

หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม : ทางเลือกใหม่เพื่อชีวิตที่ดีกว่า

(Robotic assisted knee arthroplasty: high technology

for better quality of life)

กิริติ เจริญชลวานิช

ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธพีดิกส์ ประสาทวิทยาแพทยศาสตร์และทันตแพทยศาสตร์

สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, keesi93@gmail.com

การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมคืออะไร?

โรคข้อเข่าเสื่อมเป็นปัญหาที่พบบ่อยในผู้สูงอายุ โดยเฉพาะในสังคมไทยที่กำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ เพราะกระดูกอ่อนข้อเข่าที่ทำหน้าที่รองรับและลดแรงกระแทกจะบางลงเรื่อย ๆ ทำให้กระดูกเสียดสีกันโดยตรง ส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการปวด อักเสบ และเคลื่อนไหวลำบาก หลายคนต้องทนทุกข์เพราะความเจ็บปวดเรื้อรังที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต ทำให้ไม่สามารถทำกิจกรรมประจำวันหรือกิจกรรมที่เคยทำได้อย่างปกติ (Carr et al., 2012: 1331–40) เมื่อวิธีการรักษาแบบอนุรักษ์ เช่น การรับประทานยา การฉีดยา การทำกายภาพบำบัด ไม่สามารถบรรเทาอาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ แพทย์มักจะแนะนำให้ผู้ป่วยพิจารณาว่าควรผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมหรือไม่ ในการผ่าตัดนี้ศัลยแพทย์จะตัดส่วนปลายของกระดูกที่เสื่อมสภาพออก แล้วแทนที่ด้วยข้อเข่าเทียม ซึ่งทำจากโลหะผสมพิเศษ เพื่อให้ข้อเข่าสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างราบรื่นและปราศจากความเจ็บปวด (Siddiqi et al., 2017: 338–52) วิธีการผ่าตัดแบบดั้งเดิมนั้นอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของศัลยแพทย์กระดูกในการวัดและตัดกระดูก รวมถึงการวางตำแหน่งของข้อเข่าเทียม แม้ว่าวิธีนี้จะได้ผลดีในการบรรเทาอาการปวดและช่วยให้ผู้ป่วยกลับมาเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น แต่จากการศึกษาพบว่ามีผู้ป่วยร้อยละ ๑๕–๒๐ ที่ยังไม่พอใจกับผลลัพธ์ที่ได้ เนื่องจากการวางตำแหน่งข้อเข่าเทียมอาจไม่สมบูรณ์แบบหรือเกิดการบิดเบี้ยวของเนื้อเยื่อรอบข้อระหว่างการผ่าตัด (Gunaratne et al., 2017: 3854–60 and Kayani et al., 2019: 611–7)

หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดคืออะไร?

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การใช้หุ่นยนต์ช่วยในการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมได้รับความนิยมมากขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา (Kayani et al., 2019: 611–7) การใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมคือการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์มาช่วยศัลยแพทย์ในการวางแผนและดำเนินการผ่าตัดอย่างแม่นยำ โดยสามารถใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์พิเศษสร้างแบบจำลองสามมิติของข้อเข่าผู้ป่วย ช่วยให้แพทย์สามารถวางแผนการผ่าตัดที่เหมาะสมกับสรีระเฉพาะของผู้ป่วยแต่ละราย (St Mart and Goh, 2021: 270–9 and Jacofsky and Allen, 2016: 2353–63) กระบวนการผ่าตัดโดยใช้หุ่นยนต์เริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองสามมิติของข้อเข่าผู้ป่วย ซึ่งอาจใช้ภาพถ่ายเอกซเรย์หรือเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ จากนั้นแพทย์จะวางแผนการผ่าตัดโดยกำหนด

ตำแหน่งและขนาดของข้อเข้าเทียมที่เหมาะสมที่สุด รวมถึงวางแผนการตัดกระดูกอย่างละเอียด เมื่อถึงวันผ่าตัด ระบบจะยืนยันตำแหน่งกระดูกของผู้ป่วยให้ตรงกับแบบจำลอง แล้วแพทย์จะใช้หุ่นยนต์ช่วยในการตัดกระดูกตามแผนที่วางไว้ โดยที่ระบบจะควบคุมการตัดกระดูกให้อยู่ในขอบเขต หลังจากใส่ข้อเข้าเทียมแล้ว ระบบยังช่วยตรวจสอบการทำงานของข้อเข้า คุณภาพของเอ็นรอบข้อ และช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเข้าอีกด้วย (Roche, 2021: 2043–7 and Kayani et al., 2018: 930–7) ในปัจจุบันมีระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดหลายรูปแบบ ทั้งระบบที่ทำงานอัตโนมัติ ระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบที่ควบคุมโดยศัลยแพทย์ ระบบกึ่งอัตโนมัติเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากใช้หุ่นยนต์ช่วยวางแผนและช่วยในการผ่าตัด โดยที่ศัลยแพทย์กระดูกควบคุมการผ่าตัดด้วยตนเอง (Hampp et al., 2019: 495–501 and Siddiqi et al., 2021: 45–59) ดังภาพที่ ๑

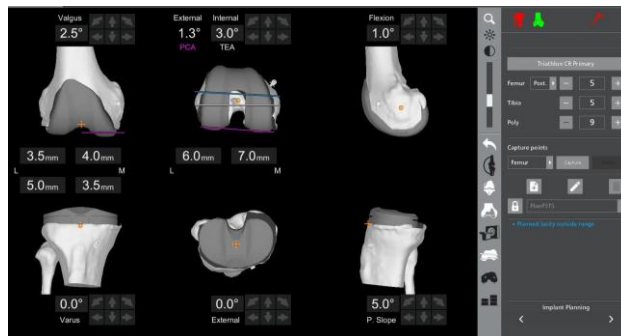


ภาพที่ ๑ การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข้าเทียมโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ระบบกึ่งอัตโนมัติ

หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดที่ใช้ในปัจจุบัน

ปัจจุบันเทคโนโลยีหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข้าเทียมได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีใช้ในโรงพยาบาลชั้นนำทั่วประเทศไทยและทั่วโลก ระบบเหล่านี้แบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะการทำงานและการควบคุม ทำให้แพทย์มีทางเลือกที่หลากหลายในการใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย (Kayani et al., 2019: 611–7 and Siddiqi et al., 2021: 45–59) หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดประเภทแรกเป็นระบบที่ใช้การสร้างภาพสามมิติจากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ก่อนการผ่าตัด ดังภาพที่ ๒ ข้อดีของระบบนี้คือความละเอียดและแม่นยำสูง เนื่องจากแพทย์สามารถวางแผนการผ่าตัดได้ล่วงหน้าอย่างครบถ้วน แต่ผู้ป่วยอาจต้องผ่านการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพิ่มเติม หุ่นยนต์ในกลุ่มนี้มักมีแขนกลสำหรับถือเลื่อยผ่าตัด โดยมีระบบป้องกันอัตโนมัติที่จะหยุดหรือลดความเร็วของเลื่อยทันทีที่เคลื่อนออกนอกขอบเขตที่กำหนดไว้ ทำให้การตัดกระดูกมีความแม่นยำสูงและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อโดยรอบ อีกประเภทหนึ่งเป็นระบบที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ล่วงหน้า เรียกว่า **ระบบไร้ภาพ** ซึ่งจะสร้างแบบจำลองกระดูกผู้ป่วยจากข้อมูลที่เก็บในระหว่างการผ่าตัด ข้อดีของระบบนี้คือลดการได้รับรังสีของผู้ป่วยและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่อาจต้องใช้เวลาในห้องผ่าตัดมากขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลอง หุ่นยนต์ประเภทนี้มีทั้งแบบที่ใช้เครื่องกีดกระดูกขนาดเล็กแทนเลื่อย และแบบที่ช่วยนำทางการวางบล็อกตัดกระดูกแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ ยังมีระบบที่มีขนาด

กะทัดรัด สามารถติดตั้งบนเตียงผ่าตัดได้โดยตรง ทำให้สะดวกแก่การใช้งานและไม่กีดขวางพื้นที่ในห้องผ่าตัด ระบบเหล่านี้มักใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพถ่ายเอกซเรย์ธรรมดา ช่วยให้โรงพยาบาลที่ไม่มีเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามารถใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้ (Siddiqi et al., 2021: 45–59)



ภาพที่ ๒ แบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม

ข้อดีของการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์

การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมด้วยหุ่นยนต์มีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการผ่าตัดแบบดั้งเดิม ข้อดีที่สำคัญที่สุดคือความแม่นยำที่สูงขึ้นในการวางตำแหน่งข้อเข่าเทียม งานวิจัยหลายชิ้นแสดงให้เห็นว่า การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ช่วยลดความผิดพลาดในการจัดแนวกระดูก (Ruangsomboon et al., 2023: 60–79) เพราะพบว่าการผ่าตัดแบบดั้งเดิมมีอัตราการเบี่ยงเบนจากแนวที่ต้องการถึงร้อยละ ๒๖ ในขณะที่การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์มีอัตราการเบี่ยงเบนเพียงร้อยละ ๐–๑๔ เท่านั้น (Liow et al., 2014: 2373–7, Song et al., 2013: 118–26 and Pipino et al., 2024) ความแม่นยำนี้สำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากการวางตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องอาจนำไปสู่การสึกหรอที่ไม่สม่ำเสมอและการหลวมของข้อเข่าเทียม ซึ่งอาจต้องผ่าตัดแก้ไขในอนาคต (Jeffery et al., 1991: 709–14) ข้อดีอีกประการหนึ่งคือการลดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อรอบข้อกระดูก ระบบหุ่นยนต์จะช่วยควบคุมการตัดกระดูกให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้อย่างแม่นยำ ทำให้ลดโอกาสที่จะเกิดการบาดเจ็บของเอ็น กล้ามเนื้อ และเส้นเลือดรอบข้อเข่าโดยไม่ตั้งใจ (Kayani et al., 2018: 2496–501) จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ช่วยลดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หลัง และการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อบริเวณกระดูกสะบ้าเมื่อเทียบกับการผ่าตัดแบบดั้งเดิม ซึ่งอาจส่งผลให้การฟื้นตัวหลังผ่าตัดเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น (Hampp et al., 2019: 495–501 and Khlopas et al., 2017: 30–441) นอกจากนี้ ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์มักมีอาการปวดน้อยกว่า ไข้ยาแก้ปวดน้อยลง และฟื้นตัวได้เร็วกว่า งานวิจัยชี้ว่า ผู้ป่วยกลุ่มนี้สามารถกลับบ้านได้เร็วกว่า มีโอกาสการงอเข่าที่ดีกว่า เมื่อออกจากโรงพยาบาล และใช้เวลาพักฟื้นในโรงพยาบาลสั้นลง โดยเฉลี่ยประมาณ ๗๗ ชั่วโมง เทียบกับ ๑๐๕ ชั่วโมง ในการผ่าตัดแบบดั้งเดิม ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ป่วย หากยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลอีกด้วย (Kayani et al., 2018: 930–7 and Khlopas et al. and Chareancholvanich et al., 2025: 1359–64) การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ยังช่วยให้แพทย์สามารถวางแผนการผ่าตัดเฉพาะบุคคลได้อย่างละเอียด โดยคำนึงถึงลักษณะเฉพาะของกายวิภาคและการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยแต่ละราย ทำให้ข้อเข่าเทียมทำงานได้สอดคล้องกับรูปแบบการเคลื่อนไหวตามธรรมชาติของผู้ป่วยมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้ป่วยรู้สึกว่าการผ่าตัดเป็นธรรมชาติ

มากขึ้นและพึงพอใจมากขึ้น (Marchand et al., 2017: 849–53 and Liow et al., 2017: 2942–51) ผลลัพธ์ทางคลินิกในระยะสั้นของการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ก็น่าประทับใจเช่นกัน งานวิจัยชี้ว่า ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์มีคะแนนการประเมินการทำงานของข้อเข่าที่ดีขึ้นในช่วง ๓–๖ เดือนแรกหลังการผ่าตัด โดยเฉพาะในด้านการเดิน การยืน และกิจกรรมทั่วไป รวมถึงพึงพอใจโดยรวมมากกว่าผู้ที่ได้รับการผ่าตัดแบบดั้งเดิม (Ren et al., 2019: 125–33 and Khlopas et al., 2020: 685–90) อย่างไรก็ตาม ต้องเข้าใจว่าไม่ใช่ทุกคนที่จะได้รับประโยชน์จากการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์เหมือนกัน ผู้ป่วยบางรายอาจไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างทั้ง ๒ วิธี โดยเฉพาะในระยะยาว งานวิจัยในปัจจุบันยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในผลลัพธ์ระยะยาว (มากกว่า ๑๐ ปี) ระหว่างการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์กับการผ่าตัดแบบดั้งเดิม ทั้งในแง่ของการทำงานของข้อเข่าและอายุการใช้งานของข้อเข่าเทียม (Ruangsomboon et al., 2023: 60–79, Kim et al., 2021: 1407 and Cho et al., 2019: 1345–54)

ผลการศึกษาจากโรงพยาบาลศิริราช

ล่าสุด การศึกษาจากโรงพยาบาลศิริราช (Chareancholvanich et al., 2025: 1359–64) ได้ยืนยันข้อดีของการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ โดยที่คณะแพทย์ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยกับการผ่าตัดแบบดั้งเดิมในผู้ป่วย ๒๓๐ รายที่รับการผ่าตัดทั้งหมด ๓๐๙ เข่า จากผลการศึกษาพบว่า แม้ขณะพักจะไม่พบความแตกต่างของระดับความปวด แต่ในขณะเคลื่อนไหว ผู้ป่วยที่ผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์เจ็บปวดน้อยกว่าอย่างชัดเจนในช่วง ๒๔ ชั่วโมงหลังผ่าตัด ยิ่งไปกว่านั้น ผู้ป่วยกลุ่มนี้ยังใช้ยาแก้ปวดประเภทมอร์ฟีนน้อยกว่ามากในช่วง ๔๘ ชั่วโมงแรกหลังการผ่าตัด ที่น่าสนใจคือผู้ที่ได้รับการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์มีระยะเวลาอยู่ในโรงพยาบาลสั้นกว่า ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งแก่ตัวผู้ป่วยที่สามารถกลับบ้านได้เร็วขึ้น และต่อระบบสาธารณสุขที่สามารถลดภาระค่าใช้จ่ายลงได้

บทสรุป

การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมด้วยหุ่นยนต์เป็นความก้าวหน้าทางการแพทย์ที่น่าสนใจและมีแนวโน้มที่จะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในอนาคต ด้วยข้อดีในด้านความแม่นยำ การลดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อรอบข้อ การฟื้นตัวที่เร็วขึ้น และความเจ็บปวดที่น้อยลง ทำให้เทคโนโลยีนี้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับผู้ป่วยที่ต้องเข้ารับการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม อย่างไรก็ตาม ในการตัดสินใจเลือกวิธีการผ่าตัดควรพิจารณาปัจจัยรอบด้าน ทั้งค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น การเข้าถึงเทคโนโลยีที่อาจจำกัดในบางพื้นที่ ประสิทธิภาพของศัลยแพทย์ และสภาพข้อเข่าของผู้ป่วยแต่ละราย ผู้ป่วยควรปรึกษาแพทย์อย่างละเอียดถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อเลือกวิธีการรักษาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตนเอง เทคโนโลยีหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียมไม่เป็นเพียงนวัตกรรมที่น่าตื่นตาตื่นใจ แต่เป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการปรับปรุงผลลัพธ์และประสบการณ์ของผู้ป่วย ช่วยให้ผู้ป่วยสามารถกลับมาใช้ชีวิตที่ปราศจากความเจ็บปวดและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่งานวิจัยเกี่ยวกับผลลัพธ์ระยะยาวยังคงดำเนินต่อไป เราสามารถคาดหวังได้ว่าเทคโนโลยีนี้จะยังคงพัฒนาและมีบทบาทสำคัญในการดูแลรักษาผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Carr, A.J., Robertsson, O., Graves, S., Price, A.J., Arden, N.K., Judge, A., et al. (2021). Knee replacement. *Lancet*, 379(9823):1331–40.
- Chareancholvanich, K., Pornrattanamaneewong, C., Udompanich, R., Awiroatananon, K., Narkbunnam, R. (2025). A comparative study of early postoperative pain: robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty. *Int Orthop*, 49(6):1359–64.
- Cho, K.J., Seon, J.K., Jang, W.Y., Park, C.G., Song, E.K. (2019). Robotic versus conventional primary total knee arthroplasty: clinical and radiological long-term results with a minimum follow-up of ten years. *Int Orthop*, 43(6):1345–54.
- Gunaratne, R., Pratt, D.N., Banda, J., Fick, D.P., Khan, R.J.K., Robertson, B.W. (2017). Patient dissatisfaction following total knee arthroplasty: a systematic review of the literature. *J Arthroplasty*, 32(12):3854–60.
- Hampp, E.L., Sodhi, N., Scholl, L., Deren, M.E., Yenna, Z., Westrich, G., et al. (2019). Less iatrogenic soft-tissue damage utilizing robotic-assisted total knee arthroplasty when compared with a manual approach: A blinded assessment. *Bone Joint Res*, 8(10):495–501.
- Jacofsky, D.J., Allen, M. (2016). Robotics in arthroplasty: a comprehensive review. *J Arthroplasty*, 31(10):2353–63.
- Jeffery, R.S., Morris, R.W., Denham, R.A. (1991). Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*, 73(5):709–14.
- Kayani, B., Konan, S., Tahmassebi, J., Pietrzak, J.R.T., Haddad, F.S. (2018). Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.*, 100-b(7):930–7.
- Kayani, B., Konan, S., Pietrzak, J.R.T., Haddad, F., S. (2018). Iatrogenic bone and soft tissue trauma in robotic-arm assisted total knee arthroplasty compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study and validation of a new classification system. *J Arthroplasty*, 33(8):2496–501.
- Kayani, B., Konan, S., Ayuob, A., Onochie, E., Al-Jabri, T. (2019). Haddad FS. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev*, 4(10):611–7.
- Khlopas, A., Chughtai, M., Hampp, E.L., Scholl, L.Y., Prieto, M., Chang, T.C., et al. (2017). Robotic-arm Assisted total knee arthroplasty demonstrated soft tissue protection. *Surg Technol Int*, 30:441–6.

- Khlopas, A., Sodhi, N., Hozack, W.J., Chen, A.F., Mahoney, O.M., Kinsey, T., et al. (2020). Patient-reported functional and satisfaction outcomes after robotic-arm-assisted total knee arthroplasty: early results of a prospective multicenter investigation. *J Knee Surg*, 33(7):685–90.
- Kim, Y.H., Yoon, S.H., Park, J.W. (2021). Erratum to: does robotic-assisted TKA result in better outcome scores or long-term survivorship than conventional TKA? a randomized, controlled trial. *Clin Orthop Relat Res*, 479(6):1407.
- Liow, M.H., Xia, Z., Wong, M.K., Tay, K.J., Yeo, S.J., Chin, P.L. (2014). Robot-assisted total knee arthroplasty accurately restores the joint line and mechanical axis. A prospective randomised study. *J Arthroplasty*, 29(12):2373–7.
- Liow, M.H.L, Goh, G.S., Wong M.K., Chin P.L., Tay, D.K., Yeo, S.J. (2017). Robotic-assisted total knee arthroplasty may lead to improvement in quality-of-life measures: a 2-year follow-up of a prospective randomized trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 25(9):2942–51.
- Marchand, R.C., Sodhi, N., Khlopas, A., Sultan, A.A., Harwin, S.F., Malkani, A.L., et al. (2017). Patient satisfaction outcomes after robotic arm-assisted total knee arthroplasty: a short-term evaluation. *J Knee Surg*, 30(9):849–53.
- Pipino, G., Giai Via, A., Ratano, M., Spoliti, M., Lanzetti, R.M., Oliva, F. (2024). Robotic Total Knee Arthroplasty: An Update. *J Pers Med*, 14(6).
- Ren, Y., Cao, S., Wu, J., Weng, X., Feng, B. (2019). Efficacy and reliability of active robotic-assisted total knee arthroplasty compared with conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Postgrad Med J*, 95(1121):125–33.
- Roche, M. (2021). The MAKO robotic-arm knee arthroplasty system. *Arch Orthop Trauma Surg*, 141(12):2043–7.
- Ruangsomboon, P., Ruangsomboon, O., Pornrattanamaneewong, C., Narkbunnam, R., Chareancholvanich, K. (2023). Clinical and radiological outcomes of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta Orthop*, 94:60–79.
- Siddiqi, A., Hardaker, W.M., Eachempati, K.K., Sheth, N.P. (2017). Advances in computer-aided technology for total knee arthroplasty. *Orthopedics*, 40(6):338–52.
- Siddiqi A, Mont MA, Krebs VE, Piuuzzi NS. (2021). Not All Robotic-assisted Total Knee Arthroplasty Are the Same. *J Am Acad Orthop Surg*, 29(2):45–59.

- Song, E.K., Seon, J.K., Yim, J.H., Netravali, N.A., Bargar, W.L. (2013). Robotic-assisted TKA reduces postoperative alignment outliers and improves gap balance compared to conventional TKA. *Clin Orthop Relat Res*, 471(1):118–26.
- S.t., Mart, J.P., Goh, E.L. (2021). The current state of robotics in total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev*, 6(4):270–9.