

醫用質子放射治療設施運轉人員訓練、 品保作業與許可證換發研究計畫 結案報告

受委託單位：中華民國醫學物理學會

研究主持人：蕭安成

協同主持人：葉健一，陸思慧，李玉麟，鄭秀成，許琇婷

研究期程：中華民國 104 年 5 月至 104 年 12 月

研究經費：新臺幣 9.8 萬元

行政院原子能委員會輻射防護處 委託研究

中華民國 104 年 12 月

(本報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)

目 錄

頁 碼

目錄	1
壹、研究背景	2
貳、研究目的	3
參、研究方法及步驟	3
肆、研究過程與結果	4
一、計畫成員規劃	4
二、法規現況	4
三、運轉訓練與運轉操作實務訓練	6
四、新申請及換發使用執照之輻射安全審查	8
五、輻射醫療曝露品質保證作業規劃	11
伍、參考文獻	18

共 (18) 頁

壹、研究背景

有關強子治療 (Hadron therapy) 設備的發展，國外起步甚早。1954 年美國 Berkeley 就以質子射束治療病患。而截至 2013 年底，仍在運作的強子治療設備總計約有 65 處，分佈在 17 個國家，亞洲地區則包括日本 (15)、韓國 (1)、中國 (2) 及台灣 (1)。其中質子治療設備佔 81% 以上，約有 53 處。若以時間來看，2000 年之後新設的設備則有 34 處，佔總數的 53% 以上。由此可見國際間對於強子治療抱有很高的期許，而治療的病患數則已累計超過 120000 人，其中接受質子射束治療的病患有 105,000 位，佔了絕大多數[1]。從各大中心的統計數據觀察，強子射束治療與傳統射束比較，確實有其優越之處，但是，此設施的複雜性，無論物理特性或輻射生物特性皆有深入研究的需要。因應此需求，國際間成立了質子治療共同合作組織 (Proton Therapy Co-Operation Group, PTCOG)，積極規劃各項研究與聯合討論。同時，美國醫學物理師協會 (American Association of Physicists in Medicine, AAPM) 也成立了研究團隊 (Task Group #156, TG-156) 專責研究質子射束治療的劑量量測及驗證。這些國際間已有發展經驗的治療及研究機構都將是本計畫進行時參考的對象。

國內在輻射曝露品質保證規範的工作已有長足的進展，2005 年 7 月 1 日原子能委員會(以下簡稱原能會)正式將研擬許久的法規付諸實踐。明確規定使用醫用直線加速器、含鈷六十放射性物質之遠隔治療機、含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備等三種放射性物質、可發生游離輻射設備或相關設施之醫療機構，應設置醫療曝露品質保證組織及一定人數之專業人員或委託符合規定之相關機構，實施醫療曝露品質保證計畫相關事項。2007 年 12 月 31 日輻射曝露品質保證規範增設電腦斷層治療機 (Tomotherapy)、電腦刀 (Cyberknife) 及加馬刀 (Gammaknife) 等設備。但是對於質子治療設備，相關的輻射安全及輻射曝露品質保證等工作仍須建立更完善的制度，以確保使用的品質。

國內的質子治療設備已初步進入臨床應用階段，對於工作人員，尤其是運轉人員教育訓練制度的建立，攸關後續品質的維護甚大。在法規面，質子治療設備使用的質子射束能量約為 50 至 250 MeV，依照「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」中之管理規範，可發生游離輻射設備粒子能量大於三千萬電子伏 (30MeV) 者屬於高強度輻射設施，依據此管理辦法，必須完備下列的管理事項：1. 操作證照的審定與核發。2. 訓練課程的制訂與施行。3. 證

照的效期與展延。本研究將依據此管理辦法，研議建立有關運轉人員訓練課程的制訂與施行，並研擬質子治療設施許可證證照的效期展延輻射安全審查注意事項。此外，對於質子治療設備的品質保證工作，其執行項目、程序書及結果或誤差容許值的制訂，雖然國際間已有研究報告[2,3]，但是因為質子治療設備及施行技術多樣且複雜，尚未有明確可遵循的依據，本研究將廣泛蒐集國內外相關的研究報告，研議質子治療設備應實施的品質保證校驗項目、頻次、及結果或誤差容許值，作為原能會未來制訂法規的參考。

貳、研究目的

1. 收集國外醫用質子放射治療設施之運轉人員訓練規定與國內外運轉操作實務訓練現況，擬訂符合原能會「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」之醫用質子治療設施運轉訓練與運轉操作實務訓練課程內容或指引。
2. 收集彙整國內外醫用質子放射治療設施換發使用執照之輻射安全審查規定，針對國內醫用質子治療設施許可證之換發，提出具體輻射安全審查建議事項。
3. 收集彙整國內外質子治療設施運轉作業現況與國際上對醫用質子治療設施之輻射醫療曝露品保作業之最新建議書，擬訂最新醫用質子治療設施之品保作業內容。

參、研究方法及步驟

1. 協調國內各醫院醫學物理專業人員，包含已向衛福部提出質子治療設施申請之醫院以及已具有運轉實務經驗之林口長庚醫院資深醫學物理師組成研究小組，由中華民國醫學物理學會理事長擔任召集人。
2. 收集國外醫用質子放射治療設施之運轉人員訓練規定與國內外運轉操作實務訓練現況，同時，參考國內同步輻射中心迴旋加速器運轉人員的訓練課程規劃，擬訂符合原能會「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」之醫用質子治療設施運轉訓練與運轉操作實務訓練課程內容或指引。
3. 收集彙整國內外醫用質子放射治療設施換發使用執照之輻射安全審查規定，針對國內醫用質子治療設施許可證之換發，提出具體輻射安全審查建議事項。
4. 收集彙整國內外質子治療設施運轉作業現況與國際上對醫用質子治療設施之輻射醫療曝露品保作業之最新建議書，擬訂最新醫用質子治療設施之品保作業內容。

5. 撰寫並完成結案報告。

肆、研究過程與結果

一、計畫成員規劃

類別	姓名	現職	在本計畫內擔任之具體工作性質、項目及範圍
主持人	蕭安成	中華民國醫學物理學會理事長	計畫之規劃與督導、人員之教育訓練，計畫之執行與成果發表
協同主持人	葉健一	林口長庚醫院放射腫瘤科技術主任	計畫資料之收集與分析，人員之安排與教育訓練，安排研究進度及研究成果整理
協同主持人	陸思慧	台大醫院放射腫瘤科物理師	計畫資料之收集與分析，人員之安排與教育訓練，安排研究進度及研究成果整理
協同主持人	李玉麟	台北榮總癌病中心物理師	計畫資料之收集與分析，人員之安排與教育訓練，安排研究進度及研究成果整理
協同主持人	鄭秀成	台北醫學大學附設醫院醫學物理督導	計畫資料之收集與分析，人員之安排與教育訓練，安排研究進度及研究成果整理
協同主持人	許琇婷	中國醫藥大學附設醫院腫瘤治療科物理師	計畫資料之收集與分析，人員之安排與教育訓練，安排研究進度及研究成果整理

二、法規現況

質子治療設備使用的質子射束能量約為 50 至 250 MeV，依照「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」第 2 條對於高強度輻射設施種類的敘述：「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。」因此，質子治療設備屬於高強度輻射設施，依據此管理辦法，必須完備下列運轉人員的管理事項：1. 操作證照的審定與核發。2. 訓練課程的制訂與施行。3. 證照的效期與展延。其中有關設施運轉訓練及運轉操作實務訓練的部分，在「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」第 4 條規定：

「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)之訓練課程、時數、師資、學員名冊,報經主管機關審核通過後實施。前項設施運轉訓練之時數不得少於三十小時;運轉操作實務訓練之時數不得少於一百六十小時。運轉訓練及運轉操作實務訓練應於主管機關審核通過後二年內完成,必要時,得延長一年。訓練結束後應辦理測驗,測驗合格者,始得核發訓練證明。

第一項運轉操作實務訓練之師資應符合本辦法所規定之運轉人員資格。」

由於醫用質子放射治療設施的應用在國內處於初始的階段,其訓練的內容可藉由相關資料的收集與討論,做出最適切的規劃。

在運轉人員證照效期的部分,「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」第 5 條規定,運轉人員證書有效期間為六年,期間屆滿前二個月內,申請人得檢附證明文件,填具換發申請書申請換證。換證時必須在證書有效期間內接受輻射防護相關的訓練合計時數達三十六小時以上。此部分依照法規所述,換證的訓練或積分取得的規範,主要依照輻射防護人員管理辦法中的規定辦理。

在高強度輻射設施之使用許可證的部分,「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」第二十八條明訂使用高強度輻射設施者,申請人應填具申請書,並檢附條文內所定出需檢附之文件,向主管機關原子能委員會申請審查合格後,發給安裝許可。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,應檢送測試報告,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送條文內所定需檢附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。此過程所需檢附之文件、事項皆在法規中明訂,然而因應醫用質子治療設施所需的測試項目及輻射安全檢查事項則需要進一步商討釐定。

在高強度輻射設施之使用許可證效期與換發的部分,「放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理」第二十九條規定,

「高強度輻射設施之使用許可證有效期間最長為五年,設施經營者應於期限屆滿前六十日至三十日內,填具

申請書，並檢附下列文件，向主管機關申請審查及檢查合格後，換發使用許可證：

- 一、經核准設立或登記之證明文件影本。政府機關（構）免附。
- 二、最近三十日內測試報告。」

同樣的，在許可證換發需檢附文件中所述的測試報告及輻射安全檢查事項亦未明訂項目與內容，本計畫將針對此部分綜合文獻資料及使用單位經驗做出整理，提供主管機關參考。

三、運轉訓練與運轉操作實務訓練

依據本報告第二項所述之法規規定，運轉訓練之時數不得少於三十小時；運轉操作實務訓練之時數不得少於一百六十小時，因應醫用質子治療設施安全運轉所需之訓練及實務操作項目與時數，本計畫歸納文獻資料及使用單位經驗做出整理如下，提供主管機關參考。

1. 設施運轉訓練

本課程目的為使運轉人員熟知各項輻射安全系統安裝位置及運作原理，課程內容包括質子治療中心設置概況、人員及環境輻射偵檢設備、安全連鎖(Interlock system)系統、放射性廢氣及廢液處理系統、質子治療系統運作原理等。訓練時數合計 30 小時。課程以演講授課方式執行，規劃如表1 所示：

表1、設施運轉訓練課程規劃

項次	課程內容	授課人員	時數
1	質子治療中心設置概況	輻射防護師	1
2	環境輻射偵檢系統	輻射防護師	2
3	安全連鎖(Interlock system)系統	輻射防護師	2
4	放射性廢氣及廢液處理系統	輻射防護師	2
5	輻射安全作業守則- 意外事故處理程序及演練	輻射防護師	2

6	質子治療系統簡介 (Proton Therapy Overview)	原廠技師或資深工程師	1
7	迴旋加速器與照射控制系統 (Cyclotron and Irradiation Control System)	原廠技師或資深工程師	2
8	安全控制系統 (Safety Control System)	原廠技師或資深工程師	2
9	迴旋加速器真空系統 (Cyclotron: Vacuum)	原廠技師或資深工程師	1
10	迴旋加速器 RF 系統 (Cyclotron: RF System)	原廠技師或資深工程師	1
11	迴旋加速器離子源系統 (Cyclotron: Ion Source)	原廠技師或資深工程師	1
12	迴旋加速器冷卻系統 (Cyclotron: Cooling System)	原廠技師或資深工程師	1
13	能量選擇及射束傳輸系統 (Energy Selection System and Beam Transport System)	原廠技師或資深工程師	1
14	旋轉臂系統 (Gantry System)	原廠技師或資深工程師	3
15	照射機頭系統 (Nozzle System)	原廠技師或資深工程師	3
16	病患定位系統 (Patient Positioning)	原廠技師或資深工程師	1
17	電力供應系統 (Power Supplies)	原廠技師或資深工程師	3
18	緊急操作系統 (Emergency Operations)	原廠技師或資深工程師	1
		總時數	30

2. 運轉操作實務訓練

本課程目的為使運轉人員熟悉質子治療系統與加速器系統主要組成元件與其功能，加速器運轉的步驟及異常狀況下之緊急處理程序等。由符合資格之資深運轉人員帶領施行實做訓練，訓練時數合計 160 小時，課程規劃如表 2 所示：

表2、 運轉操作實務訓練課程規劃

Item	Item	Hours
1	質子治療系統開機前檢查 (Morning check before start up PTS)	5
2	迴旋加速器開機程序 (Start-up cyclotron)	3
3	迴旋加速器與射束傳輸系統各項元件之操作 (Operation of each equipment of cyclotron and beam transport system)	20
4	迴旋加速器射束輸出品質調控 (Beam tuning of cyclotron)	20
5	射束傳輸至治療室之操作 (Beam transportation to treatment room)	10
6	迴旋加速器之關機程序 (Shutdown cyclotron)	2
7	設備作業之每日備份 (Recordation of daily operation)	5
8	故障排除 (Trouble shooting)	30
9	離子源之例行維護 (Maintenance of ion source)	20
10	真空系統之例行維護 (Maintenance of vacuum pumps)	10
11	其他設備之例行維護 (Maintenance of other equipment)	10
12	消耗性零件與備用零件之管理 (Control of consumable and spare parts)	5
13	電力系統中斷後之關機與重開機程序 (Shutdown and start-up procedure for planned electric power interruption)	10
14	意外事故 (電力中斷、地震、火災等) 中斷治療後的復歸與檢查作業 [Check and recovery procedure after accident (power failure, earthquake, fire etc.)]	10
	總時數	160

四、新申請及換發許可證之測試計畫及輻射安全審查

依據本報告第二項所述之法規規定，新申請及換發許可證所需之測試項目及輻射安全檢查事項，因應醫用質子治療設施之使用特性，本計畫歸納文獻資料及使用單位經驗做出整理如下，提供主管機關參考。

新申請許可證運轉測試計畫包括下列項目：

- (1). 設施興建期間輻射屏蔽施工驗證結果
 1. 屏蔽牆實際完工厚度與材質與評估報告數據驗證說明
- (2). 環境輻射監測系統安裝與確認檢查
 1. 輻射偵測儀器設備校正合格報告

2. 輻射偵測儀器設備依規範安裝，並繪製安裝平面圖與設備一覽表
 3. 執行區域輻射監測系統警報設定值及功能測試並附測試紀錄表
- (3). 輻射安全連鎖系統安裝與確認檢查結果
1. 輻射安全連鎖系統裝置依規範安裝，並附安裝地點、功能說明及測試報告
 2. 警示標誌圖說及燈號、警報測試報告
- (4). 質子加速器測試項目與接收標準
- 質子加速器測試項目與接收標準應依該設備採購規範執行。包括
1. 加速器測試項目與接收標準
 2. Gantry 測試項目與接收標準
 3. 能量選擇系統 (ESS) /射束傳輸系統 (BTS) 測試項目與接收標準
 4. 照射模式測試項目與接收標準
- (5). 運轉期間環境輻射劑量(率)監測
1. 標示偵測點平面圖
 2. 加速器運轉中作業場所環境輻射監測系統連續劑量率記錄
 3. 偵測點劑量率實測值與評估值之比對
 4. 加速器、ESS、BTS 與治療室機頭、射程補償器、準直器殘餘輻射衰減量測紀錄
- (6). 運轉期間人員劑量監測
1. 運轉期間輻射工作人員累積劑量紀錄
 2. 運轉期間廠商工作人員劑量管制措施
 3. 與法規人員劑量限值比較與改善措施
 4. 運轉期間人員劑量超限處理
- (7). 運轉期間放射性廢棄物排放監測
1. 空浮濾層確效紀錄
 2. 運轉時放射性廢氣與廢液排放活度量測分析報告
 3. 活化零件、耗材處理及外釋條件處理措施

(8). 品質保證作業

1. 品質保證計畫書
2. 品保作業測試量測結果報告

新申請許可證輻射安全審查應包括下列項目：

- (1). 運轉及操作人員資格與訓練計畫
- (2). 運轉測試計畫及計畫中所列項目的近期測試結果報告
- (3). 輻射意外事故應變程序與演練規劃紀錄
- (4). 加速器及質子治療系統維護保養紀錄
- (5). 接收測試 (acceptance test) 及臨床化調測 (commissioning) 結果報告
- (6). 品質保證計畫及例行品保作業量測結果報告

換發許可證測試報告應包括下列項目：

- (1). 運轉期間環境輻射監測
 1. 輻射偵測儀器設備校正合格報告
 2. 最近三十日之環境監測紀錄
- (2). 輻射安全連鎖系統
 1. 輻射安全連鎖系統裝置測試報告
- (3). 運轉期間人員劑量監測
 1. 運轉期間輻射工作人員累積劑量紀錄
- (4). 運轉期間放射性廢棄物排放監測
 1. 運轉時放射性廢氣與廢液排放最近三十日之活度量測紀錄
 2. 加速器、ESS、BTS 與治療室機頭、射程補償器、準直器殘餘輻射衰減最近三十日之量測紀錄
- (5). 運轉期間品保作業
 1. 運轉期間最近三十日之品保作業量測結果紀錄

換發許可證輻射安全審查應包括下列項目：

- (1). 運轉及操作人員資格與訓練課程紀錄
- (2). 換發許可證測試報告中所列之項目
- (3). 輻射意外事故應變程序與演練規劃紀錄
- (4). 加速器及質子治療系統維護保養紀錄

五、輻射醫療曝露品質保證作業規劃

醫用質子治療設施的設計具有獨特性，不同於傳統醫用直線加速器已接近有制式的設計規範。因此，在機械結構及射束輸出系統各有其特殊性的情形下，在品保作業上，目前國際間尚未有廣泛適用的程序。其作業的主要項目則參考 ICRU 59 號報告之建議（Clinical Proton Dosimetry - Part I Beam Production Beam Delivery and Measurement of Absorbed Dose，1998）及 ICRU 78 號報告之建議（Prescribing, Recording, and Reporting Proton-Beam Therapy，2007）。此外，可以參考美國等醫療曝露品保作業先進國家的作法而擬定相關的品保作業項目及容許誤差值。表 3 是 ICRU 59 號及 78 號報告在品保作業每日（a）、每週（b）及年度（c）項目的比較表。表 4 是 ICRU 59 號報告針對新治療照野臨床使用前的品保校驗項目。表 5 是 ICRU 78 號報告針對掃描式射束（scanning beam）增設的品保校驗項目。表 6 是佛羅里達大學質子治療設施（University of Florida Proton Therapy Institute，UFPTI）在品保作業每日（a）、每週（b）、每月（c）及年度（d）的品保校驗項目及設定的容許誤差值。

醫用質子治療的整體劑量不確定性相較於傳統直線加速器光子射束要高許多，為確保每一位接受質子治療病患的劑量準確性，在品保作業上，除了例行性的品保項目外，應針對每一位病患的治療計畫執行劑量驗證（patient-specific quality assurance）。劑量驗證的方法可以使用 gamma index 評估法，設定 $\Delta d_{max} = 3 \text{ mm}$ ， $\Delta D_{max} = 3\%$ ，藉由分析治療計畫計算的平面劑量點與量測值，在設定的空間位置與該評估點劑量的差異，比較結果符合設定條件者其 Γ 值 < 1 ，再以總計評估點數與符合設定條件點數的比例（通過率，passing rate）做為電腦治療計畫照射劑量品質的判準。參考 AAPM TG-119 號報告在結論中的建議，高品質的光子射束 IMRT 治療計畫通過率應在 90% 以上。考量質子治療在治療不確定度的敏感性，質子治療計畫的劑量驗證通過率應斟酌予以提高。

表 3、ICRU 59 號及 78 號報告在品保作業每日 (a)、每週 (b) 及年度 (c) 項目的比較表

表 3 (a)

	校 驗 項 目	
校驗頻率	ICRU 59 (1998)	ICRU 78 (2007)
Daily	Lasers and radiographic systems	Aperture alignment; room lasers, interlocks; communication; patient-positioning system
	Beam range for each acceleration energy	Depth-dose and lateral profiles (range, entrance dose, uniformity of range modulation and Bragg-peak width, flatness, symmetry)
	Dose monitor calibration for specific sets of standard conditions	Dose monitor calibration, check of MU value under standard condition
	Individual patient treatment calibration and range check	Individual patient treatment calibration and range checks
	Uniformity of range modulation	
	Backup dose monitor function	

表 3 (b)

	校 驗 項 目	
校驗頻率	ICRU 59 (1998)	ICRU 78 (2007)
Weekly	Dose delivered for a random selection of sample patient treatments	Patient-positioning and imaging systems
	Treatment field lateral uniformity	Beam-line apparatus
	Room interlock checks	Respiratory-gating equipment
		Dose delivered to randomly selected patients (comparison of planned dose distributions to those measured in a water phantom)

表 3 (c)

	校 驗 項 目	
校驗頻率	ICRU 59 (1998)	ICRU 78 (2007)
Annual	Patient alignment systems	x-ray patient positioning and alignment systems
	Gantry isocenter location and uncertainty	CT Hounsfield number calibration
	Patient support system motions and readouts	Comprehensive tests of therapy equipment:
	Depth dose distribution for monoenergetic and modulated beams	1. monitor chambers, timers, beam-delivery termination and control interlocks, stray radiation exposure to patients, gantry.
	Depth dose distribution for monoenergetic and modulated beams	2. isocenter, depth-dose and lateral profiles, baseline data for daily QA checks
	Lateral uniformity and penumbra measurements for a range of conditions	
	Dependence of dose monitor calibration on treatment parameters	
	Base line data for daily quality assurance checks	
	Calibration intercomparison with other proton facilities	

表 4、ICRU 59 號報告針對新治療照野臨床使用前的品保校驗項目

ICRU 59 (1998)	
校驗頻率	校 驗 項 目
New treatment portals	Dose monitor calibration
	Consistency of planned treatment range with beam energy and absorber thicknesses
	Coincidence of the physical aperture shape with the planned shape
	Qualitative consistency of the range compensator shape with treatment plan isothickness lines
	Comparison of range compensator physical thicknesses measured at selected points with planned thickness
	Agreement of dose monitor calibration with predictions from a computational model

表 5、ICRU 78 號報告針對掃描式射束（scanning beam）增設的品保校驗項目

ICRU 78, Additional quality-assurance procedures for scanning beam-delivery systems	
校驗頻率	校 驗 項 目
Daily	Dose rate and monitor ratios for the pencil beam
	Performance of the beam-position monitors
	Depth-dose curve of a pencil beam in a water phantom
	Calibration of the primary dose monitor
Weekly	Qualitative three-dimensional check of the outline and range of the dose distribution for one patient' s irradiation field in a water phantom
Half-yearly	Calibration of the primary dose monitor and the phase space of the beam tunes
Annual	Check of the beam characteristics:
	calibration of the whole dosimetry system, performance of the scanning system in terms of dose linearity and dose-rate dependence

表 6 是佛羅里達大學質子治療設施 (University of Florida Proton Therapy Institute, UFPTI) 在品保作業每日 (a)、每週 (b)、每月 (c) 及年度 (d) 的品保校驗項目及設定的容許誤差值

表 6 (a)

Daily QA for Scattering and Uniform Scanning Beams

Test	Tolerance/Comments
Review operator's cyclotron and gantry startup checklists	Operator checks machine operating parameters daily.
Safety interlocks, indicator lights, neutron detector, A/V systems	
Output constancy check for scattering and uniform scanning reference fields	2%. Output measurements in plastic phantom.
Dose rate measurement	30% tolerance.
kV imaging and laser accuracy	1 mm. Orthogonal x-ray crosshair and laser agreement.
Range verifier measurements of scattering and uniform scanning fields	1 mm.
Range modulation wheel control signal timing	0.2 ms. Review of system reported timing values compared to baseline data.
Scan field size length and width	3 mm. Compare system reported values to expected values for uniform scanning reference field.

表 6 (b)

Weekly QA for Scattering and Uniform Scanning Beams

Test	Tolerance/Comments
Review daily QA results	Review for system performance trends.
MLIC calibration	MLIC calibration performed prior to use for PDD measurements.
Output constancy check for two scattering and two uniform scanning reference fields	2%. Output measurements using MLIC. Fields measured include intermediate and large range fields.
Range measurements of above fields	1.5 mm. Measurements performed using MLIC.
SOBP width measurements of above fields	2 mm. Measurements performed using MLIC.
SOBP uniformity measurements of above fields	2%. Measurements performed using MLIC.

表 6 (c)

Monthly QA for Scattering and Uniform Scanning Beams

Test	Tolerance/Comments
Review daily/weekly QA results	Review for system performance trends.
Output constancy check for two scattering and two uniform scanning reference fields plus random patient field	2%. Output measurements performed in water. Fields measured include intermediate and large range fields. Patient field measured to support MU calculation accuracy.
Range measurements of above fields	1.5 mm. Measurements performed using in-water scans.
SOBP width measurements of above fields	2 mm. Measurements performed using in-water scans.
SOBP uniformity measurements of above fields	2%. Measurements performed using in-water scans.
Lateral dose profile measurements of two scattering and two uniform scanning reference fields	3% flatness; 1.5% symmetry; 2-mm field size. Measurements performed using MatriXX ion chamber array.
Range verifier reading of pristine peak ranges with and without first scatterers in beam	1 mm. First scatterer integrity tested.
X-ray/light field/proton beam field agreement	1 mm. Double-exposure film measurements. Rotating through snouts.
Patient-positioning system/gantry accuracy	1 mm/1°. Tests include isocentric table rotation.
Digital imaging positioning system	1 mm in calculated vs. set shifts. Tests performed for two gantry angles.

表 6 (d)

Annual QA for Scattering and Uniform Scanning Beams

Test	Tolerance/Comments
Review daily/weekly/monthly QA results	Review for system performance trends.
Dosimetry system intercomparisons	All dosimetry systems used for daily, weekly, and monthly QA tests are compared to ADCL-calibrated dosimetry system and calibration factors determined.
Output calibration	1.5%. Scattering and uniform scanning reference field outputs calibrated using ADCL-calibrated dosimetry system.
MU chamber linearity	0.5%
MU chamber dependence on dose rate	1% from 1 to 3 Gy/min
Dose rate accuracy	25% for scattering and uniform scanning reference fields.
Output factors	2%. Performed for each option.
Output dependence on gantry angles	0.5%. Output of reference fields measured at prime gantry angles.
Depth-dose scans	1 mm for range, 3 mm for SOBP width, 2% for SOBP uniformity. Measurements performed for each option. Off axis scans performed for 1 field.
Lateral dose profile scans	2% for flatness and symmetry. Measurements performed for each option.
Lateral dose profile dependence on gantry angle	0.5% variations.
Gantry accuracy and isocentricity	0.5° and -mm diameter.
Patient-positioning system translation, rotation accuracy, and isocentricity	0.5 mm, 0.2°, and 1-mm diameter.
Snout position accuracy and alignment	5 mm in snout position accuracy; 0.5 mm in alignment in both in-plane and cross-plane directions.
Imaging system accuracy	Within 1 mm for all snouts in both in-plane and cross-plane directions.
Safety interlocks and radiation monitors	A number of safety interlocks and in-room neutron monitors are tested.

伍、參考文獻

1. Particle Therapy Statistics in 2013. International Journal of Particle Therapy, Martin Jermann, MSc, 2014.
2. ICRU REPORT 78, Prescribing, Recording, and Reporting Proton-Beam Therapy. 2007.
3. ICRU (1998). Clinical Proton Dosimetry - Part I Beam Production Beam Delivery and Measurement of Absorbed Dose. ICRU REPORT 59. BETHESDA, MARYLAND, U.S.A, International Commission on Radiation Units and Measurements.