

出國考察

台大醫院韓日質子中心參訪報告

服務機關：國立台灣大學醫學院附設醫院

姓名職稱：台灣大學物理系 熊怡主任

台 大 醫 院 王崇禮副院長

腫瘤醫學部 賴明坤主任

核子醫學部 曾凱元主任

企劃管理室 楊銘欽主任

醫學工程部 黃義侑主任

工 務 室 蔡易豐主任

腫瘤醫學部 成佳憲醫師

腫瘤醫學部 鄭秀成醫學物理師

醫學工程部 吳玉洺技正

癌醫籌備處 鄒鄧郁事務員

參訪國家：韓國、日本

出國期間：97年4月18日至97年4月22日

報告日期：97年5月9日

目 次

壹、	王崇禮 副院長·····	P2
貳、	腫瘤醫學部 賴明坤主任·····	P5
參、	腫瘤醫學部 成佳憲醫師·····	P11
肆、	腫瘤醫學部 鄭秀成醫學物理師·····	P14
伍、	核子醫學部 曾凱元主任·····	P24
陸、	醫學工程部 黃義侑主任、吳玉洺技正··	P30
柒、	台大物理系 熊 怡主任·····	P35
捌、	工 務 室 蔡易豐主任·····	P38
玖、	企劃管理室 楊銘欽主任·····	P45
壹拾、	癌醫籌備處 鄒郅郁事務員·····	P47

壹、王崇禮 副院長報告

4 月 18 日清晨六點於台大醫院門口集合，前往桃園中正機場與其他十一位同仁會合，搭乘八點華航班機前往韓國仁川機場，驅車前往首爾西北方之高陽市。中午過後，check in 於高陽市一商務旅館，隨即驅車前往韓國國立癌症中心參訪 KNCC(Korean National Cancer Center)。

時值星期五下午，醫院仍有病人進行治療，得以實地了解病人動線及內部作業流程。為我們進行簡報者為一 medical physicist Dr. Sung-Yang Park，此人在美國接完整之訓練獲得 Ph. D. degree 後，返回 KNCC 服務，全程參與該院 proton center 之建置與運作，對整體業務知之甚詳，而且態度親切，對於本院代表所提出之各項問題回覆甚詳。

4 月 18 日晚，召集所有出訪成員於餐廳開檢討會，針對當日所見所聞彼此提出心得與意見，互相交流討論。從討論內容當中可以看出本院已有更多人，從不同角度了解質子治療中心。當然這是一個起步，相信是一個很好的起步，我們要自己經營質子中心，是一個重大的決策。人才乃是成敗之決定性因素，尤其如同 Dr. Park 這種人才，本院實宜提早計畫培養。

4 月 19 日全日在 KNCC 參訪，適逢星期六沒有臨床病人，IBA 公司分別從北京及比利時調了總共六位人員向我們作了巨細靡遺之簡報，包括實體設備的參訪，幾乎有關質子設備的裡裡外外都有實地之接觸，該公司對本院同仁提出之各項書面及口頭問題亦做了最詳細之回答，顯示該公司對本案高度重視。

4 月 20 日星期日中午搭韓航班機，從首爾抵日本關西機場，再經一個多小時之車程轉往姬路市，夜宿姬路。

4 月 21 日前往兵庫放射粒子中心參訪，該中心所使用者為 Mitsubishi 公司所生產之設備，而且是 proton 結合 heavy ion 之最先進設備，在聽取院長菱川良夫(Yoshio Hishikawa)教授之簡報後，參觀該院之設備模型，下午搭乘新幹線火車從姬路前往品川。

4 月 22 日一早自品川王子飯店出發，前往位於東京近郊千葉縣柏市之 National Cancer Center Hospital East，由該中心的荻野尙(Takashi Ogino) 教授接待致辭。在本中心設有兩個 gantry room 及一 Fixed beam room，其中一 gantry room 作 R&D 使用。

日本國立癌症醫院的後棟屬 proton center，為位於地面上之建築，為輻射防護之需要，牆厚達 2.5 公尺。gantry room 因機台旋轉之需要，稍向地面下深入。外邊有 Hospiece 之平房，為 Hospiece 病房之用，配合五彩繽紛之花園，予人寧靜而舒服的感覺。

上下午的介紹中，除了介紹 Sumitomo 的技術外，也實地參觀了他們的 treatment room 的裡裡外外。從加速器、控制室到治療室，可說沒有任何保留。為了 demonstrate 他們 pencil beam system 的技術，還當場利用感光片輻射出 NTUH 之字樣，而且送我們帶回。(帶回者其實是前幾天所燒的同樣的版本，當日所做之一片輻射量仍高)。

下午為了讓我們親眼目睹治療的情境，還特別安排了頭頸部腫瘤與肝癌的病患，讓我們充份了解整個操作的過程，尤其所使用的 on line PET Scan 與 Respiratory gating 之技術的確該人印象深刻。

本次 Sumitomo 的確展示了相當的誠意，而且也證明他們在尖端技術的研發方面的確不是空言，他們也一再表示有絕對的信心與能力來完成交付的任務，一定不會比其他廠商進度慢，問題是台灣如果兩家醫院採用同一系統之射束掃描設備，那麼勢必先完成的一具有相當之優勢，然而由於進度所涉及之因素眾多，他們也無法保證那家會先成立，總是 first come first serve 之原則。

當日下午搭車前往成田機場返台，4 月 22 日半夜返抵台北。

本次參訪將有各組人員分別提出報告，個人幾點心得歸納如下：

1. Heavy ion 基於下列因素目前似不宜考慮：
 - a. 療效及副作用尚未確定
 - b. 設備昂貴，所需空間遼闊

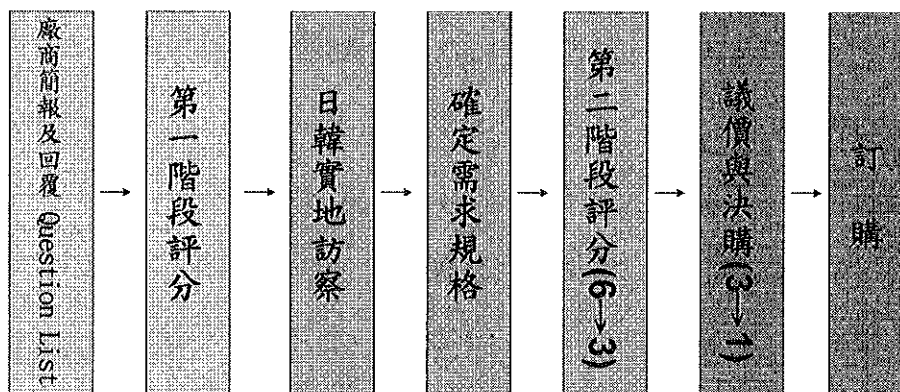
- c. 台灣本身不具硬體研發之能力
2. 日後維護費用約在每年 5-6 億元左右，目前 KNCC(Korean National Cancer Center)採自己維護方式僅數月，此模式是否可行，仍待時間驗證，唯中國山東萬杰醫院即採自我維修方式，後來當機停擺，目前又回復尋求 IBA 之協助。
 3. 中國大陸北京本來動工裝置 IBA 機型一台，後因財務問題停工，據說 IBA 公司已將其組裝機器交售予其他醫院，香港、新加坡目前未聞有設置計畫，本院若積極進行，早日營運，應可在華人市場搶得先機（配合三年後裝機完成兩岸三通新態勢）。
 4. Loma Linda 醫院之參訪或許不必如同此次訪問之陣容，然而在開出本院所希望之需求規格後，建議仍有本院專家前往實地訪察。
 5. 第一次帶領十多人的訪問團出國亦是一項學習的機會，成員都相同投入，各項活動亦甚為配合，顯示大家仍具高度的團隊精神。只是覺得在各領域，尤其是行政及 paramedical 的單位主管，其專業能力及國際視野仍有加強之空間。

貳、腫瘤醫學部 賴明坤主任報告

前言

質子治療是目前放射治療最先進的技術與設備，自 1950 年代就已發展，質子治療最大的特點及優點在於其放射物理的特性—Bragg Peak (布拉格峰)，質子射束進入人體達腫瘤深度時才釋放出全部的能量，在穿越的路徑上只會釋放出少數的能量，腫瘤前面的正常組織僅獲得少量的能量，所以放射線對正常的組織影響不大而腫瘤本身可得將近百分之百的能量，腫瘤後面的正常組織則幾乎不會得到任何能量；質子治療的技術，它和傳統的 X 光放射治療不同的是質子射線只有在達到治療深度時才會釋出大量能量，不會造成人體組織器官的損傷，缺點是設備太昂貴，鄰近的日本也只有七座，未來一旦台大醫院癌症中心及質子治療中心啓用後，將可以嘉惠許多得癌症的民眾。台大醫院癌症中心質子中心組依照規劃，於廠商簡報及回覆、第一階段評分之後，至日韓質子中心實地訪察，以確定需求規格，以便後續的程序（如下圖）

質子設備之評選流程



參訪地點

- 韓國國立癌症中心 (National Cancer Center) IBA 廠牌
- 日本兵庫粒子治療中心 (Hyogo Ion Beam Medical Center) Mitsubishi 廠牌

- 日本國立癌症中心東病院 (National Cancer Center Hospital East) Sumitomo 廠牌

日韓參訪之分工

組別	成員	參訪重點
醫療小組	賴明坤 曾凱元 成佳憲 尹彙文 葉正維	技術成熟度、臨床應用效果、價格、維修費用、水電耗費、各國政府許可證明、合作可行性、病人治療流程、病人療程次數及劑量、收費方式及價格、治療中呼吸調控方式及影像導引裝置等特殊規格、人力配置、LA / Proton 之搭配
醫用物理小組	成佳憲 醫學物理師	劑量測量系統、治療計畫系統、紀錄與驗證系統、自動化過程、標準作業程序、輔具製作系統流程及儲藏、品管方式及流程
物理研究小組	熊 怡	技術比較、技術規格、控制系統、掃描式系統、自我保養的問題
儀器醫工小組 (暫代資訊小組)	黃義侑 吳玉洺	維護及管理制度、保養及維護之品質指標、維護成本(人力及零件)、常故障零件分析、故障維修工作及行政流程、相關資訊流及介面、治療計畫系統與其他市場上治療系統之整合及相容情形、資訊系統支援中文作業
行政小組	鄒郢郁	安排行程及紀錄
經營規劃組	楊銘欽	服務量、營運成本、績效獎勵制度、營運模式
營建管理組	蔡易豐 葉正維 尹彙文	結構工程、空調工程、電氣工程、氣體工程、給排水系統、消防工程、輻射防護

2008/4/18 下午訪問 Korean National Cancer Center (KNCC) 的 Proton Center, 由 Chief physicist, Dr Sung-Yong Park, PhD 接待, Dr Park 本身在美國接受完整訓練, 該中心於 2001 年即開始規劃, Dr Park 一開始就加入團隊, 是一位重要領導人物, 並且設計醫學物理師之訓練計劃, 培育人才位總共有 10 位 physicists (4 staffs, 2 fellows, 4 residents*), 3 位參與治療規劃, 所有醫學物理師多參與品管控制, 醫師 6 位, (3 fellow, 2 residents), 6 位技術員(共計 34 在該部門), 1 位 dosimetrist, 4 位操作員, 4-5 位維護人員 (NCC 員工, IBA 訓練), 2 位模具間, 5-6 位護士, 4 位護士助手, 2 名行政人員。

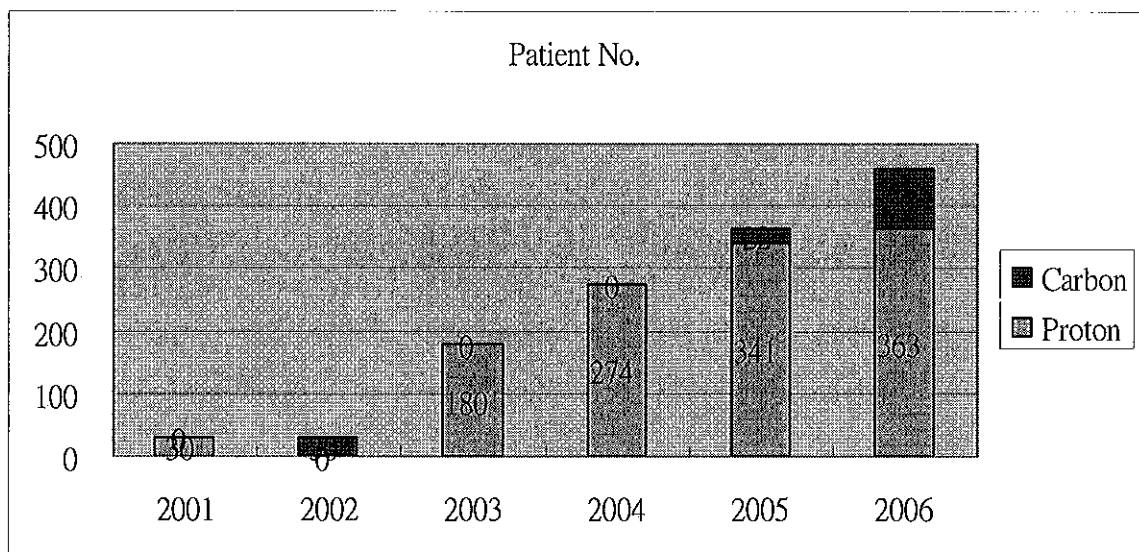
* PhD 後 2 年之訓練, 最好有加速器或微粒物理之背景, 一些自 2003 年以來即被聘用, 之後僅由 IBA 訓練 2 個星期, 之後全靠自已博學進修。

2002 年 6 月簽定合同，2005 年 2 月開始裝置設施，建築過程遭遇一些困難，地下 15 公尺有大岩盤，必須使用炸藥炸開，附近居民抗議，政府支持設備和建築(計劃設定為 3 年)，2007 年 3 月 19 日開始操作，目前尚在嘗試各種不同的治療計劃，所以病人數不多，70%為攝護腺癌，更多 chordoma，肝細胞癌(尚沒有呼吸調控系統，所以肝細胞癌病人還不多)。

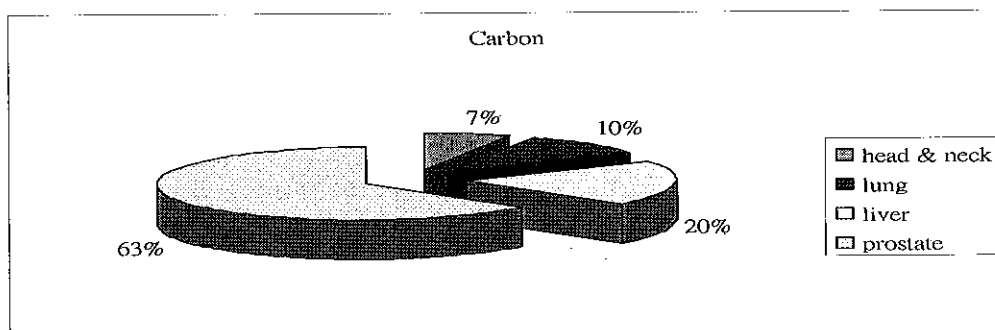
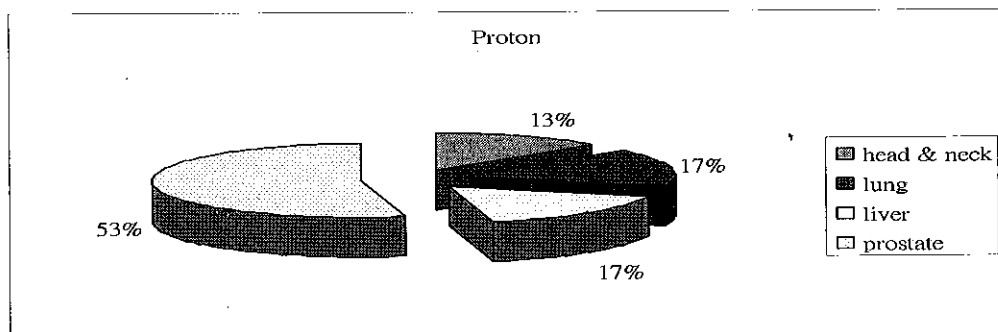
每次治療以不超過 3 條射線為原則，費用取決於困難度，治療次數，費用約為\$20,000-30,000 之間 (美國\$ 30,000，日本 ¥3,000,000)，結合常規 R/T 及氫核治療，治療規劃系統包括：Varian Eclipse, CMS XiO, Pinnacle, Varian RPM, Elekta IMPAC, Varian Aria；治療容量： 每治療室 25 人， 每天 75 人， 每年 275 天，研究表現傑出為其特點： 在 2008 年 PTCOG 共有 8 篇論文被接受發表，每年維護費用 \$8,000,000，目前 KNCC 與 IBA 僅有最基本的維護合約，例行維修，完全由 KNCC 人員負責，IBA 僅有 3 人在現場，作研發的工作。

裝機之前，龐大零件組之陸路運送是一個大問題，cyclotron 總重 220 噸，可拆成 2 至 4 個部份，即使如此，每一部分依然寬達 4 公尺多，連包裝木箱，達 5 公尺多寬，gantry 總重 110 噸，拆分 18 卡車載運，質子設備佔地 80 X 100 米，高度 35 米 (3 層樓高)。

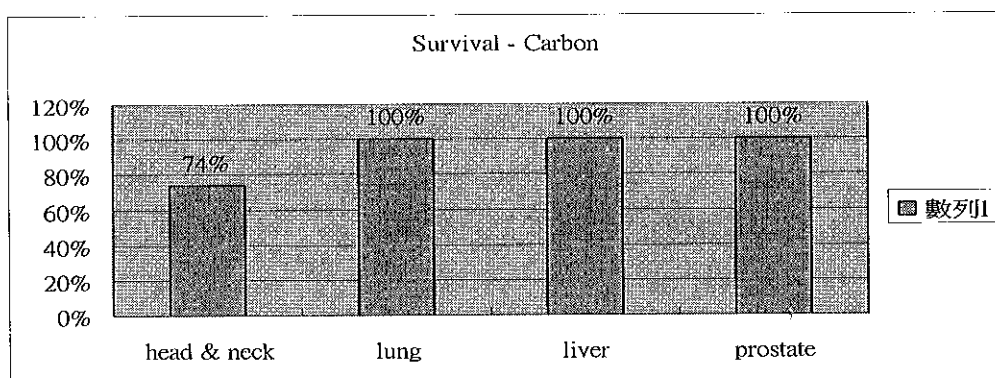
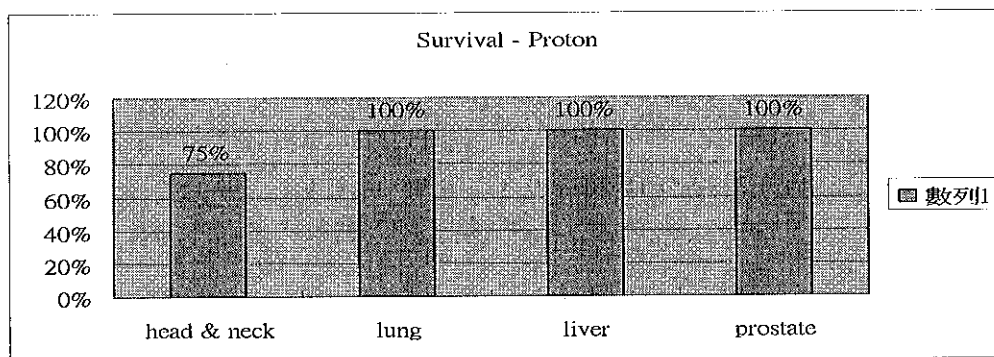
2008/4/20 上午訪問 Hyogo Ion Beam Medical Center (兵庫縣立粒子線醫療中心)，由院長 Dr Yoshio Hishikawa (菱川良夫) 接待，該院建立於 2001 年，是目前世界上唯一同時有質子及重離子(碳)設備的中心，三菱佔日本市場 9 個質子/重離子設施中的七個 (80%)，附設病床 50 床，提供遠道或病重病人住院，設備費用 ¥130 億，建築 ¥80 億，醫院 ¥80 億，共計 ¥290 億(\$2.8 億)；大部分病人接受質子治療 (如下圖)



2001 年有 600 病人接受治療，收入足以支付維修費用，日本政府在 2005 年 3 月批准了碳治療，收費與質子治療一樣，適應症以前列腺癌為主（如下圖）



病人來源半數從 Hyogo 縣，其餘從日本、韓國等地，質子及重離子(碳)兩者比較，根據在生存率及局部控制率並沒有差別（如下圖）



該院相關資料如下：

- 5 rooms: horizontal and vertical, 1 horizontal, 1 45 degree, 2 gantries
- Dimension of layout: 100x100x20 M
- Gantry: 10 M in dia, 140 tons
- Synchrotron diameter 30 M
- Wall thickness: 3 M
- Switch from P to C: 15 min (P 或 C 集中一齊做)
- 30 min/fr, about ≥ 1 hr/pt
- 2-3 medical physicist, 13 physicists, main (accelerator) control room 3/shift, treatment control room 3/shift, 2 shift/day (Two control rooms are separated to far away)
- 6:00 am to 10:00 pm. 50-80 pt/day

2008/4/21 上/下午訪問日本國立癌症中心東病院 (National Cancer Center Hospital East) 的 Proton Center, 由 Dr. Takashi Ogino 接待, 該院於 1995 年開始建築, 1998 年 6 月完工, 1999 年 1 月開始治療病人 (是世界上第二個質子治療設備, 第一個在 Loma Linda), 規劃系統為 PTPLAN (由住友自行研發, 與目前通用之商品無法相容), 停工期 (Down time) < 1%

- Floor size: 50X31 M
- Height: B1 -5.6 m from the floor, 2F +6 M from FL, 3F +10 M from FL
- Wall thickness 2.5 M
- Gantry size: 11m in diameter, 7 m in length, 150 tons
- 2 parts of annual maintenance (5 days each)

設備運送時, 零件拆散成數部份, 最大塊為 30 噸重, 4.5x2.8 M (日本高度限制 3.8 M), 工作人員如下:

- 2(5) from Sumitomo
- 1 technician for fabrication (bolus, compensator)
- 5 physicians
- 1 resident
- 4 medical physicist*
- 2(11) therapist*
- *For conventional R/T (3 LINAC) and PBT
- 2 cyclotron operators

質子治療新的範例

- Photon-resistant tumors
- Re-treatments (曾經接受過傳統放射治療者)

- Decrease fractions
- Stereotactic approach
- Respiratory gating
- Image guide - online PET, CT

我們採購何種機種，機器本身應考慮下列選項：

- Proton or proton/heavy ion
- 3 gantry room+1 fixed beam room+IBL?
- Pencil beam scanning (PBS)
- External beam triggering interface (EBTI)
- Respiratory gating
- Multi-leaf collimator (MLC)
- Robotic patient position system
- Cone beam CT
- Universal beam triggering interface (UBTI)

結論

質子治療是一個最尖端的癌症中心的一個理想的基石，它為台大同仁提供極大的研究機會(從臨床研究到基礎科學)，有助於台大擠入世界百大，關鍵人例如一位資深物理學家，從開始即接受訓練及參與整個計劃案，是非常重要的要素；未來在疾病樣式上可能發生相當大的變化(例如 chordoma)，病人數字也會大幅增加。

「維修的安排」非常重要，投資額 > NT\$30 億，約等於一架空中巴士或波音飛機的價格，保持正常運行時間 > 95% (大多數中心維持在 98-99%)，才能符合投資效益，每分鐘的意想不到的停工期(downtime)是非常大的損失(> NT\$1.5 百萬/天， > NT\$0.15 百萬/小時)，花維護費用(> NT\$0.75 百萬/天)買正常運行時間(uptime)，是一個須要思考的問題。

碳或其他重離子(Carbon / heavy ion) 在目前的狀況下是不適合採用的，因為沒有足夠的證據(Evidence-based)來支持，我們應該如何收費？ IMRT + image guide 可能是一個思考的方向，韓國的治療費用約為\$20,000-30,000，日本 ¥2,800,000 - 3,140,000，由政府保險部份支付，病人支付 ¥2,883,000 (如果病人的年收入低於 ¥3,460,000，政府提供無息貸款)，美國\$ 30,000 -50,000。

質子設備壽命至少為 20 年，與供應商的關係形同婚姻關係，質子設備獨特的特點是高技術，並非世界上有許多供應商可以選擇，設備費用又非常昂貴，選上的供應商應該能與用戶合作，對供應商而言，用戶不是僅僅一個像汽車買家普通似的的客戶，而是作為長期的夥伴，共同作研發、維護，升級。

醫學物理師的訓練計劃(包括 residents, fellows)非常重要，用以儲備未來本院、台灣、華人地區的質子治療所需之人才，並成立醫療物理師學會，定期為放射腫瘤醫師、醫學物理師舉辦講習班，普及質子治療相關的知識及技能。

參、腫瘤醫學部 成佳憲醫師報告

本次參訪三家質子治療設備醫院，分屬三家不同的設備廠商，以下將由「粒子射束種類差異」、「病人治療數量」、「治療流程及轉介方式」、「治療收費方式」、「質子治療部門人員編制」、「設備維修方式」、「質子治療中呼吸調控方式」、「質子治療塑形照野方式」、「質子治療影像導引方式」、「電腦治療計畫系統」、「點狀射束掃描治療技術發展」、「質子治療床設計」以及「全球市場佔有率」加以比較。

	韓國國立癌症中心	日本兵庫縣粒子治療中心	日本國立癌症中心東病院
設備廠牌	IBA	Mitsubishi	Sumitomo
粒子射束種類差異	質子	質子+重核粒子（碳）	質子
病人治療數量	每日 15-20 人	每日 60-70 人	每日 10-15 人
治療流程及轉介方式	病人自行前往就診	經醫師轉介或病人自行前往就診	經醫師轉介或病人自行前往就診
治療收費方式	全自費（2-3 萬美元）	健保給付+部份自費（3 萬美元）	全自費（3 萬美元）
質子治療部門人員編制	人員與放射腫瘤科共用，醫學物理師 10 人，加速器運轉員 2 人，模具合金製作人員 2 人	所有人員皆為粒子治療中心運轉使用，醫學物理師 13 人，加速器運轉員 8-10 人	人員與放射腫瘤科共用，醫學物理師 4 人，加速器運轉員 2 人，模具合金製作人員 1 人
設備維修方式	2008 年 4 月起自行維修	完整維修簽約由製造商全權負責（含加速器運轉員）	完整維修簽約由製造商全權負責（含加速器運轉員）
質子治療中呼吸調控方式	目前尚無，發展中系統方向為界面連接各市場已存在的呼吸調控裝置加以調控質子治療機	貼於胸壁紅外線偵測呼吸起伏之調控系統	貼於胸壁紅外線針測呼吸起伏之調控系統
質子治療塑形照野方式	Lucite bolus 與 brass 合金擋塊系統，發展中的 MLC 系統	MLC 系統	Lucite bolus 與合金擋塊系統，發展中的 MLC
質子治療影像導引方式	X 光定點取像系統，發展中 CBCT 系統	X 光定點取像系統	X 光定點取像系統，發展中 In-Room CT 系統
電腦治療計畫系統	Varian Eclipse 或 CMS（光子及質子治療共用）	CMS FOCUS-M（粒子治療專用）	Sumitomo PTPlan（質子治療專用）
點狀射束掃描治療技術發展	預定 2008 年底美國啓用，韓國 2009 年啓用	無具體規劃此發展	預定 2008 年後半送日本政府審查

質子治療床設計	6D 底座式治療床，發展中機械手臂式 6D 調控床	3D 底座式治療床	6D 底座式治療床，發展中機械手臂式 6D 調控床
全球市場佔有率	全球運轉中 4 台，建置中 3 台，其中亞洲 2 台	運轉中 3 台，建置中 4 台，全在日本境內	僅日本 1 台，合約簽訂中 1 台

韓國與日本三家醫院質子治療設備中服務的癌症病人，其就醫看診流程均與在其他放射治療設備（如直線加速器）治療的病人流程相同，經由門診或會診決定合適接受放射治療，並確認以質子治療更為合適後，陸續安排與放射腫瘤科共用的 X 光及電腦斷層模擬攝影定位，經過電腦治療規劃設計的 1 至 2 週準備過程後，才開始至質子治療室開始每日 1 次，每週 4-5 次，為期 2-8 週的療程。質子治療相同於直線加速器的治療流程，乃因質子治療實為放射腫瘤科治療設備的一種，只因其造價為直線加速器的 30-40 倍，故每部質子治療機均配置 3-5 間治療室，利用不同治療室設定病人位置的空檔，輪流給予質子放射治療，以增加其使用率及服務量，符合成本。因此，其加速器本體與數間治療室，佔地大小常與放射腫瘤科一樣大，造價亦較放射腫瘤科所有設備總和為高，故常單獨命名其為「中心」，但實際上其僅為放射腫瘤科設備的一種，流程亦相同，照顧病人與使用此設備的醫師亦同為放射腫瘤科醫師。韓國國立癌症中心有治療室三間，每日治療 15 - 20 人，日本國立癌症中心有治療室 3 間，每日治療僅 10 - 15 人，這兩家醫院治療人數均極少，遠不及其設備可以服務的人數，呈現不敷成本現象，需賴國家預算支應，兵庫縣粒子治療中心有治療室 5 間，每日治療 60 人，是亞洲運轉量最高的中心，也僅夠支應維修成本而已。這樣的現象提醒本院未來質子治療中心成立前，即應提早準備質子治療的適應症癌病種類，在院內各癌症團隊儘早形成可使用質子治療的適應症共識，其向院外提供開放式平台，便利院外醫師轉診病人或放射腫瘤科醫師帶其病人至本院親自參與質子治療，以組成足夠的服務量病人群。

由於質子治療由簽約至完成一般均需三年時間，故市場及流程的準備應有前置作業準備的時間。質子治療設備使用的放射腫瘤科醫師，是同時運作於放射腫瘤科其他直線加速器的醫師群，工作人員亦同，僅是因應質子治療設備需有少數較熟悉於該設備的質子物理師 2 - 3 名及加速器運轉員 2 - 3 名，然而是否長期培訓更專精於質子治療的醫師及物理師，是會反應在該中心未來的國際學術競爭力，本次參觀的三家醫院，其中二家具備 1 名專精的醫師主管，另一家則具備 1 名專精的物理師。上述的人力資源及專精人員的募集進度及投資程度，則要權衡放射腫瘤科的全面發展，才會形成完整優質的團隊（放射腫瘤科及質子中心）。

本次參訪過程實質加強了各廠商至本院專案報告後，多項研發中的設備功能選項的發展現況。其中包括點狀射束掃描治療方式（spot beam scanning system），呼吸調控治療裝置，多葉式準質儀系統，六度空間調整機械手臂式治療床，以及連接治療床的同步正子掃描系統（In-Beam PET）。本次參訪過程中除經由原廠人員深入簡報瞭解這些新功能的研發現況外，亦在日本國立癌症中心實際參觀呼吸調控系統，In-Beam PET 系統，及點狀射束掃描系統，然而這些設備

功能離上市仍有一段時間。由於質子治療設備建置過程尚需三年，屆時這些功能均已上市，因此近期研議中的採購規格即需決定是否加入這些項目，當然加入這些選項也會增加購買價格。考量本院研議中的質子治療設備係來自捐贈，因此於捐贈時即加入這些項目，可使三年後建置完成時充分使用這些功能，也不需再另行編列預算增購，應是較合乎本院優勢的參考作法。

關於三家醫院質子治療設備的維護保養合約現況，日本二家醫院皆是自多年前設備建置完成後，每年均向原廠簽訂完全保固合約，韓國國立癌症中心則因政府暫不編列預算，自 2008 年 4 月起中止原廠保固合約，改由醫院自行接手保養維修，但其表示並無能力承擔此保固工作，只因無預算支應合約，靜待機器故障時無限期中斷治療情境出現時，再給政府壓力補編預算來簽訂原廠保固合約。此一作法無異置病人治療權益於不顧，非本院可以承擔後果的作法。質子設備需於購買合約簽訂時，訂定出保固年期，其後的年度保養合約，依世界各國用戶經驗，多是一次購買 5-10 年完全保固合約，因為多年期合約的每年價格較低。然而本院應無法於購買設備時即有足夠預算 2 年保固結束後第 3 至 10 年保養合約（約 10 億元），於近期購買設備合約中即載明未來保養合約單價，是較能於此時議定較低價格，並避免每年合約價受原廠提高價格的作法。

肆、腫瘤醫學部 鄭秀成醫學物理師報告

摘要

此次奉派到韓、日三個重要的癌症治療中心參訪，有各方面專長的同仁同行，是一次行程緊湊且內容豐富的活動。行前準備會議依領隊王副院長指示，為求事半功倍，針對各人專長準備參訪重點，以期能進一步瞭解高能粒子射束未來可以使用的領域，及建議採購之規格參考，本人負責醫學物理相關範疇，詳細分類如下：

- 一、劑量測量系統
- 二、治療計畫系統
- 三、紀錄與驗證系統
- 四、使用技術之自動化過程
- 五、醫事放射師之標準作業程序
- 六、治療輔具（bolus）製作系統流程及儲藏
- 七、定期質子射束之品管方式及流程
- 八、最新發展技術之研究成果

參訪重點

一、劑量測量系統（Dosimetry system）

（一）說明

一部高能治療機裝設完成後，必須經由醫學物理師之接收測試與射束特性測量收集，並輸入治療計畫系統，完成比對驗證符合規範後，方能正式運用於臨床。而劑量測量系統參訪重點包括系統本身之規格與接收測試項目、臨床運用前之測試規範。

（二）參訪心得與建議

一般而言，目前市場上劑量測量系統之電腦化水假體自動掃描系統，佔有率較高的有 PTW 與 Wellhofer，都能提供必要之掃描，惟後者係 IBA 之子公司，故 IBA 之質子治療設備皆選擇 Wellhofer 水假體自動掃描系統。韓國國家癌症中心所採用之 IBA 質子治療設備更提供了兩套 Wellhofer 之水假體自動掃描系統，

以避免故障時妨礙臨床使用。有些假體必須自行研究設計，方能符合臨床特殊之需求。

收集射束資料時期，必須調加速器至最佳狀態，資料的收集必須正確且完整，以期減少因資料不足進行內插或外插造成的誤差。輸入射束資料與建立計算核心時，必須仔細遵循治療計畫系統的資料需求與步驟，並明瞭每個執行動作的來由。治療計畫系統建立初期的各項環節，將決定日後系統品質的優劣，是為品保過程中相當重要的基礎。

各廠牌皆有接收測試項目與規範，至於輸入治療計畫系統之射束特性，則與所選擇的治療計畫系統有關。只是在採購時必須考慮教學醫院在研究方面的重要性，由其提供的劑量測量系統規格中，選擇功能多樣的測量工具，並考慮故障時之取代方案，方能符合研究與臨床之需求。

二、治療計畫系統 (Treatment planning system)

(一) 說明

放射線的使用必須在不破壞正常組織功能的前提下，逐步施予腫瘤組織所需的處方劑量。有鑑於此，放射治療的施行必須事前擬定嚴謹的放射治療計畫，設計放射治療的進程、方法，並進行劑量分布的計算與預後評估等。放射治療計畫皆以電腦輔助計算為主，通稱為放射治療計畫系統 (Radiation Treatment Planning System，簡稱 RTP System)。

完整的 RTP System，除主要的劑量計算核心外，仍須包含下列功能：

(1) 影像擷取功能：

包含主要影像—電腦斷層掃描 (Computerized Tomography, CT) 與輔助影像—如正電子發射斷層掃描 (Positron Emission Tomography, PET) 或磁共振造影 (Magnetic Resonance Imaging, MRI)。目前各種數位影像皆以統一的數位醫學影像格式進行儲存與傳輸 (Digital Image Communications of Medicine, DICOM)。

(2) 影像處理功能：

包含不同影像來源的座標系統定位，融合；各組織器官的標定、圈選、與定義等。RTP System 的影像處理功能，可將 DICOM 影像格式與標定器官等座標

資料重新製作成系統所需檔案。利用個人電腦擷取的影像格式，繪製出頭頸部的電腦斷層影像與危險器官 (Organ at Risk, OAR) 輪廓。藉由 CT 值與外界空氣明顯對比，通常可由系統自行判斷繪製體廓區域 (Body) 並可分別標示其他器官，如腦幹 (Brain Stem)，臨床治療體積 (Clinical Treatment Volume, CTV) 者，則由醫師以滑鼠點選繪製。而計畫治療體積 (Planning Target Volume, PTV)，除可由滑鼠點選繪製外，更可由使用者自訂空間中 x, y, z 三方向的擴張厚度，由 CTV 向外自行繪成。

(3) 治療參數的設定與調整功能：

包含射束數目 (Portal Numbers)、射束方向 (Gantry Angle)、照野大小 (Field Size)、能量選擇、填充物之選取 (bolus)、阻擋合金鉛塊 (Block) 或多葉式準直儀 (Multi-leaf Collimator) 的佈置，與各射束間的權重等。

(4) 劑量計算核心：

包含射束資料的匯入，計算核仁的建立，與實際演算的核心。

(5) 劑量分布顯示與分析功能：

劑量計算結果通常以二度空間等劑量曲線表示，甚可重組為三度空間的等劑量曲面，配合腫瘤形狀的空間顯示，可清楚看出劑量施予的詳細情形。治療計畫系統同時可將劑量計算結果與器官體積關係繪成劑量－體積關係圖 (Dose-Volume Histogram, DVH)，提供各器官體積內，特定劑量的包覆情形。上述資訊皆為醫師與物理師用以評量治療計畫可行性的重要依據。

(6) 獨立的劑量監控單位 (Monitor Unit, MU) 計算功能：

劑量監控單位 MU 為治療計畫系統輸出資料的重要數據，決定線性加速器在該照野下的絕對劑量輸出。完整的治療計畫系統必須提供一獨立計算 MU 之模組 (一般商業販售之

RTP System 並不包含此項功能)，其計算方法必須與第(4)點提及之計算法則不同。醫療單位通常會自行撰寫一套簡單的 MU 計算程式，作為獨立檢查之用。

(二) 參訪心得與建議

目前市場上通過美國食品及藥物管理局 (FDA, Food and Drug Administration) 認可之質子治療計畫系統，諸如：Varian Eclipse, CMS XiO ...。

Sumitomo 自製之治療計劃系統 PTPLAN 尚未經 FDA 認可，且使用介面功能不全，尚未成熟。考量爾後臨床運用之可能性，治療計劃系統之規格建議應包含下列要點：經 FDA 認可、符合 DICOMRT 規範、可進行光子與質子之計算。

提供質子與荷電粒子之治療計劃系統：

TREATMENT PLANNING SYSTEMS FOR PROTON AND ION BEAM THERAPY July 2005			
The following Table is an extension of that originally presented in October 1999 by Skip Rosenthal, MGH at the Workshop on Treatment Planning Systems, PTCOG XXXI. Please send corrections/additions to Janet Sisterson.			
Year	Created By	System Name	Status
1979-93	LBL	LBL system	Not Available
1980	MGH	Rx	Distributor MGH
1980	MGH	EYEPLAN	Distributor MGH – EYES only
1990-96	MGH/Seimens	V-Treat (AXIOM)	Not Available
1987, 1991	PSI	PSI system/Pion	Distributor PSI
1995	DKFZ/Royal Marsden	Voxelplan/Proxplan	Adapted by NAC, DKFZ
1996	Radionics/MGH/HCL	P-Knife	Not Available
1997	LLUMC/PerMedics	OptiRad 3D	FDA approved; commercial
1998	Tsukuba	Hitachi system	In-house system
1998	NCC/SHI	PTplan	In-house system
1998	DKFZ	OCTOPUS	Under development – EYES only
1994	Orsay/Curie	ISIS	Distribution ?
1998	CMS/MGH	FOCUS	Commercial Release 1999
1998	DKFZ	KonRad Plus Protons	Research Only
1989 – 2000	CCO, Clatterbridge, UK	EYEPLAN v1.6 (VMS)	Available free; eyes only; research only
1999	GSI	TRiP98	Research, Clinical, Scanned Ions
2000	Varian	Polaris	FDA approved for passive treatment modalities
2001	ITEP (Moscow)	ProGam	Adapted in PTF ITEP
2002	MDS Nordion	Helax-TMS	FDA approved; commercial
2002	CMS/Mitsubishi	FOCUS/M	Commercial Release 2001
	RenderPlan		?
	Adac		?
	Michigan		?

三、紀錄與驗證系統 (Record and verify system)

(一) 說明

紀錄及驗證系統又稱為腫瘤資訊系統 (Oncology Information System)、病患資訊系統。由於治療計劃中治療之參數設定相當煩雜，包含射束數目 (Portal Numbers)、射束方向 (Gantry Angle)、照野大小 (Field Size)、能量選擇、填充物之選取 (bolus)、阻擋合金鉛塊 (Block) 或多葉式準直儀 (Multi-leaf Collimator) 的佈置，與各射束間的權重等，將相關的放射治療的資訊藉由網路，由治療計劃系統傳送至治療機，以避免人工輸入時造成錯誤，並可確實紀錄每位患者之療程中之給予劑量。

(二) 參訪心得與建議

IBA在韓國與美國佛州皆有使用Varian Aria, Elekta IMPAC成功的經驗，

且該系統亦可使用在光子之直線加速器系統之紀錄及驗證，且據IBA宣稱，只要具備FDA certified for proton therapy即可運用於IBA質子治療設備。

因此在紀錄及驗證系統此一部分必須訂定規格，以符合未來的需求。建議訂定規格之原則：

1. 能與質子治療機資料交換，從質子治療機必須可以直接下載治療參數，無須手動輸入。
2. 質子治療機驗證定位影像亦必須可以傳回儲存，因此影像資訊之交換必須符合DICOM RT之規範。
3. 能與市面上主要的治療計畫系統連接（包括質子與光子射束），計畫完成之治療參數能上傳儲存，以作為將來治療機提取之用。
4. 上述系統之互相連線均需要廠商與其它相關系統公司具有合作與授權之關係才可以達成。

四、使用技術之自動化過程（Automation for clinical treatment）

（一） 說明

在光子之放射治療病人擺位過程中，某些設備廠商會提供結合治療床與光學系統的自動擺位裝置。若質子之治療設備中有該項功能應可加速治療流程。

（二） 參訪心得與建議

此次參訪之韓、日三個重要的癌症治療中心，皆未提供自動擺位之技術。

五、醫事放射師之標準作業程序（SOP for therapist）

（一） 說明

醫事放射師之標準作業程序，包括：控制檯與治療室內之作爲，吾人在院內之光子治療中皆已建立標準作業程序。希望藉由參訪觀摩質子治療設備之標準作業程序，建立醫事放射師之標準作業程序，避免錯誤之產生。

（二） 參訪心得與建議

三個重要的癌症治療中心，皆未提供醫事放射師之標準作業程序，觀察醫事放射師之臨床作為，未察覺所依循規範之書面資料。

IBA 答覆標準作業程序依國情不同而有所改變，在其 Indiana ProCure 訓練中心會提供臨床輔具器材使用與設備操作之專業訓練。

六、治療輔具製作系統流程及儲藏 (Manufacture and stock of bolus and collimator)

(一) 說明

接受質子射束治療之病患，有一部份需要製作治療輔具，且因治療輔具接受了 230MeV 如此高能量的質子射束照射，會有活化之現象，故應了解其製作流程及儲藏方式。

(二) 參訪心得與建議

所參觀的癌症治療中心，在製作治療輔具時，都是由電腦治療計劃系統傳送到自動切割系統，並提供了一個至少面積達 20 公尺×20 公尺的製造工廠，具備有自動切割系統及車床，磨床等設備。

皆使用壓克力製作填充物，使用黃銅製作照射之孔徑，兩者機擺放在照射室中，具有相當少量之輻射曝露，建議在回收時，使用偵檢儀量測並紀錄，確認合格後再行回收。

考慮環保回收，也有使用石蠟製作的填充物，惟其質地較軟，是否會變形，應要審慎考量。

七、定期質子射束之品管方式及流程 (Periodical QA for proton beam)

(一) 說明

保持並確認質子射束之穩定在放射腫瘤之治療上，佔有相當重要的地位，持續且規律地按計畫檢測，是提供高規格的治療品質的不二法門。

(二) 參訪心得與建議

僅提供書面資料，沒有實際操作之示範，無法判斷日、月、年之間的差別。

八、最新發展技術之研究成果 (The achievements of the latest developing)

(一) 說明

廠商投入研發的項目與時程，是評估該設備是否能永續運用的重要指標，

故明瞭最新發展技術之研究成果，有其必要性。

(二) 參訪心得與建議

		韓國 NCC (IBA)	日本 HIBMC (MITSUBISHI)	日本 NCC (SUMITOMO)
最新發展技術	筆射束掃描(PBS, pencil beam scanning)	看到影片但無親眼目睹，宣稱將於 2008 年 7 月取得 FDA 認可	未知	雖親眼目睹，但卻是使用 wobbling 的舊技術
	呼吸調控放射治療 (respiration gated treatment)	可結合市場上之現有設備	未知	自行研發，已臨床使用
	多葉式準直儀(MLC, multi-leaf collimator)	與美國賓州大學研發中	未知	已臨床使用
	錐形射束斷層掃描(CBCT, cone beam CT)	目前使用垂直正交透視定位(flat panel)，與美國賓州大學研發中，預計 2009 完成	未知	目前使用垂直正交透視定位(II tube)
	自動治療床 (robotic couch)	看到照片但無親眼目睹，裝設在美國奧科拉荷馬州之 ProCure，宣稱將於近期取得 FDA 認可	未知	看到照片但無親眼目睹
	其他	-	未知	能裝置 in-beam(online) PET Scan，已臨床使用

總結

此次參訪韓國 NCC (IBA)、日本 HIBMC (MITSUBISHI)、日本 NCC (SUMITOMO)，其中 HIBMC (MITSUBISHI) 的現場訪查較不足，且限制較大，其他兩個單位提供給我們近距離接近質子治療設備的機會，也更深入了解治療流程與專業人員培訓的重要。

在參訪的過程中發覺 230MeV 質子射束與以往吾人所接觸的 10MV 光子所造成的輻射防護重點是不同的課題。就本院正子中心設置小型迴旋加速器嚴苛的審核過程看來，質子治療中心使用能量在 20 倍以上的迴旋加速器，實在不可等閒視之。此外，游離輻射防護法第二十九條規定，置有高活度放射性物質或高能量可發生游離輻射設備（粒子能量大於三千萬電子伏（30MeV）之設施）之高強度輻射設施之運轉，應由合格之運轉人員負責操作。針對運轉人員證照核發時所需之實際操作訓練，必須符合既定之規章，且原子能委員會之審查過程相當冗長，都

附錄：

相關法律條文

放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法

第二十八條

使用高強度輻射設施者，申請人應填具申請書，並檢附下列文件，向主管機關申請審查合格後，發給安裝許可：

- 一、經核准設立或登記之證明文件影本。政府機關（構）免附。
- 二、作業場所輻射安全評估。
- 三、輻射防護計畫及輻射安全作業守則。
- 四、作業場所屏蔽與機械設備之結構及耐震程度證明。
- 五、運轉訓練及運轉實務訓練規劃。
- 六、試運轉計畫及期程。
- 七、密封放射性物質，應檢附放射性物質原始證明文件影本及保安措施說明文件。
- 八、意外事故處理程序。

前項第二款之作業場所輻射安全評估，應含下列內容：

- 一、場所平面圖及屏蔽規劃。
- 二、設施輻射劑量評估及防護措施。
- 三、放射性污染物（含活化物）處理措施。
- 四、其他經主管機關指定者。

申請人取得安裝許可後，始得依核准之輻射安全評估、平面圖及屏蔽規劃進行安裝工程。工程完竣後三十日內，應檢附測試報告，送主管機關審查及檢查合格後，發給試運轉許可。完成試運轉後，申請人應於三十日內檢附包含下列事項之輻射安全分析報告，送主管機關審查及檢查合格後，發給使用許可證：

- 一、區域監測結果。
- 二、人員劑量監測結果。
- 三、試運轉紀錄。
- 四、其他經主管機關指定者。

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法

第二條

高強度輻射設施（以下簡稱設施）之種類如下：

- 一、使用可發生游離輻射設備加速電壓值大於三千萬伏（30MV）之設施。
- 二、使用可發生游離輻射設備粒子能量大於三千萬電子伏（30MeV）之設施。
- 三、使用密封放射性物質活度大於一千兆貝克（1000TBq）之設施。

第三條

領有輻射安全證書或領有本法第三十一條第一項但書規定主管機關認可之輻射相關執業執照之人員，經完成設施運轉訓練及運轉操作實務訓練者，得填具申請表，檢附下列證明文件，經由設施經營者向主管機關申請測驗，經測驗合格者，

由主管機關發給運轉人員證書：

- 一、在職證明。
- 二、主管機關認可之輻射相關執業執照影本。
- 三、設施運轉訓練證明。
- 四、設施運轉操作訓練（含試運轉期間）證明。

第四條

前條之設施運轉訓練，設施經營者應將包括設施系統及運轉規範（包括正常、異常和緊急程序）之訓練時數、師資、學員名冊，報經主管機關核備後實施。訓練時數不得少於五十四小時。

質子治療設施輻射安全管制申請注意事項

一、法規要求

- 游離輻射防護法
- 游離輻射防護法施行細則
- 游離輻射防護安全標準
- 放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法（第二十八條）
- 輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則
- 高強度輻射設施種類與運轉人員管理辦法（第二條）
- 一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法
- 設施年度偵測項目公告

二、審查作業

審查階段	醫療院所申請作業	原能會審查作業
1.提出申請	依放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法第二十八條向本會提送申請文件	本會邀集國內專家組成審查委員會針對輻射屏蔽設計、放射治療、輻射安全與加速器管理運轉等四項重點項目進行審查。
2.設施建造	監督施工品質、竣工後提送試運轉計畫	定期或不定期針對輻射安全設計報告書承諾事項進行檢查
3.工程完竣 試運轉測試	檢送試運轉測試報告與提送輻防計畫	<u>試運轉審(檢)查</u> ：針對設備運作過程之人員資格、是否有輻射外洩之虞，或是輻射防護措施是否完善進行審查與檢查。
4.核發許可 證正式運轉	周圍環境監測一年 定期輻射監測與教育訓練	實地檢查整體設備的使用情況及操作人員的表現，審查通過後始可運轉。運轉之後，原能會仍會定期或不定期的檢查運轉情形。

三、輻射安全審查重點

■ 輻射屏蔽設計

- ◆ 設計基準、設計限值(參考 NCRP-144、151)
- ◆ 計算方法、相關參數
- ◆ 驗證比較

■ 放射治療

- ◆ 治療設備之配置
- ◆ 治療區域之規劃
- ◆ 治療設備操作人員應符合衛生署規定
- ◆ 醫療曝露品質保證計畫
- ◆ 醫療曝露品質保證專業人員
- ◆ 醫療曝露品質保證作業(依原廠建議)

■ 輻射安全

- ◆ 輻防組織及輻防人員(輻防師及輻防員各一人)。
- ◆ 區域劃分(管制)、輻射警示裝置及標誌
- ◆ 人員劑量管理
- ◆ 輻射偵測儀器(中子及加馬)、輻射偵測結果紀錄系統
- ◆ 連鎖裝置、監視系統、急停裝置
- ◆ 放射性廢棄物貯存、處理與環境影響評估
- ◆ 意外事故處理及應變措施。

■ 加速器管理運轉

- ◆ 運轉人員應取得高強度輻射設施運轉人員證書(新設施之運轉人員應於該設施試運轉前取得證書，應具有相關運轉經驗或資格)。
- ◆ 設備維修人員應為輻射工作人員。

伍、核子醫學部 曾凱元主任報告

一、摘要

台大癌症醫學中心以及質子治療中心未來面對的病患主要是沒有轉移而傳統放射治療效果不佳的病患，要能成功設立並且永續經營絕對需要所有相關各專科、專家以及個人踴躍參與其中各式各樣的臨床與研究工作。此次有幸到日韓幾個重要的質子治療中心參訪，由於有各方面的專家同仁共同參與，是一次相當豐富的學習之旅。行前依領隊王副院長指示針對各人專長有關需進一步瞭解且為本院質子治療中心未來可以使用與參考的領域進行了解，本人負責範圍如下：

1. PET Scan 在質子治療計畫 (Proton therapy planning) 應扮演何種角色，可能面臨那些困難必須解決及如何解決。
2. in-beam PET Scan 在治療劑量估算可能扮演之角色及其替代方案。
3. 由傳統放射治療進入質子治療之後造成癌症病患對於正子掃描需求量之改變與核醫部門之應變措施與計畫。
4. 質子治療儀安裝所需注意之輻射防護問題。

二、PET Scan 與治療計畫 (therapy planning; treatment planning)

(一) 說明

好的治療計畫其目標在於更好的癌症局部控制與減少 morbidity。目前放射治療對於腫瘤組織之治療計畫主要依據 CT scan 的影像，約始於 1980 年代初期，即現今所瞭解之 IGRT (Image guided radiotherapy)。雖已行之多年，但是，畢竟 CT Scan 主要是針對腫瘤與正常組織之解剖結構而進行規劃，對於腫瘤而言，其多樣之生物特性絕對不是一個解剖架構所能完全涵蓋、辨認的，利用正子掃描可以區分腫瘤各個部位之葡萄糖代謝、細胞增生、缺氧與否，血管增生等功能造影，理論上應可獲得有關腫瘤生物特性及組織不均勻度(heterogeneity)更進一步的訊息，而且，如果將這些訊息整合到治療計畫中，應該更能精確規畫每一細部之治療劑量以使治療更為有效，傷害更低，尤其未來質子治療之目標就在治療更為有效，傷害更低。

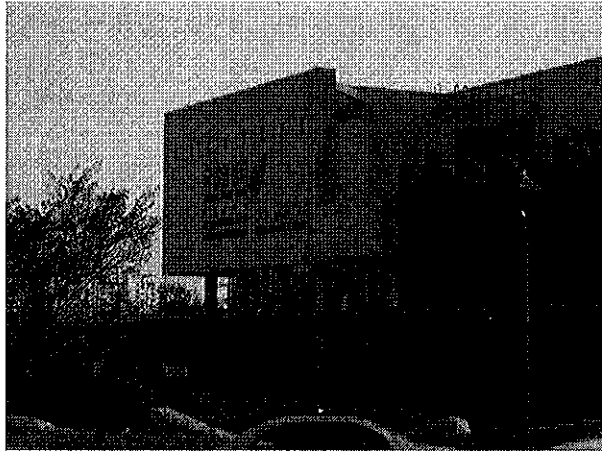
這方面在世界各先進國家之醫學中心皆仍在臨床研究階段，截至目前為止，NSCLC (non-small cell lung cancer)、食道癌、子宮頸癌等的研究已有正面的成果發表，我們在此時進入是十分必須的，這方面的研究絕對是台大質子治療中心與核醫部正子中心需要加強合作的部份。尤其本院正子中心目前除 F-18 FDG 以外已研發出 F-18 F DOPA (用於 neuroendocrine tumor)，F-18 FLT (用於偵出細胞增生)，F-18 F-choline (用於前列腺癌) 等更值得吾人將這些資訊與治療計畫整合。利用不同放射性製劑作正子掃描可以得到更為精準的 Target volume，使未來質子治療在 2D Treatment planning 之”dose painting”以及更進一步 3D Treatment planning 之”dose sculpting”可更準確。

利用 PET Scan 為基準的 TV(Target volume)與利用 CT 為基準的 GTV(Gross Target Volume)、CTV(Clinical Target Volume)是不同的，利用 PET Scan 為基準的又可稱之為 BTV(Biological Target Volume)。研究報告指出這兩者範圍約有 30-60%的差距。尤其在質子治療之後腫瘤逐漸縮小時，CT 與 PET 之表現會有差距，這在未來個別化腫瘤治療(personalized therapy)上是必須考量的，利用 PET Scan 可達到提供進一步 Target delineation 的目標。

利用 CT 掃描作 therapy planning 已行之有年，大部分技術上的問題都已解決。然而，利用 PET scan 作 therapy planning 面臨第一個問題便是影像傳輸的問題，如何透過 PACS 作影像傳輸且不致有資訊遺漏，PET/CT scanner 與 therapy planning workstation 系統之間 DICOM 規格相容之問題皆要預先解決。長遠之計為了提高治療的效果這方面的投資是絕對必要的。

(二) 參訪心得與建議

韓國國家癌症中心(National Cancer Center)質子治療中心目前所使用的 Treatment planning system 有許多公司的產品且仍以 CT 影像作為治療計畫之根據。即使如此，當初設立之時多種治療計畫產品之間影像之相容性也讓他們相當困擾。至於在同一棟大樓別的樓層之核子醫學部則有 3 部 PET/CT scanners，將 PET scan 的影像傳送到質子治療中心也花了相當的苦心。雖然使用 PET scan 作為 Treatment planning 的作法仍處研究階段，遲早他們會進入這個領域。我們的質子中心在創設之初就應該有這方面長遠的考慮。



韓國國家癌症中心(National Cancer Center)

由於他們使用的 IBA 系統並無 Treatment planning 的產品，但是，IBA 的代表允諾未來如採購 IBA 的系統他們將負責整合我們的 PET scan 影像與 Treatment planning system。這在未來訂定規格時應該注意。也就是說我們應該先決定 Treatment planning system 然後將上述整合上的問題交由 IBA 的專家去處理。這方面過去我們有嘗試過皆無法突破各 Treatment planning 廠商之間相容的問題。在提出規格時應注意這點。

從 Hyogo Ion Beam Medical Center 的經驗看來 respiration gating 已經配備在每一個治療室。因此，從 Treatment planning 開始 Respiration gating 就應包含在內，包括 CT scan 與 PET/CT scan 兩方面。

至於日本 National Cancer Center Hospital East 使用之 Sumitomo 產品沿用自行開發之 Treatment planning system，且無法用於傳統放射治療之計畫，採購時要小心。

此外，在癌症醫學中心要採購 PET/CT scanners 時也要配合這項需求進行採購未來才能達到整合的目的。在質子治療儀未裝妥之前就可以以直線加速器治療的 planning system 先試行整合的工作一邊解決相容的問題一邊讓同仁們互相學習這項工具。等到質子治療儀裝妥之後便可轉移到其上。

三、in-beam PET Scan 與 dosimetry, treatment varification

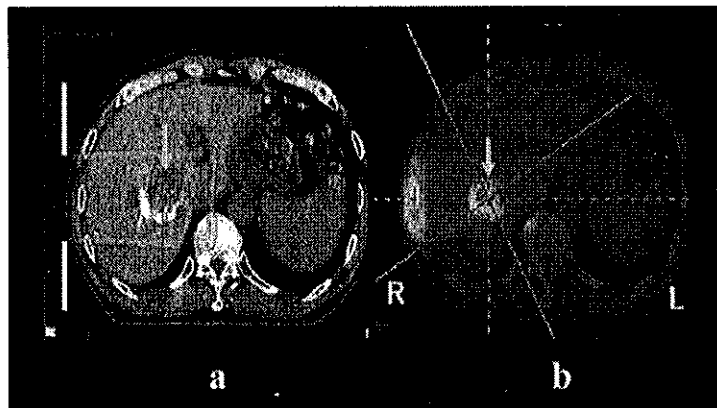
(一) 說明

腫瘤細胞在進行質子治療照射之後，少許體內之元素將被活化產生 C-11，O-15。利用所謂” in-beam PET Scan” 系統 (Sumitomo 稱之 on line PET Scan 系統) 可以進行這些微量正子活性之掃描作為原位非侵襲性放射劑量之監測，由於產生之訊號十分微弱，而且不同的細胞被質子照射後活化的程度不一，即使是同樣的細胞在照射束不同的深度也會有不同的反應，如何克服 PET Scan 照像之時間與技術，是我們希望瞭解的重點。

(二) 參訪心得與建議

韓國國家癌症中心所採用之 IBA 質子治療設備並無 in-beam PET scan 之設計，尙無產品推出，他們認為最大的困難是掃描圖之判讀。再說一旦增設 in-beam PET Scan 之部份成本也會增加，建議保留擴充的界面待未來時機成熟再加裝 in-beam PET Scan。另外有關加裝 cone beam CT 部份也持相同的態度，暫時仍列入研發考量未來看發展情況再做擴充的計畫。

然而，Hyogo Ion Beam Medical Center 的經驗則不然。他們將 PET/CT scan 定位為 Treatment verification system。他們利用獨立的 PET/CT scanner 作為病患接受質子治療之後立刻進行掃描來確認治療的位置是否正確（需時約 30 分鐘），而且他們已經在 2002 年發表了 (Int J Radiat Oncol Biol Phys 53;1388-1391)。



a. 為治療前 CT treatment planning 顯示之腫瘤所在；b. 為治療後 PET/CT 顯示受到照射之腫瘤有正子同位素之訊號，位置相同。

從 Hyogo Ion Beam Medical Center 的經驗得到另外的想法，未來台大癌症中心的核醫部先裝設兩部 PET/CT scanners，先與傳統之放射治療之間進行 PET

treatment planning 之整合與試用。等質子中心成立後可在該樓層裝置另外一部 PET/CT scanner 作為 PET treatment planning 與 Treatment verification system 之用。

日本 National Cancer Center Hospital East 採用的 Sumitomo 公司產品一部 gantry 配備 in-beam PET scan。其 in-beam PET scan 在病患治療後立刻進行掃描費時 200 秒(約 3 分多鐘),有其臨床使用價值且對治療的 machine time 影響不大,即使成本增加也應慎重考慮加入。

以上兩種方式皆可考量。

四、核醫部 PET/CT scan 之應變與配合

(一) 說明

今天對於癌症病患而言,不論放射治療或化學治療,對於腫瘤治療前後利用 PET Scan 作比較、追蹤等,尚未成為例行工具,尤其是國內。不過針對未來正子治療的過程,是否有效、效果如何,絕對需要這方面的資訊以為 evidence base。Brahme 於 2003 年提出放射治療開始前以及治療後一週之 PET Scan 可以獲得相當好的生物效應資訊。這麼一來,如果未來本院之質子治療中心之病患也要進行這種比較,勢必大量增加 PET Scan 的需求,再加上 PET treatment planning 與 Treatment verification system,那麼我們規畫的兩部 PET/CT 是否夠用,應參考日韓等先進中心的作法。

(二) 參訪心得與建議

韓國國家癌症中心之核醫部門配備 3 部 PET/CT scanners, Hyogo Ion Beam Medical Center 無論在 treatment planning 或 Treatment verification 上都使用 PET/CT scan。CT 加上 PET scan 的腫瘤定位絕對比單獨一種 CT scan 的定位要精準。未來 PET/CT scan 在使用的需求上是毫無疑問的,也是台大的癌症醫學中心要有特色的一個不可或缺的配備。我們不但要注意到量的配合也要注意質的配合。

2004 年本部當時購買的 PET/CT scanner 就有要求廠商配備 respiratory gate, flat table, external positioning laser。但是,很遺憾的與放射治療科的 treatment planning system 無法相容而且影像之傳輸也十分困難。當然,一方面民眾或臨床醫師也不知有此需求於是配備齊全的 PET/CT scanner 未能發

揮預期的效果。

未來應考慮兩部放在核醫部一部放在質子治療中心，這 3 部都要與放射腫瘤科的 treatment planning system 相容，也就是說 treatment planning system 的規格要先訂出，才能達到上述需求。

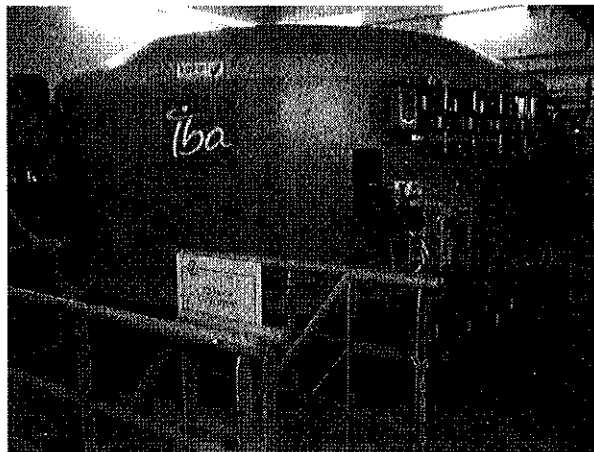
五、輻射防護問題

（一）說明

過去我們在安裝低能量迴旋加速器時面臨原能會對於我們輻射防護上嚴格的要求，質子治療儀不論使用的是迴旋加速器(cyclotron)或同步輻射儀(synchrotron)都會產生大量的輻射劑量，如何防護，如何要求其防護的範圍非但牽涉到安全問題，也牽涉到成本的問題，不同的公司對於各自儀器的設計，不同國家對於輻防安全的要求都不相同，值得我們進一步瞭解作為本院之參考。

（二）參訪心得與建議

由於韓國國家癌症中心之質子治療設備是韓國第一部也是截至目前為止唯一的一部質子治療儀。因此，在建立初期與韓國的原子能委員會之間彼此都沒有相關的輻射防護的經驗。因此，採取互相合作彼此學習的方式進行。未來應該也是我們可以採取的模式。



IBA 公司之 cyclotron

陸、醫學工程部 黃義侑主任、吳玉洺技正報告

本次參訪由醫工部負責之參訪項目有質子治療設備之資訊系統及維護之工作概況。

在資訊系統方面之參訪主要著眼於質子治療系統整體之資訊系統內容，以作為將來建置質子治療系統時之資訊環境需求的參考，其主要內容為腫瘤資訊系統(OIS)及治療計畫系統(TPS)將來必須要注意之事項。

另外一個參訪項目是維修概況，在此一參訪前系統廠商針對質子治療系統維護工作執行方式討論的內容，在參訪時與醫院互相討論及與陪同的廠商作確認的工作，並作出將來維修模式及合約採購之建議。

最後針對將來質子治療系統之運轉操作人員是否應該以自動化的系統取代操作人員的問題進行討論。

腫瘤資訊系統(Oncology Information System)

腫瘤資訊系統(又稱為病患資訊系統、RTIS: Radiotherapy Information System、紀錄及驗證系統: Record & verify system)在此一質子治療系統中的角色似乎不是很受到討論及重視，在這次的參訪中討論到將來如果要與傳統的放射治療結合進行研究及發揮最大的治療效益，則一個完整的資訊系統扮演相當關鍵的角色。一個完整的質子治療之資訊系統組織如圖 1。

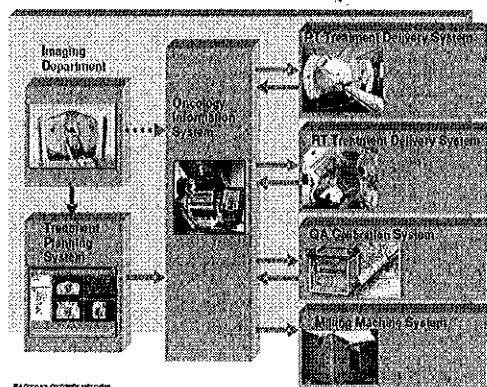


圖 1 質子治療之資訊系統

OIS 在腫瘤放射及質子治療中整合治療計畫系統、質子治療系統、品質驗證系統及銑工系統。

從治療計畫系統中，醫師及物理師共同使用該系統，載入 CT sim 影像或再載入其他 MRI 等影像作影像融合後，定義出腫瘤位置、劑量分佈計算出最佳的治療過程及方式，將該結果存入 OIS 中，並在 OIS 中進行排程以應付不同病患在每個時點的治療作業與其他病患的時點不互相衝突。

在每天質子治療系統開機時進行 QA，並將 QA 資訊載入 OIS 中最為後續追蹤及設備狀態的紀錄。

當病患將要進行治療前，銑工系統從 OIS 中下載治療計畫中計畫要製作做的 Collimator 及 Compensator 資訊，由該系統產生治療所需要的組件。

當病患要開始治療時，質子治療系統從 OIS 下載治療參數資訊，直接完成質子治療機的治療設定，當病患完成固定後開始作質子照射治療。當完成治療時將治療資訊及其他產生的驗證影像存入 OIS 完成治療。

由於在放射治療的部門中存在直線加速器的光子治療，及未來的質子粒子治療，兩者合併使用的優缺點尚有相當多可以研究的空間，OIS 同時能處理光子及粒子治療資訊的能力對於將來的研究及治療療程必然有極大之幫助。

因此在 OIS 此一部分必須訂定規格，以符合未來的需求。訂定規格之原則應以下列幾點作為考慮之依據：

1. OIS 必須能與質子治療機資料交換，從質子治療機必須可以直接從 OIS 下載治療參數，無須手動輸入，另外在質子治療機驗證定位影像亦必須可以傳回 OIS 儲存，因此影像交換也是重點，必須能處理 DICOM 3.0 影像介面標準之影像。
2. OIS 必須能與市面上的主要直線加速器廠商可以進行資料交換，進行治療參數下載及影像交換。
3. OIS 必須能與未來質子治療計畫系統接合，計畫完成之治療參數能上傳 OIS 儲存，以作為將來治療機提取之用。
4. OIS 必須能與市面上主要的治療計畫系統或本院是使用的治療作業系統連接。
5. OIS 必須能與醫院的 HIS(Hospital Information System)進行連線，依照目前醫院資訊系統間連線之標準，其資料交換必須符合 HL7 之標準。

上述之 OIS 與 TPS、Linac 及治療系統計畫系統之互相連線均需要 OIS 廠商與其它相關系統公司具有合作與授權之關係才可以達成。

治療計畫系統(TPS)

為了設計治療劑量的投給，使腫瘤位置接受最大的放射劑量；其他正常組織接受平均較低之劑量；重要組織如腦幹、心臟等接受微量之劑量，因此 TPS 從 Mini PACS 中載入 CT sim 影像，或從其他 PACS 系統載入 MRI 等影像作影像融合，再進行腫瘤及其他生理組織圈選程序後，藉由治療計畫系統之計算，得出最佳之劑量投給方式、投給次數及在治療機上必須設定的參數。

為了要計算劑量投給方式，TPS 必須知道治療設備的限制條件，例如 Proton Therapy System 或 Linac 的照射角度、能量調控範圍、治療床台之調控角度、MLC 參數、IMRT 參數等。

此一參數之取得及操作之程式模組均需要由 TPS 廠商與設備廠商之間具有合作及授權之關係發展，因此 PTS 必須有適當的治療計畫系統廠商與之配合發展或自行發展。以目前質子治療機之系統大部分均與其他治療計畫系統之廠商有互相合作之關係，少數自行發展 TPS。

另外在影像的交換上因為必須載入 CT sim 的影像資料或者載入其他如 MRI、PET 等影像資訊，因此 TPS 必須能符合醫療影像資訊交換標準 DICOM 3.0 的規範。

由於目前產生影像的設備各有不同之特性，能夠將不同影像結合放至治療計畫使用，將可使診斷及計畫更具有可靠性。

因此將來擬定 PTS 時也必需考量有適當的治療計畫系統與之配合，如能使用一個功能強大，且與目前醫院使用中的治療計畫系統有相同介面之系統更佳，可以減少醫師及物理師的負擔。

目前參訪的三家廠家在的治療計畫系統及 OIS 方面的資訊如下：

	Iba	Mitsubishi	Sumitomo
TPS	Varian CMS (Elekta) (Neucletron)	CMS	Sumitomo (Varian)
OSI	Varian (Elekta)	unknown	Sumitomo (Varian) (Elekta)

維護概況

本計畫截至目前為止六家質子治療設備廠商(Iba, Sumitomo, Accel, Siemens, Mitsubishi, Optivus)之報告，廠商所提之後續維護合約計畫書中包含零件、維護、保養及加速器操作等四個主要項目。

由於在參訪出發前蒐集的資料顯示，目前在世界上有質子加速治療設備可能由醫院自行負責維護工作的醫院有韓國 NCC、中國 Wanje、法國 Osys 及美國的 MGH，以上各家醫院的設備均為 Iba 公司的設備，但是在此次參訪的過程中確認目前只有韓國 NCC 由醫院自行組成 5 人維修小組進行維修，其他均已在近期簽訂 8 至 10 年不等之運轉及維護合約，而韓國 NCC 也只是剛保固期期滿，有關合約尚在討論中，依據韓國 NCC Dr. Park 的說明將來可能簽訂 Partial service contract。

值得一提的是中國的 Wanje 醫院在決定自行維護後，期間發生系統當機故障，經歷了一年多時間的當機無法修復，所以在今年的四月開始與 Iba 公司簽訂 10 年期的操作與維護合約，此一案例亦顯示要進入加速器維護之過程前必須有一個適當的訓練及熟悉期。

在有關維護工作的部份 Iba 及 Sumitomo 公司均提出以簽訂 10 年期的操作與維護合約，在 10 年間進行技術轉移 並且逐漸調整維護組員中該公司與本院的人員比例，直到合約期滿時完成由醫院自行維護的目標。

合約期滿後，Sumitomo 建議再簽訂一個顧問合約，由該公司派遣一個資深工程人員，駐院作為維修顧問以解決不可預期及較困難的維修。

在簽訂操作及維護合約方面，full operation and service contract 的價

格對原始系統採購價格之比例範圍，依照目前各家之報告內容約為 Iba 5%, Mitsubishi 8~10%, Sumitomo 4%, Optivus 5%, Siemens 10%, Accel 未知。從以上的比例可以預測將來之運轉及維護成本約在系統採購價格的 6.4% ($(5+8+4+5+10)/5 = 6.4$)。

合約期的成本估計尚屬容易，但是在合約期滿後如果由醫院自行維修，後續之零件供應合約、零件價格及技術顧問合約等項目，均需較精細的估計方能找到長期不同營運模式的成本。截至目前為止，除了有些廠商未針對此一模式表示同意外，即使同意之廠商也尚未有任何一家廠家提出較具體價格對原始系統採購價格的比例範圍。

醫院自行維護質子治療系統之組織及問題

依據各廠家的報告及韓國 NCC 的維護模式，維護組員之人力需求約在 5 到 8 人不等的規模。

質子治療系統之日常維修之維護工作內容重點有三項，真空系統、冷卻系統及質子電流監測系統，另外在年度的維護中，必須將迴旋加速器(Cyclotron)打開進入到加速器內進行維護。

配合前述的工作內容，維護組員之教育背景大約需要醫工、電機、電子、機械、控制等專業，在後續的訓練內容上必須加強基本物理、醫學等相關知識以符合實際工作的需要。訓練方式可以以學校專門課程之訓練(如韓國 NCC 派員至美國 Indiana University 受訓)、原廠設備課程及質子治療機之 on site training 等三種方式進行訓練。

長期來看，自行維護的做法可能遭遇的困難為人員之養成及穩定性的問題。因為高能設備牽涉微波及粒子等基礎物理知識及經驗，需要長時間的培養才能完全的掌握，以 Iba 在中國的例子來說當保固期期滿後即自行接手維護工作，因故障即造成長時間的當機，顯然在技術及經驗培養這一個過程並不如想像的容易。

從另一個人員的角度來說，此一領域之可以獨當一面之維護工程師數目並不多，可以預見的將來在中國及世界各地將有一波質子治療機裝設之潮流；另外如直線加速器等高能設備裝設亦發展的很快；工業界高能設備之應用亦日漸增加，在此一相關領域之有經驗的工程師需求殷切。

在工作性質方面，此一維護工作配合治療排程必須在半夜及假日進行，尤以每年之過年長休假亦必須投入機器之年度保養。另外在加以加速器及能量衰減器，因長時間受高能粒子的撞擊，活化所產生的輻射劑量，以使維修人員必須接受額外高的放射劑量，其工作性質並不討好。加上如前述的養成不易及人才需求殷切的問題，在將來如何能夠留住歷經完整訓練且可獨當一面之維護工程師將是一個必須克服的問題。

維護方式之建議方案

考量將來在營運時維護成本每年一至二億元，該成本將佔營運成本中極為重

要的比例，因此必須有部分的維護工作由醫院自行負責，以減低營運的成本壓力。

在考量維護工作的複雜程度，建議將來維護接手的工作必須以五年或十年的時間，採漸進式，逐漸的進行技術轉移，再完全由醫院接手。

為考慮醫院自行接手進行維護之工作之維護人員穩定性，建議在維修人員的薪資結構上做必要的調整，例如可以參考核能電廠的工作人員，從一般行政人員至反應爐操作維護人員給予總薪資 25%至 50%不等的輻射加給，夜班人員另行給付夜班加給等誘因，以留住有能力獨當一面的優秀人才。

在醫院自行維修後如果遭遇重大故障維修困難的情形，建議在期滿後簽定技術支援之條款，可以訂定該公司之高級工程技術人員來台協助處理維護之工時費用備忘錄。有關後續的維護工作所需要的零件，可以考慮以簽訂零件供應合約的方式，保證零件的供應不至中斷，控制零件的成本在可以接受的範圍。

就整個採購案的角度，因為質子治療系統為捐贈項目，由捐贈單位進行單項進行採購。如果捐贈的資金範圍許可，可以內含簽訂五或十年的保固及技術轉移合約。

另外在五年或十年合約期滿，由醫院自行接手維修後的零件供應價格及技術支援工時價格亦必須簽妥備忘錄，以作為後續醫院自行接手維護的依據。

質子加速器操作之問題

Loma Linda 的 Opitvus 公司所提供之系統具有加速器自動操作之控制系統，只要放射治療師在治療室將病人固定及治療參數設定等工作準備完畢，即可由治療師進入加速 Beam 使用權之排程系統，取得優先次序，待上一個病人質子照射完畢後即可取得控制權，進行該治療室之照射。此一自動控制將可以減少加速器之操作人員的成本(二班四人)。

在此次的參訪中，針對此一問題向 Iba 及 Sumitomo 公司提問看法，兩家公司均認為自動控制系統以目前的科技技術並不難克服，但是就一個治療病人之高能加速器，完全自動化的控制在安全上的議題上是有相當的疑慮。另外就原子能委員會的要求，亦不可能完全的將加速器之操作完全的以自動化操作無人員進行監測。

就以上的說明及本次參訪所討論之綜合意見，我們認為無人員進行加速器之運轉操作是風險較高的作法，但是再設備的自動化操作減輕操作人員之負擔，亦可列為選項的加分項目。

由於目前各廠家的維護操作合約項目中均包含加速器之操作，而其工作之複雜性遠比維護工作容易，將來也許可以將加速器操作的工作直接由本院自行聘用操作人員，減少維護合約之成本。

柒、台大物理系 熊 怡主任報告

1. Introduction

This trip of site visits was supported by National Taiwan University Hospital (NTUH) to evaluate 3 vendors (IBA, Mitsubishi and Sumitomo) for cancer treatment proton facilities in 3 different hospitals, Korea National Cancer Center (KNCC) near Seoul, Hyogo Cancer Center near Osaka, Japan and Japan National Cancer Center in Kashiwa (JNCC) near Tokyo. Our committee will also use this opportunity to form a consensus in selecting the proton facility and vendor for NTUH' s new cancer facility in Gonguan.

Except at Hyogo, we had seen good operational demonstration of proton facility including accelerator, beam extraction system, beam line and treatment rooms from the hospital at KNCC and JNCC, as well good discussions with representatives from the two vendors, IBA and Sumitomo. We had spent only two hours at Hyogo and had a short presentation and brief tour to see the model of the accelerator complex.

2. Comparisons for the proton facilities and cancer treatment

a. Proton Facility:

Both KNCC (IBA) and JNCC (Sumitomo) use cyclotron as proton accelerator with similar footprint for the 230 MeV proton cyclotron, beam extraction lines, gantry treatment area. Each company has developed and provided its own treatment planning system. Therefore, we had direct comparison of these two facilities and vendors. The IBA' s system at KNCC is built more recently than Sumitomo' s system at JNCC. The energy of the proton beam from IBA is continuous and is calibrated in small energy steps, but at JNCC the beam energy is fixed at a few energy levels. Although Sumitomo claim that their new machine can have continuous beam energy. This requirement is needed when we use the beam scanning method for treatment. The beam extractions and beam line layout are very similar in both places. However, KNCC has a better space

layout and more room for beam line system. It is clear that both vendors are capable to deliver the proton accelerator system to us with good reliability and better than 98% up time.

However, Hyogo (Mistubishi) uses proton synchrotron as accelerator and with a mere two hours site visit, we did not get a chance to see any hardware facility or treatment room and treatment planning system at all except a model of footprint of the complex and a tour to their proton and ion sources area with some discussions of the layout of the facility. Although Hyogo has both proton and carbon ion beam for clinical treatment, but they use more proton than carbon in clinical trials. It is therefore, safe to choose proton only facility. The synchrotron needs much more space for the footprint of the synchrotron ring, power supplies and control electronics system. The layout of the accelerator control room and treatment rooms are quite far from each other at Hyogo therefore it is not a good design for efficient communication and treatment operation.

b. Gantry Operation and Beam Nozzle System:

At KNCC we have seen one of their gantry room and beam nozzle system, one improvement the IBA will have to do is to put in the treatment floor of the rotating gantry for the safety of treatment. They have a good laser alignment system. The beam nozzle system can have single scattering, double scattering and also multileaf collimator and they are developing the beam scanning system.

At JNCC we have seen their gantry room, fixed beam room and real time patient treatment in a gantry room from the camera of the control room with automatic beam delivery system and respiration gating system. It is quite impressive to see the whole operation. We have also seen their treatment planning systems. One issue for Sumitomo will be to have their designed planning system translated in English and Chinese and also be linked with NTUH hospital planning system.

c. Regular Operation, Maintenance and Self-Maintenance Issues:

The regular operation and maintenance for both IBA and Sumitomo's

cyclotron and beam system requires very few technical persons and engineers. Therefore, after the initial guarantee period I believe that we can work out a 5 years transition maintenance contract with a goal to self maintain the whole system in the future. The spare parts replacement can also be done at some fixed period for a few expensive items. Most of the other spare parts are relatively easy to do regularly.

However, the self-maintenance will not be easy for Mitsubishi' s synchrotron. It will require a lot more technical persons and engineers as well as longer shutdown period of each year which will have the schedule impact of the patient treatment.

3. Recommendations

With the impression of this trip of the three facilities we visited, I will recommend two vendors IBA and Sumitomo. Both are using similar cyclotron technique for the proton accelerator as well as gantry treatment room. Both have demonstrated their ability and the reliability of their proton machine and beam delivery system, as well as the gantry operation system and patient treatment system.

捌、工務室 蔡易豐主任報告

參訪對象

國立癌症中心東病院位於千葉縣，該院於 1995 年開始建築，1997 年完工，1998 年進行臨床試驗，1999 年 1 月開始治療病患，是日本第一座粒子治療中心。其加速器為迴旋加速器，產生之粒子為質子，設備廠商為住友(Sumitomo)。住友雖然從 10 年前於癌症中心東病院設置一台迄今並無第二台粒子治療設備，但其於迴旋加速器不斷進行研發改進，去年國內外售出多台加速器設備，為日本最大的迴旋加速器設備製造商。

兵庫粒子醫療中心位於兵庫縣，於 2001 年開設，其加速器有迴旋加速器及同步加速器，是目前世界上唯一同時有質子及重離子(碳)設備的中心，大部分病人接受質子治療，設備廠商為三菱(Mitsubishi)，惟截至目前為止，三菱並無海外實際銷售經驗。設置經費方面，設備費用 ¥130 億，建築 ¥80 億，醫院 ¥80 億，共計 ¥290 億。

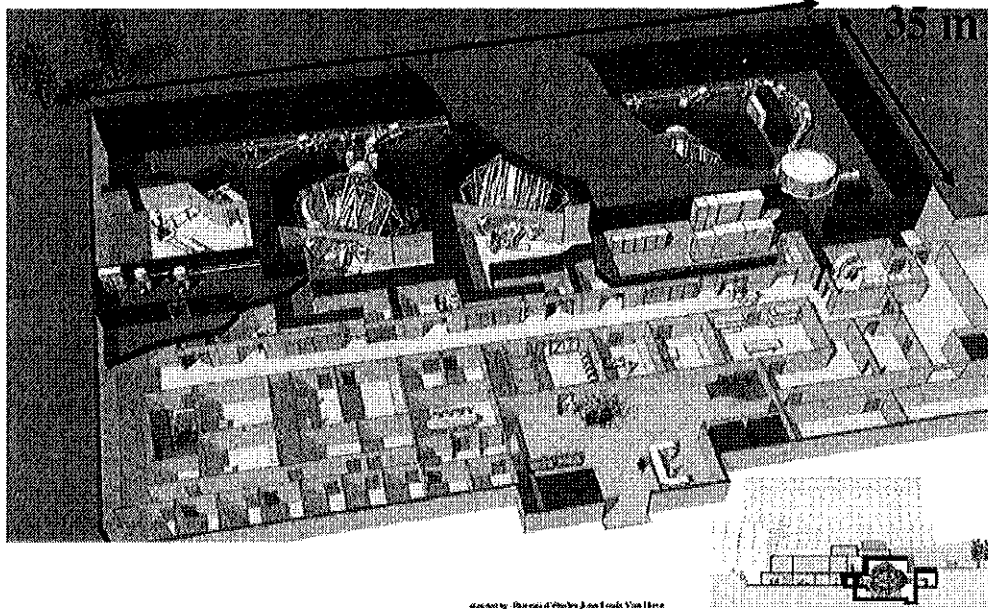
韓國國家癌症中心(KNCC)位於首爾郊區，2002 年 6 月簽定合同，2005 年 2 月開始裝置設施，建築過程曾遭遇一些困難，2007 年 3 月 19 日開始質子運作。

結構系統

一、KNCC

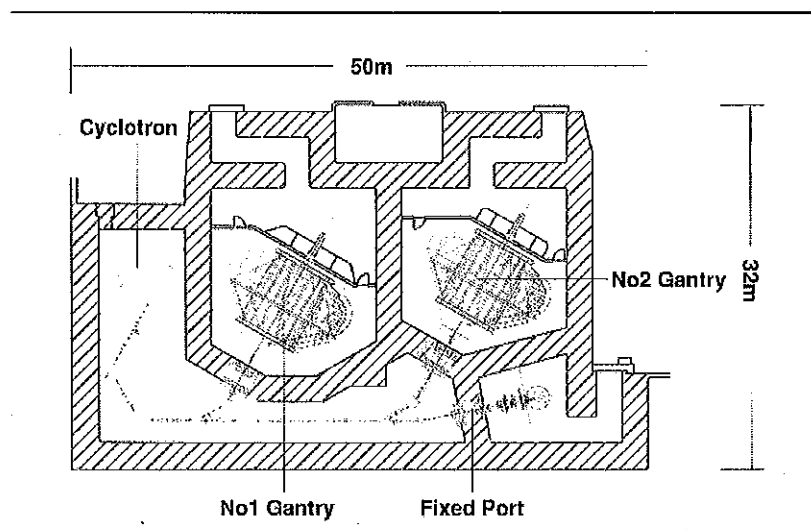
其為地下室達 3 層之建築物，因地上樓層不高，故採鋼筋混凝土造，因 gantry 及 cyclotron 其重量甚重，亦有幅防問題，而 gantry 體積甚大，故均置於地下室。本體因需有厚重混凝土牆以為屏蔽，故 gantry 及 cyclotron 及屏蔽牆下方基礎強度需特別考量，必要時施作基樁以將重量傳至承載層。另因韓國甚少發生震度強烈之地震，故由其樑柱尺寸判斷係無耐震設計，當然亦無其他之抗震設計。其平面配置如下：

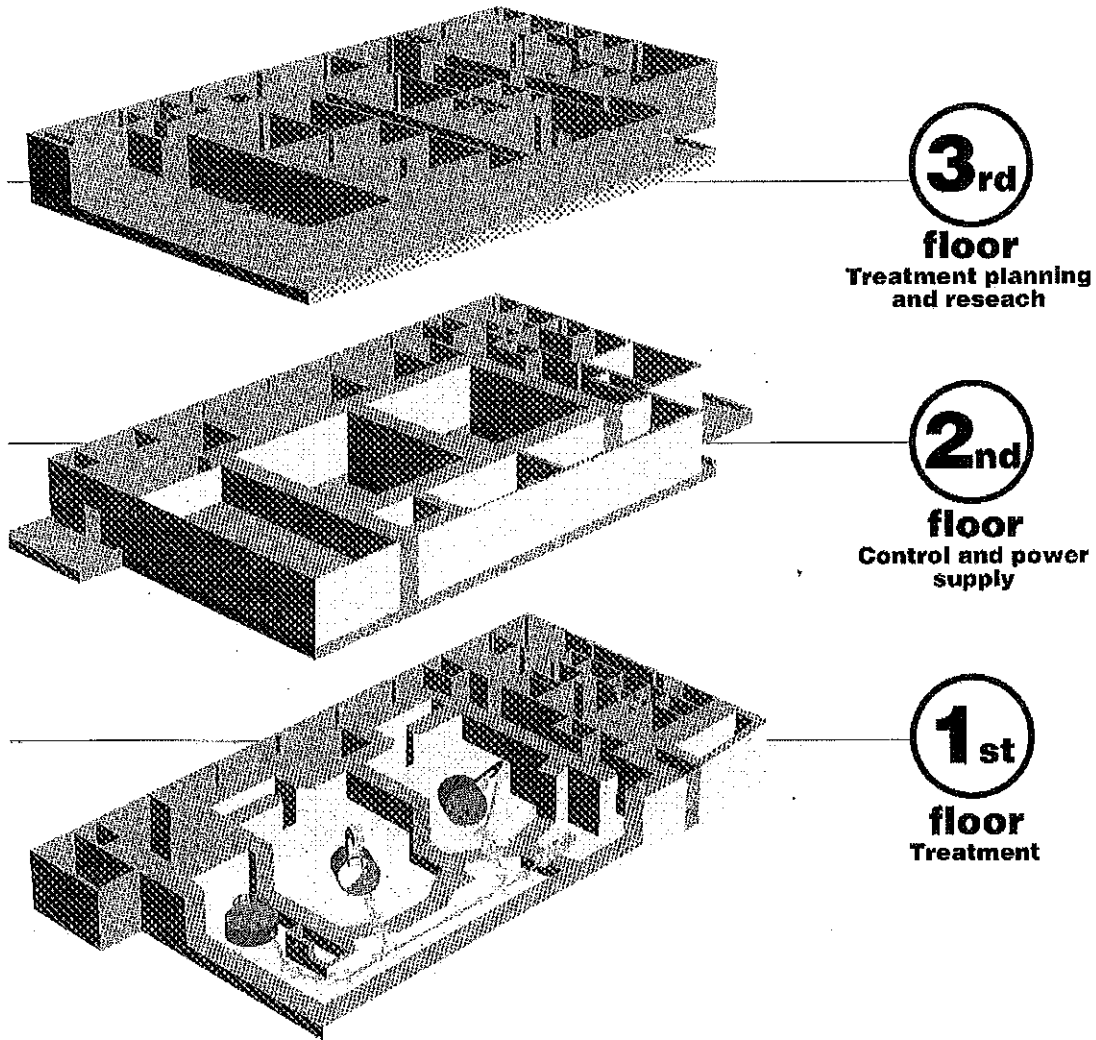
80-100 m



二、NCCH

治療中心為三層樓之建築物，三樓為 MRI 照射室，二樓為 CT 室，一樓為臨床質子治療樓層，Gantry 的直徑約為 10 公尺，長度約 7 公尺，重量為 150 噸重，高約 3 層樓(高 12 公尺)，迴旋加速器重量約為 200 噸重，因其甚重故放於底層，以將重量直接傳遞至地底。同樣因其樓層不高，故採為鋼筋混凝土造，其厚重之輻射屏蔽亦形成剪力牆，可藉此抵抗地震力，其餘結構體應為韌性立體剛構架，但在剪力牆配置下，樑柱尺寸可縮至最小，至於其基礎型式因缺乏資料，故無從得知，但若筏基無法克服差異沉陷問題，則可考慮基樁施工方式。其平面配置如下。





三、兵庫縣立粒子中心

粒子中心為地上一層及地下一層之建物，位於山上，其為 RC 造，其以厚重之幅射屏蔽形成剪力牆，可藉此抵抗地震力，另結構體應為韌性立體剛構架，惟尺寸應為下限，至於基礎形式無從考究，但以山上岩石遍布研判，其應為筏基。

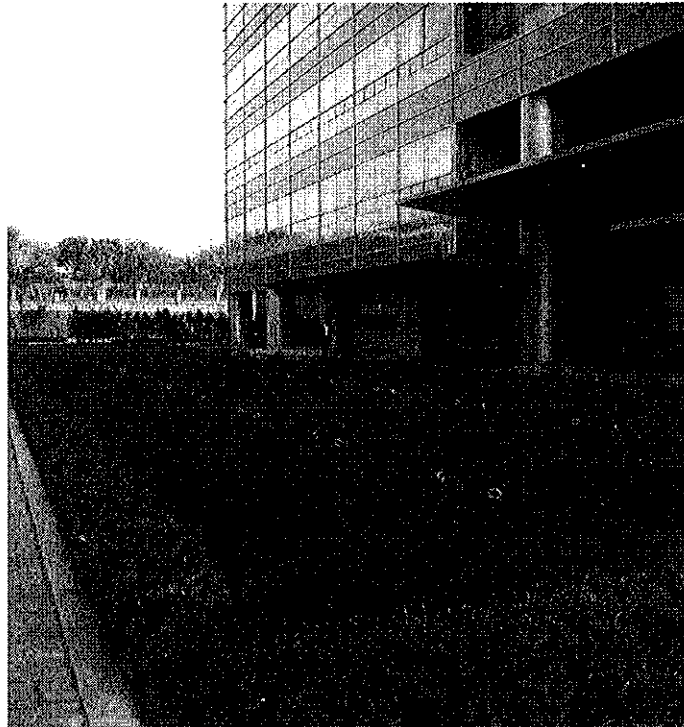
施工方式

一、KCCN

本案 gantry room 因高度達 3 層樓，故施作方式研判係於 gantry room 四週先行施作鋼筋混凝土牆及頂版，一邊牆之上方預留缺口，俟吊入 gantry 後再以預鑄版封填，其中缺口邊應成 offset 以防止幅射外洩。另 cyclotron room 上方預留一開孔，放入 cyclotron 後再以預鑄版封填。其他係為柱和厚重平版構成之

空間，其與其他空間俟設備吊入後再以混凝土磚封填缺口。

本案因與鄰房相距甚遠，土壤強度甚高，故開挖方式以明挖(open cut)方式辦理。預留吊裝口如下：



二、NCCH

本案施作方式研判係於四週先行施作鋼筋混凝土牆，俟吊入 gantry 及 cyclotron 後再以鋼樑架設其上，並以 deck 為模板，其上澆注混凝土後，再往上施作各樓層。

本案開挖深度極淺，以明挖方式處理即可。

三、兵庫縣立粒子中心

本案施作方式研判係於四週先行施作鋼筋混凝土牆，俟吊入 gantry 及 cyclotron 後，再於其上構築樓版，本案開挖深度極淺，以明挖方式處理即可。

綜上而論，除 KCNN 預留擴充空間及吊裝口外，日本各中心並無預留上述設施，亦即上述設備要除役必須就地拆解至很小的零組件運出，甚至拆牆拆屋才可竟其功。

設施及設備

一、KCNN

首先就空調系統而言，於 gantry room 加裝許多箱形冷氣機，可見原空調

設備似有不足，另國內要求之排風設備前應加裝濾網，以控制幅射，在此則未看見。於 cyclotron room 中是以一般風管送風來作控制溫度，牆上亦有 monitor 顯示溫濕度及幅射量。Power room 之出風係由天花板之出風口出風，再由高架地板處迴風。

消防方面，除有火警感測器外，並未有自動滅火系統，惟設有許多滅火器，研判其目的為避免水損。

就管線設備而言，重要設施上方未有水管及風管通過，故漏水及冷凝水現象並不會造成設備損傷，另外在重要空間均有溫濕度 monitor。其電管均不與地面接觸，縱使進入溝槽亦懸掛於槽壁，且地上之溝槽遠比國內大，亦可供排水用。

就幅射管制而言，迷宮牆(maze)及所有屏蔽係以 RC wall 為大宗，管線以彎折方式穿越屏蔽，與其它空間之小型預留孔則以混凝土磚填塞，大的預留孔（如 gantry room 吊裝口），因可能受力，故以 PC 版樑填塞。

電力方面，其如同國內般有 UPS 及緊急發電機，僅重要設備(如電腦)備有 UPS，緊急發電機經研判應與主要建築共用，惟其優先順序及負載投入時間，於設計時需由設備商與業主共同討論後決定；另其電源要求亦十分嚴格，不可有突波或瞬間壓降，此為營造廠商需特別注意；接地之電阻必須小於 10ohms，惟此甚易達到。

耐震考量，有關 Cyclotron 之停機震度，廠商並未提及，惟此感應設備，應不難作到。此外管線接頭之防震處理，抵抗水平地震之橫向支撐於現場並未看到。

二、NCCH

空調系統而言，於 gantry room 以風管出風口提供通調。於 cyclotron room 中亦是以一般風管送風來作空調，cyclotron 之冷卻系統有 primary 及 secondary loop，二者以 heat exchanger 作熱交換，同時亦可控制幅射外洩。消防方面，亦如同 KCNN 般，除有火警感測器外，並未有自動滅火系統，惟設有許多滅火器。就管線設備而言，重要設施上方未有水管及風管通過，故漏水及冷凝水現象並不會造成設備損傷，其電管係以 cable tray 懸掛。就幅射管制而言，迷宮牆(maze)及所有屏蔽係以 RC wall 為大宗，另自動門係以 RC 牆以軌道方式運轉，其與國內懸掛式方式不同，運轉時並播放音樂，以提醒旁人避免被壓傷。電力方面，其如同國內般有 UPS 及緊急發電機，僅重要設備(如電腦)備有 UPS，緊急發電機經研判應與主要建築共用。耐震考量方面，Cyclotron 之停機震度為 0.3g，此外管

線接頭之防震處理，抵抗水平地震之橫向支撐於現場並未看到。在水電特殊需求方面，迴旋加速器需要 380V—950kVA 和 220V—350kVA，冷卻系統、CT、MRI 等等則需 220 V—400kVA，至於冷卻用水則需要 3m³/h。

三、兵庫縣立粒子中心

因其謝絕參觀，故無從評論。

其他注意事項

有關其他設備商對於營造商提出之書面要求謹列如下：

- 1、地坪平整度之要求。
- 2、交通所引起之振動之去除。
- 3、排氣、冷凝水、地下水幅射之管控必須滿足當地法令要求。
- 4、幅射區域必須有互鎖門 (interclock)，以免幅射外洩。
- 5、接地系統要良好。
- 6、高壓設備周邊要有防護。
- 7、管線進入屏蔽要有栓子或採迂迴路徑。
- 8、吊架或 I bam rail 要穩固錨定在結構體上，以便吊裝設備。
- 9、要有吊裝口及裝卸設備。
- 10、吊放設備入室內時，吊裝路徑要有屏障 (shutter) 以防止灰塵、雨水等損及設備。
- 11、營造廠興建過程中必須移除空間之水蒸氣，以免混凝土品質不佳。
- 12、營造商與設備商必須密切配合，以滿足設備商之要求，如樓版及頂版修飾、電力及空調必須完成，設備才可進入。
- 13、混凝土工程完成後 6 個月，設備才裝入，以免水化熱損及設備或屆時混凝土抗壓強度尚不及發揮，甚至發生大規模之潛變。
- 14、電力容量要滿足需求，電壓要穩定，變化不可太大，應在 5% 內，且應提供純淨之電力品質，不可有突波及諧波。
- 15、監視中心 (水、電) 最好在 PTS 設施外。
- 16、PTS 設備室內必須有排水坑及 pump 設施以充分排水。
- 17、電腦必須連接至 UPS，同時可切換至緊急備源系統 (backup power)，gantry

必須連接至緊急備源系統，以安全迅速釋放病人。

- 18、 各空間之溫溼度必須符合要求，如溫度變化於 2℃ 度內，濕度於 30~50% 之間，以避免冷凝水產生。
- 19、 在幅射管制區最好有兩套空調系統，以免一套故障時，整個換氣工作即告停擺。
- 20、 幅射管制區要有監視及過濾系統，俟幅射衰減至一定量時，才可釋放出來。
- 21、 幅射區及非幅射區要有分開之冷卻水系統。primary 及 secondary 循環以熱機交換器交換，primary loop 之水不流出，secondary 之水以 cooling tower 作熱量釋出。

結論

- 1、 質子中心之興建，須營建承商與設備商密切合作才可，故雙方之分工，於簽約時即需釐清，另設備進場時間，更需雙方協議後，切實遵守，否則任何一方延宕，均會造成巨大損失。
- 2、 以台灣而言，地震、地下水及冷凝水問題，將是本工程所必須特別考量的，故防震、防水的作為務必審慎考量。
- 3、 為利吊裝迴旋加速器及 gantry，質子中心必須位於利於吊裝之位置，若有預留口，則防水及幅防要特別注意。
- 4、 以本土之營建技術而言，質子中心之興建並非難事，惟工程進行中之細節與協調問題，國人需投注予較大之關心，否則極有可能於日後維護上耗費許多精力。

玖、企劃管理室 楊銘欽主任報告

韓日的質子治療設施皆為自行營運管理，也接受其他醫院診所轉介病人，本院也可以依循此一模式，自行管理，與他院建立轉介之模式。

質子治療設施主要的工作內容可分為醫療、研究、與教學。

醫療方面為評估病患是否適合接受質子治療，如果合適則進一步設計療程，提供治療。研究方面為蒐集與分析不同療程與療效相關數據，以改進療程的設計。教學方面，除培訓本院相關人員外，可考慮配合醫學院校，醫工及醫用物理研究所專題研究之教學或實習，以儲備專頁的人力。

要讓質子設施順利運作，必須有下列投入：

首先是週邊配套醫療服務，因為我們的目標應該是提供病患適當的服務，不只是質子治療而已，其他門診、檢驗檢查、住院皆為必要。長期而言，也應對遠道的民眾提供住宿安排。

其次為質子治療中心本身，包括診療空間，教研空間，病患空間、治療相關設備、軟體系統、Treatment Planning System、其他相關的 Health Information System 等。人力方面則包括醫師，醫學物理師，護理人員，行政人員，醫工人員等。

有關質子治療中心人力配置，韓國的 KNCC 有 9 位醫師、10 位物理師、34 位 Radiation Therapy Technologists, 5 護理人員、4 位在 main control room 的操作員（領有 IBA 公司短期訓練證書）、以及其他人員 5 位。日本 JNCC 東病院則建議每一個 Gantry 應配有 4 位操作人員。然這些都會受到工作負荷以及是否有相關人才的影響。

為了維持設備環境的溫度、濕度以及電壓，質子治療中心營運所需電力為重要支出項目，需要仔細估算。此外例行調整校正，定期維修，零件更換等也牽涉到設備能否順利運作，皆須和承商詳細討論。

有關服務量方面，僅日本兵庫縣立粒子治療中心的服務量可作為本院參考，該院院長宣稱 2007 年達 600 位，已可打平開銷。其他如韓國 KNCC 的設備還在起步階段，還有日本 JNCC 仍以研發為主，服務量都不算多，不適合作為本院經營模式的參考。以上三家醫院的質子治療設施皆為政府出資，再交由醫院營運。

下表為 IBA 提供的數據，以一天 16 小時工作，全年工作 275 天為例，如果每位病人照 25 fractions，每次 2 fields，且有 4 個 treatment rooms，則一年可以治療 1964 位病人。其基本假設條件為：

1. Two nurses work together
2. Dose of 2 Gy delivered at the tumor for each fraction
3. Dose rate of 2Gy/min
4. Treatment in Scattering only, fraction total irradiation time is 1 min, field irradiation time = 1 min/# fields.
5. Beam preparation is 45 seconds.

6. Beam turning is 15 seconds.
7. Beam availability is 100%.
8. No verification of the target position after application of the correction vector.
9. Daily operation time is 16 hours, including 14 hrs. for treatment and 2 hrs. for QA and field calibration.

IBA 公司提供每年能提供服務的人數，依照不同的照野、次數、及房間數分

# of fields/fraction	2	2	2
# of fractions/pt	11	25	40
# pt/yr for 1 Treatment Room	1116	491	307
# pt/yr for 2 Treatment Rooms	2232	982	614
# pt/yr for 3 Treatment Rooms	3348	1473	921
# pt/yr for 4 Treatment Rooms	4464	1964	1228

有關收入的部分，日本政府規定每位病人收 2,883,000 日圓，其他若有檢驗檢查或住院，可以用健康保險支付。韓國則為美金 20,000 到 35,000 之間。詢問接待的 Dr. Park 其定價的原則，告知是不想高於日本的定價(約 28,000 美金)，而韓國 IMRT 的定價為美金 15,000 元，故取中間值。將來本院訂定價格時，除應先估算投入成本外，也需要參考國際收費標準。

壹拾、**癌醫籌備處 鄒郅郁事務員報告**

為建置本院質子治療中心，出國參訪國外最新設備是我們籌備小組既定之工作計畫之一；在這之前，我們邀請目前所有的質子製造廠商（共七家）來院簡報，以了解現今這項最新的臨床放射線治療設備的發展與近況，故此行一則是再做實地訪察，一則也藉此形成團隊對設備需求之共識，在所謂已進入客製化的質子設備中，訂出我們最具優勢之規格，以期建置後，提供國內放射線治療最先進的儀器設備，服務國內病患！

為使參訪工作獲得最大效益，質子工作小組經過多次開會討論，確認成員之專業領域與分工計畫，並預先提出各參訪重點，除質子治療中心在研究與服務方面之發展與趨勢外，亦將針對設備運作、設備維護、水電土建輻防等特殊要求、營運模式與損益等，深入了解目前有意願廠商之實績。

此次出國參訪由王崇禮副院長領隊，共計十三人（本院成員 11 位、永齡基金會 2 位），參訪重點之彙整如下：

日韓參訪之行前整理【中文版】

970328

組別	成員	參訪重點
醫療小組	賴明坤	一、技術成熟度 二、臨床應用效果(發表論文) 三、整廠供應(turnkey solution) 四、規格是否符合本院須求 五、價格 六、維修費用 七、水電耗費 八、各國政府許可証明 九、合作條件
	曾凱元	一、PET Scan 在質子治療計畫 (Proton therapy planning) 應扮演何種角色，可能面臨那些困難必須解決及如何解決。 二、in-beam PET Scan 在治療劑量估算可能扮演之角色。 三、由傳統放射治療進入質子治療之後造成癌症病患對於正子掃描需求之改變與核醫部門之應變措施與計畫。 四、質子治療儀安裝所需注意之輻射防護問題。
	成佳憲	一、病人治療流程 二、病人癌症種類及轉介來源

		三、病人療程次數及劑量 四、每日治療人數及時間 五、收費方式及價格 六、治療中呼吸調控方式 七、影像導引裝置（含正子掃描儀） 八、多葉式準直儀（MLC）使用現況 九、病人上治療台系統及固定方式 十、治療室人力配置 十一、不同治療室利用率及接續治療效率 十二、質子與重荷粒子治療適應症差別 十三、掃描式質子放射線現況
	葉正維 尹彙文	一、機器 二、Fabrication 三、Planning System 四、Control room 五、CT / MRI 六、LA / Proton 之搭配
醫用物理小組	成佳憲 鄭秀成	一、劑量測量系統：ATP（接收測試）、commissioning 二、治療計畫系統 三、紀錄與驗證系統 四、目前使用技術之自動化過程 五、治療過程中，放射師之標準作業程序，包括：控制檯與治療室內之作爲。 六、治療輔具（bolus）製作系統流程及儲藏 七、定期質子放射線品管方式及流程 八、最新發展技術之研究成果。
物理研究小組	熊 怡	一、技術比較 二、技術規格 三、控制系統 四、掃描式系統 五、自我保養的問題
儀器醫工小組 (暫代資訊小組)	黃義侑 吳玉洺	一、質子治療設備之維護爲外包或自攬，管理制度情形，成本爲何？ 二、保養及維護之品質指標爲何，目標值與期望值之差異。 三、維護團隊之組織規模、工作性質、專長背景及訓練需求。 四、質子治療設備之定期維護 Schedule、主要工作項目、特殊工具及保養耗材情形。 五、維護成本中人力及零件之大致分攤比例，人力成本情形以及常故障零件分析。 六、故障維修工作及行政流程。 資訊影像部分－ 一、質子治療系統之資訊流程，相關資訊流及介面。 二、是否有自行發展之治療計畫系統，與其他市場上之治療系統之整合及相容情形。

		三、與其他廠家之放射治療資訊系統之整合情形。 四、資訊系統支援中文作業。 五、影像資訊系統符合 DICOM RT 標準。
經營規劃組	楊銘欽	一、服務量：每日可以治療之病患人次數,以及每月(或每年)治療人次數 二、營運成本：維持日常營運所需人力、空間、耗材等成本 三、績效獎勵：是否訂有獎勵措施或拆帳制度給醫護人員
營建管理組	蔡易豐	一、結構工程(12 點) 二、空調工程(7 點) 三、電氣工程(13 點) 四、氣體工程(2 點) 五、給排水系統(7 點) 六、消防工程(4 點) 七、輻射防護(2 點)

此行安排走訪韓國癌症醫院、日本國立癌症中心東病院及兵庫縣立粒子治療；兩個國家、三家醫院之質子治療中心，五天滿滿的行程，大家都認真地聽取資料、現場勘查、提問、做筆記、討論、照相留存紀錄……，把握每個重要解說與細節。此次我的主要任務，是負責與廠商聯繫的窗口，協助安排行程並銜接順暢，讓參訪團員得以從實地訪查中與簡報書面資料作對應，更深入瞭解現場設備及相關人員之運作情形。充實的安排考驗大家的體力與配合度，每一短暫的停留，也想緊緊把握住欣賞這正值春天的日韓風情，一路楓紅的行道樹和開滿杜鵑花的首爾，尾聲的日本櫻花祭及翠綠的銀杏樹，是看完這些巨大的醫工物理儀器後，最佳的舒緩平衡點！

從開始接手質子工作小組行政事務以來，接觸的許多人事物對我來說都是項新的見識與學習，深深自覺英文能力需再加強，包括：英文書信及聽說讀寫，這顯然已是與國際性廠商合作時需具備的基本能力了。因第一次處理公務出國參訪業務，事前事後繁瑣的準備與彙整工作，幸有王崇禮副院長時時給予提醒、從旁指導，團員們對於我這唯一的女生也多主動給予幫忙與照顧，另，出國前王怡方組長給予極多的協助與鼓勵，始能順利成行，在此均由衷地表達我的感謝之意！