氏加速器，但最值得他們驕傲的是新建造的 280MeV 的分區迴旋加速器。

16MeV 氘加速器已建造了 25 年，以前會從事很多純核子物理及應用研究，目前一方面供作放射性同位素的生產，另一方面與 H.F. Ver woerd 醫院和約翰尼斯堡醫院合作，進行中子射線的癌病治療和放射生物學研究。所生產的放射性同位素，不但供核子醫學和工業界使用，還有餘力外銷賺取外滙。

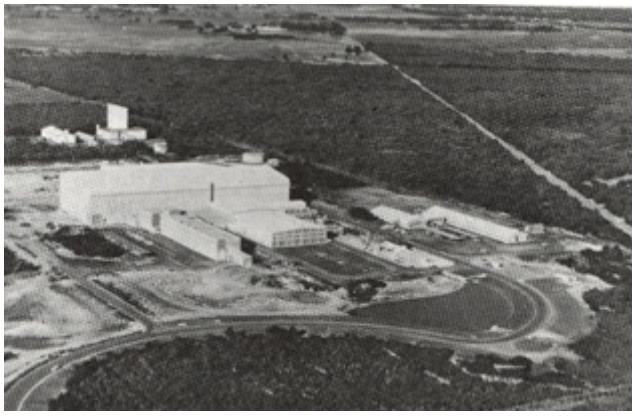
范氏加速器原來屬於南方大學的核子研究院，自 1983 年其設備與人員歸併入國立加速器中心經營。本機主要用於基礎研究，例如在核子物理、核子分析化學等方面，但亦用於應用研究，例如材料表面分析、離子與固體物質互相作用、以及核子醫學生命科學等方面的研究。其他研究工作尚包括放射性追踪劑研究、工業和環境科學研究的核子技術開發等。

三、分區式迴旋加速器

所謂分區式迴旋加速器（ Separated

Sector Cyclotron）是指迴旋加速器的主體能按不同的功能將加速後的高能粒子引導至不同的區間，由不同專長的人員開發應用。例如其中一支加速管引導至擁有三個實驗室的實驗區，三室共有七個通道引導加速粒子從事放射物理、粒子化學和放射生物學方面的研究，旁邊又加一支分管，引導加速粒子至能譜測量區，另有一支加速管則引導至放射性同位素生產區，最重要的主導管引入擁有三個治療室的放射線治療區，供癌患核粒子射線治療之用。放射治療區緊隣病人處理場所，並與醫院區相通，放射治療業務則透過醫學研究署的協調，由開普敦大學和 Stellenbosch 大學醫學院及其 學醫院共同開發。因此需要高能粒子射線治療的癌患，都先前往 Groote chuur 醫院或 Tygerberg 醫院放射治療科求診，俾便適當的評估和安排核粒子射線包括輕核粒和重核粒，輕核粒有質子和中子射線等，重核粒則包括碳、氬和氪等重離子。為了加速輕、重核粒至 200MeV 的能量，需要另外建造兩部加速器使粒子先達到適當的初速，然後注入分區式加速器的主體中，因此這兩部小型加速器又稱注入器（injector）。第一部注入器是 8MeV 的加速器，供生產輕核粒射線之用。第二部注入器則係生產重核粒子射線而設計，尚在籌建中。籌建分區加速器時選擇能量 200MeV，乃著眼於此一能量的質子射線，在人體的穿透性正好適合癌病放射治療之用。

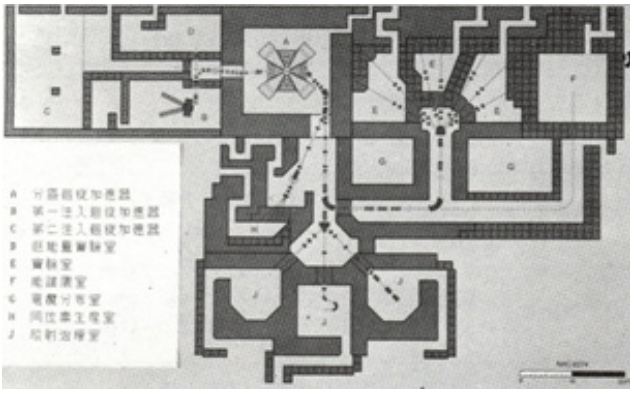
斐國分區式迴旋加速器，先前由該國科學家設計和安裝主體長、寬各 13 公尺，高 7 公尺。四個分區磁體共重 1400 噸，安裝精確度要求達 1/10mm，為了阻擋中子射線，保護工作人員，整部加速器安裝在 4 公尺厚的鋼筋水泥結構體中，整套設備占用三萬立方尺水泥，工程難度甚高，而其磁極組件以及大量的機械都由斐國自製，十分難得。（圖一至圖三是南非共和國國立加速器中心的建築外觀、廠房功能分布圖和分區迴旋加速器實驗室分布圖）。



圖一、南非共和國國立加速器中心建築外觀



圖二、南非共和國國立加速器中心廠房功能分布圖



圖三、分區迴旋加速器主體和實驗室分布圖

四、結語

世界先進國家已有很多部加速器，有些能量比南非分區迴旋加速器還高。但這一部加速器的可貴處，在達到此能量下，可同時生產通量高的輕核粒和重核粒射線。而且除了一部分組件需要向國外採購之外，全部設計、部分結構、全部安裝和維修都有斐國專家合作完成。當行政院和榮民總醫院分別籌建研究用和同位素生產用（無放射治療功能）兩部加速器時，斐國加速器中心的構想和作為、甚值得國人借鏡。（本文作者現任職於國防醫學院放射腫瘤科和榮民總醫院癌病治療中心）。

五、參考文獻

1. 陳光耀：參訪南非國立加速器中心。核能彙刊，24:35-38,1988 年（2 月），行政院原子能委員會（轉載）

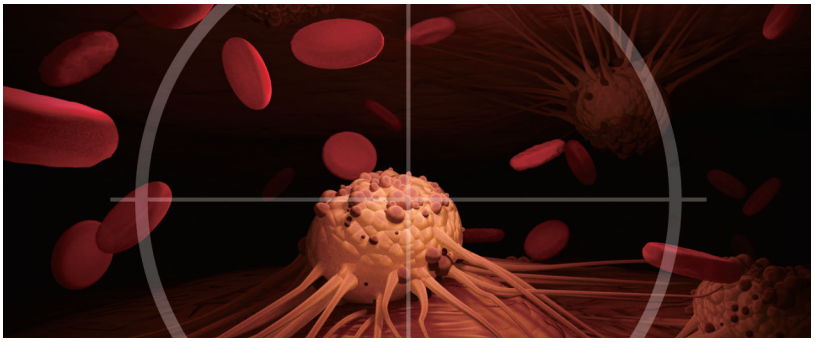
＜中華腫瘤醫學發展協會期刊＞ 2021 第三卷 第一期
發 行 人：陳光耀
副發行人：黃純昭
編　　輯：黃博宏
副編輯人：鄒友棠
通訊地址：11494 台北市內湖區行忠路 58 號 5 樓
聯絡電話：02-87917778 #5602
傳真電話：02-87917738
工 本 費：每期新台幣 150 元整
封面設計：中華腫瘤醫學發展協會編輯部
承 印 者：安芃彩色印刷有限公司
創刊日期：2019 年 11 月 16 日
出版日期：2021 年 12 月 1 日

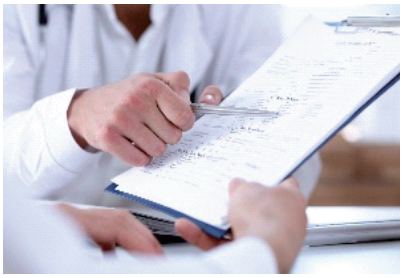
中華腫瘤醫學發展協會捐款專戶

匯款銀行：國泰世華銀行古亭分行

戶　　名：中華腫瘤醫學發展協會 陳光耀

帳　　號：030-03-501150-8











中華腫瘤醫學發展協會
Chinese Association of Oncology Development
會址：台北市11494內湖區行忠路58號
電話：02-87917778#5602

歡迎捐款助印