RevoGuide:
ระบบช่วยออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลสำหรับงานศัลยกรรมข้อไหล่เทียมชนิดผกผัน

อรรัฐฐา เนาวเกตุ[1], ฮัซวานีย์ หมาดเหยด[1], อภิเดช พงศ์แผ้ว[1]*, กวิน การุณรัตนกุล[2]

[1] *โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย สตูล, ตำบลฉลุง, อำเภอเมือง, จังหวัดสตูล 91140, ประเทศไทย*

**E-mail: onrattha.n@pccst.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการแพทย์เฉพาะบุคคล (Personalized Medicine) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการรักษาผู้ป่วยมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้อุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล (Patient-Specific Surgical Guide) ซึ่งช่วยให้การผ่าตัดมีความแม่นยำและสอดคล้องกับลักษณะทางกายวิภาคของผู้ป่วยแต่ละราย อย่างไรก็ตาม กระบวนการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวยังคงมีความซับซ้อน ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง และใช้เวลาในการดำเนินงานค่อนข้างมาก นอกจากนี้ยังมีการพึ่งพาซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้เกิดข้อจำกัดในการเข้าถึงและการนำไปประยุกต์ใช้งานในวงกว้าง จากการศึกษากระบวนการทำงานจริง พบว่าหลายขั้นตอนยังคงต้องดำเนินการด้วยมือทั้งหมด ส่งผลให้เกิดความซ้ำซ้อน ใช้เวลานาน และยากต่อการพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนากระบวนการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลให้มีความรวดเร็ว เป็นระบบ และเข้าถึงได้มากขึ้น

คณะผู้จัดทำจึงได้พัฒนา RevoGuide:ระบบช่วยออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลสำหรับงานศัลยกรรมข้อไหล่เทียมชนิดผกผัน โดยประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ Open-source ร่วมกับการออกแบบ Workflow และการเขียน Script เพื่อช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ลดระยะเวลาในการออกแบบ และลดการพึ่งพาซอฟต์แวร์ที่มีต้นทุนสูง ส่งผลให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์เฉพาะบุคคลในอนาคตได้

คำสำคัญ: Open-source, Drill guide, Pre-operative Planning, Scapula, Reverse Shoulder Arthroplasty (RSA)

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์เฉพาะบุคคล (Personalized Medicine) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการรักษาผู้ป่วยมากขึ้น เนื่องจากช่วยให้การวางแผนการรักษาและการผ่าตัดมีความเหมาะสมกับลักษณะทางกายวิภาคของผู้ป่วยแต่ละราย โดยเฉพาะการผ่าตัดเปลี่ยนข้อไหล่เทียมชนิดผกผัน (Reverse Shoulder Arthroplasty) ซึ่งเป็นหัตถการที่ต้องอาศัยความแม่นยำสูงในการกำหนดตำแหน่งการเจาะและการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดความมั่นคงของข้อเทียม ลดภาวะแทรกซ้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาผู้ป่วย

ในปัจจุบัน อุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล (Patient-Specific Surgical Guide) ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัด โดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายทางการแพทย์และแบบจำลองสามมิติของผู้ป่วยแต่ละราย อย่างไรก็ตาม กระบวนการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวยังมีความซับซ้อน ต้องอาศัยหลายขั้นตอน ทั้งการเตรียมแบบจำลองกระดูก การกำหนดตำแหน่งการเจาะ การสร้างรูปทรงอุปกรณ์นำเจาะ และการเตรียมไฟล์สำหรับการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ นอกจากนี้ยังต้องพึ่งพาซอฟต์แวร์เฉพาะทางที่มีราคาสูงและต้องอาศัยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการใช้งาน ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านต้นทุน เวลา และการเข้าถึงเทคโนโลยี

จากการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการออกแบบจำนวนมากมีลักษณะซ้ำซ้อนและต้องดำเนินการด้วยตนเอง แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีทางการแพทย์สมัยใหม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบยังได้รับความสนใจไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์หรือการวิเคราะห์ข้อมูลทางการแพทย์ ทำให้ยังมีโอกาสในการ

พัฒนาเครื่องมือที่ช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบอุปกรณ์ทางการแพทย์เฉพาะบุคคล

ด้วยเหตุนี้ ผู้จัดทำจึงสนใจพัฒนา RevoGuide ระบบช่วยออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้แนวคิด Workflow Automation ร่วมกับซอฟต์แวร์ Open-source เพื่อช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน เพิ่มความเป็นระบบในการออกแบบ ลดการพึ่งพาซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีต้นทุนสูง และส่งเสริมการเข้าถึงเทคโนโลยีทางการแพทย์สำหรับการศึกษา การวิจัย และการพัฒนานวัตกรรมในอนาคต

2. วิธีดำเนินการ

2.1 ศึกษาข้อมูลและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาหลักการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล (Patient-Specific Surgical Guide) สำหรับการผ่าตัดข้อไหล่เทียมชนิดผกผัน รวมถึงศึกษากายวิภาคของกระดูกสะบัก แนวทางการวางตำแหน่งฐานรองข้อไหล่เทียม และกระบวนการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะจากเอกสารวิชาการ งานวิจัย และแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังศึกษาความสามารถของซอฟต์แวร์ Blender และเครื่องมือ Open-source ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบ

2.2 วิเคราะห์กระบวนการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะแบบดั้งเดิม

ศึกษาขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ตั้งแต่การนำเข้าแบบจำลองกระดูก การกำหนดตำแหน่งการเจาะ การสร้างพื้นผิวสัมผัสของอุปกรณ์นำเจาะ การกำหนดแนวแกนการเจาะ และการสร้างไฟล์สำหรับการพิมพ์สามมิติ จากนั้นวิเคราะห์ขั้นตอนที่มีความซ้ำซ้อน ใช้เวลานาน หรือมีความเสี่ยงต่อความผิดพลาด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ

2.3 การพัฒนา RevoGuide

2.3.1 การนำเข้าและเตรียมแบบจำลองกระดูก นำไฟล์แบบจำลองกระดูกสะบักสามมิติ (Scapula Model) ในรูปแบบ STL เข้าสู่โปรแกรม Blender จากนั้นตรวจสอบความสมบูรณ์ของพื้นผิวโมเดล แก้ไขข้อผิดพลาดของตาข่ายสามมิติ (Mesh) และปรับตำแหน่งของแบบจำลองให้อยู่ในระบบพิกัดที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล เพื่อให้สามารถกำหนดตำแหน่งและแนวทางการเจาะได้อย่างถูกต้องในขั้นตอนถัดไป

2.3.2 **การกำหนดตำแหน่งและแนวแกนการเจาะ**

หลังจากเตรียมแบบจำลองกระดูกเสร็จสิ้น ผู้ใช้งานกำหนดตำแหน่งเป้าหมายสำหรับการเจาะบนกระดูกสะบัก โดยอ้างอิงตำแหน่งทางกายวิภาคที่เหมาะสมสำหรับการผ่าตัดข้อไหล่เทียมชนิดผกผัน จากนั้นกำหนดแนวแกนการเจาะ (Drilling Axis) ให้สอดคล้องกับตำแหน่งเป้าหมาย ระบบจะสร้างเส้นแนวแกนอ้างอิงเพื่อใช้ในการออกแบบช่องนำเจาะและตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางการเจาะ

2.3.3 การสร้างช่องนำเจาะ (Drill Guide Channel)

เมื่อกำหนดตำแหน่งและแนวแกนการเจาะแล้ว ระบบจะสร้างแบบจำลองช่องนำเจาะในรูปทรงกระบอกตามขนาดและทิศทางที่กำหนด โดยช่องนำเจาะจะถูกใช้เป็นแนวทางสำหรับการสอดเครื่องมือเจาะในระหว่างการผ่าตัด เพื่อช่วยควบคุมตำแหน่งและทิศทางของการเจาะให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.3.4 **การสร้างพื้นผิวสัมผัสกระดูก**

ระบบทำการสร้างพื้นผิวสัมผัสระหว่างอุปกรณ์นำเจาะกับกระดูกสะบัก โดยอาศัยรูปร่างของพื้นผิวกระดูกบริเวณที่เลือกเป็นตำแหน่งยึดเกาะ จากนั้นปรับแต่งรูปทรงให้แนบสนิทกับลักษณะทางกายวิภาคของกระดูก เพื่อเพิ่มความมั่นคงของอุปกรณ์และลดการเคลื่อนตัวระหว่างการใช้งาน

2.3.5 **การสร้างตัวอุปกรณ์นำเจาะ**

นำพื้นผิวสัมผัสกระดูกและช่องนำเจาะมารวมกันเป็นอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล โดยกำหนดความหนาและโครงสร้างของอุปกรณ์ให้เหมาะสมต่อการใช้งานจริง พร้อมทั้งตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบจำลองสามมิติและแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นก่อนการส่งออกไฟล์

2.3.6 **การส่งออกไฟล์สำหรับการพิมพ์สามมิติ**

เมื่อออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเสร็จสมบูรณ์ ระบบจะทำการแปลงแบบจำลองเป็นไฟล์ STL สำหรับการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์และความพร้อมสำหรับกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถนำอุปกรณ์นำเจาะไปใช้งานหรือศึกษาต่อยอดได้ในขั้นตอนถัดไป

เซลล์ 5,000 - 10,000 เซลล์ต่อหลุมใน 96 well cell culture plate บ่มเซลล์ที่อุณหภูมิ 37°C ในตู้อบที่มี 5% CO_2 24 ชั่วโมง

2.4 การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ทดสอบประสิทธิภาพของ RevoGuideโดยใช้แบบจำลองกระดูกสะบักสามมิติจากกรณีศึกษา เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการช่วยสนับสนุนกระบวนการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล รวมถึงประเมินความถูกต้อง ความสมบูรณ์ และระยะเวลาในการดำเนินงาน

2.4.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดสอบ

นำไฟล์แบบจำลองกระดูกสะบักสามมิติ (STL File) เข้าสู่โปรแกรม Blender จากนั้นตรวจสอบความสมบูรณ์ของโมเดลและเตรียมข้อมูลให้พร้อมสำหรับการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะ โดยกำหนดตำแหน่งและแนวแกนการเจาะตามกรณีศึกษาที่กำหนด

2.4.2 การทดสอบการทำงานของระบบ

ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลด้วย RevoGuide ตามขั้นตอนที่พัฒนาขึ้น ตั้งแต่การกำหนดตำแหน่งการเจาะ การสร้างช่องนำเจาะ การสร้างพื้นผิวสัมผัสกระดูก และการสร้างตัวอุปกรณ์นำเจาะ จากนั้นบันทึกผลการทำงานในแต่ละขั้นตอนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบ

2.4.3 การประเมินระยะเวลาในการออกแบบ

บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะด้วย RevoGuide ตั้งแต่เริ่มนำเข้าแบบจำลองกระดูกจนถึงการส่งออกไฟล์ STL ที่พร้อมสำหรับการพิมพ์สามมิติ และเปรียบเทียบกับกระบวนการออกแบบแบบเดิม เพื่อประเมินศักยภาพในการลดระยะเวลาการทำงาน

2.4.4 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบจำลอง

ตรวจสอบความสมบูรณ์ของอุปกรณ์นำเจาะที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาความถูกต้องของตำแหน่งช่องนำเจาะ ความแนบสนิทของพื้นผิวสัมผัสกระดูก ความต่อเนื่องของพื้นผิวโมเดล และความพร้อมของไฟล์สำหรับการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

2.4.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

รวบรวมข้อมูลจากการทดสอบ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบในด้านการลดขั้นตอนการทำงาน ความสะดวกในการใช้งาน และความสามารถในการสร้างอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคล จากนั้นสรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบในอนาคต

3. ผลการทดลอง

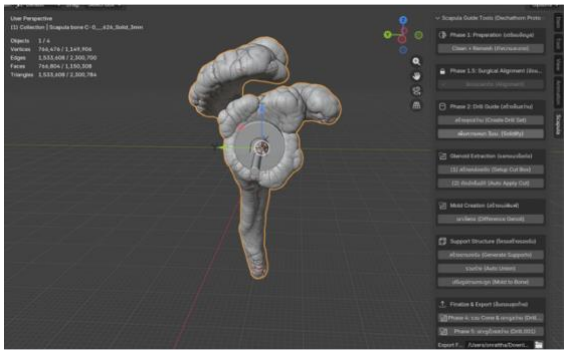
3.1 ผลการพัฒนาระบบ RevoGuide

จากการพัฒนา RevoGuide พบว่าสามารถสร้าง Workflow สำหรับการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลได้สำเร็จ โดยระบบสามารถดำเนินการตามขั้นตอนหลัก ได้แก่ การนำเข้าแบบจำลองกระดูกสามมิติ การกำหนดตำแหน่งและแนวแกนการเจาะ การสร้างช่องนำเจาะ การสร้างพื้นผิวสัมผัสกระดูก และการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์นำเจาะสำหรับการพิมพ์สามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 1

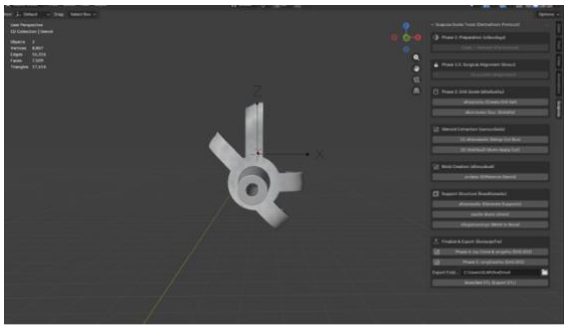
รูปที่ 1 Workflow การทำงานของระบบ RevoGuide

3.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

จากการทดสอบกับกรณีศึกษา พบว่าระบบสามารถสร้างอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลได้ครบถ้วนตามขั้นตอนที่กำหนด โดยอุปกรณ์ที่ได้มีพื้นผิวสัมผัสที่สอดคล้องกับลักษณะทางกายวิภาคของกระดูก และสามารถส่งออกเป็นไฟล์ STL สำหรับการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 แบบจำลองกระดูกสะบักที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3 อุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลที่สร้างด้วย RevoGuide

3.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ผลการประเมินพบว่า RevoGuide สามารถช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและทำให้กระบวนการออกแบบมีความเป็นระบบมากขึ้น ผู้ใช้งานสามารถดำเนินงานตาม Workflow ที่กำหนดได้อย่างชัดเจน อีกทั้งระบบยังช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำงานแบบเดิม และสามารถใช้ซอฟต์แวร์ Open-source เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

จากการพัฒนา RevoGuide พบว่าสามารถสร้าง Workflow สำหรับการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลได้สำเร็จ โดยระบบสามารถช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนในกระบวนการออกแบบ และทำให้การดำเนินงานมีความเป็นระบบมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบแบบดั้งเดิมที่ต้องดำเนินการด้วยตนเองในหลายขั้นตอน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า RevoGuide สามารถสร้างอุปกรณ์นำเจาะจากแบบจำลองกระดูกสามมิติได้ครบถ้วน ตั้งแต่การกำหนดตำแหน่งการเจาะ การสร้างช่องนำเจาะ การสร้างพื้นผิวสัมผัสกระดูก และการส่งออกไฟล์สำหรับการพิมพ์สามมิติ นอกจากนี้ ระบบยังช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบจากระดับชั่วโมงเหลือระดับนาที ทำให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ Open-source ในการพัฒนาระบบช่วยลดการพึ่งพาซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีต้นทุนสูง และแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเครื่องมือ Open-source มาประยุกต์ใช้กับงานวิศวกรรมการแพทย์ที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ระบบยังได้รับการทดสอบกับกรณีศึกษาจำนวนจำกัด และยังมีบางขั้นตอนที่ต้องอาศัยการตัดสินใจของผู้ใช้งาน จึงควรมีการพัฒนาต่อยอดในอนาคตเพื่อเพิ่มระดับความเป็นอัตโนมัติของระบบ

4.2 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า RevoGuide สามารถช่วยสนับสนุนการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะเฉพาะบุคคลได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน เพิ่มความเป็นระบบของกระบวนการออกแบบ และลดระยะเวลาในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนอกจากนี้ ระบบยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ Open-source ในงานวิศวกรรมการแพทย์ ซึ่งช่วยลดข้อจำกัดด้านต้นทุนและเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงเทคโนโลยีทางการแพทย์เฉพาะบุคคล ทั้งในด้านการศึกษา การวิจัย และการพัฒนานวัตกรรมในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการขยายการทดสอบไปยังกรณีศึกษาที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน รวมถึงควรพัฒนาฟังก์ชันเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มระดับความเป็นอัตโนมัติ ลดการดำเนินงานด้วยตนเอง และรองรับการออกแบบอุปกรณ์ทางการแพทย์ประเภทอื่นในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับคำแนะนำและการสนับสนุนด้านองค์ความรู้จากนักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมการแพทย์ตลอดจนได้รับโอกาสในการศึกษาและเรียนรู้กระบวนการออกแบบอุปกรณ์ทางการแพทย์จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบุคลากรทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านศัลยกรรมข้อไหล่เทียม ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. การผ่าตัดเปลี่ยนข้อไหล่เทียมและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางการแพทย์ในการรักษาโรคข้อไหล่.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติและการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์.

Blender Foundation. (2025). Blender User Manual. สืบค้นจาก https://www.blender.org

Yam, M., Wong, M. T. C., Ng, C. Y., & Yung, P. S. H. (2021). 3D printed patient specific customised surgical

jig for reverse shoulder arthroplasty, a cost effective and accurate solution. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma, 21, 101503.

Yoon, J. P., Kim, D. H., Jung, J. W., Lee, C. H., Min, S., Lee, H. J., & Kim, H. J. (2019). Patient-specific guides using 3-dimensional reconstruction provide accuracy and reproducibility in reverse total shoulder arthroplasty. Clinics in Shoulder and Elbow, 22(1), 16–23.

Iannotti, J. P., Walker, K., Rodriguez, E., Patterson, T. E., Jun, B. J., & Ricchetti, E. T. (2019). Accuracy of 3-dimensional planning, implant templating, and patient-specific instrumentation in anatomic total shoulder arthroplasty. The Journal of Bone and Joint Surgery, 101(5), 446–457.

Lee, W., Yu, W., Lee, H., Kim, G. B., Jeon, I. H., & Koh, K. H. (2025). Evaluation of the Baseplate Position and Screws in Reverse Total Shoulder Arthroplasty Using 3D Printed Patient-Specific Instrumentation. Journal of Orthopaedic Research, 43(10), 1695–1704.

Walch, G., Vezeridis, P. S., Boileau, P., Deransart, P., & Chaoui, J. (2022). Patient-specific instrumentation improves the reproducibility of preoperative planning for the positioning of baseplate components with reverse total shoulder arthroplasty. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 31(7), 1488–1498.

Lo, E. Y., Gupta, A., & Garofalo, R. (2025). Current concepts in patient specific implants for reverse shoulder arthroplasty. JSES International, 9(3), 771–778.