



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I854878 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 09 月 01 日

(21)申請案號：112142024

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 11 月 01 日

(51)Int. Cl. : A61N5/10 (2006.01)

A61B6/08 (2006.01)

(30)優先權：2022/11/07 中國大陸

2022113860034

2023/10/26 中國大陸

2023113981565

(71)申請人：大陸商中硼（廈門）醫療器械有限公司（中國大陸）NEUBORON THERAPY
SYSTEM LTD. (CN)

中國大陸

(72)發明人：邱鴻霖 QIU, HONG-LIN (CN)；鄧逸樵 TENG, YI-CHIAO (TW)；舒迪昀 SHU, DI-
YUN (CN)；劉淵豪 LIU, YUAN-HAO (TW)

(74)代理人：許世正

(56)參考文獻：

TW 202214319A

WO 2017/121337A1

WO 2020/241415A1

審查人員：賴冠宇

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：4 共 30 頁

(54)名稱

硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法

(57)摘要

本申請涉及一種硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法，所述硼中子捕獲治療系統包括用於產生中子束的中子束照射模組、用於檢測被照射體的實際血硼濃度的血硼濃度檢測裝置、用於生成預設治療計畫的治療計畫模組、根據所述實際血硼濃度獲得修正照射劑量的照射劑量修正模組及控制模組，控制模組用於從所述治療計畫模組調取所述預設治療計畫，並根據所述修正照射劑量控制所述中子束照射模組的照射時間，使患者接受的照射劑量達到目標劑量，降低了實際照射時因血硼濃度變化帶來的照射劑量的誤差。



I854878

【發明摘要】

【中文發明名稱】 硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法

【中文】

本申請涉及一種硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法，所述硼中子捕獲治療系統包括用於產生中子束的中子束照射模組、用於檢測被照射體的實際血硼濃度的血硼濃度檢測裝置、用於生成預設治療計畫的治療計畫模組、根據所述實際血硼濃度獲得修正照射劑量的照射劑量修正模組及控制模組，控制模組用於從所述治療計畫模組調取所述預設治療計畫，並根據所述修正照射劑量控制所述中子束照射模組的照射時間，使患者接受的照射劑量達到目標劑量，降低了實際照射時因血硼濃度變化帶來的照射劑量的誤差。

【指定代表圖】 無。

【代表圖之符號簡單說明】

無。

【特徵化學式】

無。

【發明說明書】

【中文發明名稱】 硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法

【技術領域】

【0001】 本發明涉一方面涉及一種放射治療系統，尤其涉及一種硼中子捕獲治療系統；本發明另一方面涉及一種照射劑量修正方法，尤其涉及一種硼中子捕獲治療系統的照射劑量修正方法。

【先前技術】

【0002】 隨著原子科學的發展，例如鈷六十、直線加速器、電子射束等，放射線治療已成為癌症治療的主要手段之一。然而傳統光子或電子治療受到放射線本身物理條件的限制，在殺死腫瘤細胞的同時，也會對射束途徑上大量的正常組織造成傷害；另外由於腫瘤細胞對放射線敏感程度的不同，傳統放射治療對於較具抗輻射性的惡性腫瘤（如：多行性膠質母細胞瘤（*glioblastoma multiforme*）、黑色素細胞瘤（*melanoma*））的治療成效往往不佳。

【0003】 為了減少對腫瘤周邊正常組織的輻射傷害，化學治療（*chemotherapy*）中的標靶治療概念便被應用於放射線治療中；而針對高抗輻射性的腫瘤細胞，目前也積極發展具有高相對生物效應（*relative biological effectiveness*, *RBE*）的輻射源治療方法，如質子治療、重粒子治療、中子捕獲治療等。其中，中子捕獲治療中的硼中子捕獲治療藉由含硼藥物在腫瘤細胞的特異性集聚，配合精準的中子射束調控，提供了一種比傳統放射線治療更好的

癌症治療選擇。

【0004】 硼中子捕獲治療（Boron Neutron Capture Therapy，BNCT）是利用含硼（ ^{10}B ）藥物對熱中子具有高捕獲截面的特性，藉由 $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)^7\text{Li}$ 中子捕獲及核分裂反應產生 ^4He 和 ^7Li 兩個重荷電粒子，兩重荷電粒子的平均能量約為 2.33 MeV，具有高線性轉移（Linear Energy Transfer，LET）、短射程特徵， α 粒子的線性能量轉移與射程分別為 150 keV/ μm 、8 μm ，而 ^7Li 重荷粒子則為 175 keV/ μm 、5 μm ，兩粒子的總射程約相當於一個細胞大小，因此對於生物體造成的輻射傷害能局限在細胞層級，當含硼藥物選擇性地聚集在腫瘤細胞中，搭配適當的中子射源，便能在不對正常組織造成太大傷害的前提下，達到局部殺死腫瘤細胞的目的。

【0005】 在硼中子捕獲治療過程中，由於對被照射體進行輻射線照射治療的中子束輻射線較強，需要精確控制對被照射體實施的照射劑量以在達到較好的治療效果的同時儘量降低輻射線對被照射體造成的輻射損傷，因此，治療計畫的制定的準確度至關重要。在臨床實踐中，由於目前 BPA 等可以作為硼中子捕獲治療用的含硼藥物價格普遍較高，為節約被照射體的治療費用並簡化治療流程，治療計畫制定採用預設的血硼濃度進行模擬計算以估算照射劑量。在實際治療過程中，向被照射體持續注射含硼藥物，在被照射體進入照射室進行照射治療之前抽取被照射體的血液測量被照射體的實際血硼濃度，在照射過程中持續注入含硼藥物維

持血液中的血硼濃度。

【0006】 中子束的照射劑量的精準度在實踐治療中至關重要，照射劑量過多將對被照射體造成潛在的傷害，照射劑量過少則降低治療品質，而中子束的照射劑量由血硼濃度和實際照射至被照射體的中子束的中子劑量決定。在實際治療流程中，通常根據預設的硼濃度進行模擬計算得到預設治療計畫，由於不同的被照射體代謝情況不同，另外，不同藥物和不同注射方式會導致被照射體血液硼濃度值範圍出現差異，從而導致預設的血硼濃度與被照射體的實際血硼濃度存在差異，因此根據預設的血硼濃度制定的預設治療計畫存在誤差。需要提供一種能夠對預設治療計畫進行修正以保證治療效果的硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法。

【發明內容】

【0007】 基於此，有必要針對上述技術問題，提供一種能夠保證治療效果的硼中子捕獲治療系統及照射劑量修正方法。

【0008】 本發明一方面提供一種中子捕獲治療系統，其包括：中子束照射模組，用於產生中子束；血硼濃度檢測裝置，用於檢測被照射體的實際血硼濃度；治療計畫模組，用於生成預設治療計畫；照射劑量修正模組，根據所述實際血硼濃度獲取修正照射劑量；及控制模組，用於從所述治療計畫模組調取所述預設治療計畫，並根據所述修正照射劑量控制所述中子束照射模組的照射

時間，使患者接受的照射劑量達到目標劑量。

【0009】 進一步的，所述治療計畫模組根據預設血硼濃度模擬計算得到所述預設治療計畫。

【0010】 進一步的，所述照射劑量修正模組根據所述實際血硼濃度修正目標劑量率得到所述修正照射劑量。

【0011】 進一步的，所述硼中子捕獲治療系統還包括用於即時檢測累積中子計數而獲得照射劑量的中子劑量檢測裝置。

【0012】 進一步的，所述中子劑量檢測裝置為 BF_3 比例計數器。

【0013】 進一步的，預設累積中子計數 N_{preset} 採用公式 1 進行計算，公式 1 如下：

$$N_{\text{preset}} = R_{\text{BF3,cal}} \times T_{\text{preset}} \tag{1}$$

【0014】 其中， $R_{\text{BF3,cal}}$ 為中子劑量檢測裝置的理論計數率、 B_{preset} 為預設硼濃度、 T_{preset} 為預設硼濃度 B_{preset} 對應的預設照射時間， T_{preset} 採用如下公式 2 進行計算：

$$T_{\text{preset}} = \frac{D_{\text{ROI,prescribed}}}{\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR})} \tag{2}$$

【0015】 其中， $D_{\text{ROI,prescribed}}$ 為目標劑量、 $\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR})$ 為預設目標劑量率， $\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR})$ 採用公式 3 進行計算，公式 3 如下：

$$\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR}) = aB_{\text{preset}}^2 + bB_{\text{preset}} + c \tag{3}$$

【0016】 其中， a 、 b 、 c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應的模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【0017】 進一步的，修正累積中子計數 N_{update} 採用如下公式 4 計算：

$$N_{update} = R_{BF3,cal} \times T_{update} = R_{BF3,cal} \times \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)} \quad (4)$$

【0018】 其中， B_{update} 為實際血硼濃度、 T_{update} 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的計畫照射時間、 $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的修正目標劑量率， $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 採用如下公式 5 進行計算：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR) = aB_{update}^2 + bB_{update} + c \quad (5)$$

【0019】 其中， a 、 b 、 c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應的模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【0020】 本發明另一方面還提供一種硼中子捕獲治療系統的照射劑量修正方法，其包括：結合預設硼濃度及被照射體的醫學影像數據生成預設治療計畫；根據實際硼濃度獲得修正照射劑量；及根據所述修正照射劑量控制照射時間，使患者接受的照射劑量達到目標劑量。

【0021】 進一步的，所述照射劑量修正方法還包括基於被照射體的醫學影像數據確定目標劑量的步驟。

【0022】 進一步的，所述照射劑量修正方法還包括獲取預設照射劑量的步驟。

【0023】 進一步的，獲得所述修正照射劑量具體為：根據實際檢測到的硼濃度值修正所述預設治療計畫中的預設目標劑量率得

到修正目標劑量率，根據修正目標劑量率計算得到所述修正照射劑量。

【0024】 進一步的，預設累積中子計數 N_{preset} 採用公式 1 進行計算，公式 1 如下：

$$N_{\text{preset}} = R_{\text{BF3,cal}} \times T_{\text{preset}} \tag{1}$$

【0025】 其中， $R_{\text{BF3,cal}}$ 為中子劑量檢測裝置的理論計數率、 B_{preset} 為預設硼濃度、 T_{preset} 為預設硼濃度 B_{preset} 對應的預設照射時間， T_{preset} 採用如下公式 2 進行計算：

$$T_{\text{preset}} = \frac{D_{\text{ROI,prescribed}}}{\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR})} \tag{2}$$

【0026】 $D_{\text{ROI,prescribed}}$ 為目標劑量、 $\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR})$ 為預設目標劑量率， $\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR})$ 採用公式 3 進行計算，公式 3 如下：

$$\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{preset}} \times \text{TBR}) = aB_{\text{preset}}^2 + bB_{\text{preset}} + c \tag{3}$$

【0027】 其中， a 、 b 、 c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【0028】 進一步的，所述修正累積中子計數 N_{update} 採用如下公式 4 計算：

$$N_{\text{update}} = R_{\text{BF3,cal}} \times T_{\text{update}} = R_{\text{BF3,cal}} \times \frac{D_{\text{ROI,prescribed}}}{\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{update}} \times \text{TBR})} \tag{4}$$

【0029】 其中， B_{update} 為實際血硼濃度、 T_{update} 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的計畫照射時間、 $\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{update}} \times \text{TBR})$ 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的修正目標劑量率， $\dot{D}_{\text{ROI}}(B_{\text{update}} \times \text{TBR})$ 採用如下公式 5 進行計算：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR) = aB_{update}^2 + bB_{update} + c \quad (5)$$

【0030】 其中，a、b、c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應的模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【0031】 進一步的，所述照射劑量修正方法還包括用於即時檢測照射劑量的中子劑量檢測裝置，當中子劑量檢測裝置檢測到的照射劑量到達所述修正照射劑量時，控制模組控制中子束照射模組停止照射。

【0032】 本發明一實施例的硼中子捕獲治療系統的照射劑量修正方法中，根據預設血硼濃度生成預設治療計畫，並根據實際血硼濃度修正預設治療計畫中的預設目標劑量率得到修正目標劑量率，根據修正目標劑量率計算得到修正中子劑量，控制中子照射模組的照射治療時間，無需在制定預設治療計畫時向被照射體注射含硼藥物，且無需等血硼濃度檢測出結果後再實施照射，節約了治療成本、簡化了治療流程，在治療過程中根據實際血硼濃度修正照射劑量，降低了實際照射時因血硼濃度變化帶來的實際照射劑量與目標劑量的誤差。

【圖式簡單說明】

【0033】 圖 1 為本發明一實施例硼中子捕獲治療系統的框圖。

【0034】 圖 2 為本發明一實施例硼中子捕獲治療系統的佈局示意圖。

【0035】 圖 3 為本發明一實施例射束整形體的示意圖。

【0036】 圖 4 為本發明一實施例照射劑量修正方法的流程圖。

【實施方式】

【0037】 為了使本申請的目的、技術方案及優點更加清楚明白，以下結合附圖及實施例，對本申請進行詳細說明。應當理解，此處描述的具體實施例僅僅用以解釋本申請，並不用於限定本申請。

【0038】 參照圖 1 所示，本實施例中的硼中子捕獲治療系統 100 包括中子束照射模組 1、影像獲取模組 2、中子劑量檢測裝置 3、血硼濃度檢測裝置 4、治療計畫模組 5、照射劑量修正模組 8、控制模組 6 及載置模組 7。具體的，中子束照射模組 1 用於產生適合治療用的中子束，其包括中子產生裝置 11、射束整形體 12 及準直器 13，中子產生裝置 11 用於產生中子束，射束整形體 12 用於調整中子產生裝置 11 產生的中子束的射束品質，降低不必要的劑量沉積，準直器 13 用以彙聚中子束，使中子束在進行治療的過程中具有較高的靶向性；中子劑量檢測裝置 3 用於檢測中子束照射模組 1 產生的中子束的中子劑量；血硼濃度檢測裝置 4 用於檢測被照射體 S 的實際血硼濃度；治療計畫模組 5 用於生成預設治療計畫；照射劑量修正模組根據血硼濃度檢測裝置 4 檢測到的實際血硼濃度獲得修正照射劑量；控制模組 6 從治療計畫模組 5 調取當前被照射體 S 的預設治療計畫，並根據修正照射劑量控制中子束照射模組 1 執行照射治療；載置模組 7 用於載置被照射體

S。

【0039】 硼中子捕獲治療的主要原理為：被照射體 S 服用或注射含硼 (^{10}B) 藥物後，含硼藥物選擇性地聚集在腫瘤細胞中，然後利用含硼 (^{10}B) 藥物對熱中子具有高捕獲截面的特性，藉由 $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)^7\text{Li}$ 中子捕獲及核分裂反應產生 ^4He 和 ^7Li 兩個重荷電粒子，兩重荷電粒子的平均能量約為 2.33 MeV，具有高線性轉移 (Linear Energy Transfer, LET)、短射程特徵，兩粒子的總射程約相當於一個細胞大小，因此對於生物體造成的輻射傷害能局限在細胞層級，能夠在不對正常組織造成太大傷害的前提下達到局部殺死腫瘤細胞的目的。

【0040】 參照圖 2 所示，本申請揭示的實施例中，中子產生裝置 11 包括加速器 111 和靶材 112，加速器 111 用於對帶電粒子（如質子、氘核等）進行加速，產生如質子線的帶電粒子束，帶電粒子束照射到靶材 112 並與靶材 112 作用產生中子線（中子束），靶材 112 優選為金屬靶材 112。依據所需的中子產率與能量、可提供的加速帶電粒子能量與電流大小、金屬靶材 112 的物化性等特性來挑選合適的核反應，常被討論的核反應有 $^7\text{Li}(\text{p},\text{n})^7\text{Be}$ 及 $^9\text{Be}(\text{p},\text{n})^9\text{B}$ ，這兩種反應皆為吸熱反應。本發明的實施例中採用鋰金屬製成的靶材 112。但是本領域技術人員熟知的，靶材 112 的材料也可以由鋰、鈹之外的金屬材料製成，例如由鉭 (Ta) 或鎢 (W) 等形成；靶材 112 可以為圓板狀，也可以

為其他固體形狀，也可以使用液狀物（液體金屬）；加速器可以是直線加速器、迴旋加速器、同步加速器、同步迴旋加速器。在其他實施方式中，中子產生裝置可以是核反應爐而不採用加速器和靶材。

【0041】 無論硼中子捕獲治療的中子源來自核反應爐或加速帶電粒子與靶材 112 的核反應，產生的實際上皆為混合輻射場，即產生的射束包含了低能至高能的中子、光子。對於深部腫瘤的硼中子捕獲治療，除了超熱中子外，其餘的輻射線含量越多，造成正常組織非選擇性劑量沉積的比例越大，因此這些會造成不必要劑量沉積的輻射線含量應儘量降低。射束整形體 12 能夠調整中子產生裝置 11 產生的中子束的射束品質，降低不必要的劑量沉積，準直器 13 用以彙聚中子束，使中子束在進行治療的過程中具有較高的靶向性。

【0042】 結合圖 3 所示，射束整形體 12 包括反射體 121、緩速體 122、熱中子吸收體 123、輻射屏蔽體 124 和射束出口 125。緩速體 122 能夠將從中子產生裝置 11 出來的快中子能量（ > 40 keV）調整到超熱中子能區（ 0.5 eV ~ 40 keV）並盡可能減少熱中子（ < 0.5 eV）含量；緩速體 122 由與快中子作用截面大、與超熱中子作用截面小的材料製成，作為一種優選實施例，緩速體 122 由 D_2O 、 AlF_3 、FluentalTM、 CaF_2 、 Li_2CO_3 、 MgF_2 和 Al_2O_3 中的至少一種製成；反射體 121 包圍緩速體 122，並將穿過緩速體 122

向四周擴散的中子反射回中子射束以提高中子的利用率，其由中子反射能力強的材料製成，作為一種優選實施例，反射體 121 由 Pb 或 Ni 中的至少一種製成；在中子束的傳輸路徑上，熱中子吸收體 123 設置於緩速體 122 後部，用於吸收穿過緩速體 122 的熱中子以減少中子束中熱中子的含量，其由與熱中子作用截面大的材料製成，作為一種優選實施例，熱中子吸收體 123 由 Li-^6 製成，在其他實施例中，由於緩速體 122 的材料中含有 Li-^6 ，熱中子吸收體 123 可以不單獨設置，而是以緩速體 122 作為熱中子吸收體 123；輻射屏蔽體 124 用於屏蔽從射束出口 125 以外部分滲漏的中子和光子，輻射屏蔽體 124 的材料包括光子屏蔽材料和中子屏蔽材料中的至少一種，作為一種優選實施例，輻射屏蔽體 124 的材料包括光子屏蔽材料鉛（Pb）和中子屏蔽材料聚乙烯（PE）。

【0043】 準直器 13 設置在射束出口 125 後部，從準直器 13 出來的超熱中子束照向被照射體 S，超熱中子束經被照射體 S 的淺層正常組織後被緩速為熱中子到達腫瘤細胞實現治療目的。

【0044】 可以理解，射束整形體 12 還可以有其他的構造，只要能夠獲得滿足治療要求的超熱中子束即可；本發明也可以不具有準直器 13，射束從射束整形體 12 的射束出口 125 出來後直接照射向被照射體 S。為描述方便，當設置有準直器 13 時，準直器 13 的出口也可以解釋為射束出口 125。

【0045】 獲取三維醫學影像的設備可以是 CT、MRI、PET、超

聲等影像設備，本發明優選的採用 CT 設備影像獲取模組 2，採用電子電腦斷層掃描（Computed Tomography，CT）獲取被照射體 S 的醫學影像數據。被照射體 S 的醫學影像數據包括待照射部位（病灶，即腫瘤細胞）的醫學影像體素模型在醫學影像座標系下的座標矩陣及 CT 值矩陣。

【0046】 中子劑量檢測裝置 3 包括用於接收中子並輸出訊號的檢測器、用於處理從檢測器輸出的訊號的訊號處理單元、對從訊號處理單元輸出的訊號進行計數得到計數率的計數器、將計數器記錄的計數率轉換為中子通量率或中子劑量率的轉換單元、對中子通量率或中子劑量率進行積分計算得到中子劑量的計算單元及顯示中子劑量的顯示器。在本方案中，中子劑量檢測裝置 3 檢測的中子劑量即被照射體 S 接受的照射劑量。

【0047】 檢測器可以放置在射束整形體 12 內、也可以放置在準直器 13 內、也可以設置在臨近射束整形體 12 的任意位置，只要檢測器所處的位置能夠用來檢測中子束的中子劑量即可。

【0048】 能夠實現即時檢測中子束的中子劑量的檢測器有電離室及閃爍探測頭，其中採用電離室結構為基底的有 He^{-3} 比例計數器、 BF_3 比例計數器、分裂游離室、硼電離室，閃爍探測頭包含有機材料或無機材料，在探測熱中子時，閃爍探測頭多添加 Li 或 B 等高熱中子捕獲截面元素。兩類檢測器內的某一元素與進入該檢測器的中子發生捕獲或核裂變反應釋出重荷電粒子及核裂變碎

片，於電離室或閃爍探測頭內產生大量電離對，這些電荷被收集並形成電訊號，經過訊號處理單元進行降噪、轉換、分離處理，並將電訊號轉為脈衝訊號，並透過分析電壓脈衝的大小，分辨出中子脈衝訊號及 γ 脈衝訊號。分離出來的中子脈衝訊號被計數器持續記錄下來，得到中子的計數率（ n/s ）。轉換單元通過內部的軟體、程式等對計數率進行運算和轉換得到中子通量率（ $cm^{-2}s^{-1}$ ），通過對中子通量率進行進一步的運算和轉換得到中子劑量率（ Gy/s ），最後，積分部對中子劑量率進行積分獲得即時中子劑量。

【0049】 以下以分裂游離室（**fission chamber**）、閃爍探測頭（**scintillator detector**）和 BF_3 比例計數器為例做簡單的介紹。

【0050】 當中子束通過分裂游離室時，與分裂游離室內部氣體分子或分裂游離室的壁部發生游離作用，生成電子與帶正電荷的離子，此電子和正電荷離子稱為上述的離子對。由於分裂游離室內有外加電場高壓，因此電子朝中央陽極絲移動，正電荷離子朝周圍的陰極壁移動，因而產生可測得的電訊號。

【0051】 閃爍探測頭內的光纖等物質吸收能量之後會產生可見光，其利用游離輻射將晶體或分子中的電子激發至激發態，而當電子回到基態時放出的螢光被收集後用來作為中子束檢測。閃爍探測頭與中子束作用後所發射的可見光，利用光電倍增管將可見光轉化為電訊號輸出。

【0052】 BF_3 比例計數器放置在射束整形體中用於接受中子束的照射， BF_3 比例計數器中的 B 元素與中子發生核反應 $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)^7\text{Li}$ ，核反應產生的 alpha 粒子和 ^7Li 電粒子在電壓的驅動下被高壓電極收集，產生電訊號。電訊號通過同軸電纜傳輸到訊號處理單元進行訊號放大和濾波整形後形成脈衝訊號。被處理後的脈衝訊號傳輸到計數器中進行脈衝計數，獲得計數率（n/s），通過計數率可即時測定中子束強度，即中子劑量。

【0053】 本發明的一實施例中，優選的採用 BF_3 比例計數器實現中子劑量的檢測，當然，檢測器的種類不限於此，只要能夠即時檢測中子劑量即可。

【0054】 在對被照射體 S 進行中子束照射治療前，需採用血硼濃度檢測裝置 4 檢測被照射體體內的實際血硼濃度，根據實際血硼濃度進行預設照射劑量的修正。硼濃度的檢測可由電感耦合等離子體光譜法、高解析度 α 放射自顯影、帶電離子能譜法、中子俘獲相機、核磁共振和磁共振成像、正電子發射斷層成像、瞬發 γ 射線能譜儀等實現，以上檢測方法涉及的裝置稱為硼濃度檢測裝置。

【0055】 載置模組 7 包括支撐被照射體 S 的載置台和驅動載置台移動到照射位置的驅動部。

【0056】 參照圖 4 所示，本發明一實施例中的硼中子捕獲治療系統 100 照射劑量修正的方法包括以下步驟：

【0057】 S1：生成預設治療計畫；

【0058】 結合預設硼濃度及被照射體的醫學影像數據生成預設治療計畫，預設治療計畫包括預設照射時間 T_{preset} 、預設目標劑量率等預設照射參數。

【0059】 醫護人員結合被照射體的身體特徵參數、被照射體的醫學影像數據及自身經驗設定目標劑量 $D_{\text{ROI,prescribed}}$ ，或稱為處方劑量，目標劑量 $D_{\text{ROI,prescribed}}$ 即被照射體需要實際接收的中子劑量。

【0060】 在其他實施例中，包括以上參數的部分或者更多未提及參數，都可理解為預設照射參數。

【0061】 S2：獲取預設治療計畫中的預設照射劑量；

【0062】 在本實施例中，將累積中子計數作為 BNCT 線上監控系統對於照射劑量的監控參數，通過對累積中子計數的計算和修正，實現對照射劑量的修正，當累積中子計數達到目標值時，照射劑量即達目標劑量。

【0063】 預設累積中子計數 N_{preset} 可採用公式 1 進行計算，公式 1 如下：

$$N_{\text{preset}} = R_{\text{BF3,cal}} \times T_{\text{preset}} \tag{1}$$

【0064】 其中， $R_{\text{BF3,cal}}$ 為中子劑量檢測裝置 3 的理論計數率、 T_{preset} 為預設硼濃度 B_{preset} 對應的預設照射時間，其採用如下公式 2 進行計算：

$$T_{preset} = \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)} \quad (2)$$

【0065】 預設目標劑量率 $\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)$ 採用公式 3 進行計算，
公式 3 如下：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR) = aB_{preset}^2 + bB_{preset} + c \quad (3)$$

【0066】 其中，a、b、c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值
和其對應模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【0067】 S3：根據預設治療計畫對被照射體 S 進行照射治療，
並在照射過程中獲取實際硼濃度及修正照射劑量；

【0068】 本發明一實施例中，根據實際硼濃度修正照射劑量
得到修正照射劑量，本實施例中獲取修正累積中子計數 N_{update} 作
為判斷是否達到目標劑量的參數依據。通過血硼濃度檢測裝置 4
檢測被照射體的血硼濃度，當獲得實際血硼濃度 B_{update} 後，採用
公式 4 計算實際血硼濃度 B_{update} 對應的修正累積中子計數 N_{update} ，
公式 4 如下：

$$N_{update} = R_{BF3,cal} \times T_{update} = R_{BF3,cal} \times \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)} \quad (4)$$

【0069】 其中， T_{update} 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的計畫照射
時間， $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的修正目標劑量
率， $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 採用如下公式 5 進行計算：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR) = aB_{update}^2 + bB_{update} + c \quad (5)$$

【0070】 其中，a、b、c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值

和其對應模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【0071】 S4：根據修正照射劑量實施照射控制。

【0072】 根據修正照射劑量判斷被照射體 S 接受的照射劑量是否達到目標劑量，當中子劑量檢測裝置 3 檢測到的累積中子計數到達修正累積中子計數 N_{update} 時，表明被照射體接受的照射劑量已達到目標劑量 $D_{ROI,prescribed}$ ，控制模組 6 控制中子束照射模組 1 停止照射以結束治療。

【0073】 可以理解的，如果在治療過程中，系統一直未獲取得到實際硼濃度資訊的情況下，則在中子劑量檢測裝置 3 檢測到的中子劑量到達預設目標劑量時，表明被照射體接受的照射劑量已達到處方劑量 $D_{ROI,prescribed}$ ，控制模組 6 控制中子束照射模組 1 停止照射以結束治療。

【0074】 本發明一實施例中，在實際照射過程中，中子劑量檢測裝置 3 即時檢測中子束的照射劑量，當中子照射劑量達到修正照射劑量或預設目標劑量時停止照射；在其他實施方式中，可以通過監測照射時間實現照射控制，具體的，基於修正照射劑量或預設目標劑量計算得到所需要的目標照射時間，當實際照射時間達到目標照射時間時，控制模組 6 控制中子束照射模組 1 停止照射以結束治療，即步驟 S4 可以是基於目標照射時間實施照射控制。

【0075】 目標照射時間 T 採用公式 6 進行計算，公式 6 如下：

$$T = \frac{R_{BF3,cal}}{R_{BF3,QC}} \times T_1 \tag{6}$$

【0076】 其中， $R_{BF3,cal}$ 是在給定參考射源條件下的 BF_3 比例計數器的計數率， $R_{BF3,QC}$ 是每日束流 QC 中測量得到的 BF_3 計數率，其反映了照射當日的 BF_3 中子計數率水準， T_1 為血硼濃度 B_1 對應的照射時間，其採用公式 7 和 8 計算得到，公式 7 和 8 如下：

$$T_1 = \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_1 \times TBR)} \tag{7}$$

$$\dot{D}_{ROI}(B_1 \times TBR) = aB_1^2 + bB_1 + c \tag{8}$$

【0077】 在本發明的一實施例中，在執行照射治療之前採用血硼濃度檢測裝置 4 檢測被照射體的實際血硼濃度，根據被照射體被執行照射治療之前的實際血硼濃度計算得到修正的照射時間；在其他實施方式中，在照射過程中，實際照射參數會發生改變，則需要週期性的或即時的根據具體情況對目標照射參數進行調整，以最大限度的確保治療效果。在對被照射體 S 進行中子束照射治療的過程中，需要對被照射體 S 持續性地供給硼藥，而在整個照射過程中，很難保證被照射體體內的硼濃度一直維持在同一個水準。參照公式 5 所示，目標劑量率隨血硼濃度的改變而改變，處方劑量即目標劑量保持不變，當血硼濃度發生改變時，照射劑量和目標照射時間需進行進一步修正以保證被照射體實際接收的中子劑量和處方劑量保持一致，以確保治療效果。

【0078】 對應的，本發明的一實施例還可以包括步驟 S5，在

實際照射過程中即時或週期性的檢測被照射體的血硼濃度，根據檢測到的血硼濃度即時的或週期性的修正照射劑量或目標照射時間，重複步驟 S3～S4，直到中子劑量檢測裝置 3 檢測到的中子劑量達到目標劑量或實際照射時間等於修正的目標照射時間；另一方面，中子照射模組產生的中子束的參數亦可能發生改變，中子劑量檢測裝置 3 能夠即時監測中子束的射束參數，當中子束的射束參數發生改變時，亦可適當修正目標照射時間，以保證被照射體實際接收的中子劑量和處方劑量保持一致。

【0079】 即時檢測被照射體的血硼濃度的方法多種多樣，本發明的一實施例以通過檢測被照射體 S 釋放出的 γ 射線推算被照射體 S 體內的硼濃度為例進行描述。中子束進入被照射體體內與硼發生反應後生成 γ 射線，通過測定 γ 射線的量可以推算出於中子束髮生反應的硼的量，從而推算出被照射體 S 體內的硼濃度。具體的：硼濃度檢測裝置檢測由中子和硼的反應生成的 γ 射線（478 keV）而測定硼濃度，以能夠測定單能量的 γ 射線而測定硼濃度分佈的硼分佈測量系統（PG(Prompt- γ)-SPECT）作為硼濃度檢測裝置，硼濃度檢測裝置具有 γ 射線檢測部和硼濃度計算部。 γ 射線檢測部用於檢測與從被照射體 S 的體內放出的 γ 射線有關的資訊，硼濃度計算部根據 γ 射線檢測部檢測出的與 γ 射線有關的資訊計算被照射體 S 體內的硼濃度， γ 射線檢測部能夠使用閃爍器及其他各種 γ 射線檢測設備。在本實施方式中， γ 射線檢測

部配置於被照射體 S 的腫瘤的附近，例如配置於離被照射體 S 的腫瘤為 30 cm 左右的位置。

【0080】 本發明硼中子捕獲治療系統 100 根據預設血硼濃度模擬得到預設治療計畫，從而獲得預設目標劑量，然後根據實際血硼濃度對應的劑量率計算得到修正照射劑量，據此控制中子照射模組實施照射治療，無需在制定預設治療計畫時向被照射體注射含硼藥物，且無需等血硼濃度檢測出結果後再實施照射，節約了治療成本、簡化了治療流程，在治療過程中根據實際血硼濃度修正目標照射劑量，降低了實際照射時因血硼濃度變化帶來的照射劑量的誤差。

【0081】 應該理解的是，雖然如上所述的各實施例所涉及的流程圖中的各個步驟按照箭頭的指示依次顯示，但是這些步驟並不是必然按照箭頭指示的順序依次執行。除非本文中有明確的說明，這些步驟的執行並沒有嚴格的順序限制，這些步驟可以以其他的順序執行。而且，如上所述的各實施例所涉及的流程圖中的至少一部分步驟可以包括多個步驟或者多個階段，這些步驟或者階段並不必然是在同一時刻執行完成，而是可以在不同的時刻執行，這些步驟或者階段的執行順序也不必然是依次進行，而是可以與其他步驟或者其他步驟中的步驟或者階段的至少一部分輪流或者交替地執行。

【0082】 以上實施例的各技術特徵可以進行任意的組合，為

使描述簡潔，未對上述實施例中的各個技術特徵所有可能的組合都進行描述，然而，只要這些技術特徵的組合不存在矛盾，都應當認為是本說明書記載的範圍。

【0083】 以上所述實施例僅表達了本申請的幾種實施方式，其描述較為具體和詳細，但並不能因此而理解為對本申請專利範圍的限制。應當指出的是，對於本領域的普通技術人員來說，在不脫離本申請構思的前提下，還可以做出若干變形和改進，這些都屬於本申請的保護範圍。因此，本申請的保護範圍應以所附申請專利範圍為準。

【符號說明】

【0084】

100:硼中子捕獲治療系統

1:中子束照射模組

11:中子產生裝置

111:加速器

112:靶材

12:射束整形體

121:反射體

122:緩速體

123:熱中子吸收體

124:輻射屏蔽體

125:射束出口

13:準直器

2:影像獲取模組

3:中子劑量檢測裝置

4:血硼濃度檢測裝置

5:治療計畫模組

6:控制模組

7:載置模組

8:照射劑量修正模組

S:被照射體

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種硼中子捕獲治療系統，其特徵在於，包括：

中子束照射模組，用於產生中子束；

血硼濃度檢測裝置，用於檢測被照射體的實際血硼濃度；

治療計畫模組，用於生成預設治療計畫；

照射劑量修正模組，根據所述實際血硼濃度獲得修正照射劑量；及

控制模組，用於從所述治療計畫模組調取所述預設治療計畫，並根據所述修正照射劑量控制所述中子束照射模組的照射時間，使患者接受的照射劑量達到目標劑量。

【請求項2】 如請求項1所述的硼中子捕獲治療系統，其特徵在於，還包括用於即時檢測累積中子計數而獲得照射劑量的中子劑量檢測裝置。

【請求項3】 如請求項2所述的硼中子捕獲治療系統，其特徵在於，預設累積中子計數 N_{preset} 採用公式1進行計算，公式1如下：

$$N_{preset} = R_{BF3,cal} \times T_{preset} \tag{1}$$

其中， $R_{BF3,cal}$ 為中子劑量檢測裝置的理論計數率、 B_{preset} 為預設硼濃度、 T_{preset} 為預設硼濃度 B_{preset} 對應的預設照射時間， T_{preset} 採用如下公式2進行計算：

$$T_{preset} = \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)} \tag{2}$$

其中， $D_{ROI,prescribed}$ 為目標劑量、 $\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)$ 為預設目標劑量率， $\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)$ 採用公式 3 進行計算，公式 3 如下：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR) = aB_{preset}^2 + bB_{preset} + c \tag{3}$$

其中，a、b、c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應的模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【請求項 4】 如請求項 2 所述的硼中子捕獲治療系統，其特徵在於，修正累積中子計數 N_{update} 採用如下公式 4 計算：

$$N_{update} = R_{BF3,cal} \times T_{update} = R_{BF3,cal} \times \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)} \tag{4}$$

其中， B_{update} 為實際血硼濃度、 T_{update} 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的計畫照射時間、 $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的修正目標劑量率， $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 採用如下公式 5 進行計算：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR) = aB_{update}^2 + bB_{update} + c \tag{5}$$

其中，a、b、c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應的模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【請求項 5】 一種硼中子捕獲治療系統的照射劑量修正方法，其特徵在於，包括：

結合預設硼濃度及被照射體的醫學影像數據生成預設治療計畫；

根據實際硼濃度獲得修正照射劑量；及

根據所述修正照射劑量控制照射時間，使患者接受的照射劑量達到目標劑量。

【請求項6】 如請求項 5 所述的照射劑量修正方法，其特徵在於，還包括基於被照射體的醫學影像數據確定目標劑量的步驟。

【請求項7】 如請求項 6 所述的照射劑量修正方法，其特徵在於，還包括獲取預設照射劑量的步驟。

【請求項8】 如請求項 7 所述的照射劑量修正方法，其特徵在於，獲取所述修正照射劑量具體為：根據實際檢測到的硼濃度值修正所述預設治療計畫中的預設目標劑量率得到修正目標劑量率，根據所述修正目標劑量率計算得到所述修正照射劑量。

【請求項9】 如請求項 7 所述的照射劑量修正方法，其特徵在於，預設累積中子計數 N_{preset} 採用公式 1 進行計算，公式 1 如下：

$$N_{preset} = R_{BF3,cal} \times T_{preset} \tag{1}$$

其中， $R_{BF3,cal}$ 為中子劑量檢測裝置的理論計數率、 B_{preset} 為預設硼濃度、 T_{preset} 為預設硼濃度 B_{preset} 對應的預設照射時間， T_{preset} 採用如下公式 2 進行計算：

$$T_{preset} = \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)} \tag{2}$$

$D_{ROI,prescribed}$ 為目標劑量、 $\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)$ 為預設目標劑量率， $\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR)$ 採用公式 3 進行計算，公式 3 如下：

$$\dot{D}_{ROI}(B_{preset} \times TBR) = aB_{preset}^2 + bB_{preset} + c \tag{3}$$

其中， a 、 b 、 c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

【請求項10】 如請求項 8 所述的照射劑量修正方法，其特徵在於，所述修正累積中子計數 N_{update} 採用如下公式 4 計算：

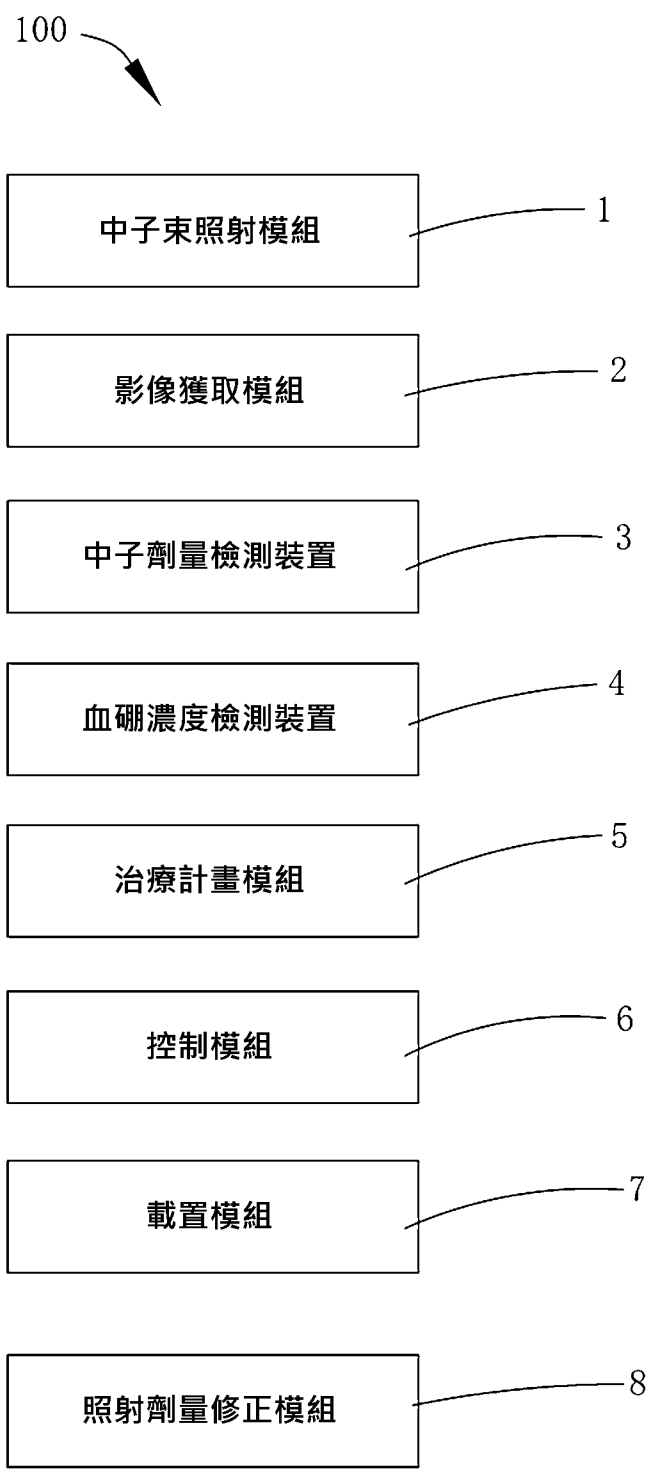
$$N_{update} = R_{BF3,cal} \times T_{update} = R_{BF3,cal} \times \frac{D_{ROI,prescribed}}{\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)} \quad (4)$$

其中， B_{update} 為實際血硼濃度、 T_{update} 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的計畫照射時間、 $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 為實際血硼濃度 B_{update} 對應的修正目標劑量率， $\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR)$ 採用如下公式 5 進行計算：

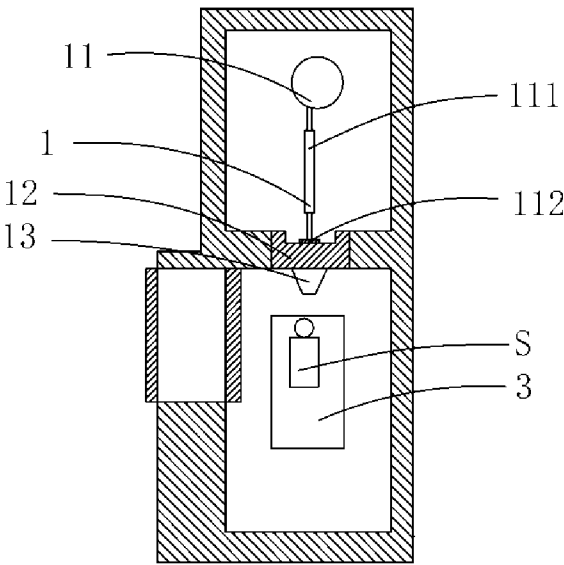
$$\dot{D}_{ROI}(B_{update} \times TBR) = aB_{update}^2 + bB_{update} + c \quad (5)$$

其中， a 、 b 、 c 為擬合係數，其由多個預設硼濃度值和其對應的模擬得到的劑量率通過函數擬合得到。

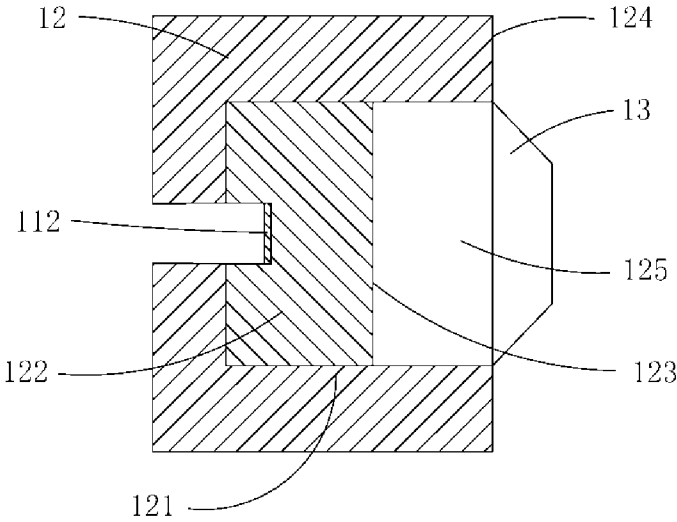
【發明圖式】



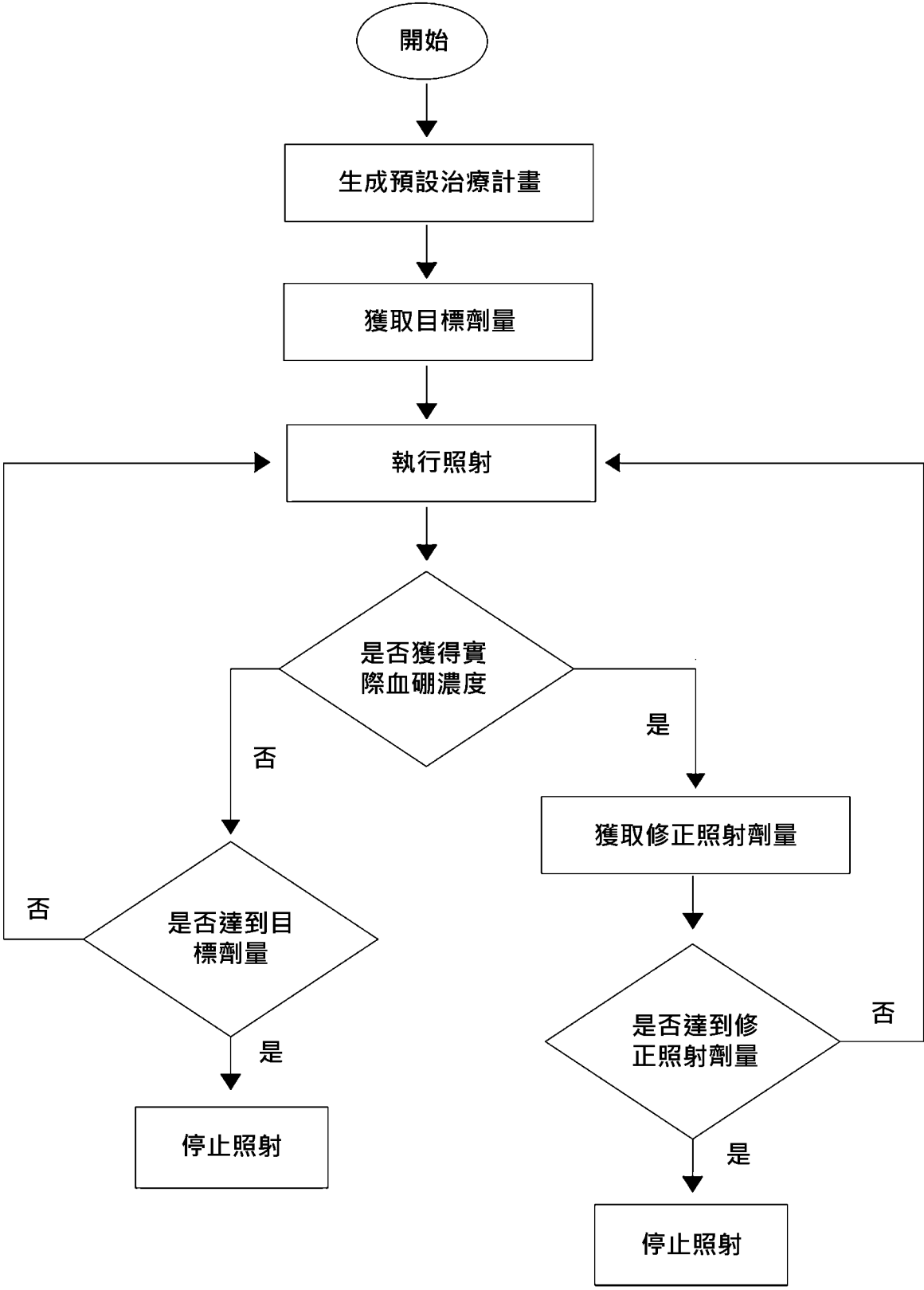
【圖1】



【圖2】



【圖3】



【圖4】