

Receive: August 18, 2012
Revise: September 14, 2012
Accepted: September 17, 2012

A New Type of Cancer Treatment by High Intensity Focused Ultrasound

คลื่นเหนือเสียงความเข้มสูงทางเลือกใหม่พิชิตมะเร็ง

พัชรญา เพชรผ่อง และวิรัตน์ ปลั่งแสงมาศ

ฝ่ายมาตรวิทยาเสียงและการสั่นสะเทือน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กรุงเทพฯ 10400

E-mail: patchariya@nimt.or.th

บทคัดย่อ

ได้มีการนำเอาคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง (high intensity focused ultrasound, HIFU) มาใช้ในการทำลายและลดการลุกลามของเซลล์มะเร็งภายในร่างกายมนุษย์ ซึ่งนับเป็นทางเลือกใหม่ในการรักษาและผ่าตัดผู้ป่วย ทั้งการรักษาด้วยวิธีนี้ยังสามารถช่วยลดภาวะการแทรกซ้อนจากวิธีการทำเคมีบำบัดและการฉายแสงในการรักษาแบบเดิมได้ วิธีการนี้อาศัยหลักการปล่อยคลื่นความถี่สูงจากทรานสดิวเซอร์ที่มีการกำหนดตำแหน่งของเนื้อเยื่อที่ต้องการทำลายอย่างชัดเจน และทำการวิเคราะห์ควบคู่กับระบบการถ่ายภาพอัลตราซาวด์ (ultrasound imaging) หรือ MRI (magnetic resonance imaging) ในปัจจุบันพบว่า HIFU ยังคงสามารถรักษาโรคมะเร็งได้บางชนิดเท่านั้นและงานส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการทดลองและวิจัย อย่างไรก็ตามมีพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และคาดว่า HIFU จะสามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในสาขาทางการแพทย์อื่นๆ อีกในอนาคต บทความชิ้นนี้จะนำเสนอแนวคิด หลักการทำงานและประโยชน์ของการรักษาด้วยระบบ HIFU รวมทั้งทำให้ตระหนักเห็นถึงความสำคัญของมาตรฐานการวัดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือให้ใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ อันก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและเป็นการสร้างความเชื่อมั่นของวิธีการรักษานี้ให้เป็นที่ยอมรับอีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: การบำบัดด้วยอัลตราซาวด์ คลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง การรักษาโรคมะเร็ง
 มาตรวิทยาด้านอัลตราซาวด์

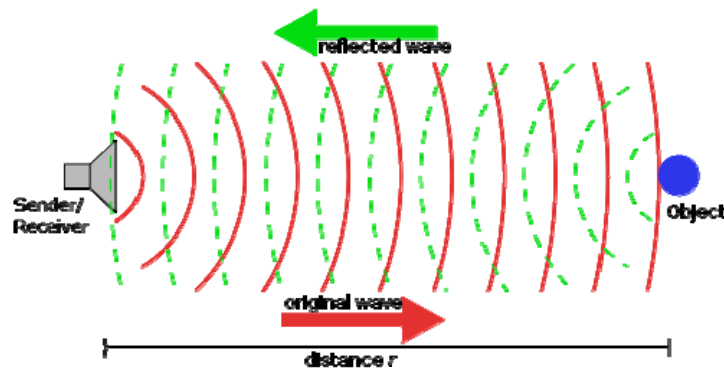
บทนำ

คลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราซาวด์ (ultrasound) คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ซึ่งเกินกว่าระดับมนุษย์จะได้ยิน (ช่วงความถี่ระหว่าง 20 – 20000 เฮิร์ตซ์) โดยคลื่นเหนือเสียงจะถูกกำหนดคุณสมบัติได้จากช่วงความถี่ กล่าวคือคลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่ต่ำจะแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่นเสียง ในขณะที่คลื่นเหนือเสียงความถี่สูงจะสามารถแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่นแสง โดยมีความยาวคลื่นสั้นที่ส่งผลให้ลำคลื่นแคบลง [1] มนุษย์จึงนำประโยชน์ของคลื่นเหนือเสียงความถี่สูงนี้มาใช้ในการกำหนดทิศทางและเป้าหมายที่ต้องการของการปล่อยคลื่นได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจากคลื่นเหนือเสียงจะมีสเปกตรัมที่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่หลากหลาย ดังนั้นจึงมีการเลือกช่วงความถี่ที่แตกต่างกันนำมาใช้ให้ประโยชน์ อาทิเช่น การพัฒนาเครื่องมือทางการแพทย์ การประมง ธรณีวิทยา วิศวกรรมและอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยสามารถกล่าวถึงประโยชน์ของคลื่นเหนือเสียงตามช่วงความถี่ได้ดังนี้

คลื่นเหนือเสียงในช่วงความถี่ 1 – 20 เมกะเฮิร์ตซ์ จะถูกนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือด้านการแพทย์ เพื่อวินิจฉัย ถ่ายภาพบำบัดและรักษาโรคต่าง ๆ และคลื่นเหนือเสียงในช่วงความถี่นี้ยังถูกนำไปใช้ในการวัดความหนาของชิ้นงานที่ยากต่อการเข้าถึงได้โดยไม่ทำลายชิ้นงานนั้น เช่น การตรวจสอบความหนาของรถยนต์และแผ่นโลหะต่างๆได้ [1] สำหรับงานด้านอุตสาหกรรม คลื่นเหนือเสียงในช่วง 15 กิโลเฮิร์ตซ์ถึง 400 กิโลเฮิร์ตซ์ ได้ถูกนำมาใช้ในการเชื่อมรอยต่อพลาสติกหรือใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์การทำความสะอาดชิ้นส่วนต่างๆ (ultrasonic bath) ได้นอกจากนั้นการสั่นพ้องของคลื่นเหนือเสียง ยังสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในการสำรวจสิ่งแวดล้อมทางทะเล กล่าวคือการตรวจหาฝูงปลาและสิ่งกีดขวางภายใต้ทะเลลึกและการวัดความลึกของท้องทะเลโดยใช้หลักการของการสะท้อนเสียง ซึ่งเรียกกันว่า "ระบบโซนาร์" (sonar,

sound navigation and ranging) แสดงดังรูปที่ 1 โดยคลื่นเสียงโซนาร์จะมีความถี่ประมาณ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ [3]



รูปที่ 1 การทำงานเครื่องมือด้วยระบบโซนาร์ [4]

สำหรับงานด้านทางด้านการวิศวกรรม คลื่นเหนือเสียงความถี่สูงในช่วง 500 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 15 เมกะเฮิร์ตซ์ จะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวหรือรอยตำหนิในวัสดุต่างๆ [2] ซึ่งการนำคลื่นเหนือเสียงไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ในแต่ละประเภทนั้น ผู้ใช้จะต้องเลือกช่วงความถี่และความถี่ของคลื่นเหนือเสียงที่สอดคล้องและเหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ของงานด้วย

บทความชิ้นนี้จะขอลำถึงหลักการและประโยชน์ของคลื่นเหนือเสียงหรือคลื่นอัลตราซาวด์ที่ใช้ทางด้านการแพทย์เป็นส่วนใหญ่ โดยหลักการพื้นฐานของอัลตราซาวด์ทางการแพทย์ประกอบด้วยการทำงานที่สำคัญ 2 ประการคือ [5]

1. หลักการสะท้อน (reflection or echoes) จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นอัลตราซาวด์เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิดที่มีค่าความต้านทานในตัวกลาง (acoustic impedance) ที่แตกต่างกัน โดยค่าความต้านทานในตัวกลางนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุหรือตัวกลางแต่ละชนิด (ที่นิยามจากค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัตถุต่อความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ในตัวกลางนั้นๆ) ที่จะขึ้นกับสภาวะแวดล้อมที่ทำการวัด ณ ขณะนั้นด้วย ซึ่งการสะท้อนกลับของคลื่นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความต่างระหว่างความต้านทานของตัวกลางสองชนิด (acoustic impedance mismatch) นั้นมีค่ามากขึ้น ซึ่งพบว่าค่าความต้านทานในตัวกลางระหว่างเนื้อเยื่อและช่องว่างภายในร่างกายจะมีค่าแตกต่างกันมากจนทำให้คลื่นเหนือเสียงที่ส่งผ่านเกิดการสะท้อน

กลับหมด ด้วยเหตุนี้เองคลื่นอัลตราซาวด์จึงถูกนำมาใช้ในการรักษาและวินิจฉัยโรคได้ ด้วยค่าความต้านทานในตัวกลางของอวัยวะต่าง ๆ ที่ต่างกัน ดังนั้นการสะท้อนกลับของคลื่นก็จะส่งผลทำให้เกิดการแปลผลและสร้างภาพอวัยวะตามการสะท้อนของคลื่นที่ต่างกันด้วยตามขบวนการระบบการถ่ายภาพอัลตราซาวด์ที่สามารถนำไปวิเคราะห์ใช้ในการรักษาได้ต่อไป

2. หลักการดูดกลืนและถ่ายโอนพลังงาน (absorption and energy transfer) คลื่นอัลตราซาวด์ที่ถูกปล่อยออกมาในตัวกลางจะเกิดการสูญเสียพลังงานทั้งจากการดูดกลืนและสะท้อนกลับสะท้อนกลับที่เป็นผลจากการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ต่างชนิดกันของ โดยพลังงานที่ถูกดูดกลืนนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนและแปรผันตามความถี่ของคลื่น ในขณะที่ระยะทางในการทะลุผ่านของคลื่นจะสั้นลงเนื่องจากการสูญเสียพลังงานตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการทะลุผ่านของคลื่นอัลตราซาวด์ในเนื้อเยื่อมนุษย์จะอยู่ประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อเซนติเมตรต่อเมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า คลื่นอัลตราซาวด์ที่มีความถี่สูงจะส่งผลทำให้เกิดความร้อนที่มากพอที่ถูกนำไปใช้ในการทำลายเซลล์ผิดปกติภายในร่างกายได้ โดยมีข้อจำกัดของระยะการส่งผ่านของคลื่นอันเนื่องมาจากสูญเสียพลังงานเช่นกัน

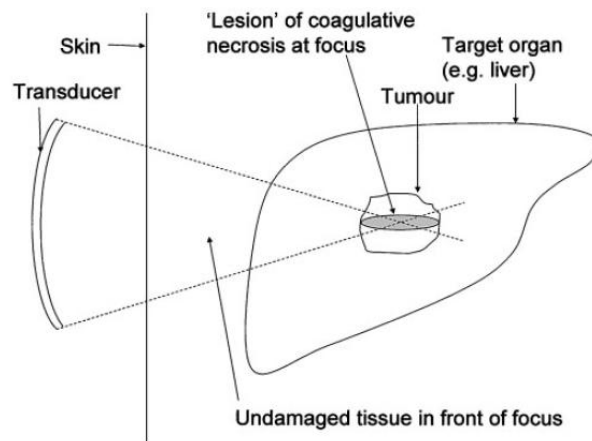
เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการนำเอาคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูงหรือ high intensity focused ultrasound (HIFU) มาใช้ในการรักษาโรคมะเร็งแนวใหม่ที่มีประสิทธิภาพ โดย HIFU ได้ถูกพิจารณาและนำเสนอผลงานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1942 [6] และในระหว่างปี ค.ศ. 1950 ถึง ค.ศ. 1960 HIFU ได้ถูกนำมาศึกษาวิจัยอีกครั้งทางด้านสัลยกรรมระบบประสาท โดยเฉพาะการนำมารักษาผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) แต่ยังคงพบข้อจำกัดในทางปฏิบัติและเทคนิคสำหรับขบวนการใช้งาน [7] จากนั้นในปี ค.ศ. 1956 นักวิจัยที่ชื่อว่า Burov ได้นำ HIFU นี้มาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง [8] และได้ศึกษาผลกระทบคลื่นเหนือเสียงบนเนื้อเยื่อในเวลาต่อมา ที่ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติเฉพาะของ HIFU ที่สามารถเหนี่ยวนำจุดโฟกัสของคลื่นและส่งผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อได้ ดังนั้น HIFU จึงได้ถูกพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่องและจะเน้นในการรักษามะเร็งต่อมลูกหมากเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากงานวิจัยในปัจจุบันพบว่า HIFU สามารถรักษาโรคมะเร็งได้บางชนิดเท่านั้น นอกจากนั้น HIFU ยังสามารถนำมาใช้แทนการผ่าตัดแบบทั่วไปได้ในบางตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งช่วยลดภาวะแทรกซ้อนอันเกิดจากการผ่าตัดได้เป็นอย่างดีหรือใช้อาจใช้ตรวจค้นหามะเร็งขนาดเล็กๆ ที่กระจายไปยังอวัยวะต่างๆ ได้ เป็นการ

รักษาแนวใหม่ที่ไม่ทำลายเนื้อเยื่อบริเวณอื่น ๆ ใกล้เคียง ซึ่ง ณ ขณะนี้ได้มีการทดลองนำไปใช้ในการรักษามะเร็งชนิดต่างๆ มากมาย กล่าวคือ การรักษาเนื้องอกที่ตับ ตับ กระดูก มดลูก และตับอ่อน รวมไปถึงการรักษาข้อกระดูกพร่องของหัวใจ การผ่าตัดเพื่อห้ามเลือด และช่วยบรรเทาอาการบาดเจ็บเรื้อรังของเนื้องอกร้าย รวมทั้งการทำลายนิวไนโดได้อีกด้วย ดังนั้นคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูงหรือ HIFU จึงนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการแพทย์และการผ่าตัดในอนาคตเป็นอย่างมาก

อะไรคือคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง (high intensity focused ultrasound)?

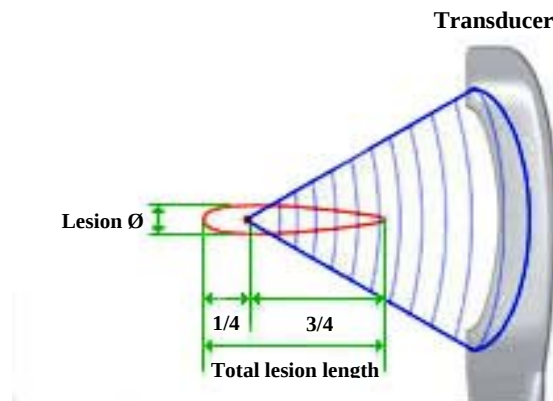
คลื่นเหนือเสียงความเข้มสูงหรือ high intensity focused ultrasound (HIFU) เป็นที่รู้จักกันในอีกหลาย ๆ ชื่อ ได้แก่ high intensity therapeutic ultrasound (HITU), focused ultrasound surgery (FUS) และ ultrasound ablation [9] นับเป็นหนึ่งในสาขาที่ได้รับความสนใจและจับตามองในด้านการพัฒนาและวิจัยทางการแพทย์มากกว่า 50 ปี [7] โดยใช้หลักการเดียวกันกับคลื่นอัลตราซาวด์ (conventional ultrasound) ที่มีการปล่อยพลังงานเสียง (acoustic wave) ที่ความถี่สูง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับคุณสมบัติของคลื่นเสียงและคลื่นวิทยุ อันประกอบไปด้วยความถี่ ความยาวคลื่นและขนาดความเข้ม

HIFU เป็นเทคนิคการรักษาที่ทำลายเนื้อเยื่อได้ตรงตำแหน่ง โดยการเลือกใช้ปริมาณความเข้มและระยะโฟกัสคลื่นที่เหมาะสมจากแหล่งกำเนิดหรือทรานสดิวเซอร์ โดยทรานสดิวเซอร์จะเคลื่อนที่ผ่านจุดโฟกัสและทำลายเฉพาะในส่วนเป้าหมายที่ทำการระบุตำแหน่งไว้เท่านั้น เทคนิคนี้จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆ ต่อเนื้อเยื่อบริเวณโดยรอบ แต่จะต้องมีการรวมจุดโฟกัสที่มีความเข้มเฉลี่ยมากกว่า 2000 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร [9] และส่งผลต่อความร้อน ณ บริเวณเนื้อเยื่อนั้นให้เพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 80 – 90 องศาเซลเซียส ทำให้เซลล์บริเวณนั้นมีขนาดเล็กลงและตายได้ในเวลาเพียงไม่กี่วินาที [7, 10, 11] โดยการกำหนดจุดโฟกัสนั้น ขนาดความกว้างจะอยู่ในระดับ 1-2 มิลลิเมตรและมีขนาดความยาว 10 มิลลิเมตร [9] แสดงดังรูปที่ 2

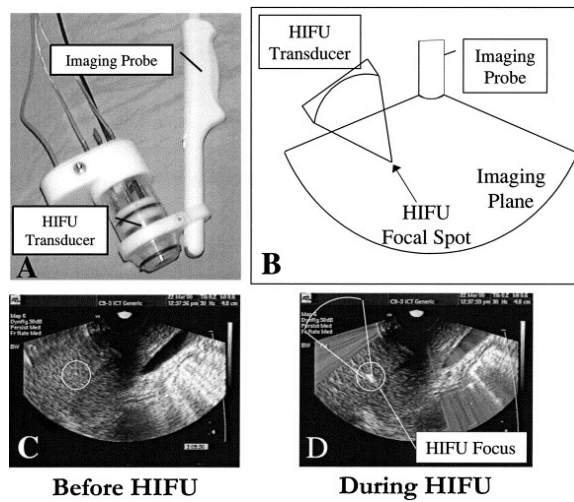


รูปที่ 2 หลักการทำงานคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง (HIFU) เพื่อการทำลายเนื้อร้ายที่ตับ โดยลำคลื่นจะถูกโฟกัส ณ ชื้นเนื้อร้ายที่ต้องการทำลายเท่านั้น [12]

จุดโฟกัสของการปล่อยความเข้มสูงสุดเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของทรานสดิวเซอร์ จะอยู่ในช่วงระยะประมาณ 3/4 ของชั้นเนื้อหน้าจุดโฟกัสของทรานสดิวเซอร์ ดังรูปที่ 3 โดยขนาดพื้นที่จะสัมพันธ์กับระยะของจุดที่ยิง โดยเนื้อเยื่อที่ต้องการทำลายนั้นจะต้องถูกกำหนดและควบคุมระยะอย่างแม่นยำจากภาพถ่ายที่ได้จากเทคนิค MRI (magnetic resonance imaging) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการของสั่นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความเข้มสูงและคลื่นวิทยุเพื่อใช้ในการสร้างภาพเหมือนจริงของอวัยวะภายในร่างกายมนุษย์ในรูปแบบภาพ 3 มิติ ที่สามารถแยกให้เห็นถึงความคมชัดของอวัยวะ รวมทั้งบ่งบอกถึงความผิดปกติของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ระยะความยาวของการทำงานของทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในระบบ HIFU [13]



รูปที่ 4 หลักการทำงานของหัวทรานสดิวเซอร์ HIFU ที่ใช้ร่วมกับหัวอ่านภาพ ในการกำหนดจุดโฟกัสและทำลายเนื้อร้าย [14]

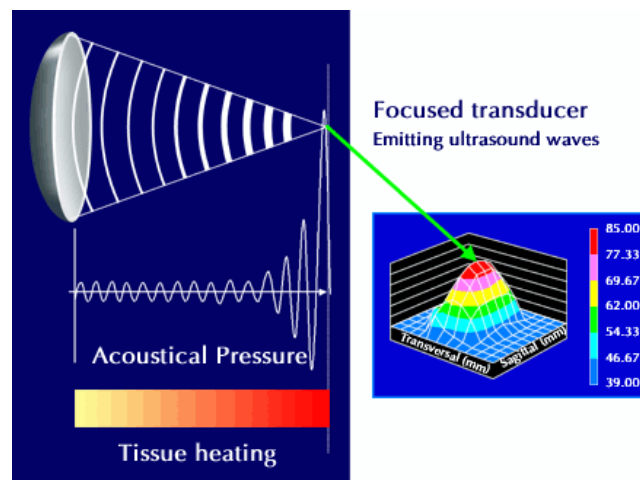
กลไกการทำงานของระบบ HIFU

หลักการทำงานกลไกหนึ่งเสี่ยงความเข้มสูงในการรักษาสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลไก [7] คือ กลไกการแปลงพลังงานกลให้เป็นความร้อน (heating) และกลไกของปรากฏการณ์ควิเทชัน (cavitation)

กลไกที่หนึ่ง ขบวนการแปลงพลังงานกลเป็นความร้อน เกิดขึ้นเมื่อคลื่นอัลตราซาวด์ถูกส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อเป็นผลให้โมเลกุลเกิดการสั่น พลังงานบางส่วนจะถูกดูดกลืนเกิดการสะสมและรวมตัวกลายเป็นความร้อนที่เพิ่มขึ้นและกระจายตัวไปอย่างรวดเร็ว ณ บริเวณเนื้อเยื่อที่ถูกโฟกัส ซึ่งถ้าอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นมากกว่าอัตราการเย็นตัวแล้ว จะส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณนั้นสูงขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์ถูกยับยั้งได้ถ้าอุณหภูมิ ณ บริเวณนั้นคงที่เกินกว่า 43 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานเกินกว่า 60 นาที วิธีการนี้จะสัมพันธ์กับการรักษาที่มีอยู่ในปัจจุบันคือ “Thermotherapy” หรือ “Hyperthermia” ซึ่งเป็นวิธีรักษามะเร็งที่อาศัยหลักการปล่อยคลื่นวิทยุความถี่สูง ไมโครเวฟหรืออัลตราซาวด์ ทำให้เนื้อเยื่อได้รับความร้อนสูงเกินกว่า 42 องศาเซลเซียสเพียงเล็กน้อยและใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีนี้ร่วมรักษากับการทำเคมีบำบัดและฉายรังสีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ทำให้เซลล์มะเร็งตอบสนองต่อการรักษาได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การรักษาด้วยวิธีนี้จะสามารถตอบสนองต่อมะเร็งได้หลายชนิดได้แก่ มะเร็งเนื้อเยื่ออ่อน บริเวณมะเร็งผิวหนังเมลาโนมา มะเร็งบริเวณศีรษะและส่วนคอ มะเร็งปอด มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งเต้านม มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนของไส้ตรง มะเร็งตับ มะเร็งไส้ติ่ง มะเร็งปากมดลูก มะเร็งเยื่อบุช่องท้อง เป็นต้น ผลของการวิจัยเหล่านี้โดยส่วนมากพบว่าสามารถลดขนาดของก้อนมะเร็ง แต่ผลของการเย็นตัวลงภายในเซลล์อาจเป็นข้อจำกัดในการรักษาด้วยวิธี Hyperthermia ได้ ซึ่งการรักษาจะต้องใช้เวลานานที่เพียงพอในการกระจายความร้อนไปยังเนื้อเยื่อที่ต้องการทำลาย นี่จึงเป็นข้อจำกัดในทางปฏิบัติของวิธีนี้ ซึ่งแตกต่างกับระบบ HIFU ที่อาศัยหลักการทางชีวภาพของเนื้อเยื่อที่ว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 56 องศาเซลเซียสในเวลา 1 วินาที มีผลทำให้อุณหภูมิที่จุดโฟกัสสูงเกินกว่า 80 องศาเซลเซียสได้ [7] ซึ่งแม้ว่าจะใช้เวลาอันสั้นก็สามารถเกิดประสิทธิภาพที่จะทำลายเซลล์ให้ตายลงได้ โดยจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดที่โฟกัสและเนื้อเยื่อบริเวณโดยรอบที่สามารถเห็นถึงของเขตที่ชัดเจนระหว่างเนื้อเยื่อถูกทำลายและเนื้อเยื่อปกติที่อยู่ในบริเวณล้อมรอบนั้น ความถี่ที่เพิ่มสูงขึ้นจะ

มีผลทำให้การโฟกัสของคลื่นอัลตราซาวด์นั้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานความร้อนสูงขึ้นด้วยความสัมพันธ์นี้จึงทำให้ HIFU เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นการรักษาแบบไม่รุกรานและไม่ทำลาย

กลไกที่สองคืออะคูสติกคาวิเทชัน (acoustic cavitation) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการฟอร์มตัวและพฤติกรรมของก๊าซภายในสนามเสียง โดยอาศัยหลักการรวมกันระหว่างความเค้นเชิงกล (mechanical stress) และการเผาไหม้ด้วยความร้อน (thermal injury) คลื่นอัลตราซาวด์เป็นสาเหตุให้น้ำเนื้อเยื่อมีการสั่น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลภายในของเหลว นั้นถูกทำลาย ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลจะถูกบีบอัดและยุบตัวลงจนเกิดความดันที่สูงขึ้น โดยระหว่างการยุบตัวลงนั้น ก๊าซจะถูกดึงออกมาและจับกลุ่มเป็นฟองก๊าซทำให้การสั่นและยุบตัวลงอย่างรวดเร็วของเซลล์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดความแรงจากการชนกันอย่างรุนแรงและส่งผลให้เกิดอุณหภูมิที่สูงประมาณ 2000 – 5000 เคลวิน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เนื้อเยื่อตายจากขบวนการเชิงกลนี้เอง



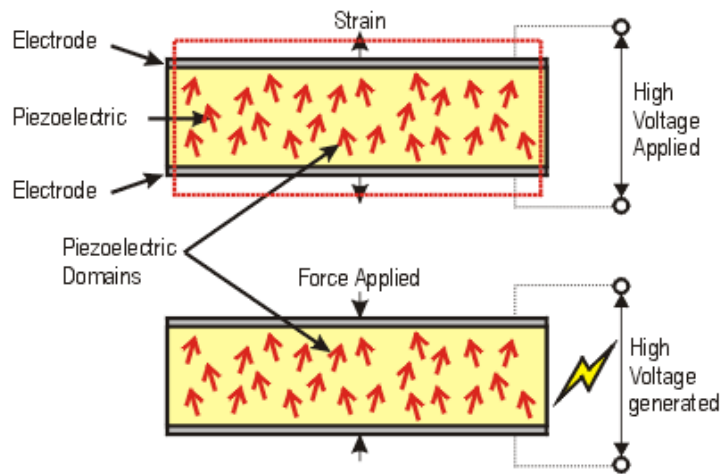
รูปที่ 5 คุณสมบัติกายภาพของคลื่นอัลตราซาวด์ ภายหลังการปล่อยคลื่นจากทรานสดิวเซอร์ [13]

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงการปล่อยคลื่นอัลตราซาวด์ที่เกิดจากการสั่นของทรานสดิวเซอร์ ที่ส่งผลต่อการขยายและหดตัวของความดันเสียง (acoustic pressure) ที่เกิดขึ้น โดยขนาดแอมพลิจูด (amplitude) ของคลื่นจะแปรผันตรงต่อระดับความดันเสียงที่ส่งผลต่อการ

เคลื่อนไหวของเนื้อเยื่อ และการตอบสนองของเนื้อเยื่อนั้นจะไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการสูญเสียพลังงานและแปลงเป็นความร้อน ซึ่งการใช้หัวทรานสดิวเซอร์รูปทรงกลมตามรูปที่ 5 จะส่งผลต่อระนาบคลื่นที่แผ่ออกมาที่สามารถรวมตัวจนเกิดความเข้มสูงสุดและมีความดันเสียงสูงสุด ณ จุดโฟกัสได้ ส่งผลให้ความร้อนบนเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น และสูงสุด ณ จุดโฟกัสนั่นเอง นี่เป็นเหตุผลที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณ ณ จุดโฟกัสนั้นตายได้ในที่สุด

อุปกรณ์โครงสร้างระบบคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง (HIFU equipment construction)

คลื่นอัลตราซาวด์ กำเนิดขึ้นจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ตามปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “เพียโซอิเล็กทริก” แสดงดังรูปที่ 6 พลังงานจากคลื่นอัลตราซาวด์นี้ เป็นพลังงานเดียวกันกับที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในการวินิจฉัยโรค อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต HIFU นั้นจะสูงกว่าและแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์และประโยชน์ในการใช้งาน



รูปที่ 6 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) [16]

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก จะปรากฏขึ้นกับสารชนิดเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectrics) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ได้แก่ ผลึกควอตซ์ (quartz) และผลึกทัวร์มาลีน (tourmaline) เป็นต้น โดยโครงสร้างผลึกภายในจะเป็นแบบเพอร์อฟสไกต์ (perovskite)

crystal structure, ABO_3) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษที่ไม่มีสมมาตรของศูนย์กลางภายในผลึก จึงสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกได้เมื่อรับพลังงานที่เพียงพอ โดยเมื่อมีแรงหรือคลื่น มาตกกระทบต่อผลึก จะทำให้โมเลกุลภายในเกิดการสั่นและเกิดเป็นพลังงานทางไฟฟ้าที่เรียกว่า “direct piezoelectric effect” ได้ และในทางกลับกันพลังงานทางไฟฟ้าก็สามารถเปลี่ยนกลับ เป็นพลังงานเชิงกลที่ทำให้เกิดการสั่นและปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูงออกมาที่เรียกว่า “reverse piezoelectric effect” เช่นกัน [17] คุณสมบัตินี้จึงนับเป็นหัวใจหลักของการทำงานของ ทรานสดิวเซอร์ที่สามารถแปลงพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเสียง (acoustic energy) และทำให้เกิดคลื่นอัลตราซาวด์ได้ ชนิดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้ผลิตหัว ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นอัลตราซาวด์ ได้แก่ แบเรียมไททาเนต (BaTiO_3) และเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) เป็นต้น

เครื่องมือ HIFU จำนวนมากส่วนใหญ่อยู่ระหว่างขั้นตอนการทดลอง และมีบางส่วนที่ ใช้งานทางคลินิกซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท [7] คือ

1. เครื่องมือวิเคราะห์ภายนอก (extracorporeal device) สามารถใช้ได้กับหลากหลาย อวัยวะ แต่ต้องการระยะโฟกัสที่ยาวมากกว่าในแบบเครื่องมือวิเคราะห์ภายในผ่านทางทวารหนัก ดังนั้นหัวทรานสดิวเซอร์ที่ใช้จึงมีขนาดใหญ่กว่า โดยใช้ความถี่ต่ำที่ความเข้มที่สูงกว่า เช่น การใช้หัวทรานสดิวเซอร์ประเภท PZT ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรและความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร ที่ความถี่ 1.7 เมกะเฮิร์ตซ์จะมีความเข้มระหว่าง 1000 ถึง 4660 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร หรือทรานสดิวเซอร์ PZT (Chongqing HAIFU Technology Company, P.R. China) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความยาวโฟกัสระหว่าง 10 – 16 เซนติเมตร ที่ ความถี่ 0.8 หรือ 1.6 เมกะเฮิร์ตซ์ จะมีความเข้มที่สูงถึง 20000 วัตต์ต่อเซนติเมตร เป็นต้น

2. เครื่องมือวิเคราะห์ภายในผ่านทางทวารหนัก (transrectal device) ตัวอย่างเครื่องมือ การใช้ทรานสดิวเซอร์ (Ablatherm, Technomed International, France) ความยาวโฟกัส ขนาด 4 เซนติเมตร สามารถให้ความถี่ความถี่ตั้งแต่ 2.25 จนถึง 3 เมกะเฮิร์ตซ์และมีความเข้ม 1000 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นต้น

การตรวจสอบปริมาณค่าความเข้มของคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูงเพื่อความมั่นใจในการรักษาที่ถูกต้อง

เพื่อการวินิจฉัยและการรักษาโรคด้วยระบบคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง (HIFU) อย่างมีประสิทธิภาพ ความถูกต้องในการใช้งานจึงถูกนำมาพิจารณาและชี้ให้เห็นถึงความสำคัญ โดยปริมาณของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในระบบจะต้องได้รับการตรวจสอบค่าความถูกต้อง ซึ่งจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานการวัดสากล ที่สามารถแสดงผลของค่าที่วัดได้ พร้อมทั้งค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่สามารถสอบกลับของการวัด (Traceability of measurement) ได้สู่หน่วย SI Units ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานเดียวกันที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันทั่วโลกตามหลักมาตรฐานสากล

มาตรฐานทางคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง คือมาตรฐานทางการวัดของเครื่องมือด้านคลื่นเหนือเสียงความเข้มสูง ที่จะต้องถูกดำเนินการตรวจสอบตามวิธีมาตรฐานซึ่งมีความสำคัญต่อการใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ที่มีผลต่อการสร้างความก้าวหน้าในการประยุกต์ใช้ทางคลินิกของ HIFU เพื่อให้การรักษาเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งเพิ่มเชื่อมั่นให้กับผู้ป่วยที่เข้ามารับการบริการอีกด้วย มาตรฐานทางคลื่นเหนือเสียงระบบ HIFU ได้จึงถูกดำเนินการจัดตั้งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การถ่ายทอดวิธีการเหล่านี้ไปยังระบบสถานพยาบาลยังคงอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนา ในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบการวัดมาตรฐานสากลสำหรับ HIFU ไว้หลายวิธี อันได้แก่ การวัดความถูกต้องของกำลังเสียงที่ปล่อยออก (total acoustic output power) ด้วยวิธี “radiation force balance” หรือการวัดการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของความดันเสียง (sound pressure) ที่ใช้เพียโซอิเล็กทริกไฮโดรโฟน (piezoelectric hydrophone) หรือเซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติก และการวัดความเข้มเสียง (acoustic intensity) ด้วยเซ็นเซอร์ชนิด “Thermo-acoustic sensors” [9] เป็นต้น วิธีการวัดมาตรฐานเหล่านี้จะถูกอ้างอิงกับการวัดมาตรฐานสากลทางด้านสาขาการแพทย์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน (IEC standards) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความไม่แน่นอนและความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการใช้งาน โดยในปัจจุบันยังคงไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานการวัดสากลที่แน่นอนไว้ แต่วิธีการมาตรฐานเหล่านี้ยังคงมีการพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เหมาะสมกับช่วงความถี่และการนำไปใช้ของเครื่องมือได้อย่างถูกต้องในอนาคต

สรุป

คลื่นเหนือเสียงความเข้มสูงหรือ HIFU นับเป็นทางเลือกใหม่สำหรับนำการประยุกต์งานทางด้านการแพทย์ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถช่วยในการรักษาและการผ่าตัดที่ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างสูง โดยเฉพาะในการใช้ทำลายเซลล์มะเร็ง อีกทั้งยังช่วยลดการลุกลามของมะเร็งได้ในหลาย ๆ ชนิด อันได้แก่ มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งตับ มะเร็งไต มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งกระดูกและมะเร็งตับอ่อน [18] โดยขณะนี้ได้ดำเนินการค้นคว้าวิจัยอย่างต่อเนื่องในเรื่องการรักษา มะเร็งเต้านมด้วยเพื่อทดแทนการผ่าตัดที่มีประสิทธิภาพสูงและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใดๆ ต่อเซลล์ปกติอื่นๆ ที่อยู่บริเวณข้างเคียง ดังที่เกิดจากการใช้วิธีการเคมีบำบัด (chemotherapy) และการบำบัดด้วยการฉายรังสี (radiotherapy) คุณสมบัติของเครื่องมือรวมถึงการเลือกใช้ช่วงความถี่ที่เหมาะสมของทรานสดิวเซอร์ นับเป็นสิ่งสำคัญในการตระหนักคำนึงถึงความถูกต้องและปลอดภัยในการใช้งาน โดยวิธีการใช้งานและวิธีการวัดค่ามาตรฐานสากลที่ถูกต้องยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับผู้ใช้นั่นเอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] NDT INTERNATIONAL, INC., BASIC ULTRASONIC PRINCIPLES, [Online] Available at: <http://www.ndtint.com/Basic%20UT%20Principles.PDF> [Accessed on 14 July 2012]
- [2] วิริจิต คู่มวงศ์, การได้ยินประโยชน์ของเสียง, [Online] Available at: <http://thegeniusphysics.blogspot.com/p/10.html> [Accessed on 12 July 2012]
- [3] กาญจนา อุดุลยานุโกศล, ผลกระทบจากการสำรวจ Seismic survey and Sonar ต่อ โลมาและปลาวาฬ, ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน จ.สมุทรสาคร, [Online] Available at: http://km.dmcr.go.th/attachments/263_5Impact_Seismic%20Sonar_%20whalesUpdate.pdf [Accessed on 15 July 2012]
- [4] Wikimedia Foundation, Inc., Ultrasound, [Online] Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound> [Accessed on 20 Jun 2012]

- [5] Jens U. Quistgaard, Charles Desilets and Pat Martin, High Intensity Focused Ultrasound, 2001. [Online] Available at: http://www.miinews.com/wp/pdf/eabg/Liposonix_WP_EAGsp10v7-031710.pdf
- [6] Lynn JG, Zwemer RL, Chick AJ, Miller AE., A NEW METHOD FOR THE GENERATION AND USE OF FOCUSED ULTRASOUND IN EXPERIMENTAL BIOLOGY, J Gen Physiol, 26(2) (1942), 179-93
- [7] Kennedy JE, Ter Haar GR, Cranston D., High Intensity Focused Ultrasound Surgery of the Future?, British Journal of Radiology, 76 (2003), 590-599
- [8] Burov AK, High-intensity ultrasonic vibrations for action on animal and human malignant tumors, Dokl Akad Nauk SSSR, 106 (1956), 239–241
- [9] Julian Haller, Metrology of High Intensity Therapeutic Ultrasound (HITU) fields, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), [Online] Available at: <http://www.ptb.de/cms/en/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-1620/metrology-hitu.html> [Accessed on 20 Jun 2012]
- [10] Adam Brimelow, New prostate cancer treatment may reduce side-effects, the BBC news, Health, [Online] Available at: <http://www.bbc.co.uk/news/health-17726979> [Accessed on 18 Jun 2012]
- [11] Telegraph Media Group Limited 2012, Ultrasound prostate cancer treatment trial 'very encouraging', the telegraph, Health News, [Online] Available at: <http://www.telegraph.co.uk/health/healthnews/9209036/Ultrasound-prostate-cancer-treatment-trial-very-encouraging.html> [Accessed on 18 Jun 2012]
- [12] HU Ahmed, E Zacharakis, T Dudderidge, JN Armitage, R Scott, J Callear, R Illing, A Kirkham, A Freeman, C Ogden, C Allen and M Emberton, High-intensity-focused ultrasound in the treatment of primary prostate cancer: the first UK series, British Journal of Cancer, 101 (2009), 19 – 26

- [13] Maple Leaf HIFU Canada, History of Ablatherm HIFU, [Online] Available at: <http://www.hifu.ca/history-ablatherm-hifu.htm> [Accessed on 20 July 2012]
- [14] Bettina W Paek, Shahram Vaezy, Vic Fujimoto, Michael Bailey, Craig T Albanese, Michael R Harrison, Diana L Farmer, Tissue ablation using high-intensity focused ultrasound in the fetal sheep model: potential for fetal treatment, American Journal of Obstetrics & Gynecology, 189(3) (2003), 702-705
- [15] นพ.บรรจบ ชุณหสวัญศิริกุล, Cell Frequency Medicine- Hyperthermia, [Online] Available at: http://www.balavi.com/content_th/nanasara/Con00240.asp [Accessed on 12 July 2012]
- [16] David Pearce, Ceramic Piezoelectrics - Springs and Loudspeakers, The "AZo Journal of Materials Online" AZoM™.com Pty. Ltd, [Online] Available at: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=95> [Accessed on 18 July 2012]
- [17] Marvin C. Ziskin, Peter A. Lewin, Ultrasonic Exposimetry, CRC press Inc, 1993
- [18] Cancer Research UK, High Intensity Focused Ultrasound (HIFU), [Online] Available at: <http://cancerhelp.cancerresearchuk.org/about-cancer/cancer-questions/high-intensity-focused-ultrasound> [Accessed on 18 Jun 2012]