

出國報告（出國類別：開會）

參加第 62 屆國際粒子治療合作組織  
年度會議（62th Annual Conference of  
Particle Therapy Co-Operative Group）

服務機關：核能安全委員會

姓名職稱：簡于鈞技士

派赴國家：新加坡

出國期間：113 年 6 月 9 日至 113 年 6 月 16 日

報告日期：113 年 8 月 7 日

## 摘要

粒子治療乃是以質子、碳離子或其他種類的高能粒子作為能量載體的放射治療方式，有別於傳統放射治療以光子作為能量載體的作法。配合高能粒子的物理特性，可使執行粒子治療時，在沉積足夠能量於病灶的情況下，仍可確保病灶周邊正常組織或器官所受曝露不致過高，因此獲得放射治療界的青睞。直至今年 5 月為止，全球運轉中之粒子治療設施共計 133 座，另依據 2023 年的統計數據，全球接受粒子治療的病人已來到 41 萬人之譜，可見粒子治療在全球蓬勃發展之勢已不容小覷。回到國內，目前設有運轉中粒子治療設施之醫療院所共 5 間，另有 3 間醫療院所積極進行粒子治療設施的試運轉或建造作業。鑒於國內粒子治療設施之蓬勃發展，有必要透過參與粒子治療相關之國際會議，瞭解粒子治療設施的最新技術，藉此提前獲知本會未來需要面臨之挑戰，並依此擬定對策與措施。

本次奉派赴新加坡全程參與第 62 屆國際粒子治療合作組織( Particle Therapy Co-Operative Group, PTCOG ) 年度會議，包含教育課程與科學會議兩大部分，除由該會議的教育課程瞭解粒子治療的理論基礎，以及目前國際上粒子治療實務現況外，另透過科學會議，由著名專家學者及其他與會者在會議中的分享，窺見國際上有關粒子治療設施及其相關技術的最新研究與發展成果。本次年度會議並開放與會者至 2023 年正式運轉之吳清亮質子治療中心( Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre ) 參訪，實際瞭解最尖端粒子治療設施的運作方式。

經由參與本次會議，深刻認知粒子治療設施，已成為放射治療界的要角之一，且其技術的發展速度、涉及專業的廣度及深度等，亦有一日千里之勢。為持續精進審查應備知能、瞭解新技術發展及趨勢，期能繼續關注粒子治療設施相關國際動態，從而保障國內粒子治療設施之輻射安全。

# 目 錄

摘 要.....	i
目 錄.....	ii
壹、出國目的.....	1
貳、行程及會議議程.....	2
參、出國紀要.....	8
一、參加第 62 屆國際粒子治療合作組織年度會議(62 <sup>th</sup> Annual Conference of Particle Therapy Co-Operative Group).....	8
(一)、國際粒子治療合作組織簡介.....	8
(二)、粒子治療原理、發展及現況.....	9
(三)、教育課程 (Educational Session).....	12
(四)、科學會議 (Scientific Meeting).....	14
(五)、現場展示與電子壁報 (Exhibition and E-Poster Viewing).....	19
二、參訪吳清亮質子治療中心 (Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre) ...	21
肆、心得與建議.....	23

# 壹、出國目的

19 世紀末，德國科學家倫琴意外發現 X 射線，成為放射科學的濫觴。自此之後，對於放射線的應用亦逐步開枝散葉、分佈於不同領域，其中包含利用放射線為病人進行治療之放射治療（Radiotherapy）技術。早年多以能量較高的光子（Photon）將能量沉積於病灶處，從而達到殺滅病灶細胞與組織，達成治療之效果；但在此過程中，同時也會造成病灶周邊正常組織的曝露，從而造成傷害。因此，發展出改以帶有較高能量的粒子（如質子、碳離子或其他種類的粒子）作為能量載體的粒子治療（Particle Therapy）技術，利用其物理特性，達成在能量沉積於病灶的同時，降低正常組織的曝露，減少可能的傷害或副作用。

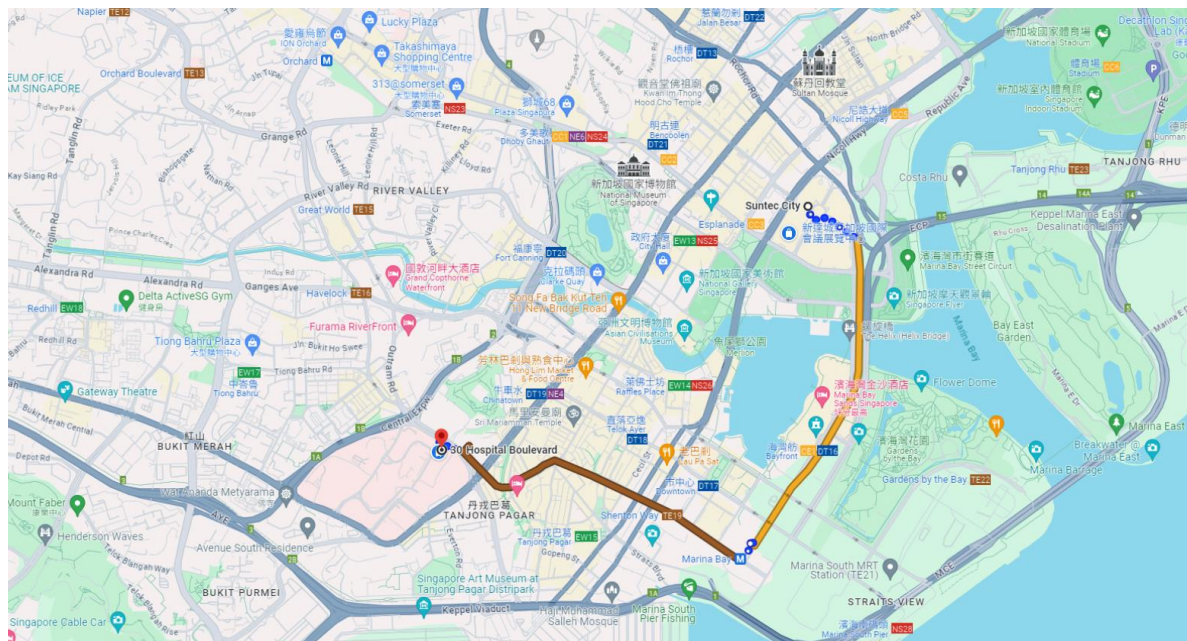
直至今日為止，國內設有運轉中粒子治療設施之醫療院所共 5 間（林口長庚醫院、高雄長庚醫院、台北醫學大學附設醫院、臺北榮民總醫院與中國醫藥大學附設醫院），另有 3 間醫療院所（台大癌醫中心醫院、彰化基督教醫院與臺中榮民總醫院）亦緊鑼密鼓地進行粒子治療設施的試運轉或建造作業，緊隨其後。可以預見在不久後的將來，粒子治療設施在本會職掌業務上的重要性勢將逐步提升。為此，透過參與和粒子治療相關之國際會議，藉此瞭解有關粒子治療設施的最新技術、事先探知本會未來可能面臨之議題和挑戰，實有其必要性。

職本次奉派至新加坡參加第 62 屆國際粒子治療合作組織年度會議（62<sup>th</sup> Annual Conference of Particle Therapy Co-Operative Group），由此會議獲知當今世界各國粒子治療技術之發展及應用，以此推估我國粒子治療未來可能發展之趨勢。於會議期間，主辦單位並安排與會者參訪吳清亮質子治療中心（Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre），令與會者明瞭現今新加坡粒子治療設施之應用狀況。以上會議期間獲得資訊，期可作為本會對國內粒子治療設施之管制作業及醫療曝露品質保證上之參考，以此精進本會對粒子治療設施之審查能力，從而提升對我國粒子治療設施內工作人員之保障，並增進就醫民眾之福祉。

## 貳、行程及會議議程

### (一) 出國行程

日期	地點	工作內容
113.06.09	台北、新加坡	路程：台北→新加坡
113.06.10~11	新加坡	參加第 62 屆國際粒子治療合作組織年度會議（教育訓練，Educational Session）
113.06.12~14	新加坡	參加第 62 屆國際粒子治療合作組織年度會議（科學會議，Scientific meeting）
113.06.15	新加坡	參訪吳清亮質子治療中心（Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre）
113.06.16	新加坡、台北	路程：新加坡→台北



## (二) 會議議程

本次會議於 6 月 10 日至 15 日舉行，其議程分為二大部分：教育課程 (Educational session) 及科學會議 (Scientific meeting)，教育課程於 6 月 10 日至 11 日舉辦，科學會議則於 6 月 12 日至 14 日舉行，其議程分別如教育計畫時程 (Educational Program Timetable) 及科學計畫時程 (Scientific Program Timetable) 所示，另於 6 月 15 日安排設施參訪 (Facility Tour) 行程。有關教育課程、科學會議及設施參訪內容，詳見「參、出國紀要」章節。



圖一、會議海報

## Educational Program Timetable

Educational Session	Plenary Session	Biology Session	Industry Symposium	Networking Event
PTCOG AO Program	Physics Session	Short Oral Poster Session	Clinics Session	Subcommittee Session

### Monday, 10 June

COMBINED SESSION	
<b>Hall Summit 1</b>	
8:30	Welcome & logistics
8:35	PTCOG overview - Opportunities
8:45	Rationale for particles
9:15	Physics of particle beams
9:45	Radiation biology: Fundamentals
10:15-10:45	Coffee Break
10:45	Selection criteria for particles
11:15	Understanding particle therapy technology for safe treatments
11:45	Radiation biology for proton therapy
12:15	Radiation biology for heavier particles
12:45-13:45	Break
13:45	Imaging and patient alignment technologies
14:15	Uncertainties (Physics)
14:45	Motion uncertainties and how to mitigate them
15:15	Modern proton treatment planning
15:45-16:15	Coffee Break
16:15	Base of skull
16:45	Pediatrics
17:15	Re-Irradiation
18:00	Educational Sessions Welcome Reception, Park Royal Collection Marina Bay

### Tuesday, 11 June

PHYSICS (parallel)		CLINICAL (parallel)		RTT (parallel)	
<b>Hall Summit 1</b>		<b>Hall Summit 2</b>		<b>Hall 331</b>	
8:00	Treatment planning dose calculation algorithms	8:00	Prostate	8:00	Immobilization and simulation (DECT)
8:30	Practical aspects of planning (angles, dose, comparisons)	8:30	CNS	8:30	Imaging verification
9:00	Machine & TPS commissioning	9:00	Liver	9:00	General anesthesia and other distraction methods in pediatric care
9:30	Periodic QA	9:30	Lymphoma	9:45	CSI treatments
10:00	Patient specific QA / patient efficiency	10:00	Breast		
10:30-11:00	Coffee Break				
11:00	Adaptive efficiencies	11:00	Lung/Chest	11:00	Treatment planning
11:30	CT and DECT commissioning for SPR calculation	11:30	Upper and lower GI	11:30	Proton therapy safety
12:00	Radiation protection, design & prevention	12:00	Head and neck	12:00	Interdisciplinary approaches
12:20	Educational Debate: ARC Therapy: Pro & con	12:30	Ophthalmic treatments	12:30	Proton workflow efficiencies
13:00-14:00	Break				Room 332 13:00-15:00 Executive Committee Meeting (by invitation only)
14:00	BNCT Primer			14:00	PTCOG-AO Program Opening
14:30	FLASH Primer			14:20	Particle therapy for predominant cancers in Asia
15:00	Spatial fractionation			15:40-16:00	Coffee Break
15:30-16:00	Coffee Break			16:00	How to disseminate clinical evidence of particle therapy from Asia-Oceania?
16:00	Particle therapy development in Singapore				
16:30	PT translational research and future directions (physics)				
17:00	PT translational research and future directions (radiobiology) and future proton therapy research / methods to optimize data generation				
17:30	Scientific Meeting Welcome Reception & Exhibition Opening, Exhibition Area				

圖二、教育計畫時程 (Educational Program Timetable)

## Scientific Program Timetable

Educational Session	Plenary Session	Biology Session	Industry Symposium	Networking Event
PTCOGAO Program	Physics Session	Short Oral Poster Session	Clinics Session	Subcommittee Session

## Wednesday, 12 June

	Hall 406A	Hall 406B	Hall Summit 1	Hall Summit 2	Hall 330	Room 332
08:15-08:30	Welcome Session					
08:30-09:15	Treatment planning applications	Subcommittee 01: BNCT	Challenging clinical scenario and combining particle therapy with novel systemic therapy	Beam delivery	Subcommittee 02: Pediatrics	
09:15-09:45	Coffee Break, Exhibition, E-Poster Viewing & Short Oral Poster Sessions					
	Parallel Short Oral Poster Sessions in Exhibition Area					
	Station 01: Treatment planning	Station 02: Challenging clinical scenario, adaptive particle therapy and combining particle therapy with novel systemic therapy	Station 03: Integrating biology			
09:45-10:30	QA - dosimetry	Subcommittee 03: Thoracic	General clinical results and patient reported outcome - Gastrointestinal and Genito-urinary	Subcommittee 04: Radiobiology	Subcommittee 05: Head and neck	
10:30-10:45	Short Break					
10:45-11:30	QA - Planning and delivery	Subcommittee 06: Treatment efficiency	Comparative effectiveness and cost-effectiveness analysis	Biological advantages of CPRT vs XRT	Subcommittee 07: Breast	
11:30-12:45	Break, Exhibition & E-Poster Viewing	11:45-12:35 Industry Symposium (Not Included in The Main Event CME/CPD Credits)				11:30-12:30 ECR Mentor Networking Lunch (by invitation only)
12:45-13:00	Welcome Address					
13:00-13:30	Keynote Lecture					
13:30-14:15	Plenary 01 - Particle therapy real world evidence: Multi-institutional registries: strengths, weaknesses, and challenges					
14:15-14:45	Coffee Break, Exhibition, E-Poster Viewing & Short Oral Poster Sessions					
	Parallel Short Oral Poster Sessions in Exhibition Area					
	Station 01: Ultra high dose rate	Station 02: General clinical results and patient reported outcome - Head and neck	Station 03: New approaches			
14:45-15:30	MR Guidance and spatial fractionation	Subcommittee 08: Ocular	LET and variable RBE based particle therapy Part 1	Optimization and ARC therapy	Subcommittee 09: Gynecological	
15:30-15:45	Short Break					
15:45-16:30	Plenary 02: Particle therapy for Head/Neck Cancer					
16:30-17:15	Outcome analysis	Subcommittee 10: Early Career Researchers	General clinical results and patient reported outcome - Head and neck	BNCT dosimetry and physics (joint physics and biology session)	Subcommittee 11: Lymphoma	
17:15-18:00	Heavier ions - Physics	Subcommittee 12: Skull Base / CNS / Sarcoma	Novel treatment strategies using particle therapy	BNCT Biology	Subcommittee 13: Patient relations	

圖三、6月12日之科學計畫時程 (Scientific Program Timetable)



## Scientific Program Timetable

Educational Session	Plenary Session	Biology Session	Industry Symposium	Networking Event
PTCOGAO Program	Physics Session	Short Oral Poster Session	Clinics Session	Subcommittee Session

## Thursday, 13 June

	Hall 406A	Hall 406B	Hall Summit 1	Hall Summit 2	Hall 330	Room 332
08:00-08:45	Plenary 03: LET optimization					
08:45-09:00	Short Break					
09:00-09:45	Dosimetry	CT imaging and contouring	Particle therapy based Stereotactic radiotherapy, hypo-fractionated radiation and reirradiation	Targeting agents with CRPT	Subcommittee 14: Publications	
09:45-10:15	Coffee Break, Exhibition, E-Poster Viewing & Short Oral Poster Sessions					
	Parallel Short Oral Poster Sessions in Exhibition Area					
	Station 01: Advances in treatment planning	Station 02: General clinical results and patient reported outcome - Gastrointestinal and Breast	Station 03: Flash (biology)			
10:15-11:00	Flash Physics	AI for dose calculation	General clinical results and patient reported outcome - Pediatrics	Integrating biology in modelling biological effects and treatment planning	Subcommittee 15: Educational	
11:00-11:15	Short Break					
11:15-12:00	Plenary 04: Combined modality plenary session: combining particle therapy with immunotherapy					
12:00-13:15	Break, Exhibition & E-Poster Viewing		12:10-12:40 Industry Symposium (Not Included in The Main Event CME/CPD Credits)		12:15-14:00 Steering Committee (by invitation only)	12:00-13:00 ECR Mentor Networking Lunch (by invitation only)
13:15-14:00	Dosimetry for ultra high dose rate		Clinical implementation of adaptive particle therapy	Immuno-modulation and biologic consequences for CRPT		
14:00-14:15	Short Break					
14:15-15:00	Plenary 05: ECR - Open-source thinking: The future of data sharing for medical research					14:00-16:00 Topas Q&A (by invitation only)
15:00-15:30	Coffee Break, Exhibition, E-Poster Viewing & Short Oral Poster Sessions					
	Parallel Short Oral Poster Sessions in Exhibition Area					
	Station 01: Motion and adaptive	Station 02: General clinical results and patient reported outcome - General	Station 03: Advances in dosimetry			
15:30-16:15	Plenary 06: Particle therapy for abdominal cancers					
16:15-16:30	Short Break					
16:30-17:15	General Assembly					
17:15-18:00	Wilson Award Lecture: Certainly uncertain or uncertainly certain? The robustness paradox					17:20-19:00 PTCOG-AO Steering Committee (by invitation only)
19:30	PTCOG 62 Networking Event & Awards at Fullerton Bay Hotel - Clifford Pier					

圖四、6月13日之科學計畫時程 (Scientific Program Timetable)

## Scientific Program Timetable

Educational Session	Plenary Session	Biology Session	Industry Symposium	Networking Event
PTCOGAO Program	Physics Session	Short Oral Poster Session	Clinics Session	Subcommittee Session

## Friday, 14 June

	Hall 406A	Hall 406B	Hall Summit 1	Hall Summit 2
08:15-09:15	Plenary 07: Applications of AI			
09:15-09:30	Short Break			
09:30-10:15	FLASH planning and biological optimization	Subcommittee 16: Imaging	Long-term complications and image changes after particle therapy	Subcommittee 17: Genitourinary GU
10:15-10:45	Coffee Break, Exhibition, E-Poster Viewing & Short Oral Poster Sessions			
	Parallel Short Oral Poster Sessions in Exhibition Area			
	Station 01: Range verification	Station 02: Particle therapy-based stereotactic radiotherapy and hypofractionated radiotherapy	Station 03: Bio / Indicators / Combined	
10:45-11:30	Range verification and functional imaging	Microdosimetry	General clinical results and patient reported outcome - Central Nervous System	FLASH and minibeam biology
11:30-11:45	Short Break			
11:45-12:45	Plenary 08: Clinical panel discussion: Particle therapy to spare the heart			
12:45-13:45	Break, Exhibition & E-Poster Viewing			Room 332 12:45-13:45 Executive Committee Meeting (by invitation only)
13:45-14:45	Subcommittee Presentations Plenary -Educational -Head & Neck -Pediatric -Thoracic -Treatment Efficiency -ECR			
14:45-15:00	Short Break			
15:00-15:45	Motion management	Subcommittee 18: Beam delivery	LET and variable RBE based particle therapy Part 2	Bioindicators of CRPT
15:45-16:15	Coffee Break, Exhibition, E-Poster Viewing & Short Oral Poster Sessions			
	Parallel Short Oral Poster Sessions in Exhibition Area			
	Station 01: Dosimetry and TPS verification	Station 02: Novel technologies and challenging cases	Station 03: Imaging	
16:15-17:00	Adaptive radiotherapy	Subcommittee 19: GI	General clinical results and patient reported outcome - General	Innovations in imaging
17:00-17:15	Short Break			
17:15-18:00			Plenary 09: Advances in particle therapy image guidance	
18:00-18:30			Closing Session	

## Facility Tour Saturday, 15 June

Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre (slots between 08:30-14:00)  
30 Hospital Boulevard, Singapore 168583

圖五、6月14日之科學計畫時程 (Scientific Program Timetable) 及6月15日之設施參訪 (Facility Tour) 時程

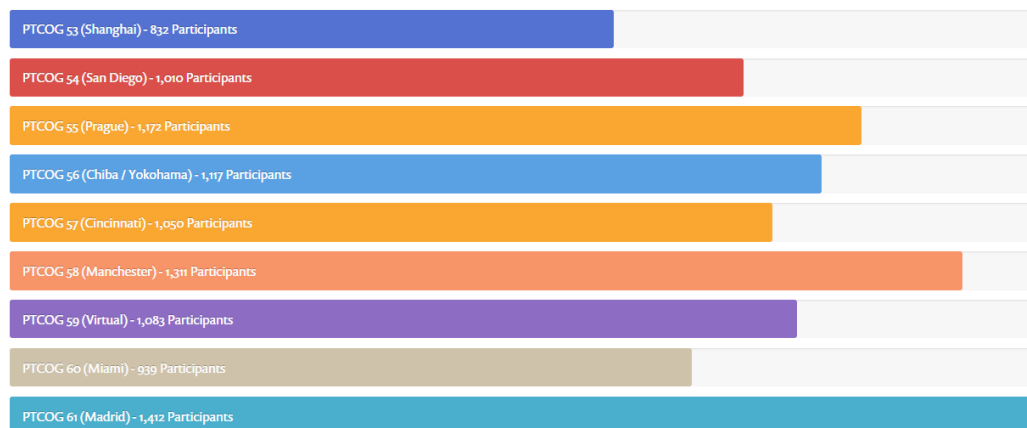
## 參、出國紀要

### 一、參加第 62 屆國際粒子治療合作組織年度會議(62<sup>th</sup> Annual Conference of Particle Therapy Co-Operative Group)

#### (一)、國際粒子治療合作組織簡介

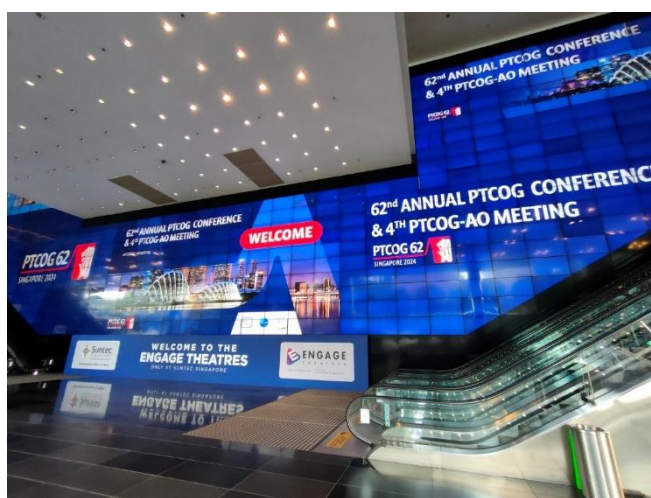
國際粒子治療合作組織(Particle Therapy Co-Operative Group, PTCOG)於 1985 年成立，是由眾多致力於研究質子、輕離子及重荷電粒子在放射治療上應用的專家學者們組成的國際性非營利獨立組織。其主要任務為促進、提倡粒子治療在科學、技術及臨床的應用，並致力提升粒子治療在癌症治療上的成效。該組織鼓勵與粒子治療相關的繼續教育與全球性活動。該組織亦定期舉辦國際性的學術活動，包括教育課程 (Educational sessions) 和科學會議 (Scientific meeting)。其中，年度會議為該組織所舉辦最大規模的定期性國際會議，歷年的年度會議除第 59 屆因嚴重特殊傳染性肺炎 (COVID-19) 疫情改以虛擬 (Virtual) 方式舉辦外，餘舉辦地點廣布歐、美、亞各大城市，且依 PTCOG 提供數據，自第 53 屆起年度會議之參加人數即維持成長之趨勢，並於前 (61) 屆來到高峰。

PTCOG Attendance over the years



圖六、歷年 PTCOG 年度會議參加人數 (摘自 PTCOG 第 62 屆會議官網)

職奉派參加第 62 屆 PTCOG 年度會議，本次會議由職全程參與，包含教育課程及科學會議，於 2024 年 6 月 10 日至 6 月 14 日假新達城新加坡國際會議展覽中心（Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre）舉辦。教育課程主要對粒子治療的基礎知識進行介紹，包含其理論基礎、物理學、放射生物學等，另對當今的臨床應用與治療技術進行說明，並同步探討近期新興粒子治療技術的原理與發展；科學會議則是提供各國粒子治療設施或相關機構的研究者提出研究成果的平台，在此會議中將由各國研究者於會議當中提出粒子治療技術最新的研究及發展資訊，並由與會者於會議中直接與研究者進行探討。



圖七、本次年度會議於新達城新加坡國際會議展覽中心入口處之廣告屏幕一景

本屆之會議以「協同與合作（Synergy through Collaboration）」為主軸，主要描述當今之粒子治療技術，已不再侷限於單一學門，而是由不同專業領域相互協作產生的結果。於本次會議行程的最後一日（6 月 15 日），主辦單位安排與會者至吳清亮質子治療中心（Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre）進行參訪。此次會議內容與參訪紀要如後。

## (二)、粒子治療原理、發展及現況

放射治療技術，在癌症治療的領域中，提供癌症患者外科手術以外的另一選擇。因其非侵入的性質，為患者免除了手術中及手術後因創口導致的諸多問題，除降低治療後復原的生理壓力外，亦同時減輕對患者與其家屬心理上的壓力。並且，部分外科手術無法觸及之病灶，亦有可能由放射治療提供可行治療方案。是

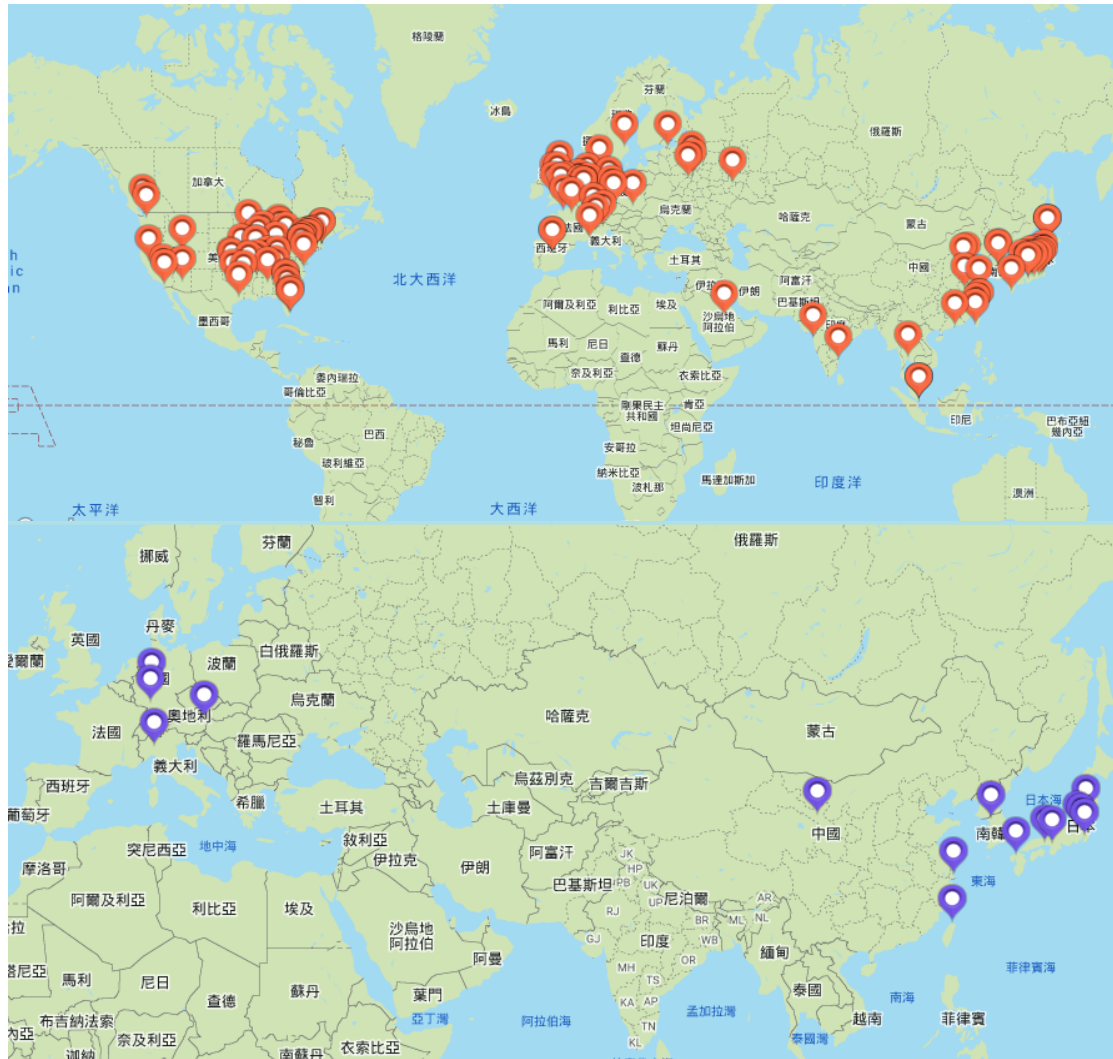
以，臨床上的癌症治療中，放射治療已是不可或缺的要角。

傳統上，放射治療是以高能光子作為能量沉積的載體。其理論經過臨床實務上的不斷嘗試及創新，已臻於成熟之境，惟高能光子在能量沉積上的物理性質，導致正常組織的能量沉積仍無法以現有技術完全免除，使得患者接受高能光子放射治療後，仍須面臨副作用之風險。為此，粒子在物質中的能量沉積有別於高能光子，使其在免除正常組織的能量沉積上有極大優勢。

粒子治療的粒子源相當多樣，質子、中子、輕離子和重荷電粒子等，均有應用於粒子治療的潛力，更甚者已於臨床實際應用。有關粒子治療的優勢，主要來自於下列物理性質：

- (1) 高能粒子在其射程末端處的能量轉移（Energy transfer）遠高於入射物質表面處，並在射程末端將所帶能量幾乎轉移殆盡，此一現象稱作布拉格峰（Bragg Peak）。利用此一特點治療病灶，可在病灶接受足夠能量的情況下，令病灶周邊正常組織所受能量有效降低，減少後續效應（如副作用）之產生。
- (2) 相同能量的粒子，其布拉格峰將出現在相同的射程，此一特點可使多次照射時，將能量沉積於固定位置，使得能量沉積的空間分布較易預測。
- (3) 粒子在前進時，其在物質內的路徑與輕荷電粒子（如電子）相較之下接近直線，較少出現偏折。此一特點進一步增加能量沉積的可預測性，令治療病灶時的邊緣較為分明，因此有治療距離敏感器官較近病灶的潛力，而不致損害周圍敏感器官之功能。

粒子治療的上述性質，為研究者提供探討實際應用於臨床作業可能性的誘因，也因為如此，自上世紀開始，粒子治療技術急遽發展，應用於臨床治療之案例也隨之增加，使得全球粒子治療設施也如雨後春筍般紛紛完成建造、開始收治病入。依 PTCOG 提供的統計數據，直至今今年 5 月為止，全球運轉中之粒子治療設施共計 133 座，其於世界各地之分布情況如圖二。另依據 2023 年的統計數據，全球接受粒子治療的病人已來到 411,421 位，其中接受質子（Proton）治療之病人約占 85.1%，次之則為碳離子（Carbon ion），約占 14.0%。由此可確實感受到粒子治療在各國的發展與增長。



圖八、全球運轉中粒子治療設施分布(紅：質子治療設施；紫：碳離子治療設施)

依全球粒子治療設施的設置現況，可見粒子治療的優點已漸為人所知，然而，人們並不因此滿足，仍持續提出新的研究成果並付諸實行，以最大化粒子治療的優勢，並追求受治療病患的治療成效與生活品質。為此，必須瞭解在粒子治療的整個過程，涉及的專業領域遠比想像中來得廣泛，而各領域對整個治療過程中的貢獻，也非自掃門前雪，而是環環相扣、相互影響的。是以，本次會議主軸強調各專業領域在粒子治療過程中的協作，邀請各領域的專家學者就自身研究成果及經驗，以此會議為平台向各與會者分享、交流，藉以提升粒子治療的整體水平。

### (三)、教育課程 (Educational Session)

本屆 PTCOG 年度會議之教育課程於 6 月 10 日至 11 日舉辦。該教育課程之目的為令與會者對粒子治療有基本的認識，並瞭解目前國際上粒子治療的現況，包含目前粒子治療方式的種類、性質，以及當今粒子治療在臨床上的適應症或適用範圍。



圖九、教育課程現場一景

第一日（6 月 10 日）的教育課程內容，主要著重在粒子治療的理論，包含粒子及粒子束的物理特性與其產生方式、粒子束照射於生物體產生的生物效應及其量化方法、當今主要使用粒子種類（質子與碳離子）在生物效應上的差異等。另外，除了粒子束本身的物理性質對粒子治療的影響外，當日之教育課程亦將觸角延伸至治療過程中的其他物理應用，例如治療過程中的造影技術、病患的擺位技術、病灶位置的移動、治療計畫的擬定，以及前述技術帶來的不確定性對治療成效的可能影響。餘下的時間，會議主辦方則安排與臨床應用相關的主題，包含粒子治療在顱底（Base of Skull）、小兒（Pediatric）以及再照射（Re-irradiation）的適用情境及應用現況。

第二日（6 月 11 日）上午的教育課程內容，主要分為治療物理（Physics）、臨床應用（Clinic）及放射治療技術（Radiotherapy technique）三大領域，各領域之課程以並行（parallel）方式舉辦，於同一時間內，在不同場所分別進行不同領域之課程。職本次主要參與和本會業務相關性較高之治療物理領域。在此領

域之課程中，介紹了現今粒子治療計畫的演算法、實務上可能影響治療計畫系統結果的因素，並就粒子治療設施的硬體、治療計畫系統、病患治療計畫執行成效的品質保證（Quality assurance）規範進行說明，對電腦斷層（Computed tomography）影像資訊轉換為阻止本領（Stopping power ratio）的穩定性校驗方法，在課程中亦有說明。課程中也提及粒子治療設施在輻射防護上的規劃與管制標準，以及對弧形治療（ARC therapy）的介紹與未來展望。

第二日下午的教育課程，則以新興的粒子治療技術為主題，包含硼中子捕獲治療（Boron Neutron Capture Therapy）、FLASH 放射治療以及空間分次放射治療（Spatially fractionated radiotherapy）等技術的概念進行介紹。另外，本次會議地點為新加坡，故在教育課程中，安排一部分時間介紹新加坡當地的粒子治療設施現況，與設施的計劃、建造過程及營運情形。

目前新加坡境內共設有三座粒子治療設施，其粒子源均為質子，分別由新加坡國立大學癌症研究所（National University Cancer Institute, Singapore）、伊莉莎白諾維娜醫院（Mount Elizabeth Novena Hospital）以及新加坡綜合醫院（Singapore General Hospital）運營。本次會議由主辦方帶領與會者參訪新加坡綜合醫院所屬新加坡國家癌症治療中心（National Cancer Centre Singapore），下有吳清亮質子治療中心（Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre）運營中，有關該設施介紹如後章節所述。



圖十、新加坡境內設有粒子治療設施之醫療機構位置分布（橘色：新加坡國立大學癌症研究所，藍色：伊莉莎白諾維娜醫院，綠色：新加坡綜合醫院）



## (四)、科學會議（Scientific Meeting）

本屆 PTCOG 年度會議的科學會議，於 6 月 12 日至 6 月 14 日舉行。對各國的醫療院所、研究機構及其他部門的與會者而言，科學會議將是一個可供其分享有關粒子治療臨床及研究成果的平台。本屆科學會議安排全體會議（Plenary session）的議程，除向與會者介紹 PTCOG 過去的實績、現今執行中的任務及未來展望外，亦邀請世界著名的多位專家學者擔綱進行專題演講，就當今粒子治療相關的主題進行深度探討，並開放與會者提問、討論及交流。



圖十一、科學會議現場一景

除了全體會議外，本次會議亦以並行會議（Parallel session）方式，將主題拆分為三個面向：物理（Physics）、臨床（Clinics）以及生物（Biology），對與會者欲分享的成果進行分類，並由與會者依其成果所屬面向親自至會場進行摘要式的發表與分享，每位與會者分配到的時間不超過 10 分鐘，而不同面向的成果發表及分享將於同一時間進行。考量奉派與會之人力有限，難以同時參與全部面向的並行會議，故就並行會議部分，本次選擇以業務相關性較高的物理面向為主要參與對象。

本次科學會議，不管是全體會議還是並行會議，其呈現內容均與本次會議的主軸：「協同與合作」扣合。不管是不同機構間的相互合作與臨床數據交換、不同模組（Model）間在粒子治療過程中的分工，甚或新技術與現有技術間的揉合，均不斷穿插出現在全體會議與並行會議的內容當中。顯見粒子治療的生態，

已漸漸由專一、寡占領域主導的方式，轉變為多種不同專業領域經過相互融合後的結果。也因為如此，本次科學會議中，由與會者分享的內容多樣且豐富，難以將其以一明確的主軸概括表示，不僅對劑量學與微劑量學（Dosimetry and micro dosimetry）、治療計畫（Treatment planning）與其執行結果（delivery）、射束輸出（Beam delivery）、動作校正（Motion management）、射程確認（Range verification）、電腦斷層造影及治療範圍描繪（CT imaging and contouring）等現行粒子治療技術及相關理論的驗證與改良方法進行討論，更對新興的粒子治療技術與概念進行探討，如：重離子（Heavier ions）治療、超高劑量率（Ultra high dose rate）放射治療、適應性放射治療（Adaptive radiotherapy）、人工智能（Artificial intelligence）的應用、造影技術的革新（Innovation in imaging）等。以下就本次科學會議中有關新興粒子治療技術的內容進行摘要：

## (1) 重離子（Heavier ions）治療

誠如先前所述，目前國際上的粒子治療設施，其粒子源以質子為最大宗，次之則為碳離子，實際接受粒子治療的病患亦多以前述二種粒子源進行治療。在粒子治療發展的早期，質子便已被當時的專家學者青睞，而後的臨床實務上亦以質子為主要粒子源，故在粒子治療中，有關質子治療的數據較為充足，以往尚未解明的特性也隨時間逐步解明。在此基礎下，較其他類型的粒子源成熟、穩定，乃是質子相較於其他類型粒子源的優點。

碳離子的發展較質子為晚，雖然對其特性的掌握尚不如質子來得清楚，但在理論基礎上，因其質量較質子為大、攜帶電荷也較質子為高，故其線性能量轉移（Linear energy transfer）隨其在物質中行進的深度變化會較質子的變化更為劇烈，布拉格峰（Bragg peak）也較質子為窄，代表在理想狀態下，碳離子的能量沉積在空間中的分布可以比質子更加集中，有利於提升粒子治療時的精準度。另考量組織中含氧量對輻射生物效應的關係，因為線性能量轉移較高的特性，其對組織的生物效應相較質子來說，不易受到組織中氧含量的影響，有利於提升治療效果的穩定性。

然而，質子與碳離子，並非粒子治療的唯二解答。目前已有專家學者對有別於碳離子的粒子源（尤其是重離子）進行研究，探討其是否可用於粒子治療，並開發混合多種離子源的單一離子束，確認其物理特性，以此開發有別於常規質子或碳離子的治療方式。會議中有與會者嘗試將氦離子、氧離子作為粒子治療的粒子源，因為其物理特性與現行粒子源不同，可在同一治療案例中，綜合各粒子源所長，結合使用多種粒子源，以達到治療成效最佳化的目的。另外，為追蹤粒子在組織中的實際停留位置是否符合預期，有與會者將常規的碳離子以碳-11 的離子取代，因碳-11 為放射性同位素，自身具備透過衰變與物質作用、產出光子的特性，可對受治療部分進行正子斷層造影（Positron emission tomography），藉此確認治療位置的準確度，以及是否符合預期。

## (2) 超高劑量率（Ultra high dose rate）放射治療

超高劑量率放射治療，又稱 FLASH 放射治療，相較於傳統的放射治療，其在給予劑量時以極高的劑量率（可達每秒 100 戈雷）以及極短的照射時間（可短至 100 毫秒）為特色。目前已觀察到相較於傳統的放射治療，使用超高劑量率放射治療技術，可在不降低病灶或腫瘤治療效果的情形下，減少對周邊受曝露正常組織的傷害及副作用，其背後的機制尚在釐清中。雖此一治療方式最初並非由粒子治療所發展出來，但此概念仍適用於粒子治療。

超高劑量率放射治療具備有極高劑量率及極短照射時間的特性，故對於其劑量給予的準確度及穩定度，必須有更加嚴格的要求。然而，其極高劑量率及極短的照射時間，除了對粒子治療設施的硬體有極高的要求外，對用於確認其準確度及穩定度的儀器與設備來說，亦是一大挑戰，因用於一般放射治療用之儀器與設備，無法應付高劑量率及極短照射時間所衍生出對劑量依存性與時間解析度的需求。故在會議中，與會者分別發表以不同的偵檢原理（如游離腔、半導體、閃爍體等），重新設計適用於超高劑量率粒子治療情境下的儀器與設備，並以實驗方式驗證該設計在此情境下的準確性與穩定性。

### (3) 適應性放射治療 ( Adaptive radiotherapy )

依照粒子治療的流程，當擬訂完治療計畫後，粒子治療設施內的醫事人員即依照治療計畫對病患欲治療部位進行粒子束的照射，給予病灶劑量。在理想的狀況下，病患每次治療時的情況，包含解剖構造、生理狀態等，都被認定為是相同而不會改變的。但事實是，隨著治療計畫的執行，病患每次接受治療後的生理狀態或解剖構造，極有可能因為粒子治療本身而改變。更甚者，每次執行治療時，用於進行擺位的輔具，也有可能是導致粒子治療與原訂治療計畫出現差異的來源。

為了因應上述的變動，造成治療計畫與實際狀況出現差距的情形，由專家學者提出適應性放射治療的概念。此一概念乃是透過一定的程序，於既定的頻率或在符合特定的情況下，對實際治療的狀況進行確認、瞭解與原定治療計畫條件之間的差異，並對原定治療計畫進行調整，以此彌補因為此差異造成治療的不準確性。然而，前述流程的建立必須考量的因素相當複雜，需要極為大量的臨床數據作為基礎，對不同的適應症、不同粒子治療設施的硬體規格等因素，皆應納入考量。本次會議中，有與會者專門針對特定適應症擬訂策略進行適應性放射治療，並回顧執行此策略後之成效。也有與會者以錐形射束電腦斷層 ( Cone beam computed tomography ) 為基礎，以線上 ( online ) 方式執行適應性放射治療。更有與會者收集不同粒子治療設施對特定適應症的適應性放射治療程序，並比較採取不同程序帶來的效益。

### (4) 人工智能 ( Artificial intelligence ) 的應用

與傳統的放射治療相同，粒子治療也必須經歷擬定治療計畫的過程，因治療的目標在於給予病灶足夠劑量的同時，盡可能降低周邊正常組織及危及器官 ( Organ at risk ) 的劑量。為此，在擬定治療計畫的時候，對治療器官描繪 ( Contouring )、劑量預測 ( Dose calculation ) 與計畫的最佳化 ( Planning optimization )，將決定治療計畫系統對治療範圍內的空間劑量分布的預測，直接影響後續治療的成效。過往臨床上在擬定治療計畫時，多仰賴人員自行透過已有的影像資訊 ( 如

電腦斷層影像等) 進行治療範圍的描繪, 除耗費人力、時間外, 若由不同對象進行描繪作業, 可能導致對治療計畫擬定有不一致的狀況; 對於劑量預測來說, 現行最準確的方式, 乃是使用蒙地卡羅 (Monte-Carlo) 模擬進行, 雖準確性毋庸置疑, 但也有耗時過長、對演算資源需求過高的缺點。對此, 有專家學者引入人工智能和深度學習 (Deep learning) 的概念, 在進行治療範圍的描繪時, 透過參考過往擬定的治療計畫, 將其作為深度學習的訓練資料, 訓練人工智能對治療範圍進行描繪, 進行降低耗費在描繪治療範圍上所需的人力及時間成本。對劑量預測部分, 則由人工智能對劑量的空間分布進行預測, 解決蒙地卡羅方法在耗時及演算資源上的短板。更甚至, 對已擬定的治療計畫, 可由人工智能執行最佳化, 提升既有治療計畫的品質。

現行粒子治療中, 有關治療範圍描繪的部分, 已有廠商研發出導入人工智能的商業用軟體, 且可靠度也陸續獲得實證。至於將人工智能應用於劑量預測部分, 目前已有研究者於期刊上發表在使用質子射束的情況下, 以人工智能方式進行劑量預測, 就其準確性及耗費時間上取得令人滿意的成果。本次會議中, 有關人工智能應用的內容, 主要著重在劑量預測的部分。有與會者嘗試將觸角延伸至碳離子的劑量預測, 亦有研究者試圖以人工智能發展的劑量預測模型導入現有治療計畫系統, 以貼合臨床上的需要。

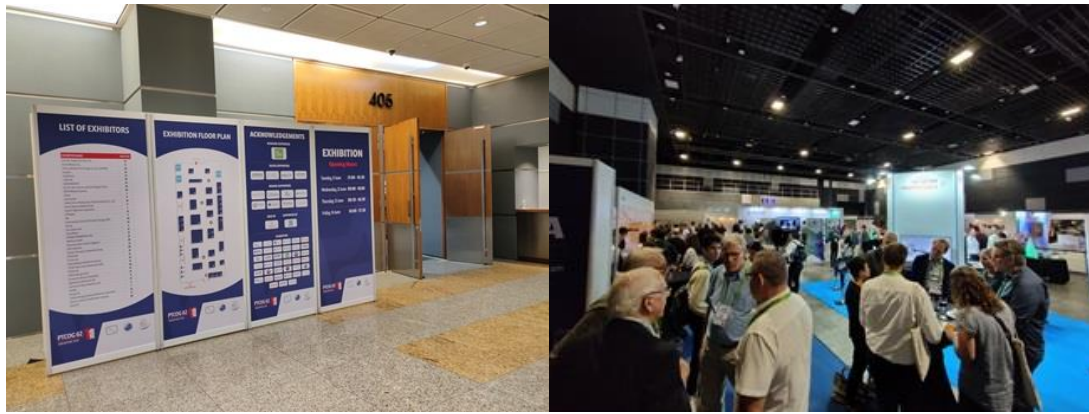
## (5) 造影技術的革新 (Innovation in imaging)

不管是治療計畫的擬定, 或是後續採取影像導引 (Image guided)、適應性放射治療等作業, 均需要以臨床上可取得的影像為依歸。以往執行治療時, 前述作業所需的影像幾乎是以 X 光影像為基礎, 例如: 二維的正交 (orthogonal) 影像、錐形射束 (Cone beam) 電腦斷層、扇形 (Fan beam) 射束電腦斷層掃描儀等。然而, 隨著造影技術的發展, 有愈來愈多的造影技術相繼問世, 且既有造影技術也因應粒子治療的需求而發展出衍生性的產品。不同的造影技術有各自擅長的領域, 能提供的資訊也有所不同。如何將不同的造影技術引入粒子治療, 彼此截長補短, 進而提升粒子治療的成效, 已成為粒子治療未來發展的其中一個課題。

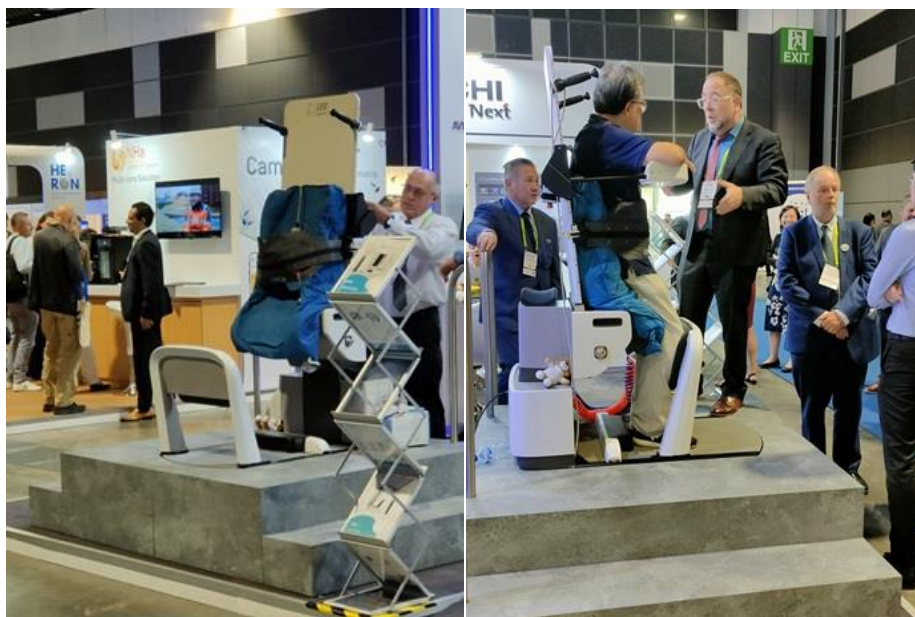
本次會議中，有與會者提出將二維的正交影像及錐形射束電腦斷層影像進行合成 (Synthesizing)，因二維的正交影像與錐形射束電腦斷層影像均可用於確認病患完成擺位後的狀況，但前者為二維影像、可獲得資訊有限；後者可獲得三維影像資訊，但病患所受曝露將顯著提升，故透過影像合成技術，將二維的正交影像合成為虛擬的三維影像，藉此解決影像資訊不足及病患所受曝露難以兩全的問題。另外，亦有與會者開發以粒子束為訊號源的造影技術，藉由測量穿透物質的質子或碳離子，產生可用於粒子治療的影像，因用於造影的訊號源與治療所使用的粒子種類相同，可避免因為 X 光影像資訊轉換至可用於粒子治療資訊過程中產生的不確定性。

## (五)、現場展示與電子壁報 (Exhibition and E-Poster Viewing)

如前所述，本屆 PTCOG 年度會議在新加坡國際會議展覽中心舉辦，該會議展覽中心除提供會議所需空間外，亦有廣大的展場可供現場展示之用。故本次年度會議期間，除了教育課程與科學會議外，另有廠商至該中心的展場進駐、設攤，向與會者提供粒子治療相關的設備、儀器及解決方案資訊，供與會者參考、利用。其中，有廠商以現場展示的方式，將其產品之實體移至展場，和與會者介紹、說明產品用途，並開放與會者以實際體驗的方式，嘗試操作該產品。有別於傳統上執行粒子治療時，以移動噴嘴 (Nozzle) 方式調整粒子束照射位置的概念，該產品改以移動、旋轉病患本身的方式達成同樣目的 (如圖七)。因病患本身的質量遠小於粒子治療設施的零組件，可較為快速地更換粒子束的照射位置，也降低粒子治療設施的設計成本，更可減少因為設施零組件的移動，為粒子束輸出帶來的不確定性。



圖十二、現場展示一景



圖十三、實體展品之展示與體驗（用以移動、旋轉病患所使用之輔具）

另外，除了由廠商進駐展場的展示活動外，展場亦在定點設置多個電子壁報的展示屏。在展場開放期間，與會者可隨時至該展示屏自行搜尋、瀏覽本次經同意展出，由各與會者發表的電子壁報內容。在科學會議的全體會議及並行會議舉行的空檔，會議的主辦方也安排以定時、定點的方式，由電子壁報的發表者於各展示屏對與會者說明本次發表於年度會議的電子壁報內容，同時開放與會者就其發表內容進行提問。



圖十四、電子壁報發表一景

## 二、參訪吳清亮質子治療中心(Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre)

本次年度會議的最後一日(6月15日)，由會議主辦方安排至新加坡國家癌症治療中心(National Cancer Centre Singapore)的吳清亮質子治療中心(Goh Cheng Liang Proton Therapy Centre)進行參訪。該設施於2006年開始著手規劃，於2012年經新加坡的衛生部(Ministry of Health)核准設立後開始建造，期間一度因嚴重特殊傳染性肺炎(COVID-19)疫情而停止建造，最終於2023年6月27日完工，進入正式運轉。



圖十五、吳清亮質子治療中心參訪活動一景



該設施由日本的日立(Hitachi)公司提供技術興建，以質子為主要的粒子源，將離子源經由直線加速器 (Linear accelerator) 加速至足夠能量後，引入同步加速器 (Synchrotron) 作進一步的加速，其可用的粒子能量範圍自 70 至 230 百萬電子伏 (MeV)，速度最快可達光速的百分之六十，並將射束導出，由高能射束傳輸系統 (High energy beam transport) 傳送至各治療室，為受治療病患進行治療。該設施設置時場址位置即與新加坡國家癌症治療中心進行整合，故接受治療病患可以一站式 (One-stop) 的方式接受完整的照護，包含腫瘤內科、腫瘤外科、放射腫瘤科、腫瘤影像科的就診資源及兒科癌症的護理與復健等。

該設施共配置 4 間旋轉機架 (Rotation gantry) 治療室與 1 間固定射束 (Fixed beam) 治療室。所有的旋轉機架治療室均具備 360 度調整粒子束輸出角度的能力、配有 6 個自由度 (Degree of freedom) 的治療床，並設有正交 X 光影像系統及錐形射束電腦斷層系統各 1 套。固定式射束治療室則是配有 6 個自由度的治療床及正交 X 光影像系統各一。另外，該設施的並設有下列系統，藉以提升治療時的品質及效率：

- 即時影像導引|粒子治療系統 (Real-time image guided particle therapy)，以影像即時追蹤治療過程中病灶的位移，同步修正粒子束的照射區域。
- 能量調控粒子治療 (Intensity modulated particle therapy)，以點掃描的方式 (Spot scanning) 調整各粒子束的輸出劑量權重，藉此提升治療範圍與病灶間的吻合度。
- 劑量調控連續掃描 (Dose driven continuous scanning)，以粒子束連續對照射範圍進行掃描式照射，提升粒子束單位時間內輸出的劑量，以縮短治療時間。

本次該設施人員帶領參加參訪行程人員參觀第 1 間旋轉機架治療室、固定射束治療室與加速器室。除了在帶領過程中就前述治療室、加速器室的治療系統、影像導引系統進行介紹外，也引領參訪人員至該設施醫事人員的作業區，簡要介紹該設施在臨床作業時的工作流程，以及目前對不同適應症的病患，其治療室與

人流之間的分配及安排。



圖十六、該設施旋轉機架治療室與固定射束治療室內部一景

與其他國家的粒子治療設施相較，該粒子治療設施相對「年輕」，但其所屬的癌症治療中心則已有 25 年的歷史，擁有足夠的團隊力量作為後盾。雖該設施自 2006 年開始規劃至其正式運轉、收治病患之時間，前後近 20 年，期間更遭逢嚴重特殊傳染性肺炎肆虐，但最終仍成功運轉，承載著服務該國國民的重責大任，足見該國對粒子治療的重視與使命必達的決心。

## 肆、心得與建議

(一) 因應國際上最新發展及趨勢，粒子治療之技術及其應用範圍已有別於現今國內運轉中粒子治療設施。對國內未來可能設置之粒子治療設施，在秉持本會審查原則之情況下，建議留意其對人員造成曝露與現有運轉中設施之差異，確保我國粒子治療設施運轉之安全性。

截至目前為止，國內設有運轉中粒子治療設施之醫療院所已達 5 間之譜，分別為林口長庚醫院、高雄長庚醫院、台北醫學大學附設醫院、臺北榮民總醫院與中國醫藥大學附設醫院。另有 3 間醫療院所，即台大癌醫中心醫院、彰化基督教醫院與臺中榮民總醫院，目前其粒子治療設施已進入建造與（或）試運轉階段，預計未來將加入前述運轉中粒子治療設施之列。未來其他醫療院所跟進、規劃設置其他粒子治療設施，勢為必然之結果。因此，為提供國內醫療院所規劃設置粒子治療設施參考、依循，行政院原子能委員會

(本會前身)擬訂「粒子放射治療設施輻射安全評估報告撰寫導則(下稱導則)」,提供醫療院所進行規劃、撰寫評估報告的方向,力求不同醫療院所在考量粒子治療設施之輻射安全相關議題時,能以相同的出發點研擬解決方案,進而確保各粒子治療設施能在相似的輻射安全條件下進行運轉,保障受各粒子治療設施影響人員之權益。

職本次奉派至新加坡參與會議,深刻瞭解到現今粒子治療設施的發展,已不再是少數專業學門寡占的市場,而是由眾多專業領域的機構及相關人員共同貢獻所學、綜合百家所長後的結果。因此,在科學會議上,由與會者在會議期間分享的主題中,不再僅限於使用質子或碳離子給予病灶劑量,而可能引入其他應用方式(將粒子束作為造影之用)或增加曝露之強度(超高劑量率放射治療)。考量粒子治療技術的變革將左右其造成之曝露,乃評估設施運轉輻射安全之重要依據,因此,關注未來對粒子治療技術在國際上的動態,提前瞭解該領域之發展、對人員造成曝露之差異為何,從而在導則之框架下,因應趨勢擬定策略、調整本會審查時應留意之重點,勢將成為本會對未來可能設置粒子治療設施進行審查作業時,應當留意的重要課題。

**(二) 對我國現有運轉中粒子治療設施,建議由本會與其維持良好聯繫管道,確認其運轉期間之作業流程,以及作業期間涉入之人、事、物是否因引入新興技術而改變,從而確保設施內人員之權益。**

我國對粒子治療設施的管制,係以人員的輻射安全為首要目標,確保其在粒子治療的作業過程中,因作業導致人員接受之曝露均可符合正當化、最適化與限制化之原則,其中,因所在場域、居佔時間等因素,故有關粒子治療作業對人員產生之曝露,尤以粒子治療設施內之工作人員,包含運轉人員、輻射防護人員與其他醫事人員等為甚。

粒子治療之作業流程(Workflow),乃是醫療院所規劃、評估粒子治療設施輻射安全之重要因素。為合理抑低設施內工作人員所受曝露,於粒子治療設施建造前的評估階段,即應將作業流程納入考量,釐清粒子治療設施運轉時,設施內工作人員居佔位置、時間及設施運轉條件等因素,方可正確評估

設施內工作人員在作業期間所受曝露，並以此採取相關措施，確保人員作業期間之輻射安全條件符合要求。

本次會議內容中，除對構成粒子束的粒子源、粒子束的輸出劑量率與粒子治療設施中和輻射源有關的議題進行討論外，亦就輻射源以外的部分進行探討，包含適應性放射治療、造影技術的改變以及人工智能的介入等，均是我國現今運轉中之粒子治療設施在進行規劃、建造時，未曾出現過的新興概念與技術。依我國現行法規，對輻射源的種類、強度進行改變，係屬輻射作業中的改裝，應經過本會審查、檢查後，始得為之，故粒子治療設施有前開異動情形時，本會得依循法規，以現行審查機制予以介入，從而確保輻射安全。至於在粒子治療設施中，非屬輻射源之附屬軟、硬體，以及作業流程部分，則有賴本會與粒子治療設施間之溝通與交流獲知資訊。故本會除賡續維持對現有設施的既有管制措施外，宜與國內運轉中粒子治療設施建立良好溝通管道，以獲知運轉中粒子治療設施引入新興粒子治療技術之訊息，與引入前述技術後對作業流程之影響，以維設施內工作人員之權益。

**(三) 建議本會持續關注、掌握粒子治療技術的發展動態，以因應其軟硬體迭代、更新之速度，從而精進本會同仁審查應備知能、保障國內粒子治療設施之輻射安全。**

本次會議由專家學者及其他與會者發表粒子治療有關之研究成果，如前所述，該研究成果涉及之專業學門相當廣泛，且研究成果亦各自應用在粒子治療的不同層面，涉及粒子治療設施的硬體、軟體，甚至對於原有的粒子治療理論基礎也產生一定衝擊。

目前粒子治療技術屬於百花齊放、百家爭鳴的狀態。當今粒子治療設施之軟、硬體演變、迭代相當迅速，且均建構在不同的技術理論、應用於不同的治療情境，而非過往僅以粒子束給予病灶劑量的思維模式。另外，扣合本次會議「協同與合作」之主題，粒子治療所涉及之專業學門，已不若以往狹窄，而是海納百川、雨露均霑。若此狀況在國際上持續，可以預見未來我國的粒子治療設施將與國際趨勢一致，各粒子治療設施將呈現出不同的治療方

法，並在治療過程中涉入不同領域之人員，從而衍生出不同的作業情境、在實務上遭遇不同的議題。

綜合上述內容，建議本會持續關注、掌握粒子治療技術的發展動態，瞭解新興粒子治療技術在臨床作業上之理論基礎與應用範圍，力求管制與實務面資訊之同步，從而不負游離輻射防護法之立法意旨。