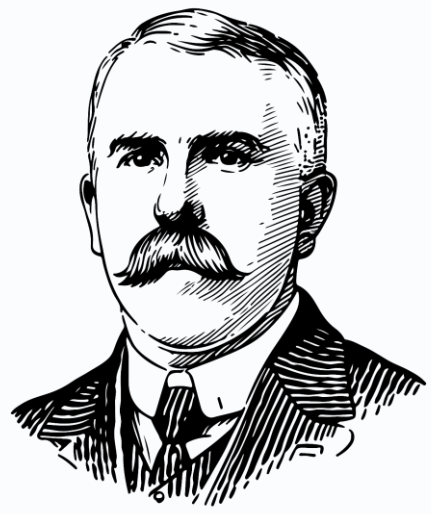
การรักษามะเร็งด้วยอนุภาคโปรตอน

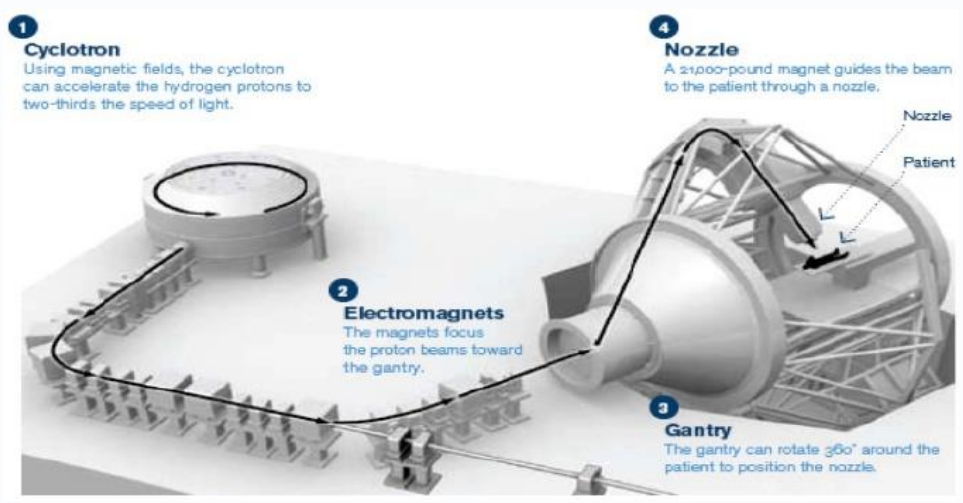
กลุ่มมาตรฐานการวัดทางนิวเคลียร์และรังสี
กองพัฒนาระบบและมาตรฐานการกำกับดูแลความปลอดภัย
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ของอนุภาคโปรตอน

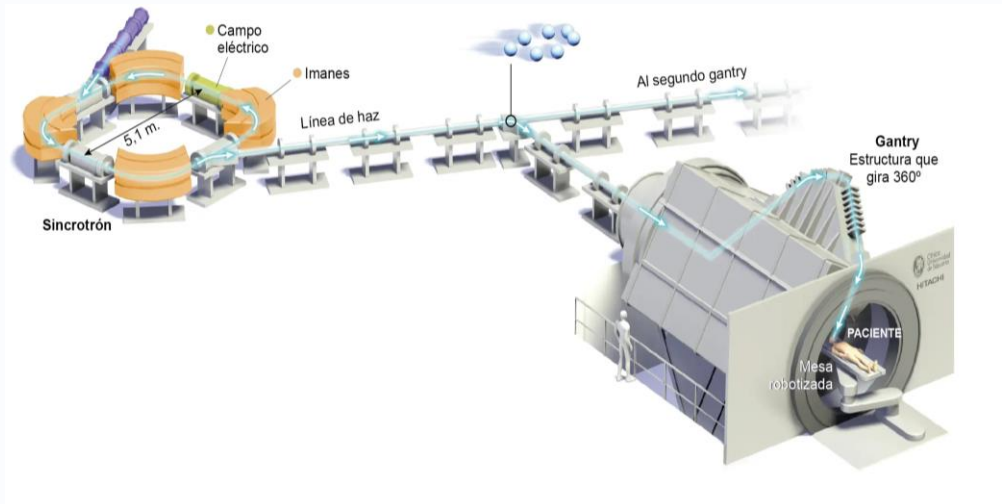
โปรตอน เป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวกและเป็นประจุมูลฐาน (elementary charge) สัญลักษณ์ p หรือ p^+ มีประจุเป็น +1e และมีมวลน้อยกว่านิวตรอนเล็กน้อย โดยโปรตอนและนิวตรอนมีมวล 1 หน่วยมวลอะตอม (u) เมื่อโปรตอนรวมตัวกันในนิวเคลียส จะประพฤติตัวเป็น “นิวคลีออน” ในนิวเคลียสของอะตอมใด ๆ จะพบโปรตอนอย่างน้อยหนึ่งตัว จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและบอกเลขอะตอมของธาตุนั้น ๆ โดยอนุภาคโปรตอนนี้ค้นพบโดย เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1920



เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford)

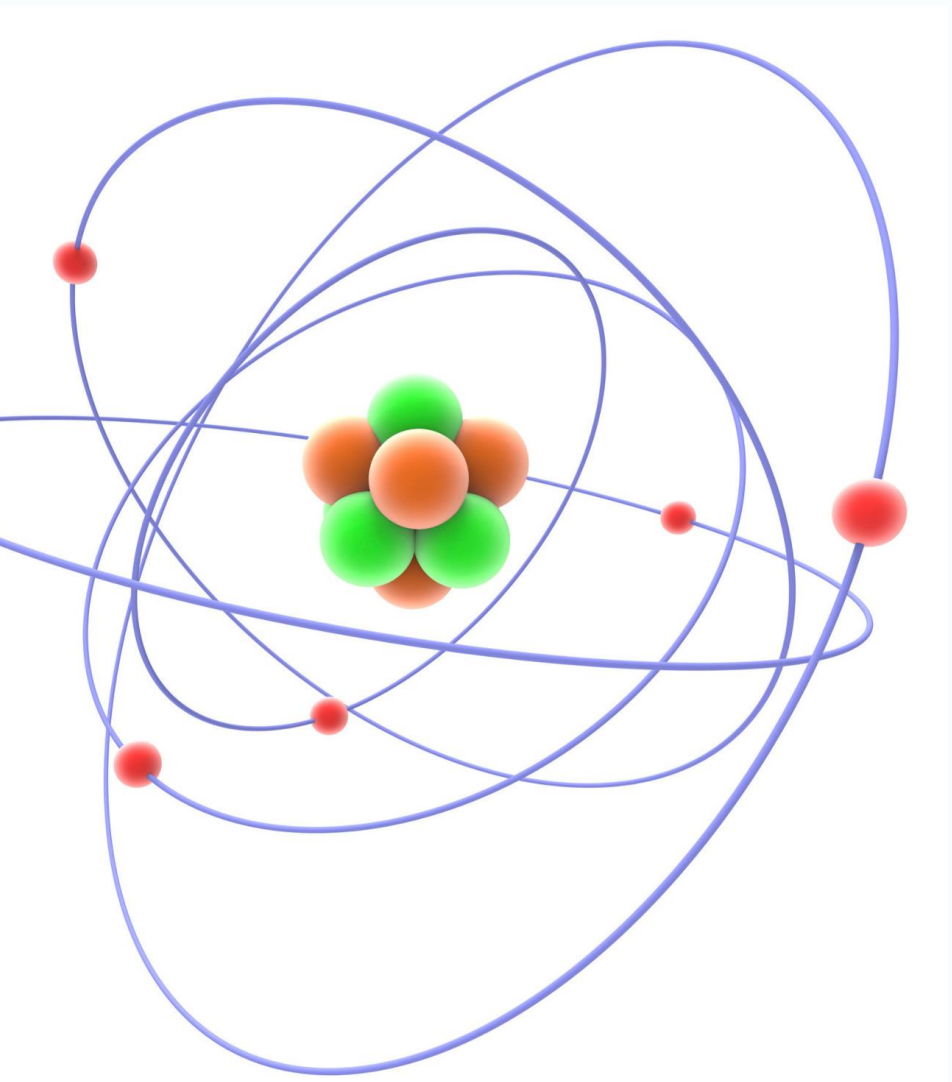


อนุภาคโปรตรอนที่ผลิตจากเครื่องไซโคลตรอน
ที่มา https://www.linkedin.com/pulse/proton-beam-therapy-anson-samual



อนุภาคโปรตรอนที่ผลิตจากเครื่องซินโครตอน
ที่มา https://cancercenter.cun.es/en/proton-therapy/how-it-works

สำหรับการใช้ประโยชน์จากโปรตอนเพื่อการรักษาโรคนั้น โปรตอนจะถูกเร่งให้มีพลังงานจลน์ที่สูงขึ้นจนมีพลังงานตามความต้องการ โดยใช้หลักการของไซโคลตรอน (Cyclotron) หรือซินโครตรอน (Synchrotron) ซึ่งมีหลักการ คือการใช้สนามไฟฟ้าหมุนโปรตอนให้วนรอบวงกลมขนาดใหญ่ โดยใช้สนามแม่เหล็กควบคุมการเคลื่อนที่ของโปรตอน ในระหว่างการหมุนวนรอบนี้ โปรตอนจะค่อย ๆ ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนได้พลังงานสูงสุดตามต้องการ ไซโคลตรอนและซินโครตรอนมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน โดยไซโคลตรอนเป็นเครื่องเร่งอนุภาคที่ถูกคิดค้นขึ้นโดยใช้หลักการเร่งอนภาคประจบวกด้วยสนามไฟฟ้าสลับทางพร้อมกับใช้สนามแม่เหล็กคงที่เพื่อทำให้อนภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลม เมื่ออนภาคเคลื่อนผ่านขั้วไฟฟ้าครั้งละครึ่งวงกลม จะได้รับการเร่งด้วยประจุไฟฟ้าขั้วตรงข้าม ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนได้พลังงานสูงสุดที่ต้องการก่อนดึงอนุภาคออกมาใช้งาน ข้อดีของไซโคลตรอนคือ โครงสร้างและการทำงานค่อนข้างง่าย ข้อจำกัดคือมีพลังงานสูงสุดจำกัด เนื่องจากรัศมีวงโคจรจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อพลังงานสูงขึ้น เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของไซโคลตรอน ซินโครตรอนจึงถูกคิดค้นขึ้นมา โดยใช้หลักการเร่งอนุภาคภายในวงแหวนขนาดใหญ่ โดยตลอดรอบวงแหวนจะมีขดลวดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเร่งอนุภาค และมีขดลวดแม่เหล็กกระจายรอบวงเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กคงที่เล็กน้อยควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับการเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจนมีพลังงานสูงขึ้น ระบบจะค่อย ๆ ปรับเพิ่มสนามแม่เหล็กเพื่อคงรัศมีวงโคจรของอนุภาคไว้ ในลักษณะนี้จึงไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงานสูงสุด สามารถเร่งอนุภาคได้สูงมากขึ้นเรื่อย ๆ ข้อดีคือสามารถเร่งอนุภาคต่าง ๆ ให้มีพลังงานสูงมาก ข้อจำกัดคือมีโครงสร้างและระบบซับซ้อน รวมถึงมีขนาดใหญ่และต้องใช้งบประมาณสูงในการสร้างและดูแล

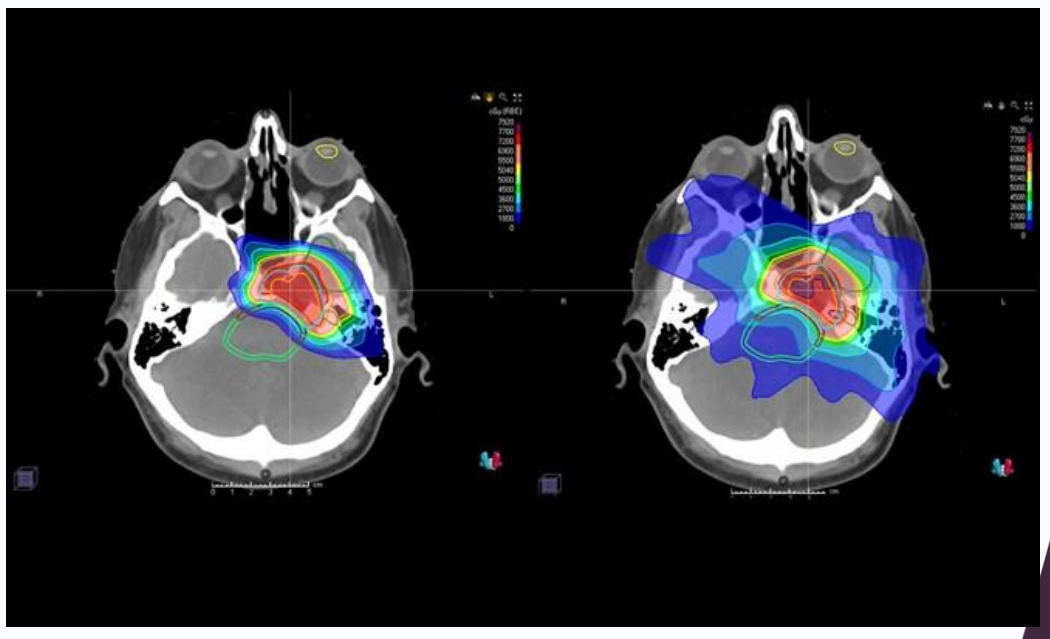


การรักษามะเร็งด้วยอนุภาคโปรตอน

สำหรับหลักการรักษามะเร็งด้วยอนุภาคโปรตอนมีลักษณะพิเศษ คือ พลังงานส่วนใหญ่ของอนุภาคโปรตอนที่ผ่านเข้าไปยังร่างกายผู้ป่วยจะถ่ายเทให้กับเนื้อเยื่อที่ปลายสุดของเส้นทางการการทะลุทะลวง เรียกว่า “Bragg peak” ซึ่งลดการได้รับปริมาณรังสีสูงในอวัยวะอื่นที่อนุภาคโปรตอนเดินทางผ่าน ทั้งนี้ หากขนาดของก้อนมะเร็งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของลำรังสีโปรตอนเดี่ยว สามารถใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อกระจาย Bragg peak ให้มีขนาดกว้างขึ้น เรียกว่า “spread out Bragg peak (SOBP)” อีกหนึ่งคุณสมบัติเด่นของอนุภาคโปรตอน คือ เราสามารถทราบพิสัยทะลุทะลวงของโปรตอนแต่ละพลังงานได้อย่างชัดเจน ดังนั้น การวางแผนการรักษาก้อนมะเร็งที่ตำแหน่งความลึกต่างกัน สามารถเลือกพลังงานของโปรตอนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้พลังงานจากอนุภาคโปรตอนถ่ายเทไปยังความลึกตามต้องการ ดังนั้นคุณภาพการรักษาด้วยโปรตอนจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของการวัดปริมาณรังสีที่ถูกถ่ายทอดจากอนุภาคโปรตอนที่ตำแหน่งความลึกต่าง ๆ เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณรังสีที่ให้แก่ผู้ป่วยมีความถูกต้อง แม่นยำตามแผนการรักษา

การวัดปริมาณรังสีจากเครื่องโปรตอนสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ (1) การประมาณจำนวนโปรตอนสัมบูรณ์ที่ออกมาจากหัวฉายรังสี (absolute determination of the number of protons exiting the nozzle) ด้วย Faraday cup (2) การวัดปริมาณรังสีสัมบูรณ์ (absolute dosimetry) ด้วย Calorimetry ซึ่งเป็นวิธีวัดในห้องปฏิบัติการวัดปริมาณรังสีมาตรฐานปฐมภูมิ และ (3) การวัดปริมาณรังสีอ้างอิงด้วยหัววัดไอออไนเซชันแชมเบอร์ซึ่งถูกสอบเทียบปริมาณรังสีดูดกลืนในน้ำจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 เป็นวิธีที่ประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบัน ดำเนินการโดยสำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข โดยชนิดของหัววัดที่ใช้ในการวัดอนุภาคโปรตอนเป็นชนิด air-filled parallel-plate โดยมีตำแหน่งอ้างอิงการวัดที่ Bragg peak หรือ กึ่งกลางของ SOBP ขึ้นอยู่กับลักษณะของรังสีโปรตอนที่ใช้ในการรักษาว่าเป็น Scanning system หรือ Scattering system ตามลำดับ

การรักษาผู้ป่วยด้วยเครื่องฉายอนุภาคโปรตอนนั้น อนุภาคโปรตอนจะถูกเร่งให้มีพลังงานในช่วง 70-250 MeV สำหรับการรักษาผู้ป่วย ตำแหน่งของ Bragg peak ขึ้นกับพลังงานของโปรตอนที่ให้ โดยแพทย์และนักฟิสิกส์การแพทย์สามารถเลือกใช้พลังงานของโปรตอนให้เหมาะสมตามความลึกของก้อนมะเร็งที่วัดได้จากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เพื่อให้ตำแหน่งของปริมาณรังสีจาก Bragg peak ไปอยู่ที่ก้อนมะเร็ง เนื่องจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ Bragg peak ที่ให้ปริมาณรังสีครอบคลุมก้อนมะเร็ง และไม่มีปริมาณรังสีหลังก้อนมะเร็ง เหมือนกับการรักษาด้วยโฟตอนที่จะมีปริมาณรังสีต่ำ ๆ กระจายใน normal tissue บริเวณทางออกของลำรังสีที่เรียกว่า dose bath เครื่องฉายอนุภาคโปรตอนในปัจจุบัน สามารถใช้การฉายด้วยเทคนิค pencil beam scanning ใช้หลักการแบ่งก้อนมะเร็งเป็นปริมาตรเล็กๆ ตามความลึกและแนวด้านข้าง สามารถปรับปริมาณรังสีได้ตามรูปร่างของก้อนมะเร็งทางด้านหน้าและด้านหลัง ทำให้เส้นปริมาณรังสีเป็นไปตามรูปร่างของก้อนมะเร็งได้ดี



ภาพการรักษามะเร็งที่สมองโดยใช้
อนุภาคโปรตอนจากเครื่องฉายอนุภาคโปรตอน (ซ้าย)
รังสีเอกซ์จากเครื่องเร่งอนุภาค LINAC (ขวา)
ที่มา https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/brain-tumor/proton-therapy

การรักษามะเร็งด้วยอนุภาคโปรตอน

การรักษาโรคมะเร็งชนิดต่างๆ ด้วยอนุภาคโปรตอน จึงสามารถกำหนดทิศทางของลำอนุภาคไปยังก้อนมะเร็งได้อย่างแม่นยำ ทำให้บริเวณอวัยวะปกติข้างเคียงที่อยู่ใกล้กับก้อนมะเร็งได้รับปริมาณรังสีน้อยมาก เช่น (1) มะเร็งในศีรษะและลำคอ (Head and neck cancer) เนื่องจากก้อนมะเร็งมักอยู่ใกล้กับบริเวณอวัยวะสำคัญต่างๆ อาทิเช่น ก้านสมอง ไขสันหลัง ลดผลข้างเคียงในระยะสั้นและยาว เช่น ปากแห้ง น้ำลายแห้ง การสูญเสียการทำงานของเส้นประสาทสมอง (2) มะเร็งในเด็ก (Pediatric cancer) ลดความรุนแรงผลข้างเคียงเกี่ยวกับการประมวลผลของสมองและระดับสติปัญญา และผลข้างเคียงระยะยาว ทำให้คุณภาพชีวิตของเด็กดีขึ้น (3) มะเร็งเต้านม (Breast cancer) ลดปริมาณรังสีที่ปอดและหัวใจได้มากกว่าการฉายรังสีแบบ conventional treatment และลดโอกาสการเกิด secondary malignancy (4) มะเร็งตับ (Hepatocarcinoma) ลดการได้รับปริมาณรังสีของอวัยวะปกติข้างเคียง เช่น เนื้อตับปกติ กระเพาะอาหาร ไต (5) โรคมะเร็งต่อมลูกหมาก (Prostate Cancer) ลดการได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ย (mean dose) ในลำไส้ตรงและกระเพาะปัสสาวะ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค VMAT (Volumetric modulated arc therapy) ยิ่งไปกว่านั้นการรักษาโรคมะเร็งด้วยอนุภาคโปรตอนสามารถรักษาแบบ Hypofractionation และ Stereotactic Radiotherapy เป็นการให้รังสีปริมาณสูงต่อครั้ง ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการรักษาเพราะจำนวนครั้งที่ฉายลดลง

ปัจจุบันประเทศไทยมีการให้บริการรักษามะเร็งด้วยอนุภาคโปรตอนแห่งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 โดยศูนย์โปรตอนสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์สภากาชาดไทย จำนวน 1 ห้อง ปัจจุบันมีผู้ป่วยเข้ารับการรักษาทั้งสิ้นกว่า 600 ราย เป็นคนไทย 90% และต่างชาติ 10% จำแนกออกเป็นกลุ่มโรค 3 อันดับแรกได้แก่ มะเร็งตับ มะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอ และมะเร็งในสมอง

ศูนย์โปรตอนสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

แม้การจัดตั้งศูนย์โปรตอนเทอราปีจะใช้งบลงทุนสูง แต่ด้วยข้อดีและประสิทธิภาพการรักษาด้วยอนุภาคโปรตอนซึ่งสามารถลดผลข้างเคียงจากการรักษา เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของผู้ป่วย ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดูแลผู้ป่วยหลังการรักษาลงได้ โดยมีงานวิจัยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตั้งแต่ติดตั้ง รักษา และการดูแลผู้ป่วยหลังการรักษาด้วยอนุภาคโปรตอนเทียบกับรังสีโฟตอนจากเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์ พบว่าการรักษาด้วยอนุภาคโปรตอนมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่ารังสีโฟตอน 23,464 ยูโร และด้วยความต้องการการรักษาที่มากขึ้น ปัจจุบัน “ย่านนวัตกรรมโยธี, Yothi Medical Innovation District- YMID)” จึงมีแผนเพื่อติดตั้งศูนย์โปรตอนเทอราปี โดยในปี 2567 มีโครงการเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ การออกแบบและสำรวจพื้นที่ และการพัฒนาบุคลากร เพื่อติดตั้งศูนย์โปรตอนขนาด 3 ห้อง (ทั้งห้องรักษาผู้ป่วยและสำหรับงานวิจัย) โดยความร่วมมือของผู้เชี่ยวชาญจากประเทศสหรัฐอเมริกาและจีน

การรักษาโรคมะเร็งโดยการใช้รังสีรักษาด้วยอนุภาคโปรตอน กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้หน่วยงานด้านการแพทย์ในประเทศไทยยังมีการศึกษาการรักษาโรคมะเร็งด้วยรังสีเทคนิคอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ในอนาคตอันใกล้ เช่น การบำบัดรักษาด้วยโปรตอน-คาร์บอนโดยโรงพยาบาลจุฬาภรณ์ และรังสีรักษาจากโบรอนยึดจับนิวตรอน (Boron Neutron Capture) โดยมหาวิทยาลัยสุรนารี การเพิ่มจำนวนศูนย์รักษามะเร็งและพัฒนาคุณภาพของการรักษาตามมาตรฐานสากล เพื่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยในประเทศไทย พร้อมสร้างความเชื่อมั่นเพื่อดึงดูดผู้ป่วยจากต่างประเทศ สามารถส่งเสริมการเป็นศูนย์กลางสุขภาพนานาชาติ (Medical Hub) เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Cyclotrons and Synchrotrons (2022). CERN. Retrieved from https://home.cern/science/accelerators/cyclotrons-and-synchrotrons
2. Khan, F. M. (2010). The physics of radiation therapy (4th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
3. Sengbusch, E., Enghardt, W., Krästner, M., & Röper, B. (2016). Particle accelerators for cancer treatment. Journal of large-scale research facilities JLSRF, 2, A62. https://doi.org/10.17815/jlsrf-2-79
4. Sanghangthum,T. (2020). Alternative radiation modalities.
5. Yuan, TZ., Zhan, ZJ. & Qian, CN. New frontiers in proton therapy: applications in cancers. Cancer Commun 39, 61 (2019). https://doi.org/10.1186/s40880-019-0407-3

ที่มา https://heliomtech.com/sbrt-technology-and-the-latest-updates-on-radiotherapy-technologies-is-it-effective-or-does-it-come-with-the-whole-package-of-side-effects-and-discouraging-results/