

ข้อควรระวังทั่วไปในการระงับความรู้สึกสำหรับการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงแบบไม่ย้อนกลับ

ภัทราภรณ์ สมบุศย์*, วารุณี บัวแย้ม*, ศศิกร เฟื่องกำลูน**, พงศธรา วิจิตเวชไพศาล*

*ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

** ศูนย์รังสีวินิจฉัยและรังสีร่วมรักษา ศูนย์การแพทย์มะเร็งวิทยาจุฬาราชมนตรี ราชวิทยาลัยจุฬาราชมนตรี

General Anesthetic Precaution in Irreversible Electroporation

Pattharaporn Sombood*, Warunee Buayam*, Sasikorn Feingumloon**, Phongthara Vichitvejpaisal*

*Department of Anesthesiology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok 10700 Thailand

**Diagnostic and Interventional Radiology, Chulabhorn Hospital, Bangkok 10210 Thailand

บทคัดย่อ

การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงแบบไม่ย้อนกลับหรือมีดนาโน เป็นนวัตกรรมที่ใช้เข็มแทงผ่านผิวหนังเข้าไปจี้ก้อนเนื้องอก สนามไฟฟ้าแรงสูงจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดรอยร้าวขนาดเล็ก นำไปสู่การตายของเซลล์ซึ่งไม่กระตุ้นปฏิกิริยาการอักเสบ และถูกกำจัดไปโดยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายอย่างไร้ร่องรอย มีดนาโนจึงเป็นหัตถการที่มีความปลอดภัยในการรักษาเนื้องอกที่อยู่ใกล้กับอวัยวะสำคัญ เช่น ถุงน้ำดี ตับอ่อน ท่อไต หลอดเลือดหรือเส้นประสาท ทั้งยังลดการกระจายความร้อนออกจากก้อนเนื้องอก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีเซลล์เนื้องอกหลงเหลืออยู่และกลับเป็นซ้ำได้ อย่างไรก็ตามหัตถการนี้สามารถส่งผลให้กล้ามเนื้อทั่วร่างกายหดตัว มีการกระตุกชักเกร็งอย่างรุนแรง และหัวใจเต้นผิดจังหวะได้ ด้วยเหตุนี้บุคลากรวิสัญญีจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยเลือกการระงับความรู้สึกผู้ป่วยแบบทั่วไปด้วยการใส่ท่อช่วยหายใจร่วมกับการบริหารยาหย่อนกล้ามเนื้อ ทั้งเฝ้าติดตามสัญญาณชีพอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ นอกจากนี้ยังต้องเตรียมเครื่องกระตุกหัวใจไว้พร้อมเสมอ ในกรณีฉุกเฉินที่หัวใจเต้นผิดจังหวะและอาจหยุดเต้นอย่างกะทันหัน

คำสำคัญ: กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงแบบไม่ย้อนกลับ, การระงับความรู้สึก, มีดนาโน, รังสีร่วมรักษา

Abstract

Irreversible Electroporation or Nanoknife is an innovative insertion of needles through the skin for tumor ablation. Consequently, the high electric field creates nanopores in the cell membrane resulting cell death without triggering an inflammatory process, hence bodily immunological response can eradicate it without a trace. Therefore, a Nanoknife is a safe technique in preservation of vital and scaffolding structures within the treatment zone such as gall bladder, pancreas, ureter, blood vessel or nerve fibers. In addition, it reduces susceptibility to heat sink effects which is implicated as a possible contributing cause of the residual tissue and recurrent tumor. However, this procedure can result in full body muscle spasm, severe muscle contraction and cardiac dysrhythmias. As a result, anesthesia personnel have to be aware of the sequence of events. Typically, they provide general anesthesia with endotracheal intubation and muscle relaxation as well as monitor patients' vital signs particularly an electrocardiography throughout the process. Additionally, a defibrillator must be readily available in case of emergency cardiac arrhythmia and arrest.

Keywords: anesthesia, interventional radiology, irreversible electroporation, Nanoknife

มะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของคนไทยอันดับต้นๆ การรักษาร่วมกับระยะของโรคและสภาพร่างกายของผู้ป่วย ผู้ป่วยมักจะได้รับการพิจารณาผ่าตัดเป็นอันดับแรก แต่หากไม่สามารถทำได้ แพทย์จะใช้ทางเลือกอื่นคือวิธีรังสีร่วมรักษาได้แก่การจี้ก้อนเนื้อ (tumor ablation) และการใช้เคมีบำบัดผ่านทางสายสวนหลอดเลือดแดง (transarterial chemoembolization, TACE)¹⁻⁴ การจี้ก้อนเนื้อด้วยความร้อนหรือความเย็นเหมาะสมสำหรับมะเร็งที่อยู่ในตำแหน่งทำผ่าตัดยากและมีขนาดน้อยกว่า 3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นหัตถการภายใต้การระงับความรู้สึกเพื่อให้ผู้ป่วยไม่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าใดๆ อาจโดยการบริหารยาทางหลอดเลือดดำ

ในปัจจุบัน การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงแบบไม่ย้อนกลับ (irreversible electroporation; IRE) หรือมีดนาโน (Nanoknife[®]) เป็นนวัตกรรมที่ได้รับความนิยมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในทางรังสีร่วมรักษา แต่วิธีนี้อาจส่งผลให้กล้ามเนื้อหัวใจตายอย่างรุนแรง มีอาการกระดูกหักเกร็ง และหัวใจเต้นผิดจังหวะ จึงจำเป็นต้องดมยาสลบผู้ป่วยแบบทั่วไปด้วยการใส่ท่อช่วยหายใจ ร่วมกับการบริหารยาหย่อนกล้ามเนื้อ พร้อมเฝ้าติดตามคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย และเตรียมเครื่องกระตุ้นหัวใจไว้พร้อมเสมอในกรณีฉุกเฉินที่หัวใจอาจหยุดเต้นกะทันหัน²⁻⁴

มีดนาโนคืออะไร

มีดนาโนเป็นเข็มขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 15-25 เซนติเมตร ใช้แทงผ่านผิวหนังเข้าไปบริเวณก้อนเนื้ออก โดยอาศัยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หรืออัลตราซาวด์นำทาง จากนั้นจึงปล่อยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงราว 1,500-3,000 โวลต์ในทิศทางเดียว ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเนื้ออกที่อยู่ระหว่างสนามไฟฟ้า เกิดรูรั่วขนาดเล็ก ส่งผลให้เซลล์เสียสมดุลและนำไปสู่การตายอย่างถาวร เรียกว่าอะพอพโตซิส (apoptosis) ซึ่งเริ่มด้วยโปรตีนสูญเสียโครงสร้าง เกิดการซึมผ่านของช่องเหลว และไอออนออกจากเซลล์ มีการลดลงของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต

(adenosine triphosphate, ATP) ทำให้ผนังเซลล์สูญเสียพลังงาน และถูกกำจัดไปโดยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายอย่างไร้ร่องรอย²⁻⁵

ในทางตรงข้าม การจี้ก้อนเนื้อออกจากความร้อนคลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นวิทยุ หรือการใช้ความเย็น จากก๊าซอาร์กอน (argon) ฮีเลียม หรือไนโตรเจนเหลว จะทำให้เซลล์ตายในลักษณะที่เรียกว่า นิโครซิส (necrosis) กล่าวคือ สารที่รั่วออกจากเซลล์สามารถกระตุ้นปฏิกิริยาการอักเสบในร่างกาย เข้าทำลายอวัยวะปกติที่ไม่ได้มีเยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนประกอบ เช่น เส้นใยคอลลาเจน เส้นใยยึดหยุ่น หรือเนื้อเยื่อไขมันได้⁶ การนำมีดนาโนมาใช้จึงมีความปลอดภัยในการรักษาเนื้ออกที่อยู่ชิดกับหลอดเลือด หัวตับ ถุงน้ำดี ตับอ่อน หรือท่อไต ทั้งยังลดการกระจายความร้อนออกจากก้อนเนื้ออก (heat-sink effect) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้มีก้อนเนื้ออกหลงเหลืออยู่ และกลับเป็นซ้ำได้⁶⁻⁷

ในปี พ.ศ. 2550 Lavee และคณะ ทำการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งพลังงานที่ไม่ใช่ความร้อนเพื่อการผ่าตัดหัวใจห้องบน พบว่าสามารถใช้มีดนาโน รักษาการเต้นผิดปกติของหัวใจได้อย่างปลอดภัยในสัตว์ทดลอง⁸ ในปี พ.ศ. 2555 มีดนาโนได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา⁹ อนุมัติให้เป็นเทคนิคสมัยใหม่ในการรักษา สามารถกำหนดเป้าหมายได้แม่นยำชัดเจน มีศักยภาพในการทำลายเนื้อมะเร็งแม้อยู่ใกล้กับอวัยวะสำคัญ ไม่ส่งผลต่อหลอดเลือด เส้นประสาท เนื้อเยื่อและเซลล์ปกติที่อยู่ข้างเคียง ไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบข้าง จึงถูกนำมาประยุกต์ในการรักษาโรคมะเร็งตับ ตับอ่อน ต่อมลูกหมาก ปอดและมดลูก โดยก้อนเนื้ออกที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ซม. การรักษาจะได้ผลร้อยละ 90-100 ขนาด 3 ซม. ได้ผลร้อยละ 70 และขนาด 5 ซม. ได้ผลร้อยละ 50^{10,11} ในปี พ.ศ. 2561 Reddy และคณะ ศึกษาการใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ (pulsed electric field) ในการจี้หัวใจห้องบนผ่านสายสวนหลอดเลือดดำในปอดมนุษย์ พบว่าสามารถช่วยรักษาภาวะหัวใจห้องบนสั่นพลิ้ว (atrial fibrillation) ได้เป็นครั้งแรก แต่ยังคงต้องการงานวิจัย การศึกษา รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม และหลักฐานเชิงประจักษ์ต่อไป¹²

ขั้นตอนในการรักษา

การศึกษาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของ Edd & Davalos ในปี พ.ศ. 2550 พบว่าการวางมีนาโนโดยให้เข็มอยู่ในแนวนานห่างกันไม่เกิน 2 เซนติเมตร จะช่วยให้สนามไฟฟ้าสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ⁵ อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานความความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงในแต่ละครั้ง จะส่งผลให้เกิดการกระตุกและหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง โดยเฉพาะกล้ามเนื้อบริเวณกะบังลม¹³ และในสัตว์ทดลองยังพบว่า สามารถทำให้หัวใจเต้นผิดปกติจนได้กรณีที่ก้อนเนื้ออกอยู่ใกล้เยื่อหุ้มหัวใจ¹⁴ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำหัตถการภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปด้วยการใส่ท่อช่วยหายใจและยาหย่อนกล้ามเนื้อ พร้อมเฝ้าระวังผู้ป่วยด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแพทย์รังสีร่วมรักษาจะปล่อยพลังงานไฟฟ้า ในช่วงจังหวะที่เครื่อง EKG สามารถตรวจจับ R-wave ได้ การใช้มีดนาโนจึงมีข้อจำกัดในผู้ป่วยโรคลมชัก หัวใจเต้นผิดปกติ กล้ามเนื้อหัวใจตาย หรือมีการฝังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนโลหะ หรือเครื่องกระตุ้นหัวใจบริเวณทรวงอก (pacemaker implantation) และต้องเพิ่มความระมัดระวัง ในกรณีที่ก้อนเนื้ออยู่ใกล้เส้นประสาทเวกัสซึ่งอาจทำให้หัวใจเต้นช้าผิดปกติได้¹⁵⁻¹⁸

ภาวะแทรกซ้อนระหว่างการรักษา

โดยทั่วไปภาวะแทรกซ้อนระหว่างการทำหัตถการมีความสัมพันธ์กับการส่งพลังงานความความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงในแต่ละครั้งดังนี้

1. ระบบหัวใจและการไหลเวียนเลือด พลังงานไฟฟ้าสามารถกระตุ้นระบบประสาทอัตโนมัติ ทำให้หัวใจเต้นผิดปกติถึงร้อยละ 25 มีความดันโลหิตสูงขึ้นชั่วคราว โดยเฉพาะความดันค่าบนประมาณ 20-30 มม.ปรอท ในขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในเกณฑ์ปกติ^{16,19}
2. ระบบกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดการกระตุกของกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง คล้ายอาการโรคลมชัก เกิดภาวะกล้ามเนื้อลายสลายและผลที่ตามมาคือ ภาวะไตวาย

เฉียบพลันได้ มีการชักเกร็ง อาจทำให้ตำแหน่งเข็มเลื่อนไปจากเดิม เป็นอันตรายต่ออวัยวะข้างเคียงได้^{15,20}

3. ระบบการหายใจ อาจทำให้มีเลือดออกในเยื่อหุ้มปอด หรือมีภาวะลมรั่วในช่องเยื่อหุ้มปอดได้^{21,22}
4. ระบบประสาท การจัดทำในระหว่างทำหัตถการ อาจเกิดการกดทับเส้นประสาทได้^{22,23}
5. ภาวะติดเชื้อ²⁴

บทบาทของบุคลากรทางวิสัญญี

ทีมวิสัญญีมีความจำเป็นต้องทำการประเมินผู้ป่วยก่อนเข้ารับการทำหัตถการ โดยคำนึงถึงอาการนำของโรค ประวัติการแพ้ยา โรคประจำตัว โดยเฉพาะโรคความดันโลหิตสูง ควรได้รับการควบคุมด้วยยาลดความดันโลหิตอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง จนถึงเข้าวันทำการรักษา ควรอธิบายขั้นตอนการรักษาให้ผู้ป่วยทราบและควรสื่อสารกับรังสีแพทย์ถึงขั้นตอนการรักษาอย่างละเอียด

สภาพแวดล้อมในห้องรังสีร่วมรักษา²⁵⁻²⁷

ในห้องทำหัตถการทางรังสีร่วมรักษา ซึ่งไม่ได้ออกแบบมาเพื่องานระงับความรู้สึก บุคลากรวิสัญญีมักขาดความคุ้นเคยกับสถานที่และความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน จากการที่ผู้ป่วยจำเป็นต้องนอนอยู่บนเตียงที่แคบ ซึ่งสามารถเลื่อนเตียงเข้า-ออกอุโมงค์ผ่านเครื่องสแกนเป็นช่วงๆ ทำให้ไม่สามารถดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด

นอกเหนือจากการต้องป้องกันตัวเองจากรังสีแล้ว บุคลากรวิสัญญีจำเป็นต้องเพิ่มความระมัดระวังในเรื่องความยาวของสายจากการติดเครื่องเฝ้าระวังผู้ป่วยที่อาจเลื่อนหลุดได้ง่าย โดยเฉพาะสายให้น้ำเกลือและยาต่างๆ ตลอดจนสายต่อวงจรระหว่างท่อช่วยหายใจผู้ป่วยกับเครื่องดมยาสลบ ซึ่งมีบางช่วงที่ต้องหยุดการหายใจผู้ป่วยชั่วคราวในระหว่างการสแกน เพื่อให้แพทย์รังสีร่วมรักษาสามารถหาตำแหน่งก้อนเนื้อออกได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ข้อที่ควรตระหนักคือ ทีมงานที่ด้อยประสบการณ์ ข้อจำกัดของเครื่องมือครุภัณฑ์ทางการแพทย์ และบุคลากรที่สามารถยื่นมือให้ความช่วยเหลือในกรณีฉุกเฉิน อาจทำให้การแก้ไขปัญหาเกิดความล่าช้ากว่าปกติ

การดูแลผู้ป่วยก่อนการทำหัตถการ²⁶

ผู้ป่วยทุกรายจะต้องเข้าพักรักษาตัวในโรงพยาบาล ก่อนทำหัตถการอย่างน้อย 1 วัน เพื่อรับการประเมินก่อนการผ่าตัด โดยเฉพาะความสามารถในการตอบสนองต่อ ยาระงับความรู้สึก พร้อมลงบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร ในเอกสารเวชระเบียน

วิสัญญีแพทย์และพยาบาล ต้องมีความเข้าใจขั้นตอนการรักษาย่างละเอียด พร้อมสามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าถึงภาวะแทรกซ้อนระหว่างการทำหัตถการ สามารถวางแผนได้ว่า ควรจัดให้ผู้ป่วยอยู่ในท่าใด จะวางแผ่นเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าหรือกราวด์ไว้บริเวณใด ผู้ป่วยควรได้รับยาระงับความรู้สึกอย่างน้อยเพียงใด ทำอย่างไรให้ผู้ป่วยกลับฟื้นคืนสติและมีระดับความรู้สึกตัวที่สามารถประคองตัวเองได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ มีความจำเป็นต้องเตรียมความพร้อมของเครื่องกระตุ้นหัวใจ เพื่อให้ความช่วยเหลือผู้ป่วยในกรณีที่หัวใจหยุดเต้นหรือเต้นผิดจังหวะ ซึ่งเกิดจากการจี้ก้อนเนื้องอกด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง

การดูแลผู้ป่วยระหว่างการทำหัตถการ^{28,29}

การเลือกเทคนิคการระงับความรู้สึก

การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปร่วมกับการใส่ท่อช่วยหายใจและใช้ยาหย่อนกล้ามเนื้อ เป็นเทคนิคที่จำเป็นสำหรับการรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงทุกราย

การเฝ้าระวัง

1. เครื่องวัดความดันโลหิต วัดความดันโลหิตตัวบนตัวล่าง และค่าเฉลี่ย ตลอดจนซีพจรทุก 5 นาที
2. เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ วัดจังหวะการเต้นของหัวใจ
3. เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (pulse oximetry) เป็นการวัดความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือด เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า เนื้อเยื่อในร่างกายสามารถนำออกซิเจนไปใช้ได้เพียงพอเพียง
4. เครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสิ้นสุดการหายใจออก (end tidal carbon dioxide)
5. เครื่องประเมินการทำงานของกล้ามเนื้อ (neuromuscular monitoring) เพื่อควบคุมให้กล้ามเนื้อ

ของผู้ป่วยหย่อนตัวเต็มที่ ไม่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าใดๆ ในระหว่างการทำหัตถการ

6. เครื่องวัดอุณหภูมิร่างกาย เนื่องจากหัตถการใช้ระยะเวลานาน และภายในห้องมีอากาศค่อนข้างเย็น

7. การวัดปริมาตรปัสสาวะโดยการใส่สายสวน เพื่อบันทึกปริมาณสารน้ำที่ร่างกายขับออกในแต่ละชั่วโมง

8. อุปกรณ์เฝ้าระวังพิเศษอื่นๆ เช่น การประเมินการทำงานของระบบประสาทด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง (bispectral index, BIS) การวัดความดันโลหิตจากหลอดเลือดแดงโดยตรง หรือการวัดแรงดันหลอดเลือดดำส่วนกลาง (central venous pressure)

การดูแลผู้ป่วยหลังหัตถการ^{30,31}

หลังเสร็จสิ้นหัตถการ ต้องรักษาอุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยให้ความอบอุ่นอยู่เสมอ พร้อมสังเกตอาการและเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงสัญญาณชีพต่ออีกระยะหนึ่ง โดยเฉพาะระดับความรู้สึกตัว ความสามารถในการหายใจ ภาวะออกซิเจนในเลือด และภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้น

1. เน้นการฟื้นตัวอย่างสมบูรณ์ของผู้ป่วยจากยาระงับความรู้สึก ยาหย่อนกล้ามเนื้อ และการกลับมาของสัญญาณชีพใกล้เคียงค่าพื้นฐานเดิม ควบคุมความปวดด้วยการบริหารยาในกลุ่มมอร์ฟิน หรือยาแก้ปวดทั่วไป หรือใช้เครื่องที่ผู้ป่วยสามารถควบคุมการให้ยาบรรเทาปวดได้ด้วยตนเอง

2. ให้คำแนะนำการปฏิบัติตัวของผู้ป่วย ภายใต้การดูแลของญาติหรือผู้ดูแล ซึ่งรวมถึงการรับประทาน ยา อาหาร การทำกิจกรรม แนวทางปฏิบัติเมื่อมีภาวะแทรกซ้อนเกิดขึ้น และการนัดหมายติดตามผลการรักษา

สรุป

การจี้ก้อนเนื้องอกด้วยมีดนาโน เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการรักษาก้อนเนื้องอกที่ตับ ตับอ่อน ไต และต่อมลูกหมาก ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ใกล้กับอวัยวะสำคัญ เช่น ขั้วตับ ถุงน้ำดี ท่อน้ำดี ท่อไต เยื่อหุ้มหัวใจหรือหลอดเลือด แต่การใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง อาจส่งผลให้กล้ามเนื้อทั่วร่างกายกระตุกเกร็งอย่างรุนแรงและหัวใจเต้นผิดจังหวะ บุคลากรวิสัญญีจึงต้องมีความรู้ ความ

เข้าใจในหลักการ ระหว่างการดูแลผู้ป่วยที่เข้ารับการระงับความรู้สึกแบบทั่วไปด้วยการใส่ท่อช่วยหายใจ ร่วมกับการบริหารยาหย่อนกล้ามเนื้อ และการผ่าตัดตามคลื่นไฟฟ้าหัวใจผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด

เอกสารอ้างอิง

1. Chen Y, Moser M, Luo Y, Zhang W, Zhang B. Chemical enhancement of irreversible electroporation: a review and future suggestions. *Technol Cancer Res Treat*. 2019;18:1533033819874128.
2. Rubinsky B, Onik G, Mikus P. Irreversible electroporation: a new ablation modality-clinical implications. *Technol Cancer Res Treat*. 2007;6:37-48.
3. Ansari D, Kristoffersson S, Andersson R, Bergenfeldt M. The role of irreversible electroporation (IRE) for locally advanced pancreatic cancer: a systematic review of safety and efficacy. *Scand J Gastroenterol*. 2017;52:1165-71.
4. Aycock K, Davalos R. Irreversible electroporation: background, theory, and review of recent developments in clinical oncology. *Bioelectricity*. 2019;1:214-34.
5. Davalos R, Mir L, Rubinsky B. Tissue ablation with irreversible electroporation. *Ann Biomed Eng*. 2005;33:223-31.
6. Hsiao C, Huang K. Irreversible electroporation: a novel ultrasound-guided modality for non-thermal tumor ablation. *J Med Ultrasound*. 2017;25:195-200.
7. Dollinger M, Beyer L, Haimerl M, et al. Adverse effects of irreversible electroporation of malignant liver tumors under CT fluoroscopic guidance: a single-center experience. *Diagn Interv Radiol*. 2015;21:471-5.
8. Lavee J, Onik G, Mikus P, Rubinsky B. A novel nonthermal energy source for surgical epicardial atrial ablation: irreversible electroporation. *Heart Surg Forum*. 2007;10:E162-7.
9. Latham NY. AngioDynamics receives FDA approval to initiate NanoKnife® DIRECT Clinical study for the treatment of stage III pancreatic cancer. [cited 2021 Feb 8]. Available from: URL: <https://www.angiodynamics.com/announcements/angiodynamics-receives-fda-approval-to-initiate-nanoknife-direct-clinical-study-for-the-treatment-of-stage-iii-pancreatic-cancer-2/>
10. สมราช ธรรมธวัฒน์. รักษา มะเร็งตับและมะเร็งลำไส้เล็กด้วยมีดนาโน. [cited 2020, Nov 18]. Available from: URL: <https://www.si.mahidol.ac.th/th/healthdetail.asp?aid=1292>
11. Jourabchi N, Beroukhi K, Tafti BA, Kee ST, Lee EW. Irreversible electroporation (NanoKnife) in cancer treatment. *Gastrointest Interv*. 2014;3:8-18.
12. Reddy VY, Koruth J, Jais P, et al. Ablation of atrial fibrillation with pulsed electric fields-an ultra-rapid, tissue-selective modality for cardiac ablation. *J Am Coll Cardiol EP*. 2018;4:987-95.
13. Lafranceschina S, Brunetti O, Delvecchio A, et al. Systematic review of irreversible electroporation role in management of locally advanced pancreatic cancer. *Cancers*. 2019;11:1718.
14. Deipolyi AR, Golberg A, Yarmush ML, Arellano RS, Oklu R. Irreversible electroporation: the evolution of a laboratory technique to be used in interventional oncology. *Diagn Interv Radiol*. 2014;20:147-54.
15. Guenther E, Klein N, Zapf S, et al. Prostate cancer treatment with irreversible electroporation (IRE): safety, efficacy and clinical experience in 471 treatments. *PLOS ONE*. 2019;14:e0215093.
16. Malik NK, May KS, Chandrasekhar R, et al. Treatment of locally advanced unresectable pancreatic cancer: a 10-year experience. *J Gastrointest Oncol*. 2012;3:326-34.
17. Vroomen LGPH, Petre EN, Cornelis FH, Solomon SB, Srimathveeravalli G. Irreversible electroporation and thermal ablation of tumors in the liver, lung, kidney and bone: what are the differences? *Diagn Interv Imaging*. 2017;98:609-17.
18. Narayanan G, Hosein PJ, Beulaygue IC, et al. Percutaneous image-guided irreversible electroporation for the treatment of unresectable, locally advanced pancreatic adenocarcinoma. *J Vasc Interv Radiol*. 2017;28:342-8.
19. Narayanan G, Froud T, Suthar R, Barbary K. Irreversible electroporation of hepatic malignancy.

- Semin Intervent Radiol. 2013;30:67-73.
20. Kietbik A, Szlasa W, Saczko J, Kulbacka J. Electroporation-based treatments in urology. *Cancers*. 2020;12:2208.
 21. Silk M, Tahour D, Srimathveeravalli G, Solomon S, Thornton R. The state of irreversible electroporation in interventional oncology. *Semin Intervent Radiol*. 2014;31:111-7.
 22. Sugimoto K, Kakimi K, Takeuchi H, et al. Irreversible electroporation versus radiofrequency ablation: comparison of systemic immune responses in patients with hepatocellular carcinoma. *J Vasc Interv Radiol*. 2019;30:845-53.e6.
 23. Tamura M, Pedersoli F, Schulze-Hagen M, et al. Predictors of occlusion of hepatic blood vessels after irreversible electroporation of liver tumors. *J Vasc Interv Radiol*. 2020;31:2033-42.e1.
 24. Zhao J, Wen X, Tian L, et al. Irreversible electroporation reverses resistance to immune checkpoint blockade in pancreatic cancer. *Nat Commun*. 2019;10:899.
 25. Sombood P, Noipitak S, Vichitvejpaisal P. Non-operating room anesthesia: the same principles but differences in context. *Siriraj Med Bull*. 2021;14:19-27.
 26. เบญจรัตน์ หยกอุบล. งานบริการนอกห้องผ่าตัด. ใน: อังกาบ ปราการรัตน์, วิมลลักษณ์ สนั่นศิลป์, ศิริลักษณ์ สุขสมpong, ปฏิภาณ ตุ่มทอง. ตำราวิสัญญีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. เอ-พลัส พริน; 2556;701-25.
 27. Wong T, Georgiadis PL, Urman RD, Tsai MH. Non-operating room anesthesia: patient selection and special considerations. *Local Reg Anesth*. 2020;13:1-9.
 28. Martin RC, Schwartz E, Adams J, Farah I, Derhake BM. Intra-operative anesthesia management in patients undergoing surgical irreversible electroporation of the pancreas, liver, kidney, and retroperitoneal tumors. *Anesth Pain Med*. 2015;5:e22786.
 29. Amornytin S. Monitoring equipment for gastrointestinal endoscopy. *Thai J Anesthesiol*. 2018;44:143-8.
 30. White PF, Song D. New criteria for fast-tracking after out-patient anesthesia: a comparison with modified Aldrete's scoring system. *Anesth Analg*. 1999;88:1069-72.
 31. Whitaker DK, Booth H, Clyburn P. et al. Immediate post-anaesthesia recovery 2013: Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland. *Anaesthesia*. 2013;68:288-97.