

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



รายงานโครงการวิจัยประเภททุนอุดหนุนการวิจัย
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ฉบับสมบูรณ์

โครงการ การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ
ข้อที่ 3-7

โดย

นายแพทย์กิตติ อรุณจรัสธรรม

และ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม

๖๔๐169373

14 ต.ค. 2557

มิถุนายน 2557

344631

เริ่มบริการ

9 ส.ค. 2558

รายงานโครงการวิจัยประเภททุนอุดหนุนการวิจัย คณะแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา ฉบับสมบูรณ์

โครงการ การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ ข้อที่ 3-7

Design the Prototype of Drill Guide for the C-spine C3-C7

คณะผู้วิจัย สังกัด

1. นายแพทย์กิตติ อรุณจรัสธรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา อรุณจรัสธรรม

มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดย คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

แบบสรุปโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

1. ชื่อโครงการ (ไทย) การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7
(อังกฤษ) Design the Prototype of Drill Guide for the C-spine C3-C7
2. หัวหน้าโครงการ (นาย/นาง/นางสาว) นายกิตติ อรุณจรัสธรรม
(MR/MRS/MS) Mr. KITTI AROONJARATTHAM
ตำแหน่ง อาจารย์
หน่วยงาน ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์และเวชศาสตร์ฟื้นฟู
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
โทรศัพท์ 089-697-8610
E-mail address kittaroon@gmail.com
- ผู้ร่วมโครงการ(นาย/นาง/นางสาว) นายปัญญา อรุณจรัสธรรม
(MR/MRS/MS) Mr. PANYA AROONJARATTHAM
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
โทรศัพท์ 028892138 ต่อ 6417
โทรสาร 028892138 ต่อ 6429
E-mail address panya.aro@mahidol.ac.th
3. ระยะเวลาโครงการ 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2557
4. การใช้จ่ายเงินตลอดโครงการ 318,000 บาท
5. บทคัดย่อ

การผ่าตัดกระดูกต้นคอจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดและเครื่องมือนำวิถี (Navigator) ในการผ่าตัด ทำให้การผ่าตัดกระดูกต้นคอถูกจำกัดในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีเครื่องมือพร้อมเท่านั้น โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายวิภาคของกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ของกลุ่มคนไทย จำนวน 20 รายเพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอ

จากการออกแบบเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คและทำการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว จากนั้นทำการทดสอบโดยทดลองเจาะโมเดลกระดูกต้นคอซึ่งหล่อขึ้นรูปด้วยวัสดุโพลียูรีเทน พบว่าสามารถนำร่องการเจาะสกรูในตำแหน่งเพดิกัลได้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำการทดลองการเจาะสกรูกระดูกต้นคอดังกล่าวมาตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนในการเจาะสกรูกระดูกในตำแหน่งกึ่งกลางเพดิกัล ซึ่งผลการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของการเยื้องศูนย์กลางจากเพดิกัลพบว่าการเจาะสกรูคลาดเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของเพดิกัล

ในกระดูกต้นคอที่น้อยที่สุดคือไม่คลาดเคลื่อนเลย และคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพียง 60.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 เหมาะจะนำไปช่วยศัลยแพทย์เพื่อใช้ในการผ่าตัดต่อไป

ABSTRACT

The cervical spine surgery was required a surgeon who had an experience and navigation devices. For this limitation, the cervical spine surgery had only in the large hospital. This project aims to evaluate the data of the 20 Thai cervical spines C3-C7 to designs the prototype of drill guide for the cervical spine.

The prototype of drill guide was designed by the SolidWorks CAD software and was constructed by rapid prototyping technology. The prototype of drill guide was tested by drilling the cervical models, which was casted from polyurethane material. The results were shown 100 percent of drill hole in the pedicle region. The eccentricity between the center of pedicle region and center of drill hole were shown 0 percent of the least deviation and 60.67 percent for the most deviation. The prototype of drill guide for the cervical spine was a useful device to help the surgeon to insert the screw in the pedicle region.

6. วัตถุประสงค์ของโครงการ

6.1 เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายวิภาคของกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ของคนไทย

6.2 นำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ ข้อที่ 3-7

7. เป้าหมายของโครงการ

7.1 ทราบข้อมูลทางกายวิภาคของกระดูกต้นคอของคนไทยเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการวางแผนการผ่าตัดคนไข้รายถัดไป

7.2 ออกแบบและสร้างต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอด้วยการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype Model)

รายการ	งบประมาณ (บาท)
1. ค่าบริหารจัดการชุดโครงการวิจัย	-
2. ค่าตอบแทน	
2.1 ค่าสมนาคุณคณะผู้วิจัย	53,000
2.2 ค่าตอบแทนที่ปรึกษาโครงการวิจัย	-
3. ค่าใช้สอย	
3.1 ค่าจ้างเหมาบริการ	256,000
- ค่าสแกนกระดูก (จำนวน 20 ราย*ค่าสแกนรายละ 5,650 บาท)	116,000
- ค่าขึ้นรูปชิ้นงานอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูด้วยวิธีขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype)	40,000
- ค่าขึ้นรูปชิ้นงานกระดูกสันหลังด้วยวิธีขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype)	35,000
- ค่าค้นคว้าข้อมูล	6,000
- ค่าถ่ายเอกสาร	5,000
- ค่าจ้างเหมาเก็บรวบรวมข้อมูล	10,000
- ค่าจ้างวิเคราะห์ข้อมูล	12,000
- ค่าจ้างเหมาทำรูปเล่ม	5,000
- ค่าจ้างพิมพ์รายงาน	7,000
- ค่าจ้างเหมารถยนต์ (จำนวน 20 ราย*ค่าจ้างเหมารถยนต์รายละ 1,000 บาท)	20,000
3.2 ค่าเบี้ยเลี้ยง ค่าที่พัก ค่าพาหนะ	-
4. ค่าวัสดุ	
4.1 ค่าวัสดุสำนักงาน	4,000
4.2 ค่าวัสดุโฆษณาประชาสัมพันธ์ (เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย)	5,000
4.3 ค่าวัสดุอื่นๆ	-
5. ค่าสาธารณูปโภค	-
6. ค่าครุภัณฑ์	-
รวม(สามแสนหนึ่งหมื่นแปดพันบาทถ้วน)	318,000

8. รายชื่อครุภัณฑ์ที่ได้รับจากการสนับสนุนของสำนักงานฯ

-ไม่มี-

9. ผลงานที่ได้รับจากโครงการนี้

กรณีที่ 1 ต้นแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการใหม่/ความรู้ใหม่ (ระบุชื่อและข้อกำหนดเฉพาะ)

1.1 ชิ้นงานต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7

กรณีที่ 2 สิ่งตีพิมพ์ สิทธิบัตร หรือผลงานอื่นๆ

2.1 บทความทางวิชาการที่เผยแพร่ในวารสารทางการแพทย์

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ดำเนินงานจนสำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนของบุคคลต่างๆ มากมาย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้โอกาสข้าพเจ้าได้ทำโครงการการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอในครั้งนี้ ขอขอบคุณนายจตุรงค์ ก่อเกียรติพงศ์ นักศึกษาปริญญาโท นายสมิทธิ ศิริวรรณนาวิ นายณัฐวุฒิ รักช้อน และนายตุลย์ จันทวีชรากร นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้ทุ่มเทในการช่วยคิดและออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูต้นแบบนี้ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยของโครงการนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม ที่คอยสนับสนุนการทำงาน และยื่นเคียงข้างในการช่วยแก้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะดำเนินโครงการวิจัยอย่างเต็มกำลัง ข้าพเจ้าขอให้คุณงามความดีที่ท่านทั้งหลายปฏิบัติต่อข้าพเจ้าในครั้งนี้ จงดลบันดาลให้ทุกท่านประสบแต่ความสำเร็จและมีความสุขในหน้าที่การงานตลอดไป

นายแพทย์กิตติ อรุณจรัสธรรม
หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่อ

การผ่าตัดกระดูกต้นคอจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดและเครื่องมือนำวิถี (Navigator) ในการผ่าตัด ทำให้การผ่าตัดกระดูกต้นคอถูกจำกัดในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีเครื่องมือพร้อมเท่านั้น โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายวิภาคของกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ของกลุ่มคนไทย จำนวน 20 รายเพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอ

จากการออกแบบเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คและทำการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว จากนั้นทำการทดสอบโดยทดลองเจาะโมเดลกระดูกต้นคอซึ่งหล่อขึ้นรูปด้วยวัสดุโพลียูรีเทน พบว่าสามารถนำร่องการเจาะสกรูในตำแหน่งเพดิกัลได้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำการทดลองการเจาะสกรูกระดูกต้นคอดังกล่าวมาตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนในการเจาะสกรูกระดูกในตำแหน่งกึ่งกลางเพดิกัล ซึ่งผลการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของการเยื้องศูนย์กลางจากเพดิกัลพบว่าการเจาะสกรูคลาดเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของเพดิกัลในกระดูกต้นคอน้อยที่สุดคือไม่คลาดเคลื่อนเลย และคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพียง 60.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 เหมาะจะนำไปช่วยศัลยแพทย์เพื่อใช้ในการผ่าตัดต่อไป

คำสำคัญ: เพดิกัล, อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรู, กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7

ABSTRACT

The cervical spine surgery was required a surgeon who had an experience and navigation devices. For this limitation, the cervical spine surgery had only in the large hospital. This project aims to evaluate the data of the 20 Thai cervical spines C3-C7 to designs the prototype of drill guide for the cervical spine.

The prototype of drill guide was designed by the SolidWorks CAD software and was constructed by rapid prototyping technology. The prototype of drill guide was tested by drilling the cervical models, which was casted from polyurethane material. The results were shown 100 percent of drill hole in the pedicle region. The eccentricity between the center of pedicle region and center of drill hole were shown 0 percent of the least deviation and 60.67 percent for the most deviation. The prototype of drill guide for the cervical spine was a useful device to help the surgeon to insert the screw in the pedicle region.

Keyword: Pedicle, Design the Prototype of Drill Guide, Cervical spines C3-C7

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	6
1.3 สมมุติฐาน	6
1.4 วัสดุและอุปกรณ์	6
1.5 วิธีการ	6
1.6 สถานที่และระยะเวลาทำโครงการ	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.8 แหล่งทุนสนับสนุน	7
2. การตรวจเอกสาร	8
2.1 วิศวกรรมย้อนรอย	8
2.2 การศึกษาการวัดโครงสร้างทางกายวิภาค	9
2.3 การศึกษาความแม่นยำในการผ่าตัด	11
3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	12
3.1 การแต่งรูปร่างกระดูกในโปรแกรมไอทีเค-สแนปจากภาพถ่ายซีทีสแกน	12
3.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระดูกต้นคอ	13
3.3 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกระดูกในการทดลอง เปรียบเทียบกับตัวอย่างของคนไทยและชาวตะวันตกที่วัดด้วยวิธีอื่น	16
3.4 การขึ้นรูปโมเดลกระดูกจากกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็ว	18
3.5 การหล่อโมเดลกระดูกต้นคอจากต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นจากเครื่องขึ้นรูปทำต้น แบบรวดเร็ว	20
3.6 การออกแบบเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7	24
3.7 การสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 4 ด้วยการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว	27
4. ผลการทดลอง	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 ผลการทดลองอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงการวัดขนาดของกระดูกต้นคอส่วนเพดิกัลข้อที่ 3-7	9
2.2	ตารางแสดงระยะจากมวลกระดูกด้านข้าง และความยาวของเพดิกัล	10
2.3	ตารางแสดงค่ามุมเพดิกัลแนวราบตัดขวาง	11
3.1	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น	16
3.2	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 4 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น	16
3.3	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 5 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น	17
3.4	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 6 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น	17
3.5	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 7 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น	18
4.1	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของรูเงาะภายหลังการใช้อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอในแกนเอกของเพดิกัล	36
4.2	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของรูเงาะภายหลังการใช้อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอในแกนโทของเพดิกัล	37

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงลักษณะการวางตัวของกระดูกสันหลัง	1
1.2	แสดงองค์ประกอบของกระดูกสันหลัง	3
1.3	แสดงลักษณะของเพดิกัลสกรูที่ใช้ในการผ่าตัดยึดตรึงกระดูกสันหลัง	4
1.4	แสดงตำแหน่งในการยิงเพดิกัลสกรู	4
1.5	แสดงลักษณะของเพดิกัลสกรูภายหลังการผ่าตัด	4
1.6	แสดงตำแหน่งการใส่เพดิกัลสกรู (ก) ตำแหน่งการใส่เพดิกัลสกรูที่ผิด และ (ข) ตำแหน่งการ ใส่เพดิกัลสกรูที่ถูกต้อง	5
1.7	แสดงการผ่าตัดโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถี	5
3.1	แสดงภาพถ่ายจากเครื่องสแกนคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี	12
3.2	แสดงโมเดล 3 มิติของกระดูกต้นคอโดย (a) กระดูกต้นคอข้อที่ 3, (b) กระดูกต้นคอข้อที่ 4, (c) กระดูกต้นคอข้อที่ 5, (d) กระดูกต้นคอข้อที่ 6 และ (e) กระดูกต้นคอข้อที่ 7	13
3.3	แสดงความสูงของเพดิกัล	13
3.4	แสดงความกว้างของเพดิกัลและความยาวของเพดิกัล	14
3.5	แสดงระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและความยาวของเพดิกัล, ความยาวของ แกนเพดิกัลและมุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง	15
3.6	ข้อมูลกระดูกที่ใช้ในการทำต้นแบบอย่างรวดเร็ว	19
3.7	แสดงเครื่องขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว	19
3.8	แสดงภาพขณะที่เครื่องขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วสร้างชิ้นงาน: (ก) ขณะเริ่มสร้าง ชิ้นล่างสุดและ (ข) ขณะสร้างชิ้นงานใกล้เสร็จสมบูรณ์	20
3.9	แสดงการสร้างแม่พิมพ์ชิ้นล่าง: (ก) เทซิลิโคนเพื่อทำแม่พิมพ์และ (ข) แม่พิมพ์ ชิ้นล่างแข็งตัว	20
3.10	แสดงรูปแม่พิมพ์ที่แข็งตัวทั้งชิ้นล่างและชิ้นบน	21
3.11	แสดงสาร 2 ชนิดที่นำมาผสมเพื่อหล่อโมเดลกระดูกต้นคอ: (ก) Resin F19 part A and B และ (ข) เทสารทั้งสองชนิดแล้วทำการกวนผสมกัน	21
3.12	แสดงการทาน้ำมันที่แม่พิมพ์	22
3.13	แสดงการเทเรซินลงแม่พิมพ์	22
3.14	แสดงการประกบแม่พิมพ์กระดูกต้นคอ	23
3.15	แสดงโมเดลกระดูกต้นคอที่หล่อด้วยเรซิน	23

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.16	แสดงโมเดลกระดูกที่ขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว (สีน้ำเงิน) เทียบกับโมเดลกระดูกที่หล่อด้วยเรซิน (สีครีม)	24
3.17	ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 1	25
3.18	ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2	25
3.19	ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 3: (ก) ขณะที่อุปกรณ์ยังไม่เข้ายึดจับกระดูก และ (ข) ขณะที่อุปกรณ์เข้ายึดจับกระดูกบริเวณสไปนัสโปรเซส	26
3.20	ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 4: (ก) แสดงวิวนบนของชิ้นงาน และ (ข) แสดงวิวไอโซเมตริกของชิ้นงาน	27
3.21	การสร้างต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2: (ก) ขณะกำลังทำการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว และ (ข) นำอุปกรณ์ต้นแบบวางทาบกับโมเดลกระดูกต้นคอ	27
3.22	แสดงการตั้งค่าอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอ	28
3.23	ตั้งค่านุมของอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอจากอุปกรณ์วัดครึ่งวงกลม	28
3.24	ตั้งค่าระยะของท่อนำเจาะบนอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอจากไม้บรรทัด	29
3.25	การเจาะรูในแนวเพดิกัลโดยใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอ	29
3.26	เครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 4	30
3.27	แสดงชิ้นส่วนยึดจับกับสไปนัสโปรเซส: (ก) แสดงร่องยึดจับแบบเฉพาะกระดูก และ (ข) เมื่อวางยึดจับกระดูกต้นคอ	30
3.28	แสดงอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกแบบที่ 4: (ก) ส่วนตั้งมุมและนำร่องการเจาะกระดูก และ ส่วนยึดจับสไปนัสโปรเซสแยกออกจากกันและ (ข) ส่วนตั้งมุมและนำร่องการเจาะกระดูกและส่วนยึดจับ สไปนัสโปรเซสประกอบเข้าด้วยกัน	31
3.29	แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับมุมที่แขนทางเข้า-ออก	31
3.30	แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับระยะของท่อนำการเจาะกระดูก	32
3.31	แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับมุมก้ม-เงยของท่อนำการเจาะกระดูก	32

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.32	แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับระยะสูง-ต่ำของแขน	32
3.33	แสดงแนวการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอตามแนวเพดิกัล	33
4.1	แสดงเลื่อยโมเดลกระดูกต้นคอหลังจากทำการเจาะด้วยดอกสว่าน	34
4.2	แสดงขนาดของเพดิกัลเทียบกับเหรียญ 25 สตางค์ โดยวัดจากแกนเอกและแกนโทของพื้นที่เพดิกัล	35
4.3	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแนวแกนเอกของกระดูกแต่ละข้อ	36
4.4	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแนวแกนโทของกระดูกแต่ละข้อ	37

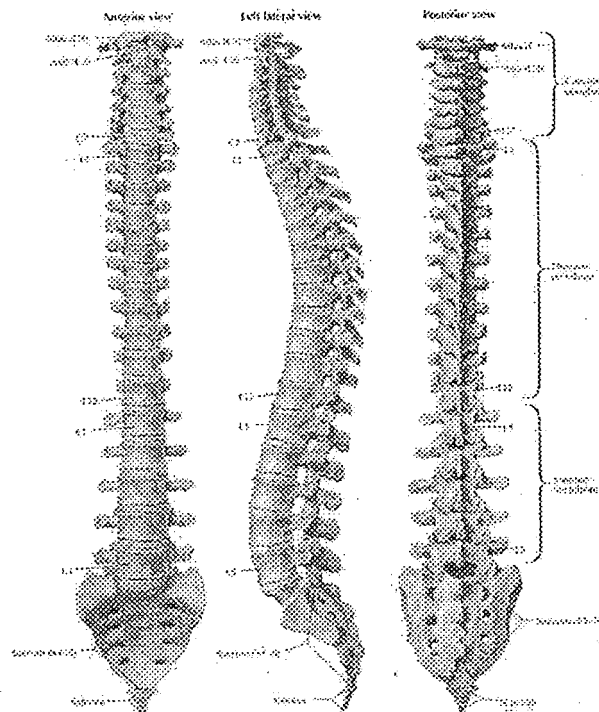
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

กระดูกสันหลังเป็นกระดูกแกนกลางของร่างกายโดยต่อเนื่องมาจากศีรษะเชื่อมกับกระดูกไหปลาร้าและสะบักเพื่อต่อเนื่องไปยังแขนทั้ง 2 ข้าง ส่วนล่างของกระดูกสันหลังเชื่อมกับกระดูกเชิงกราน เป็นข้อต่อให้กับสะโพกและกระดูกขาทั้ง 2 ข้าง แกนกลางกระดูกสันหลังของคนปกติจะมีกระดูกทั้งหมด 33 ชิ้น ซึ่งจะจัดจำแนกตามตำแหน่งและรูปร่างลักษณะได้แก่

- กระดูกส่วนต้นคอ (Cervical vertebrae) มีจำนวนกระดูก 7 ชิ้น
- กระดูกส่วนทรวงอก (Thoracic vertebrae) มีจำนวนกระดูก 12 ชิ้น
- กระดูกส่วนบั้นเอว (Lumbar vertebrae) มีจำนวนกระดูก 5 ชิ้น
- กระดูกส่วนกระเบนเหน็บ (Sacral vertebrae) มีจำนวนกระดูก 5 ชิ้น
- กระดูกส่วนก้นกบ (Coccyx) มีจำนวนกระดูก 4 ชิ้น

เนื่องจากกระดูกสันหลังมีหน้าที่ในการพยุงร่างกายให้เคลื่อนไหว, ยืนและนั่งได้ตรงตามต้องการ จึงจัดเป็นแกนหลักในการรับน้ำหนัก ดังนั้นกระดูกสันหลังแต่ละส่วนจึงมีลักษณะการวางแนวเป็นเส้นโค้งที่จำเพาะดังแสดงรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการวางตัวของกระดูกสันหลัง (รศ.นพ.วิฑูรย์ พิพัฒน์, ออนไลน์)

กระดูกสันหลังแต่ละชั้นเชื่อมต่อกันด้วยหมอนรองกระดูกและข้อต่อของกระดูกสันหลัง ทำให้สามารถขยับเคลื่อนไหวได้ ในแกนกลางของโพรงกระดูกสันหลังเป็นที่อยู่ของไขประสาทสันหลังที่ต่อเนื่องมาจากสมองและมีแขนงเป็นรากประสาทสันหลังส่งไปเลี้ยงแขน ลำตัว และขา

กระดูกสันหลังแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโครงสร้าง ช่องเปิดและแขนงของกระดูกที่ยึดออกมาจากแนวกลางดังแสดงในรูปที่ 1.2 ได้แก่

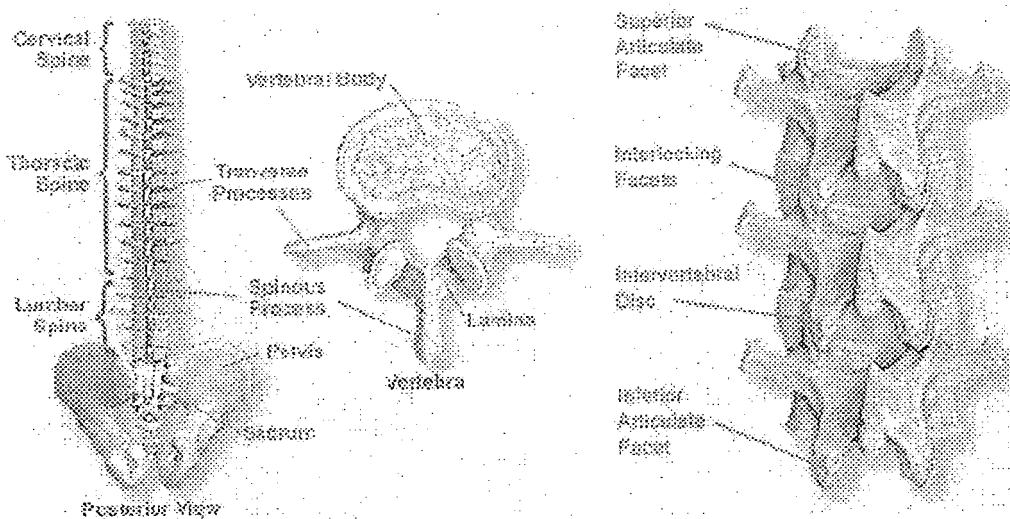
- กระดูกสันหลังส่วนลำตัว (Vertebral body) เป็นแกนกลางของกระดูกสันหลังและเป็นส่วนรองรับน้ำหนัก ส่วนนี้จะติดต่อกับกระดูกสันหลังข้อถัดไปโดยหมอนรองกระดูกสันหลัง (Intervertebral discs) และเอ็นต่างๆ ขนาดของกระดูกสันหลังส่วนลำตัวของกระดูกสันหลังส่วนล่างจะใหญ่กว่าส่วนบนเนื่องจากต้องรองรับน้ำหนักมากกว่า
- กระดูกสันหลังส่วนโค้ง (Vertebral arch) เป็นส่วนที่ยื่นออกไปจากทางด้านหลังของลำตัวและจะประกอบกันเป็นส่วนทางด้านข้างและด้านหลังของช่องกระดูกสันหลัง (Vertebral foramen) ซึ่งภายในช่องนี้จะมีไขสันหลัง (Spinal cord) วางตัวอยู่ กระดูกสันหลังส่วนโค้งแต่ละชั้นประกอบด้วยสองส่วน คือ เพดิคัล (Pedicle) ซึ่งต่อกับกระดูกสันหลังส่วนลำตัวและลามิเนีย (Laminae)
- แนวกลางของกระดูกสันหลังด้านหลัง (Spinous process) เป็นส่วนที่ยื่นออกมาทางด้านหลังและชี้ลงทางด้านล่างของกระดูกสันหลัง จะเป็นจุดเกาะของกล้ามเนื้อและเอ็นต่างๆ มากมาย
- แนวกลางของกระดูกสันหลังด้านข้าง (Transverse process) เป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากรอยต่อระหว่างก้านและลามิเนียและยื่นออกมาทางด้านข้างเอียงไปทางด้านหลังเล็กน้อย เป็นจุดต่อกับกระดูกซี่โครงในกระดูกสันหลังส่วนอก
- จุดเชื่อมต่อระหว่างกระดูกส่วนบนและส่วนล่าง (Superior and inferior articular processes) ยื่นออกมาจากรอยต่อระหว่างก้านและลามิเนียของกระดูกสันหลังแต่ละชั้น ซึ่งจะเป็จุดที่ต่อกันระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละชั้น นอกจากบริเวณหมอนรองกระดูกสันหลัง

สาเหตุของอาการปวดหลัง

สาเหตุของโรคปวดหลังส่วนใหญ่จะไม่ร้ายแรงมักเกิดจากการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ อาการปวดมักจะมีที่ที่มีการเคลื่อนไหวโดยการเคลื่อนไหวบางท่าจะทำให้ปวดมากขึ้น สาเหตุที่พบบ่อยๆ ได้แก่

- การนั่งผิดท่าเช่น การนั่งหลังโก่ง นั่งบิดๆ
- นั่งขับรถหลังโก่ง
- การยืนที่ผิดท่า
- การยกของผิดท่า
- การนอนบนที่นอนที่นุ่มหรือแข็งเกินไป

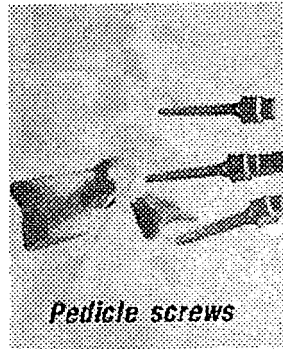
- ร่างกายไม่แข็งแรง
- ทำงานมากเกินไป



รูปที่ 1.2 แสดงองค์ประกอบของกระดูกสันหลัง (Vertebral Column Function)

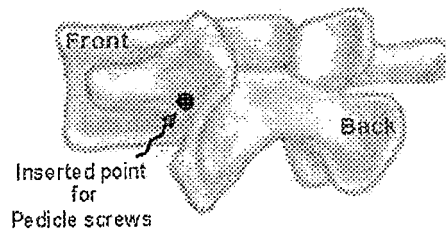
การแบ่งชนิดของโรคปวดหลังจะแบ่งชนิดตามระยะเวลาที่เกิดอาการของโรคกล่าวคือ ปวดหลังแบบเฉียบพลันอาการมักจะไม่เกิน 6 สัปดาห์ ถ้าอาการปวดมากกว่า 12 สัปดาห์เรียกว่าปวดหลังเรื้อรัง ส่วนระยะเวลาที่ปวดอยู่ระหว่าง 6-12 สัปดาห์เรียกว่า สุบาคิว (Subacute) การป้องกันโรคปวดหลังที่ดีที่สุดคือการออกกำลังกายและป้องกันหลังมิให้ได้รับอุบัติเหตุ สำหรับการรักษาเป็นสิ่งยากสำหรับผู้ป่วยที่จะประเมินว่าอาการปวดหลังเกิดจากกล้ามเนื้อหรือเกิดจากโรคอื่น วิธีอนุรักษ์นิยมคือการรักษาโดยไม่ผ่าตัดก่อนเสมอ ยกเว้นมีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนเช่น กระดูกสันหลังหักกดทับไขสันหลังซึ่งจำเป็นต้องได้รับการผ่าตัดโดยด่วนเพื่อไม่ให้เกิดภาวะอัมพาต

การรักษาด้วยการผ่าตัดจะทำเมื่อมีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจน เนื่องจากการผ่าตัดใหญ่ ผลการผ่าตัดจะต้องมีอัตราเสี่ยงให้น้อยและให้ผลดีจึงจะพิจารณาทำการผ่าตัด โดยปัจจุบันมีวิธีการผ่าตัดต่างๆ หลายวิธี เพื่อให้ผู้ป่วยหายจากอาการเจ็บปวด หรือผิดรูปร่างที่ผู้ป่วยทรมาณอยู่ เทคนิคการผ่าตัดที่ถือเป็นหัวใจสำคัญวิธีหนึ่งที่ใช้กันบ่อยมากในการผ่าตัดกระดูกสันหลังคือ การเชื่อมต่อกระดูกสันหลัง (Spinal fusion) ซึ่งมีการใช้สกรูชนิดโลหะในการผ่าตัดทางกระดูกสันหลัง (Spinal fixation) อยู่บ่อยครั้งเพื่อยึดตรึงกระดูกสันหลังให้แข็งแรง หรือช่วยเพิ่มอัตราการติดของกระดูกสันหลังในแต่ละระดับสกรูที่ใช้ในการยึดตรึงกระดูกสันหลังนั้นเรียกว่า เพดิลล์สกรู (Pedicule screws) ดังแสดงในรูปที่ 1.3



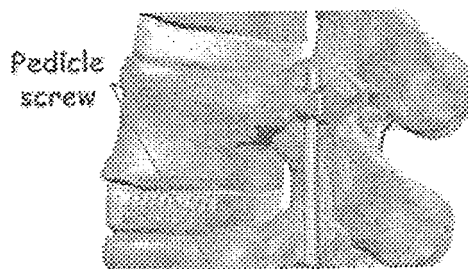
รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะของเพดิกส์กรูที่ใช้ในการผ่าตัดยึดตรึงกระดูกสันหลัง (นายแพทย์ทายาท บุรณ-กาล, ออนไลน์)

การยึดตรึงกระดูกสันหลังด้วยเพดิกส์กรูนี้จะต้องแทงกรูผ่านจุดปลอดภัยที่เรียกว่า จุดเพดิกส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นกระดูกเล็กๆ สองข้างของกระดูกสันหลังซึ่งอยู่ใกล้เส้นประสาทดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 7-10 มิลลิเมตร



รูปที่ 1.4 แสดงตำแหน่งในการยิงเพดิกส์กรู (Vertebral Column Function, ออนไลน์)

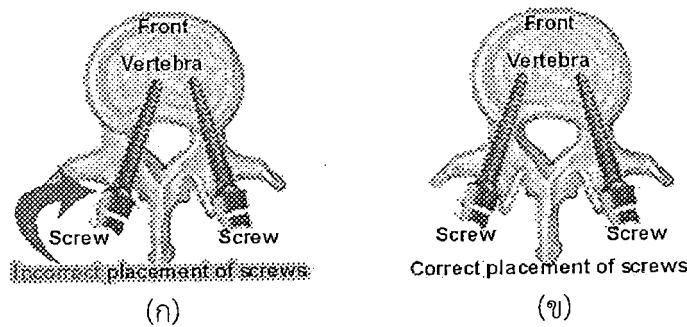
ภายหลังการผ่าตัดเพดิกส์กรูจะฝังตัวอยู่ในกระดูกเล็กๆ สองข้างของกระดูกสันหลังดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของเพดิกส์กรูภายหลังการผ่าตัด (นายแพทย์ทายาท บุรณ-กาล, ออนไลน์)

การผ่าตัดใส่เพดิกส์กรูแพทย์ที่ทำการผ่าตัดจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องเทคนิคทั้งกายวิภาค และ ชีวกลศาสตร์ต่อเทคนิคการใส่เพดิกส์กรูอย่างมาก เพราะการผ่าตัดใส่เพดิกส์กรูคล้ายแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดไม่สามารถเห็นได้โดยตรงจากการผ่าตัดทำให้มีปัญหาในการใส่เพดิกส์กรูมาก เพราะถ้าใส่เพดิกส์กรู

ในตำแหน่งที่ต่ำลงมาหรือเอียงสกรูมากเกินไปแม้เพียงเล็กน้อยก็จะเกิดอันตรายต่อเส้นประสาทภายใน เรียกว่า ปัญหาสกรูเบียดทับเส้น โดยตำแหน่งการใส่เพดิกส์สกรูจะแสดงดังรูปที่ 1.6 ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการอ่อนแรงของเส้นประสาท หรือมีอาการปวดผิดปกติมากขึ้นของเส้นประสาทภายหลังการผ่าตัดได้ ดังนั้นการทราบตำแหน่งเพดิกส์สกรูที่ถูกต้องในขณะที่ผ่าตัดจะช่วยลดความผิดพลาดจากการใส่เพดิกส์สกรูได้ และลดภาวะแทรกซ้อนของระบบประสาทจากการใส่เพดิกส์สกรูผิดตำแหน่ง โดยปกติอัตราการเกิดปัญหาจากสกรูเบียดทับเส้นนี้เกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง ซึ่งมีอัตราการเกิดปัญหานี้อยู่ประมาณ 10-15% ในระดับนานาชาติซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการผ่าตัดได้



รูปที่ 1.6 แสดงตำแหน่งการใส่เพดิกส์สกรู (ก) ตำแหน่งการใส่เพดิกส์สกรูที่ผิด และ (ข) ตำแหน่งการใส่เพดิกส์สกรูที่ถูกต้อง (Vertebral Column Function, ออนไลน์)

ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถี (Navigator) มาประกอบการผ่าตัด เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัดใส่เพดิกส์สกรูในกระดูกสันหลัง ดังแสดงในรูปที่ 1.7 แต่วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำให้ศัลยแพทย์ต้องใช้เวลาในการผ่าตัดนานขึ้น เพราะมีความซับซ้อนขณะใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น และเพิ่มค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง



รูปที่ 1.7 แสดงการผ่าตัดโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถี (Vertebral Column Function, ออนไลน์)

ดังนั้นอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัด อีกทั้งในโรงพยาบาลที่ขาดแคลนงบประมาณในการจัดสรรเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีก็สามารถใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอได้ เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่ามาก อีกทั้งการดูแลรักษาก็ไม่ลำบาก และไม่มี ความซับซ้อนในขณะที่ใช้งานแพทย์ผู้ผ่าตัดจึงไม่จำเป็นต้องฝึกฝนทักษะมากนัก

1.2 วัตถุประสงค์

วิเคราะห์หาข้อมูลทางกายวิภาคของกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ของคนไทย เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ โดยอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอเป็นอุปกรณ์ที่ใช้การคำนวณจุดเจาะสกรูจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของผู้ป่วยแต่ละรายล่วงหน้าก่อนการผ่าตัดเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัด อีกทั้งในโรงพยาบาลที่ขาดแคลนงบประมาณในการจัดสรรเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีก็สามารถใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอทดแทนกันได้ เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่ามาก อีกทั้งมีการดูแลรักษาที่ไม่ยุ่งยากและไม่มี ความซับซ้อนขณะใช้งาน

1.3 สมมุติฐาน

เมื่อใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอจะช่วยให้สามารถใส่เพดิกส์สกรูลงบริเวณเพดิกส์ของกระดูกต้นคอได้อย่างแม่นยำ โดยสามารถใช้ในการนำร่องการเจาะสกรูได้ตั้งแต่กระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึง ข้อที่ 7

1.4 วัสดุและอุปกรณ์

1. ไฟล์ซีทีสแกนกระดูกต้นคอจำนวน 20 ราย
2. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแบบพกพา
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโซลิดเวิร์ก (SolidWorks) และโปรแกรมช่วยในการขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติโอทีเค-สแนป (ITK-SNAP)

1.5 วิธีการ

1. เก็บข้อมูลกระดูกต้นคอคนไทยจำนวน 20 ราย
2. ขึ้นรูปโมเดล 3 มิติด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนรอย
3. วัดค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอ
4. ออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ
5. ขึ้นรูปอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ
6. ทดสอบโดยทำการเจาะใส่โมเดลกระดูกต้นคอ
7. จัดทำรายงาน

1.6 สถานที่และระยะเวลาทำโครงการ

ภาควิชาศัลยศาสตร์อโศพิติกส์และเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาและ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการเจาะสกรูบริเวณ
เพดิกัลของกระดูกต้นคอ ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเจาะสกรูได้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าว
สามารถใช้ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีเพื่อเพิ่มความแม่นยำยิ่งขึ้น หรือใช้ในโรงพยาบาลที่
ขาดแคลนงบประมาณในการจัดสรรเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีก็สามารถใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะ
สกรูที่กระดูกต้นคอได้

1.8 แหล่งทุนสนับสนุน

ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทงบประมาณเงินรายได้ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

การตรวจเอกสาร

ในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 มีวิธีการและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)
2. การศึกษาการวัดโครงสร้างทางกายวิภาค (Morphometric Study)
3. การศึกษาความแม่นยำในการผ่าตัด (Accuracy Study)

2.1 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)

กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในภาคการศึกษาและในภาคอุตสาหกรรม ในปัจจุบันวิศวกรรมย้อนรอยเป็นกระบวนการย้อนกลับทางวิศวกรรมที่ใช้ในการสร้างแบบของชิ้นงานให้มีรูปร่างและคุณสมบัติเหมือนกับวัตถุต้นแบบที่มีอยู่จริง ซึ่งอาศัยหลักการตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะงานที่ใช้วิศวกรรมย้อนรอยจะเป็นงานประเภทที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีข้อมูลอ้างอิงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพียงพอที่จะใช้พัฒนาต่อไปได้จึงจำเป็นต้องมีการนำมาย้อนรอยกระบวนการเพื่อให้ได้ข้อมูลเหล่านั้นมาใช้งาน นอกจากนี้วิศวกรรมย้อนรอยยังใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการใช้วิศวกรรมย้อนรอยในการสร้างแบบสามมิติ (3D Modeling) ของรถแข่งเพื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การยก (Coefficient of Lift, C_l) และค่าสัมประสิทธิ์การต้าน (Coefficient of Drag, C_d) โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์ทางหลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) เพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพของรถแข่งต่อไป (Simoni *et al.*, 2000) นอกจากนี้วิศวกรรมย้อนรอยยังสามารถประยุกต์ได้หลายลักษณะงานเช่น

- การสร้างชิ้นงานเลียนแบบวัตถุโบราณเพื่อใช้แสดงหรือนำไปศึกษา เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวัตถุโบราณเหล่านั้น
- การเก็บข้อมูลรูปร่างของวัตถุที่ได้รับการปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงขนาดแต่ไม่ได้มีการจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงไว้
- การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ขึ้นรูปต้นแบบในลักษณะสามมิติด้วยการปั้น โดยทำการเก็บข้อมูลรูปร่างและทำการสร้างแบบสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำแบบนั้นมาใช้ในขั้นตอนการผลิตอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป
- การเก็บข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของวัตถุหรือผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ
- การสร้างชิ้นส่วนของมนุษย์ที่มีรูปร่างลักษณะยากต่อการวัดขนาดได้ละเอียดในทุกจุด เช่น ใบหู, กะโหลก, ไชข้อ, กระดูกสันหลัง เป็นต้น ทั้งนี้วิศวกรรมย้อนรอยสามารถสแกนชิ้นส่วนจริงแล้วนำมาสร้างเป็นของเทียมขึ้นโดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่สมบูรณ์

2.2 การศึกษาการวัดโครงสร้างทางกายวิภาค (Morphometric Study)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยทำการวัดค่าต่างๆ ของกระดูกต้นคอด้วยวิธีต่างๆ มากมาย เช่น Mustafa *et al.*, (2004) ได้ทำการวัดมุม, ระยะ และส่วนประกอบต่างๆ ภายในกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 29 คน โดยทำการวัดแยกเป็นส่วนๆ ของแต่ละข้อต่อย่อย ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Karaikovic *et al.*, (2000) โดยทำการวัดจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 53 คนและทดลองแยกค่าเฉลี่ยผู้ชายกับผู้หญิงเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมโดยใช้ Digital caliper และ Visual inspection

Manohar *et al.*, (2000) ได้สนใจศึกษาการวัดโครงสร้างภายในของกระดูกต้นคอและความหนาของ cortical shell ร่วมกับแกนของเพดิกัลในช่วงข้อที่ 3-7

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการวัดขนาดของกระดูกต้นคอส่วนเพดิกัลข้อที่ 3-7

	กระดูกต้นคอ	ความสูงของเพดิกัล	ความกว้างของเพดิกัล	ความยาวของเพดิกัล
ข้อที่3	ค่าเฉลี่ย	6.9	4.5	5.3
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9	0.5	0.6
	ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	5.2-8.1	3.5-5.3	4.9-6.1
ข้อที่4	ค่าเฉลี่ย	6.7	4.4	5.4
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.7	0.6	6
	ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	5.4-8.3	3.4-5.2	4.8-6.3
ข้อที่5	ค่าเฉลี่ย	7	4.7	5.4
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.7	0.6	0.7
	ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	5.4-8.8	3.7-5.4	4.6-6.2
ข้อที่6	ค่าเฉลี่ย	6.9	4.7	5.8
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.6	0.5	0.8
	ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	5.7-8.6	3.9-5.4	4.8-6.8
ข้อที่7	ค่าเฉลี่ย	7.2	4.9	6.2
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9	0.7	0.8
	ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	5.6-9.1	3.9-5.8	5.0-7.3

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงระยะจากมวลกระดูกด้านข้าง และความยาวของเพดิกัล

กระดูกต้นคอ	ระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและความยาวของเพดิกัล	ความยาวของแกนกลางเพดิกัล
ข้อที่3		
ค่าเฉลี่ย	15.3	22.2
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9	1.9
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	13.9-16.2	18.1-27.3
ข้อที่4		
ค่าเฉลี่ย	15.6	25.4
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1	2
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	14.2-16.5	20.6-29.9
ข้อที่5		
ค่าเฉลี่ย	15.4	24.1
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9	1.8
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	14.1-16.1	19.5-27.2
ข้อที่6		
ค่าเฉลี่ย	15.9	26.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.1	1.9
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	14.3-17	20.5-29.3
ข้อที่7		
ค่าเฉลี่ย	16	27.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1	2.2
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	14.4-17.1	21.8-36.2

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่ามุมเพดิกัลแนวราบตัดขวาง

กระดุกต้นคอ	มุมของเพดิกัลแนวราบตัดขวาง
ข้อที่3	
ค่าเฉลี่ย	49.2
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.5
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	44-56
ข้อที่4	
ค่าเฉลี่ย	51.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.1
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	46-59
ข้อที่5	
ค่าเฉลี่ย	50.4
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.6
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	45-58
ข้อที่6	
ค่าเฉลี่ย	46.2
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.5
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	40-54
ข้อที่7	
ค่าเฉลี่ย	42.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.3
ค่าแตกต่างระหว่างตัวแปรน้อยสุดถึงมากที่สุด	35-48

2.3 การศึกษาความแม่นยำในการผ่าตัด (Accuracy Study)

ในส่วนนี้มีงานวิจัยที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับค่าความแม่นยำในการผ่าตัดโดยใช้การตรึงเพดิกัลสกรู และทำการวิเคราะห์ค่าความแม่นยำจากการทดสอบ *KaraiKovic et al., (20001)* ได้ทำการทดสอบหาค่าความแม่นยำจากการผ่าตัด สำหรับการใช้อธิบายเป็นรูปกรวยบริเวณทางเข้าของสกรู (Funnel technique) จากนั้นทำการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์และหาความสัมพันธ์ของความแม่นยำของการใส่สกรูกับระดับของกระดูกสันหลังรวมทั้งวิเคราะห์ทิศทางและการทะลุของสกรู อีกทั้งหาความสัมพันธ์ของความแม่นยำของการใส่สกรูกับความผิดปกติในระนาบซ้าย-ขวา (convex and concave)

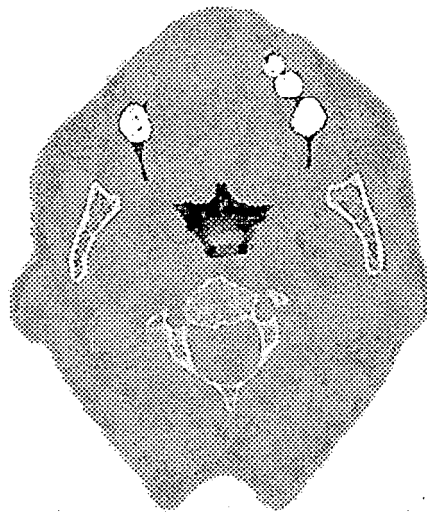
Kamimura et al., (2000) ได้ทำการประเมินผลค่าความปลอดภัยและความแม่นยำจากการผ่าตัดโดยใช้เครื่อง Computer-assisted Image Guidance ได้ผลการผ่าตัดสำเร็จโดยสกรูไม่เกิดการเบี่ยงเบนคิดเป็น 76.9% ของการเจาะทั้งหมด 108 ครั้ง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 มีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

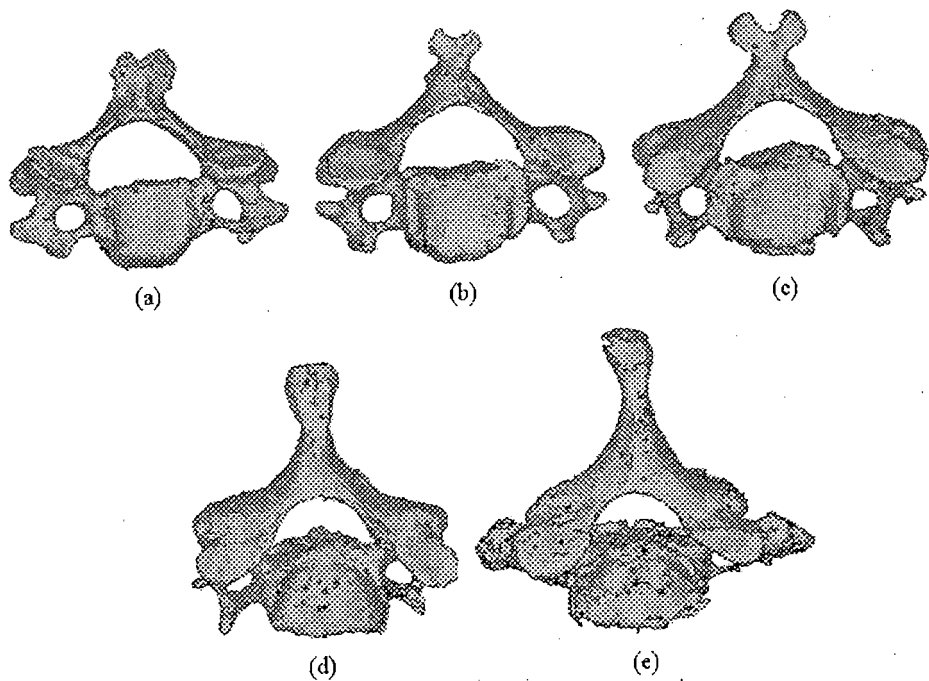
3.1 การแต่งรูปร่างกระดูกในโปรแกรมไอทีเค-สแนป (ITK SNAP) จากภาพถ่ายซีทีสแกน

เป็นกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยโดยนำภาพถ่าย 2 มิติจากเครื่องสแกนคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (Computerize Tomography) มาเข้าโปรแกรมไอทีเค-สแนป เพื่อทำการปรับแต่งและแยกรูปทรงกระดูกออกจากสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องสแกนคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี

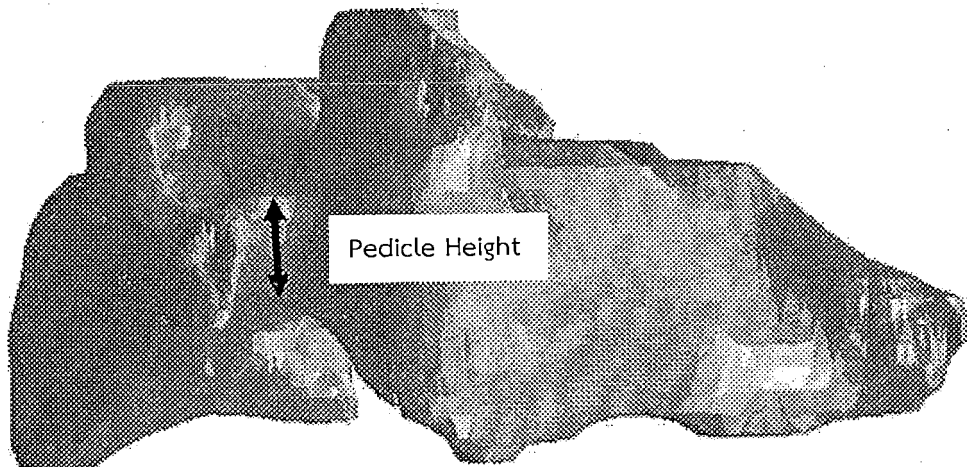
ในการสแกนเก็บข้อมูลกระดูกต้นคอนั้นจะทำการเก็บข้อมูลโดยค่อยๆ ทำการเก็บข้อมูลที่ละชั้นจนครบสมบูรณ์หมดทุกชั้นตลอดแนวของกระดูกต้นคอ โดยแบ่งลักษณะการเก็บข้อมูลในแต่ละชั้นออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเครื่องเอกซเรย์จะสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนกระดูกขึ้นมา หลังจากได้ข้อมูลการสแกนของกระดูกแล้วในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของกระดูกต้นคอนั้นจะเริ่มจากการนำเอาข้อมูลการสแกนเข้ามาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีการกำหนดช่วงค่าความเข้มของแสงที่แตกต่างกันในลักษณะเฉดสีเทา (CT gray scale) โดยทำการแบ่งช่วงค่าความเข้มของแสงออกเป็นช่วงย่อยๆ ซึ่งความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนภาพถ่ายเอกซเรย์นั้นเกิดจากการดูดซับและปล่อยผ่านรังสีเอกซ์เรย์ที่ต่างกันของวัตถุตัวกลางเมื่อถูกรังสีเอกซ์เรย์ยิงทะลุผ่าน ในบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยรังสีเอกซ์เรย์จะทะลุผ่านไปได้มาก ดังนั้นวัตถุที่มีความหนาแน่นที่ต่างกันจะให้ภาพถ่ายเอกซเรย์ที่มีความเข้มแสงต่างกัน แบบจำลอง 3 มิติของกระดูกต้นคอที่ถูกสร้างขึ้นมานี้จะอยู่ในรูปแบบของไฟล์สเตอริโอลิโธกราฟี (Stereolithography: STL) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงโมเดล 3 มิติของกระดูกต้นคอโดย (a) กระดูกต้นคอข้อที่ 3, (b) กระดูกต้นคอข้อที่ 4, (c) กระดูกต้นคอข้อที่ 5, (d) กระดูกต้นคอข้อที่ 6 และ (e) กระดูกต้นคอข้อที่ 7

3.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระดูกต้นคอ

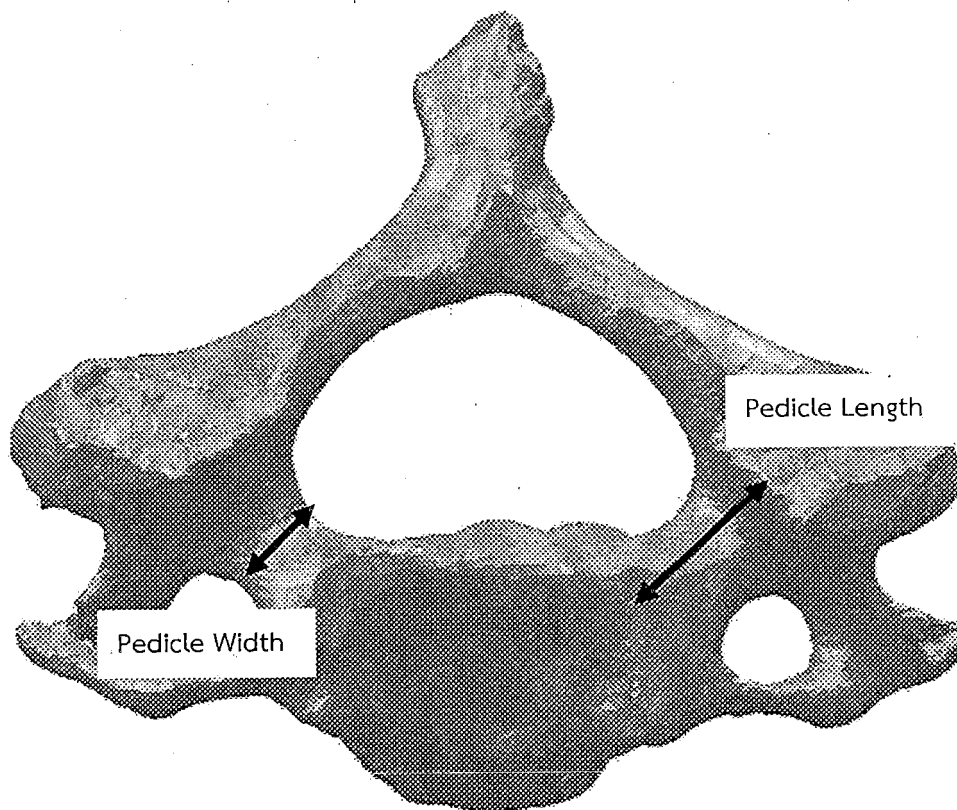
3.2.1 ความสูงของเพดิกัล (Pedicule Height) จะทำการวัดที่บริเวณคอคอดของเพดิกัลจากด้านบนสุดถึงล่างสุดในจุดที่แคบที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงความสูงของเพดิกัล

3.2.2 ความกว้างของเพดิกัล (Pedicule Width) จะทำการวัดความกว้างของเพดิกัลในบริเวณที่แคบที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.2.3 ความยาวของเพดิกัล (Pedicule Length) จะทำการวัดระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนลำตัว (Vertebral Body) และมวลกระดูกด้านข้าง (Lateral Mass) ตามแนวเพดิกัล ดังแสดงในรูปที่ 3.4

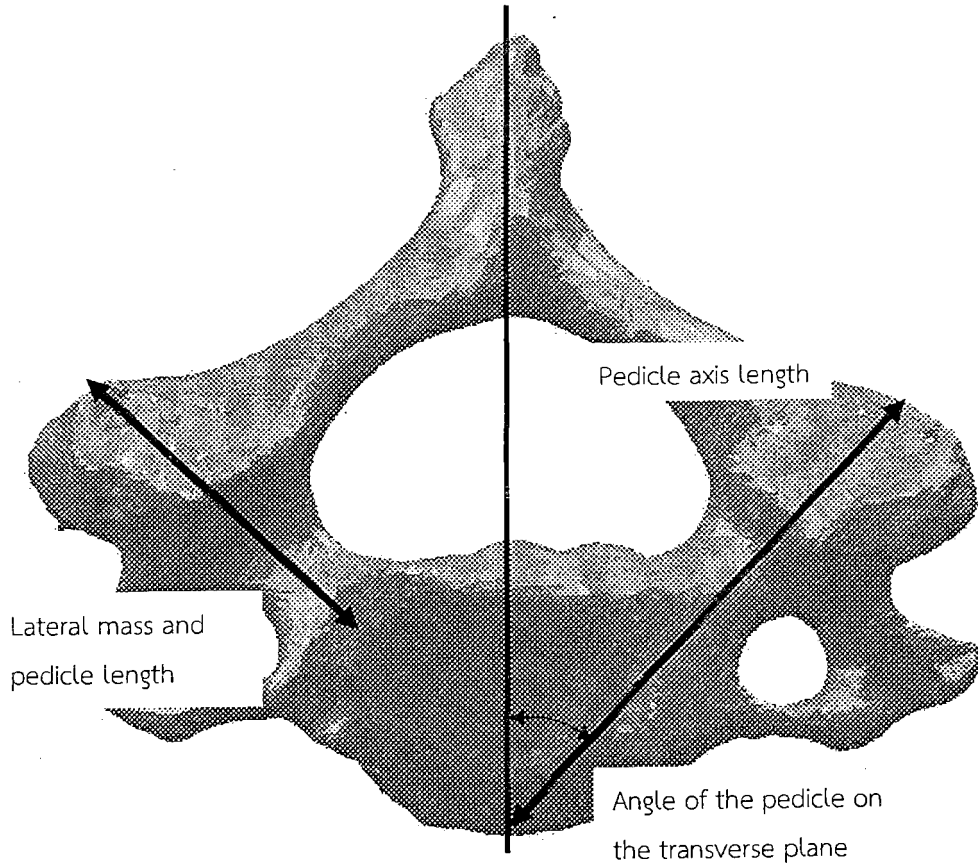


รูปที่ 3.4 แสดงความกว้างของเพดิกัลและความยาวของเพดิกัล

3.2.4 ระยะจากมวลกระดูกด้านข้าง (Lateral mass) และความยาวของเพดิกัล (Pedicule Length) จะทำการวัดระยะห่างระหว่างจุดด้านหลังของแกนกลางเพดิกัลบนมวลกระดูกด้านข้างถึงกระดูกสันหลังส่วนลำตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.2.5 ความยาวของแกนเพดิกัล (Pedicule Axis Length) จะทำการวัดระยะห่างจากจุดด้านหลังของมวลกระดูกด้านข้างถึงขอบของกระดูกสันหลังส่วนลำตัวตามแนวแกนเพดิกัล ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.2.6 มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง (The angle of the pedicle on the transverse plane) จะทำการวัดมุมที่อยู่ระหว่างแกนกลางของกระดูกต้นคอกับความยาวของแกนเพดิกัล ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและความยาวของเพดิกัล, ความยาวของแกนเพดิกัล และมุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง

3.3 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกระดูกในการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างของคนไทยและชาวตะวันตกที่วัดด้วยวิธีอื่น

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น

กระดูกต้นคอข้อที่ 3 (C3)	ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดแบบสามมิติ (จำนวน=20)		ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดจากกระดูกโดย ตรง (จำนวน=30)		ค่าทางกายวิภาคของ ชาวตะวันตก (จำนวน=29)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
1. ความสูงของเพดิกัล	8.45	1.26	6.6	1.02	6.9	0.9
2. ความกว้างของเพดิกัล	5.64	0.86	5.12	1.15	4.5	0.5
3. ความยาวของเพดิกัล	7.05	2.61	-	-	5.3	0.6
4. ระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและ ความยาวของเพดิกัล	16	3.09	-	-	15.3	0.9
5. ความยาวของแกนกลางเพดิกัล	31.8	1.7	28.39	2.85	22.2	1.9
6. มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง	46.15	4.74	-	-	49.2	3.5

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 4 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น

กระดูกต้นคอข้อที่ 4 (C4)	ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดแบบสามมิติ (จำนวน=20)		ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดจากกระดูกโดย ตรง (จำนวน=30)		ค่าทางกายวิภาคของ ชาวตะวันตก (จำนวน=29)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
1. ความสูงของเพดิกัล	8.33	1.39	6.82	0.86	6.7	0.7
2. ความกว้างของเพดิกัล	5.78	1.35	5.11	0.85	4.4	0.6
3. ความยาวของเพดิกัล	5.71	1.57	-	-	5.4	0.6
4. ระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและ ความยาวของเพดิกัล	15.28	2.16	-	-	15.6	1
5. ความยาวของแกนกลางเพดิกัล	33.45	2.52	27.69	3.16	25.4	2
6. มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง	49.37	3.64	-	-	51.5	4.1

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 5 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น

กระดูกต้นคอข้อที่ 5 (C5)	ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดแบบสามมิติ (จำนวน=20)		ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดจากกระดูกโดย ตรง (จำนวน=30)		ค่าทางกายวิภาคของ ชาวตะวันตก (จำนวน=29)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
1. ความสูงของเพดิกัล	8.16	1.15	6.5	0.76	7	0.7
2. ความกว้างของเพดิกัล	5.91	0.8	5.26	0.81	4.7	0.6
3. ความยาวของเพดิกัล	5.65	1.15	-	-	5.4	0.7
4. ระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและ ความยาวของเพดิกัล	15.23	1.78	-	-	15.4	0.9
5. ความยาวของแกนกลางเพดิกัล	33.49	2.62	26.92	3.54	24.1	1.8
6. มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง	48.84	5.43	-	-	50.4	3.6

ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 6 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น

กระดูกต้นคอข้อที่ 6 (C6)	ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดแบบสามมิติ (จำนวน=20)		ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดจากกระดูกโดย ตรง (จำนวน=30)		ค่าทางกายวิภาคของ ชาวตะวันตก (จำนวน=29)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
1. ความสูงของเพดิกัล	8.2	1.2	6.36	1.01	6.9	0.6
2. ความกว้างของเพดิกัล	5.98	0.94	5.55	0.89	4.7	0.5
3. ความยาวของเพดิกัล	5.03	1.39	-	-	5.8	0.8
4. ระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและ ความยาวของเพดิกัล	13.28	2.11	-	-	15.9	1.1
5. ความยาวของแกนกลางเพดิกัล	32.56	2.74	27.82	3	26.5	1.9
6. มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง	46.94	4.86	-	-	46.2	3.5

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 7 ที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างกับการวัดด้วยวิธีอื่น

กระดูกต้นคอข้อที่ 6 (C6)	ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดแบบสามมิติ (จำนวน=20)		ค่าทางกายวิภาคของ คนไทยเมื่อวัดจากกระดูกโดย ตรง (จำนวน=30)		ค่าทางกายวิภาคของ ชาวตะวันตก (จำนวน=29)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
1. ความสูงของเพดิกัล	8.68	1.23	6.89	0.63	7.2	0.9
2. ความกว้างของเพดิกัล	6.89	1.28	6.28	0.55	4.9	0.7
3. ความยาวของเพดิกัล	5	1.72	-	-	6.2	0.8
4. ระยะจากมวลกระดูกด้านข้างและ ความยาวของเพดิกัล	12.92	3.48	-	-	16	1
5. ความยาวของแกนกลางเพดิกัล	29.32	2.84	27.5	2.57	27.7	2.2
6. มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง	34.31	4.38	-	-	42.3	3.3

3.4 การขึ้นรูปโมเดลกระดูกจากกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคโนโลยีต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping)

การขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานแบบ 3 มิติโดยสร้างแบบจำลอง (Prototyping) จากเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping Machine) โดยสามารถสร้างรูปแบบ 3 มิติได้อย่างอิสระ (3D Free form shape) รูปแบบใดๆ ก็ได้

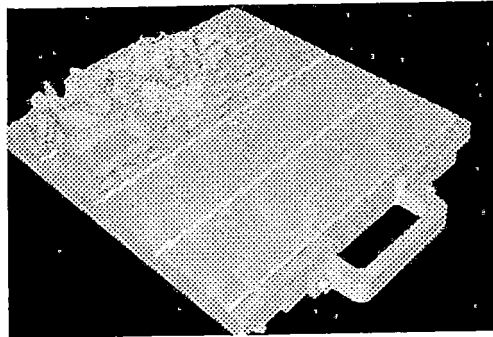
3.4.1 หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปวัตถุใน 3 มิติ (Rapid Prototype Concept)

การทำงานของเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติคือจะทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาตามคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาทีละชั้น (Layer by Layer) โดยมีการส่งข้อมูลของเครื่องขึ้นรูปวัตถุใน 3 มิติรวมถึงข้อมูลของของเหลวและสารที่จะใช้ขึ้นรูปตลอดจนกำลังของเครื่องมือและแผ่นรองที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน

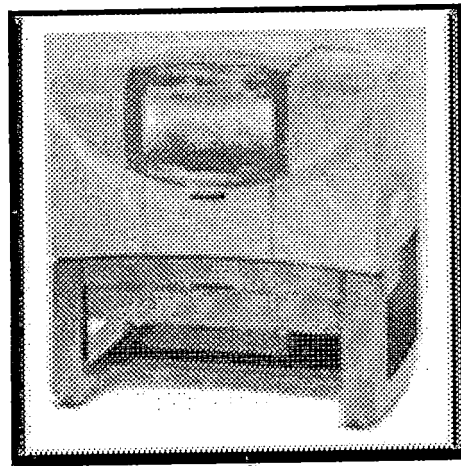
3.4.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องขึ้นรูปวัตถุใน 3 มิติ (Rapid Prototype Process)

ขั้นแรกทำการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ 3 มิติเสียก่อน การสร้างแบบส่วนใหญ่จะทำการสแกนแบบ 3 มิติทั้งรูปแบบสแกนเฉพาะพื้นผิวหรือสแกนภายในโครงสร้างทั้งหมดซึ่งในที่นี้คือโมเดล 3 มิติที่ได้จากโปรแกรมไอทีเค-สแนป จากนั้นทำการนำข้อมูลส่งเข้าเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติ โดยแต่ละชั้นจะมีความหนาตั้งแต่ 0.08 ถึง 0.1 มิลลิเมตรหรือเท่ากับความหนาของกระดาษ 1 แผ่น ถ้าวัตถุที่จะสร้างมีความสูง 10 เซนติเมตรจะเท่ากับการขึ้นรูปวัตถุประมาณ 1,000-1,250 ชั้น (layer) เครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติจะทำการระบวนการสร้างวัตถุทีละชั้นโดยเริ่มจากชั้นล่างสุดของวัตถุก่อน จนได้รูปร่างของวัตถุที่สมบูรณ์คล้ายกับการก่อสร้างปริมาตร ความเร็วของการสร้างชิ้นงานก็จะขึ้นอยู่กับความละเอียดและความใหญ่ของชิ้นงานโดยส่วนมากจะใช้เวลา 2 -8 ชั่วโมง เมื่อนำโมเดลต้นแบบรวดเร็วบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์สกุลเอสทีแอล (STL) จากนั้นนำมาจัดเรียงข้อมูลแต่ละชั้นลงบนภาคในโปรแกรมทำต้นแบบ

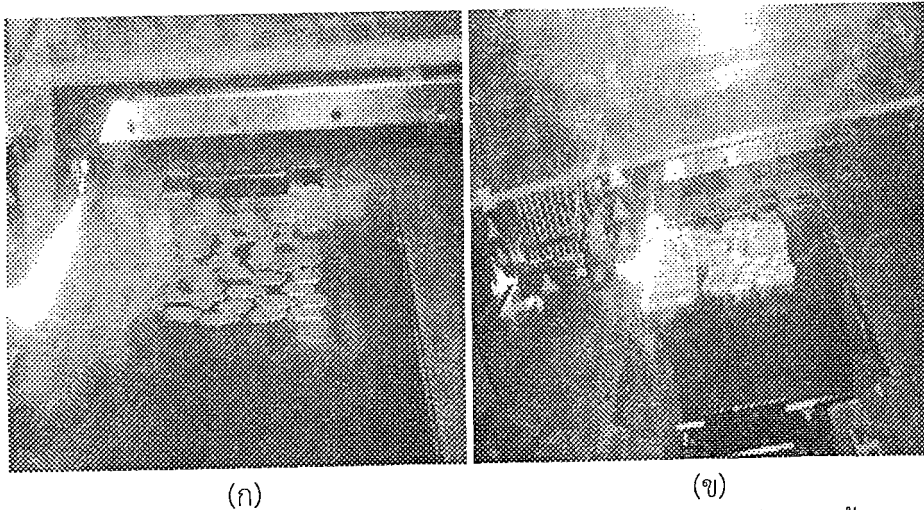
อย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อสั่งทำเป็นชิ้นงานต้นแบบต่อไป เครื่องขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ข้อมูลกระดูกที่ใช้ในการทำต้นแบบอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว

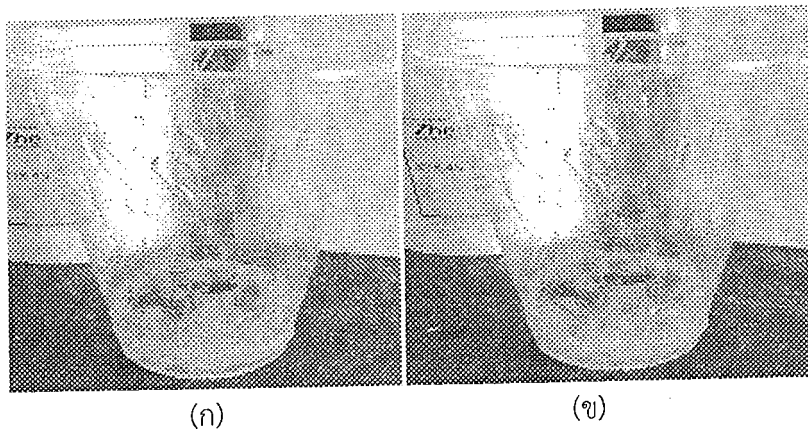


รูปที่ 3.8 แสดงภาพขณะที่เครื่องขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วสร้างขึ้นมา: (ก) ขณะเริ่มสร้างชั้นล่างสุด และ (ข) ขณะสร้างชั้นงานใกล้เสร็จสมบูรณ์

3.5. การหล่อโมเดลกระดูกต้นคอจากต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นจากเครื่องขึ้นรูปทำต้นแบบรวดเร็ว

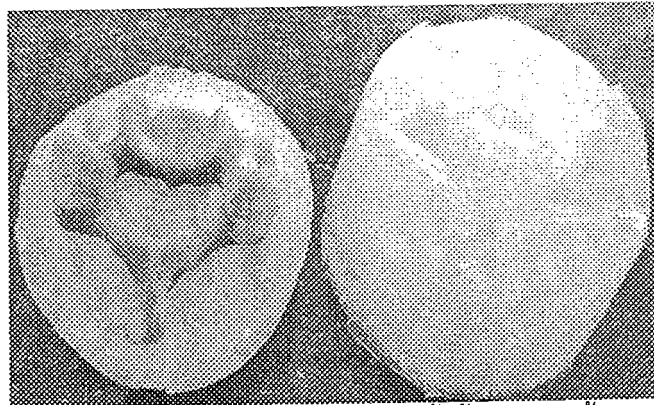
3.5.1 การสร้างแม่พิมพ์กระดูกต้นคอ

- ทำแม่พิมพ์กระดูกต้นคอขึ้นล่างโดยเทซิลิโคนลงในแก้ว จากนั้นนำโมเดลกระดูกที่ได้จากการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วใส่ลงไปเพื่อให้เป็นแม่พิมพ์ขึ้นล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นล่าง: (ก) เทซิลิโคนเพื่อทำแม่พิมพ์ และ (ข) แม่พิมพ์ขึ้นล่างแข็งตัว

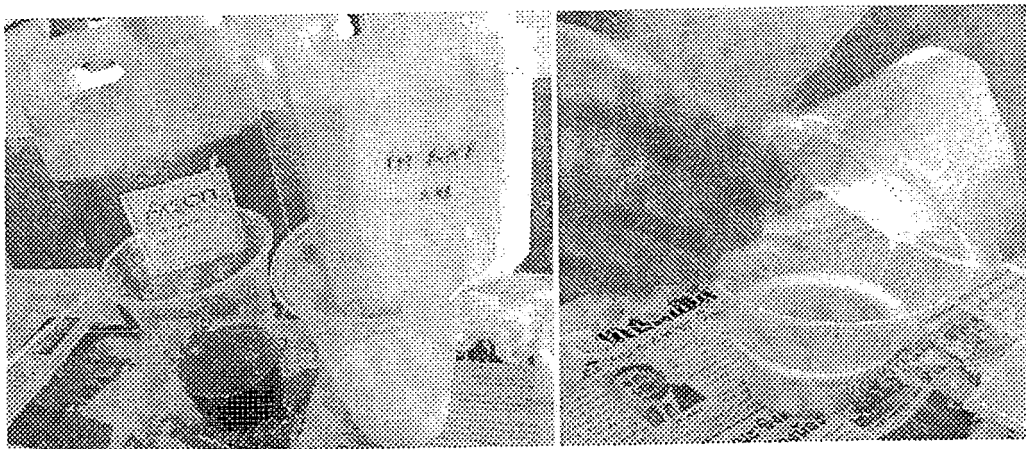
- รอให้ซิลิโคนขึ้นล่างแข็งตัวซึ่งใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นเทซิลิโคนทับลงไปด้านบนอีกครั้งเพื่อให้เป็นแม่พิมพ์ขึ้นบน จากนั้นรอให้แม่พิมพ์ขึ้นบนแข็งตัวซึ่งใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ก็จะได้แม่พิมพ์กระดูกต้นคอแบบเพื่อนำไปหล่อโมเดลกระดูกด้วยเรซินต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงรูปแม่พิมพ์ที่แข็งตัวทั้งชิ้นล่างและชิ้นบน

3.6.2 การสร้างโมเดลกระดูกต้นคอจากเรซิน

- สารที่นำมาหล่อโมเดลกระดูกต้นคอเกิดจากการผสมสารเรซินทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.11 แสดงสาร 2 ชนิดที่นำมาผสมเพื่อหล่อโมเดลกระดูกต้นคอ: (ก) Resin F19 part A and B และ (ข) เทสารทั้งสองชนิดแล้วทำการกวนผสมกัน

- ทำการทาน้ำมันมะพร้าวที่แม่พิมพ์ซิลิโคนเพื่อความสะดวกในการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานน้ำมันที่แม่พิมพ์

- จากนั้นทำการเทเรซินที่ผสมแล้วลงในแม่พิมพ์ซิลิโคนทั้งชั้นบนและชั้นล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.13



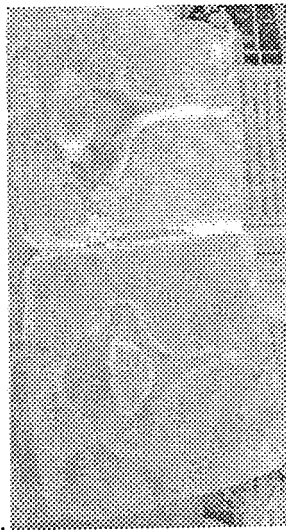
รูปที่ 3.13 แสดงการเทเรซินลงแม่พิมพ์

- ทำการประกบแม่พิมพ์ซิลิโคนที่มีเรซินเทอยู่แล้วทั้งสองชั้นเข้าด้วยกันและรอให้เรซินแข็งตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการประกบแม่พิมพ์กระดูกต้นคอ

- เมื่อทำการแกะแม่พิมพ์จะได้โมเดลกระดูกต้นคอ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และนำโมเดลที่ได้จากการหล่อเรซินมาวางเทียบกับโมเดลที่ได้จากการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วแสดงในรูปที่ 3.16



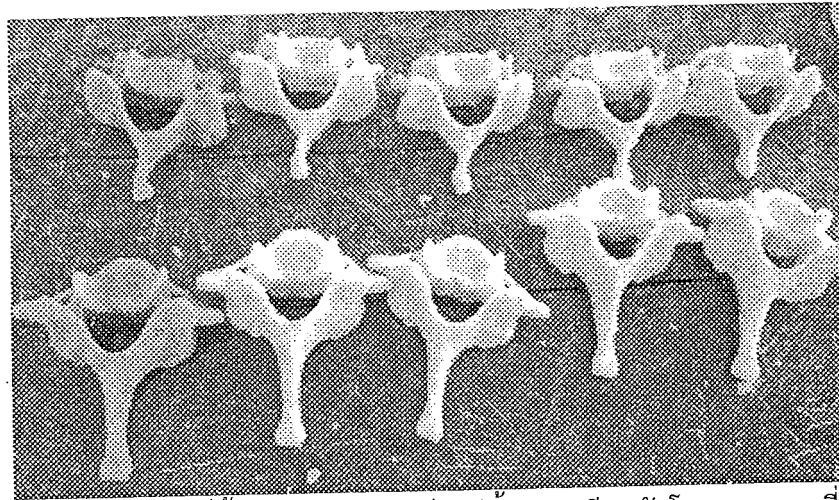
รูปที่ 3.15 แสดงโมเดลกระดูกต้นคอที่หล่อด้วยเรซิน

๖๑๗.๙๑๗๘

๓๖๕๓๓

๒.๒

344631



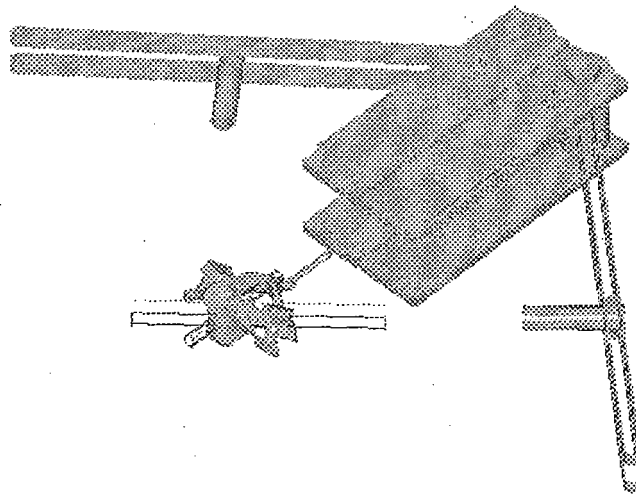
รูปที่ 3.16 แสดงโมเดลกระดูกที่ขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว (สีน้ำเงิน) เทียบกับโมเดลกระดูกที่หล่อด้วยเรซิน (สีครีม)

3.6 การออกแบบเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7

ในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอได้ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design: CAD) โดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ก (SolidWorks Program) ได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบทั้งหมด 4 รูปแบบ โดยปรับปรุงจากข้อบกพร่องที่พบและได้ทำการแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้นเพื่อให้ได้รูปทรงที่เหมาะสมต่อการใช้งานของศัลยแพทย์ มีเงื่อนไขเบื้องต้นการออกแบบคือ

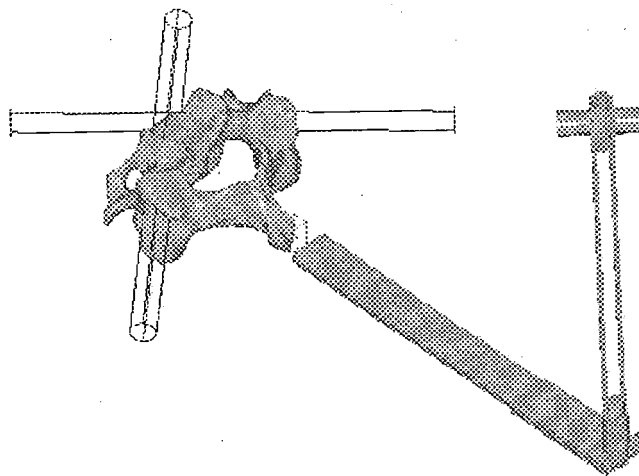
- อุปกรณ์นี้จะต้องปรับมุมที่แขนที่กางออกมาได้เพราะตำแหน่งเพดิกัลของแต่ละคนจะมีมุมที่กางออกจากแนวกลางของกระดูกที่ไม่เท่ากัน
- อุปกรณ์นี้จะต้องปรับมุมก้ม-เงยของท่อนำการเจาะสกรูได้เพราะตำแหน่งเพดิกัลของแต่ละคนจะมีมุมก้ม-เงยจากแนวระดับที่ไม่เท่ากัน
- อุปกรณ์นี้จะต้องปรับมุมทางเข้า-ออกของท่อนำการเจาะสกรูได้เพราะจะได้ทำการปรับละเอียดเพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งเพดิกัลของแต่ละคน

การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอจึงได้รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 1

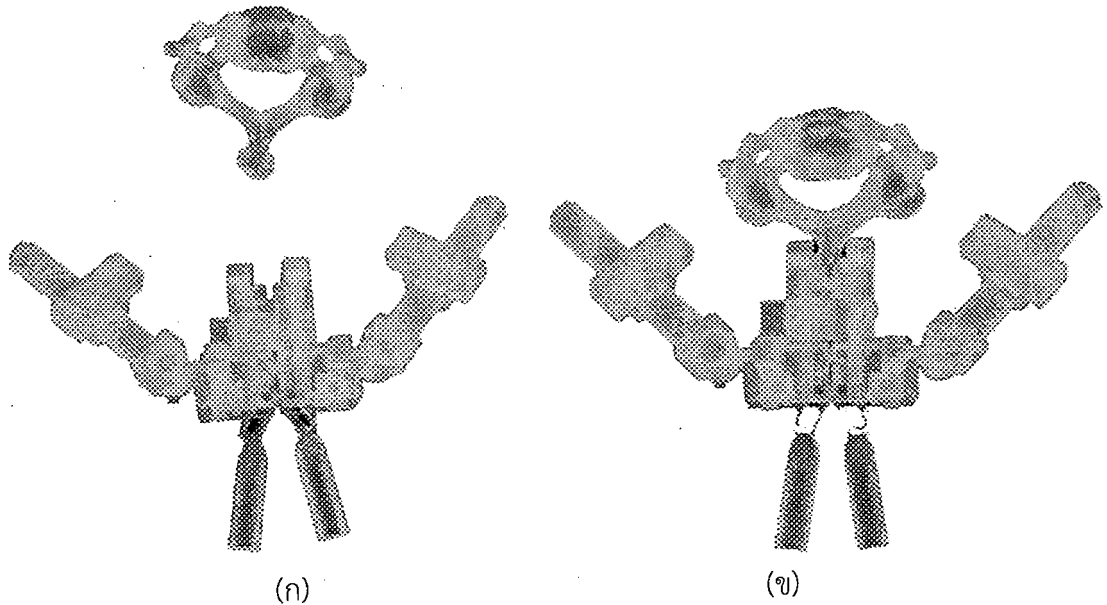
แต่เนื่องจากอุปกรณ์ต้นแบบรูปแบบที่ 1 เกิดข้อจำกัดเนื่องจากชิ้นส่วนบริเวณกึ่งกลางมีขนาดใหญ่และเทอะทะ อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานของศัลยแพทย์จึงได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ต้นแบบโดยลดขนาดชิ้นส่วนตรงกลางให้เล็กลงดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบรูปแบบที่ 2 นี้ได้ทำการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วและนำมาทดสอบเจาะสกรูกับโมเดลกระดูกต้นคอเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น และนำไปพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบรูปแบบที่ 3 ต่อไป



รูปที่ 3.18 ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2

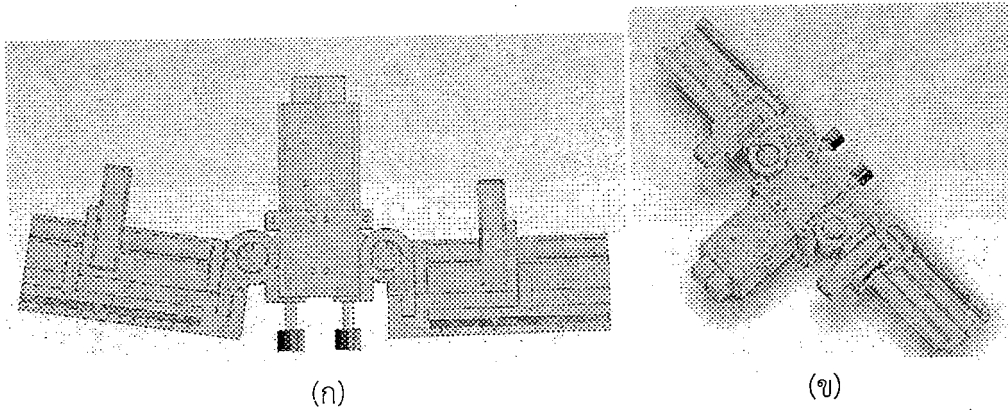
จากการนำอุปกรณ์ต้นแบบรูปแบบที่ 2 ไปทำการเจาะโมเดลกระดูกต้นคอพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ก้านที่กางออกด้านข้างมีขนาดเล็กและบางส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความไม่มั่นคงขึ้นจึงได้ทำการ

ปรับปรุงอุปกรณ์ต้นแบบรูปแบบที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบมีความหนามากขึ้นทำให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.19 ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 3: (ก) ขณะที่อุปกรณ์ยังไม่เข้ายึดจับกระดูก และ (ข) ขณะที่อุปกรณ์เข้ายึดจับกระดูกบริเวณสไปนัสโพรเชส

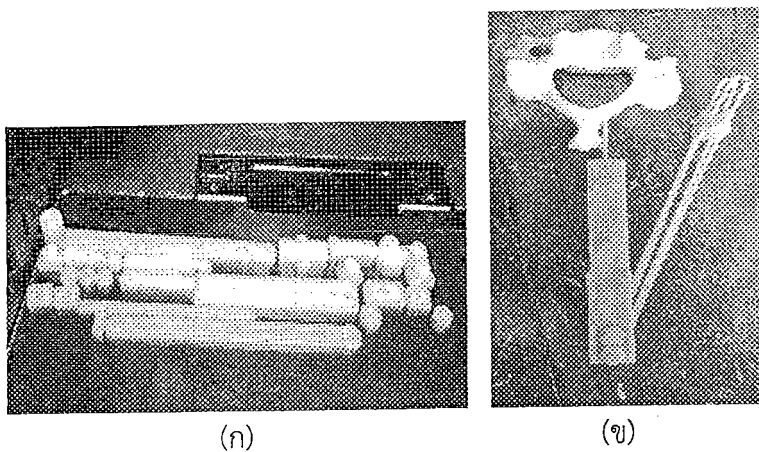
เมื่อลองนำไปทดลองเจาะโดยการหนีบเข้ากับสไปนัสโพรเชส (Spinous process) พบว่าในกระดูกคอบางชั้นที่มีรูปร่างหรือตำแหน่งของสไปนัสโพรเชสที่แตกต่างออกไปเช่น เอียงมากกว่ากระดูกต้นคอทั่วไป, มีขนาดเล็กกว่ากระดูกต้นคอทั่วไป จะส่งผลให้ต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอไม่สามารถยึดจับได้อย่างมั่นคง และจะส่งผลต่อรูเจาะที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ต้นแบบรูปแบบที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ซึ่งจะมีตัวต่อที่ขึ้นรูปจากสไปนัสโพรเชสของกระดูกต้นคอเพื่อจะได้หนีบกระดูกต้นคอได้อย่างมั่นคง ส่งผลให้ศัลยแพทย์ใช้งานได้สะดวกมากขึ้น



รูปที่ 3.20 ภาพโมเดลต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดุกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 4: (ก) แสดงวิวนบนของชิ้นงาน และ (ข) แสดงวิวไอโซเมตริกของชิ้นงาน

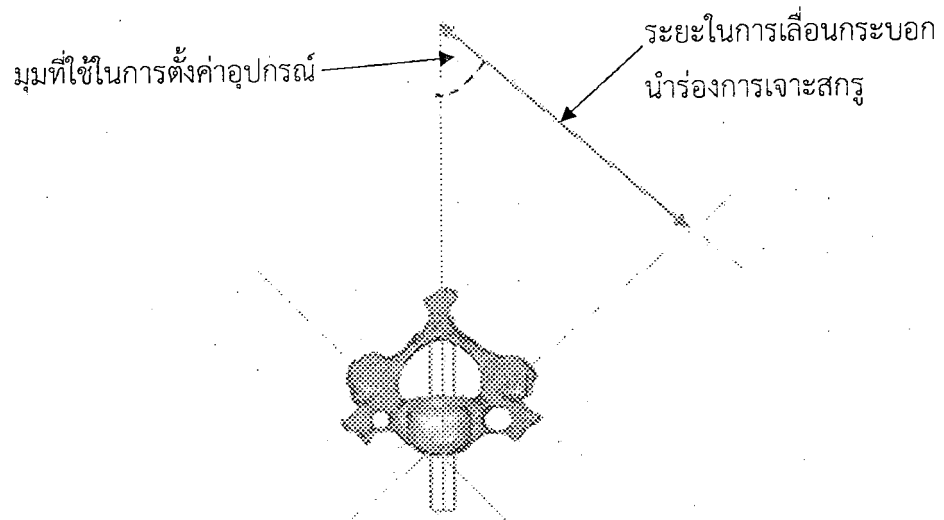
3.7 การสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดุกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 4 ด้วยการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว

3.8.1 เครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดุกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2
ทำการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วของอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดุกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.21

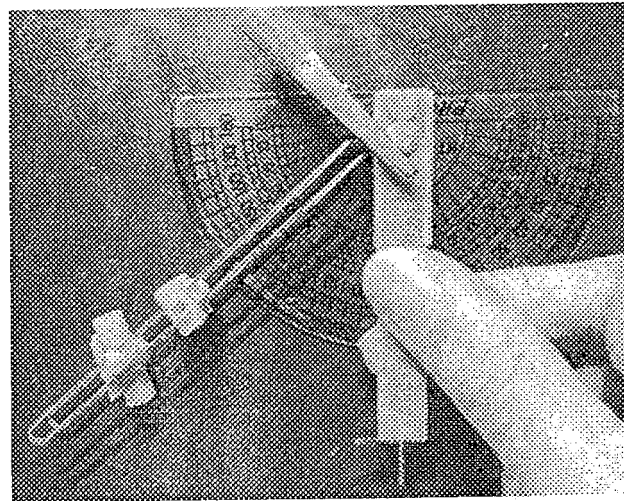


รูปที่ 3.21 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดุกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 2: (ก) ขณะกำลังทำการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว และ (ข) นำอุปกรณ์ต้นแบบวางทาบกับโมเดลกระดุกต้นคอ

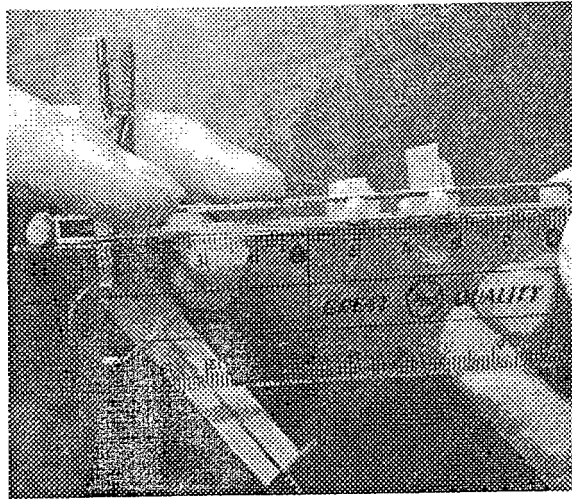
จากนั้นนำอุปกรณ์ต้นแบบมาทำการตั้งค่ามุมและความยาวที่จะเจาะสกรูลงในโมเดลกระดุกที่หล่อจากเรซิน ทำการตั้งค่าอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดุกต้นคอเพื่อให้เหมาะสมกับการเจาะสกรูกระดุกแต่ละชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.22, 3.23 และ 3.24



รูปที่ 3.22 แสดงการตั้งค่าอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอ

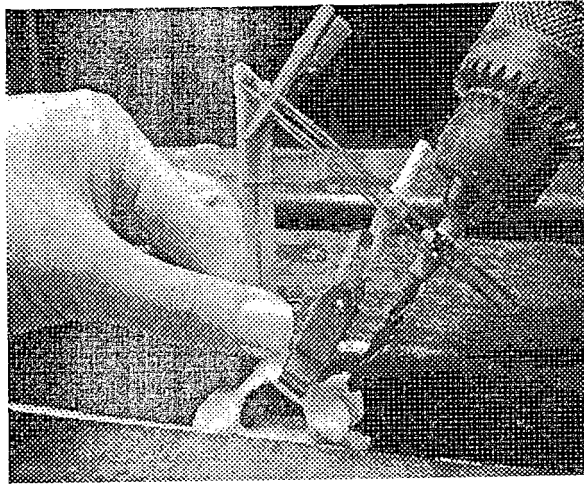


รูปที่ 3.23 ตั้งค่ามุมของอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอจากอุปกรณ์วัดครึ่งวงกลม



รูปที่ 3.24 ตั้งค่าระยะของท่อนำเจาะบนอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอจากไม้บรรทัด

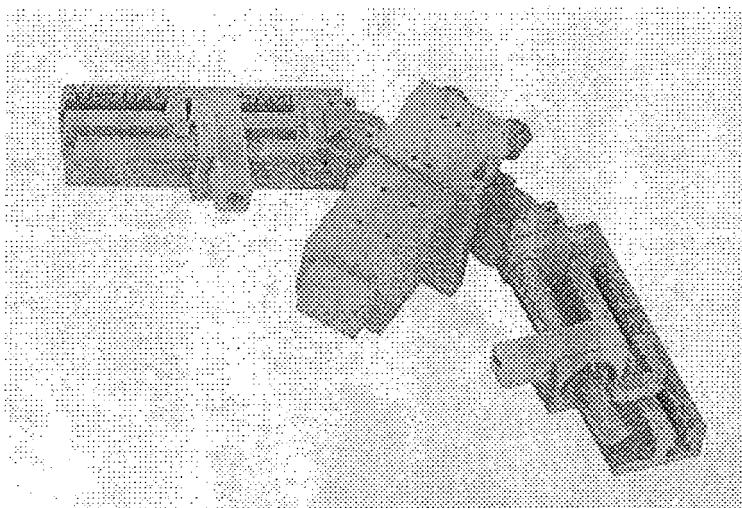
นำอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูมายึดเข้ากับตัวอย่างกระดูกที่ต้องการเจาะสกรู จากนั้นเจาะรูโดยให้ดอกสว่านผ่านไปตามแนวท่อบนอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอซึ่งทำให้เกิดการเจาะสกรูในแนวของเพดิกัล ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การเจาะรูในแนวเพดิกัลโดยใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอ

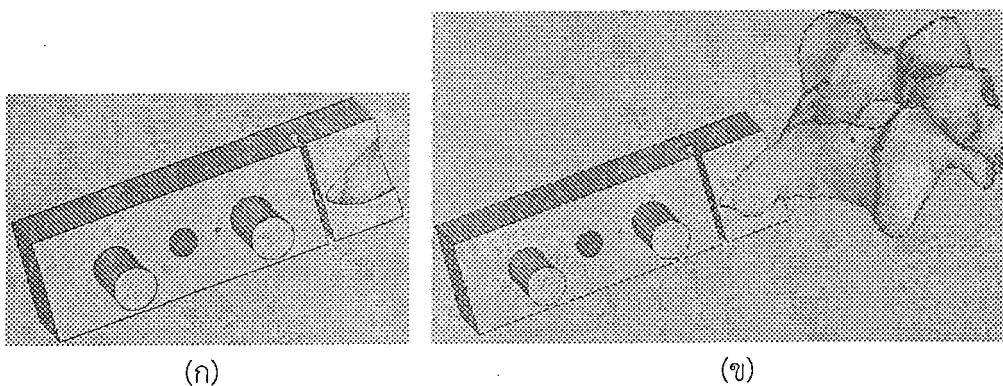
3.8.2 เครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 4

ทำการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วของอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 4 โดยนำมาขึ้นรูปด้วยวัสดุพลาสติก ABS ดังแสดงในรูปที่ 3.26



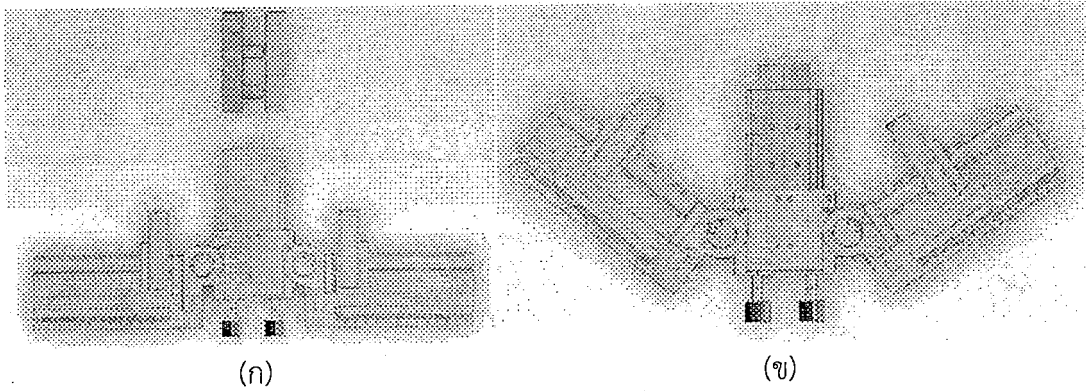
รูปที่ 3.26 เครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 รูปแบบที่ 4

อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูรูปแบบที่ 4 จะประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วนหลักคือ ส่วนตั้งมุมและนำร่องการเจาะสกรู และส่วนยึดจับกับสไปนัสโปรเซส (Spinous Process) ซึ่งจะทำการขึ้นรูปให้สอดคล้องกับกระดูกต้นคอที่จะทำการเจาะ โดยอุปกรณ์ส่วนนี้จะเป็นแบบเฉพาะของกระดูกแต่ละชิ้น (Customize made) ดังแสดงในรูปที่ 3.27



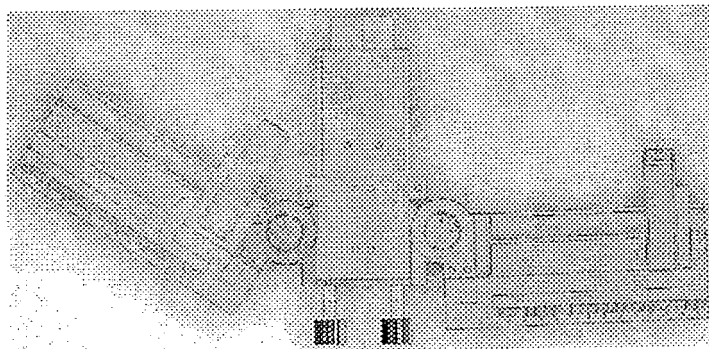
รูปที่ 3.27 แสดงชิ้นส่วนยึดจับกับสไปนัสโปรเซส: (ก) แสดงร่องยึดจับแบบเฉพาะกระดูก และ (ข) เมื่อวางยึดจับกระดูกต้นคอ

เมื่อนำชิ้นส่วนหลักมาประกอบกันจะได้ดังแสดงในรูปที่ 3.28

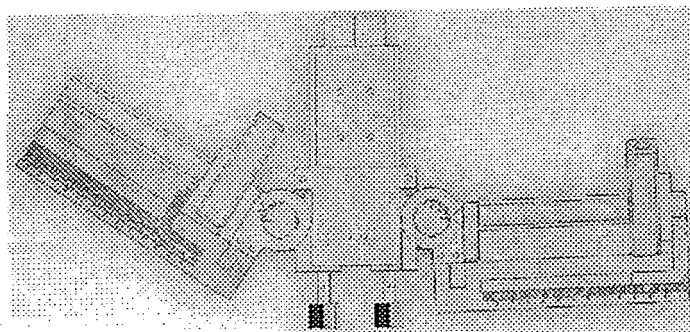


รูปที่ 3.28 แสดงอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูรูปแบบที่ 4: (ก) ส่วนตั้งมุมและนำร่องการเจาะสกรูและส่วนยึดจับสไปนส์โปรเซสแยกออกจากกันและ (ข) ส่วนตั้งมุมและนำร่องการเจาะสกรูและส่วนยึดจับสไปนส์โปรเซสประกอบเข้าด้วยกัน

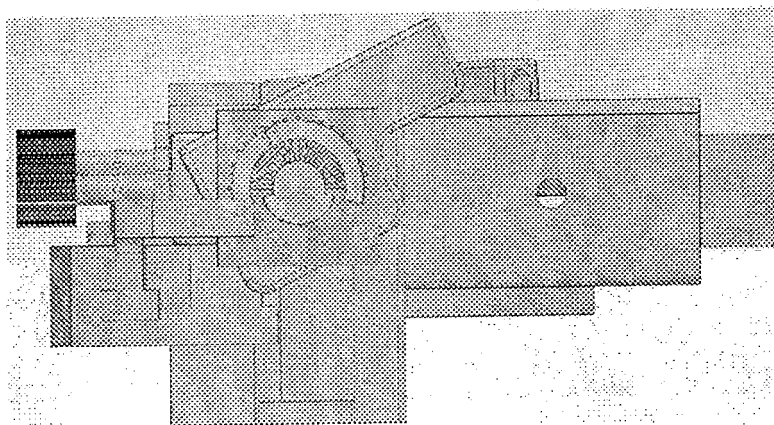
อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูรูปแบบที่ 4 จะสามารถปรับค่าของอุปกรณ์ได้สะดวกกว่าในรูปแบบที่ 2 โดยสามารถปรับมุมที่แกนทางเข้า-ออกดังแสดงในรูปที่ 3.29 ระยะของท่อนำการเจาะสกรูดังแสดงในรูปที่ 3.30 มุมก้ม-เงยของท่อนำการเจาะสกรูดังแสดงในรูปที่ 3.31 และปรับระยะสูง-ต่ำของแกนดังแสดงในรูปที่ 3.32



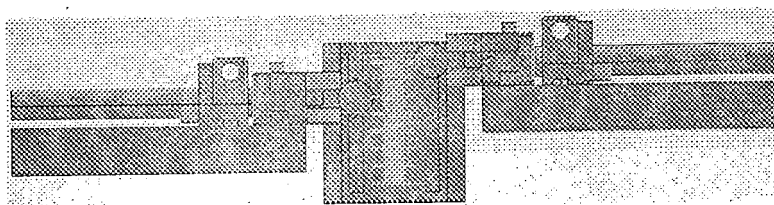
รูปที่ 3.29 แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับมุมที่แกนทางเข้า-ออก



รูปที่ 3.30 แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับระยะของท่อนำการเจาะสกรู

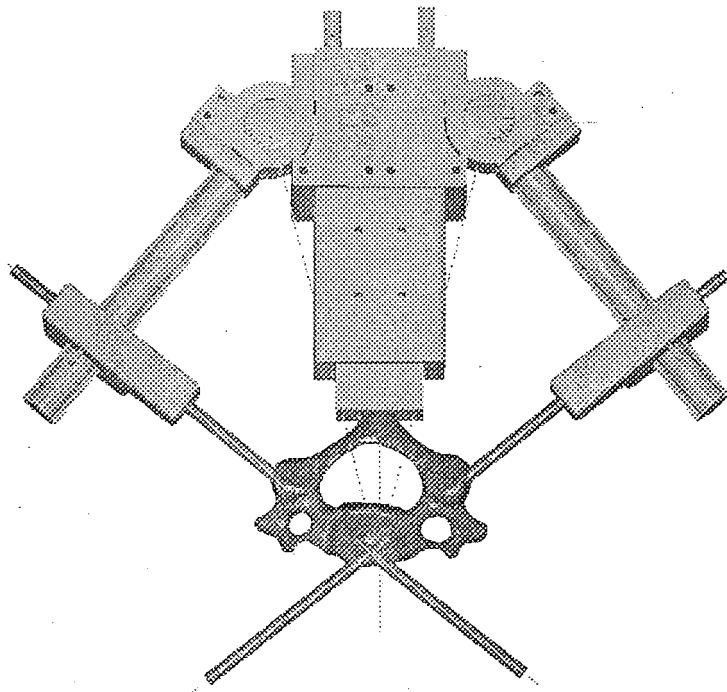


รูปที่ 3.31 แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับมุมก้ม-เงยของท่อนำการเจาะสกรู



รูปที่ 3.32 แสดงสเกลที่ใช้ในการปรับระยะสูง-ต่ำของแขน

เมื่อปรับค่าต่างๆ ตามระยะที่ได้วัดเพื่อใช้ในการเจาะสกรูและนำไปประกบกับกระดุกต้นคองจะได้
ดังรูปที่ 3.33

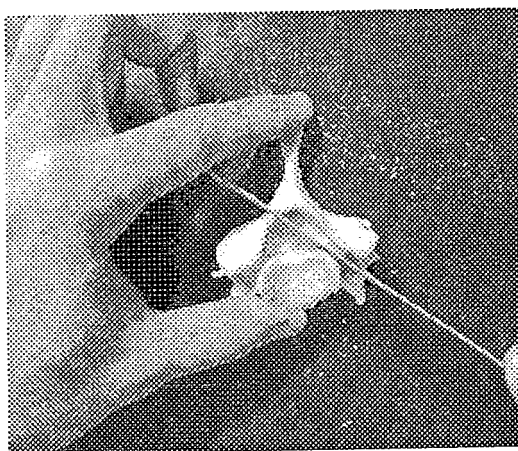


รูปที่ 3.33 แสดงแนวการเจาะสกรูที่กระดุกต้นคอตามแนวเพดิกัล

ผลการทดลอง

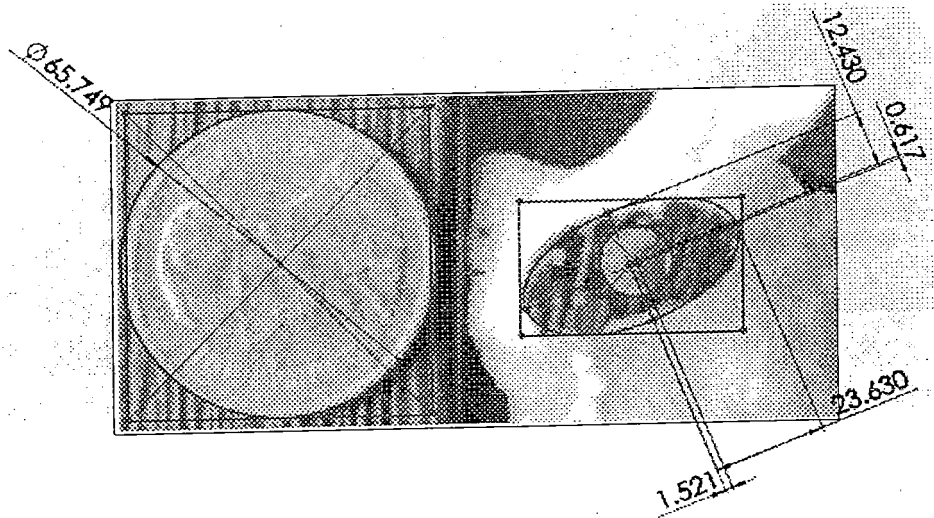
ภายหลังจากใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอเพื่อทำการเจาะสกรูที่บริเวณเพดิกส์ โดยเจาะเข้ากับโมเดลกระดูกที่ขึ้นรูปจากเรซินและทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งรูเจาะกับ บริเวณกึ่งกลางของเพดิกส์มีวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้

- ทำการเลื่อยโมเดลกระดูกที่บริเวณเพดิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เพื่อดูตำแหน่งรูเจาะภายหลังสกรู เข้าไปในส่วนเพดิกส์ของกระดูกต้นคอ



รูปที่ 4.1 แสดงเลื่อยโมเดลกระดูกต้นคอหลังจากทำการเจาะด้วยดอกสว่าน

- ทำการวัดขนาดของเพดิกส์ของโมเดลกระดูกแต่ละชิ้นด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์กเพื่อนำมาคำนวณ หาค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าบริเวณเพดิกส์มีลักษณะพื้นที่เป็นรูปวงรี จึงได้ทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนเอกและแนวแกนโทของวงรี



รูปที่ 4.2 แสดงขนาดของเพดิกัลเทียบกับเหรียญ 25 สตางค์ โดยวัดจากแกนเอกและแกนโทของพื้นที่เพดิกัล

ตัวอย่างการคำนวณขนาดของรูเจาะที่บริเวณเพดิกัลของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 โดยคิดค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนเอกและแนวแกนโทเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

แนวแกนเอกของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$(1.521 \times 100) / 23.63 = 6.44\%$$

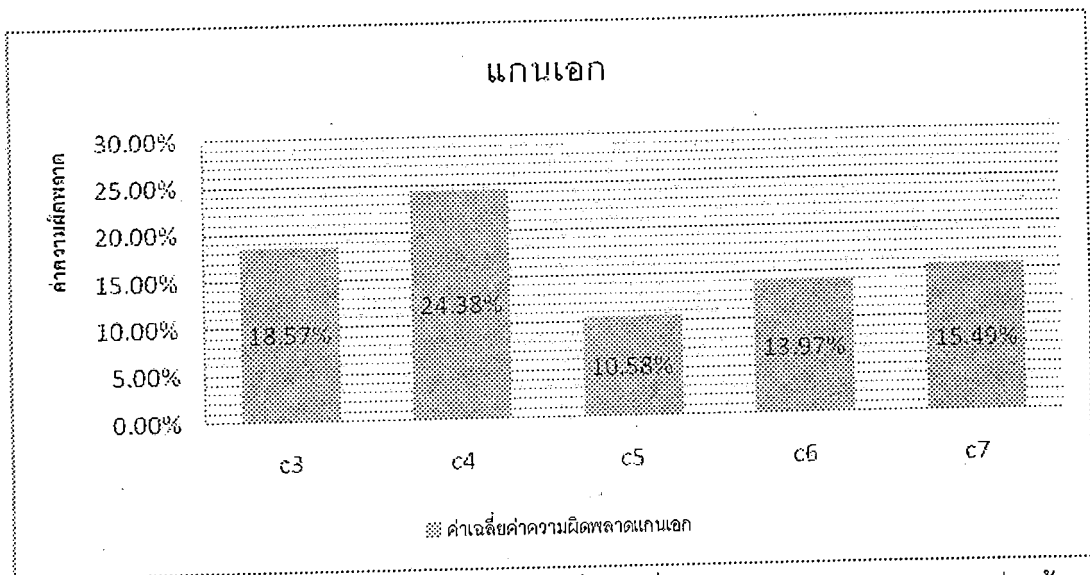
แนวแกนโทของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$(0.617 \times 100) / 12.43 = 4.96\%$$

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของการใช้อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ในแนวแกนเอกของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 6.44% จากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเพดิกัล และในแนวแกนโทของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 4.96% จากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเพดิกัล เมื่อทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของกระดูกต้นคอครบทุกข้อกระดูกนำมาแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนเอก และตารางที่ 4.2 สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนโท

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะภายหลังการใช้อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรู กระจกตันคอกในแกนเอกของเพดิกัล

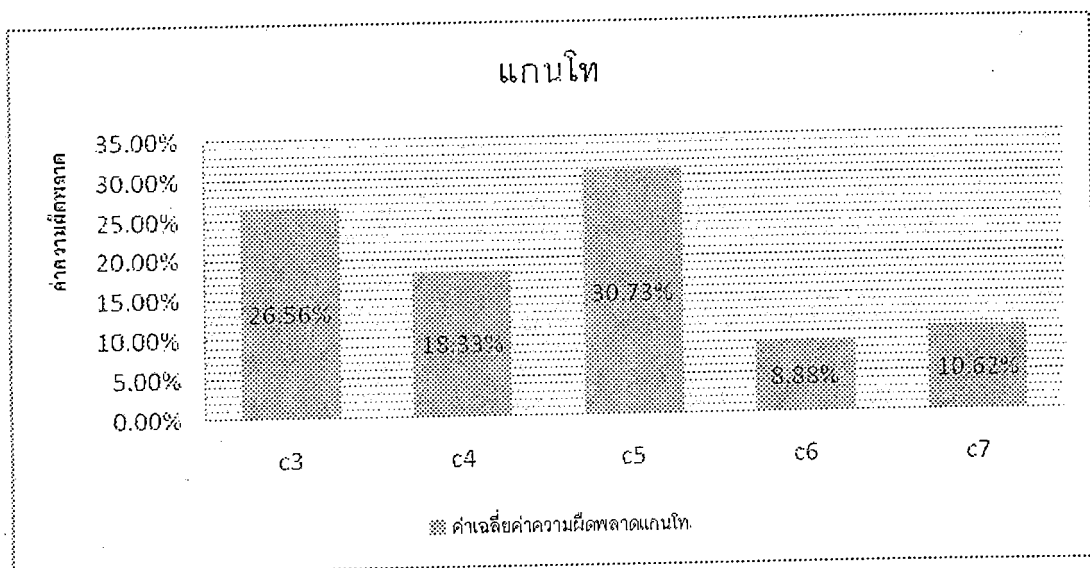
จำนวน ชิ้นงาน	ค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะ (%)				
	C3	C4	C5	C6	C7
1	26.91	48.48	5.85	22.37	12.2
2	26.74	1.14	26.34	3.09	28.34
3	6.44	25.54	7.32	5.28	9.19
4	14.17	22.34	2.8	25.13	12.21
เฉลี่ย	18.565	24.375	10.5775	13.9675	15.485



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแนวแกนเอกของกระดุกแต่ละข้อ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะภายหลังการใช้อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรู กระดุกต้นคอกในแกนโทของเพติคัล

จำนวน ชิ้นงาน	ค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะ (%)				
	C3	C4	C5	C6	C7
1	18.77	0	1.56	10.99	33.55
2	34.54	4.05	60.67	14.8	0.26
3	4.96	26.04	17.14	4.64	8.36
4	47.97	43.21	43.55	5.08	0.29
เฉลี่ย	26.56	18.325	30.73	8.88775	10.615



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแนวแกนโทของกระดุกแต่ละข้อ

วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3-7

ผลการทดลองอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอพบว่าสามารถเจาะสกรูให้อยู่ในตำแหน่งเพดิกัลของกระดูกต้นคอได้อย่างแม่นยำทุกครั้ง โดยไม่มีครั้งใดที่รูเจาะทะลุออกนอกโมเดลกระดูกที่บริเวณเพดิกัลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของจุดศูนย์กลางของเพดิกัลกับจุดศูนย์กลางของรูเจาะ จากวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้หลักการวัดระยะแกนเอกและแกนโทของพื้นที่วงรีดังนี้

- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนเอกของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ชั้นที่ 1 เป็น 26.91 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 26.74 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 6.44 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 14.17 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนเอกของกระดูกต้นคอข้อที่ 4 ชั้นที่ 1 เป็น 48.48 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 1.14 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 25.54 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 22.34 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนเอกของกระดูกต้นคอข้อที่ 5 ชั้นที่ 1 เป็น 5.85 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 26.34 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 7.32 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 2.8 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนเอกของกระดูกต้นคอข้อที่ 6 ชั้นที่ 1 เป็น 22.37 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 3.09 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 5.28 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 25.13 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนเอกของกระดูกต้นคอข้อที่ 7 ชั้นที่ 1 เป็น 12.20 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 28.34 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 9.19 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 12.21 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนโทของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ชั้นที่ 1 เป็น 18.77 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 34.54 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 4.96 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 47.97 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนโทของกระดูกต้นคอข้อที่ 4 ชั้นที่ 1 เป็น 0.00 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 4.05 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 26.04 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 43.21 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนโทของกระดูกต้นคอข้อที่ 5 ชั้นที่ 1 เป็น 1.56 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 60.67 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 17.14 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 43.55 เปอร์เซ็นต์

- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนโทของกระดูกต้นคอข้อที่ 6 ชั้นที่ 1 เป็น 10.99 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 14.80 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 4.64 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 5.08 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลแกนโทของกระดูกต้นคอข้อที่ 7 ชั้นที่ 1 เป็น 33.55 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 เป็น 0.26 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 3 เป็น 8.36 เปอร์เซ็นต์ และชั้นที่ 4 เป็น 0.29 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่มากและน้อยที่สุดตามระยะแกนเอกและแกนโทของโมเดลกระดูกพบว่า

- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลที่น้อยที่สุดในแกนเอกในกระดูกข้อที่ 4 ชั้นที่ 2 คือ 1.14 เปอร์เซ็นต์ และมากที่สุดในการกระดูกข้อที่ 4 ชั้นที่ 1 คือ 48.48 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลที่น้อยที่สุดในแกนโทในกระดูกข้อที่ 4 ชั้นที่ 1 คือ 0.00 เปอร์เซ็นต์ และมากที่สุดในการกระดูกข้อที่ 5 ชั้นที่ 2 คือ 60.67 เปอร์เซ็นต์

และเมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแกนเอกและแกนโทพบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลในแกนเอกพบว่ามีย่าน้อยที่สุดที่กระดูกต้นคอข้อที่ 5 คิดเป็น 10.58 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากที่สุดที่กระดูกต้นคอข้อที่ 4 คิดเป็น 24.38 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางของเพดิกัลในแกนโท พบว่ามีค่าน้อยที่สุดที่กระดูกต้นคอข้อที่ 6 คิดเป็น 8.88 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากที่สุดที่กระดูกต้นคอข้อที่ 5 คิดเป็น 30.73 เปอร์เซ็นต์

การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการผ่าตัดยังคงมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นทุกปี โดยในการผ่าตัดใส่สกรูเพื่อยึดตรึงกระดูกต้นคอได้มีการนำเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีมาช่วยศัลยแพทย์ในการหาตำแหน่งและทิศทางที่สกรูเคลื่อนเข้าไปในกระดูก ณ จุดที่ศัลยแพทย์ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ได้มีการศึกษาพบว่าการใส่สกรูเพื่อยึดตรึงกระดูกต้นคอโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีจะเพิ่มความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [1, 2, 3, 4, 5] ลุดวิกและคณะ [6] รายงานว่าในการสกรูเพื่อยึดตรึงกระดูกต้นคอที่บริเวณเพดิกัลโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีจะสามารถใส่สกรูได้ถูกต้อง 82 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อีก 18 เปอร์เซ็นต์พบว่าสกรูออกไปนอกบริเวณเพดิกัล ในขณะที่อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอสามารถเจาะสกรูให้อยู่ในตำแหน่งเพดิกัลของกระดูกต้นคอได้อย่างแม่นยำทุกครั้ง โดยไม่มีครั้งใดที่รูเจาะทะลุออกนอกโมเดลกระดูกที่บริเวณเพดิกัล สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นอุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอสามารถนำมาใช้ทดแทนเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีได้ในกรณีที่โรงพยาบาลไม่สามารถจัดหาเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีมาใช้งานได้ หรือใช้ควบคู่ไปกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแก่คนไข้ได้เช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มความแม่นยำในการตั้งค่าต่างๆ ที่ใช้ในการนำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ให้มากขึ้น เนื่องจากต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 นี้ใช้การตั้งค่าด้วยมือ (Manual) ทำให้มีความลำบากและยุ่งยากในการดำเนินการ
2. ควรหาอุปกรณ์ในการยึดกระดูกให้เหมาะสมกับอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 มากขึ้น โดยอาจต้องทำการปรับปรุงต่อไป
3. ควรเพิ่มความแข็งแรงให้กับอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 มากขึ้น โดยอาจเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์เป็นอลูมิเนียมหรือสแตนเลสทั้งอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความคงทนของอุปกรณ์ได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Bozbuga M., Ozturk A., Ari Z., Sahinoglu K., Bayraktar B., and Cecen A. (2004). Morphometric evaluation of subaxial cervical vertebrae for surgical application of transpedicular screw fixation, *Spine*, vol.29, pp. 1876-1880.
- Hong J.T., Tomoyuki T., Udayakumar R., Espinoza Orias A.A., Inoue N., and An H.S. (2011). Biomechanical comparison of three different types of C7 fixation techniques, *Spine Biomechanics*, vol. 36, pp. 393-398.
- KaraiKovic E.E., Yingsakmongkol W., and Gaines Jr. R.W. (2001). Accuracy of cervical pedicle screw placement using the funnel technique, *Spine*, vol. 26, pp. 2456-2462.
- Karikokovic, Yingsakmongkol, Gaines. (2001). *SPINE* , 26, 2456-2462
- Kamimura M., Ebara S., Itoh H., Tateiwa Y., Kinoshita T., and Takaoka K. (2000). Cervical pedicle screw insertion: Assessment of safety and accuracy with computer-assisted image guidance, *Spinal Disorders*, vol.13, pp. 218-224.
- Kothe R., Ruther W., Schneider E., and Linke B. (2004). Biomechanical analysis of transpedicular screw fixation in the subaxial cervical spine, *Spine*, vol.29, pp. 1869-1875.
- Mahaisavariya, Sitthiseripratip, Tongdee, Bohez, Sloten, Oris. (2002). *Morphological study of the proximal femur: a new method of geometrical assessment using 3-dimensional engineering*, *Medical Engineering & Physics*, 8, 617-622
- Mao G.P., Zhao J.N., Wang Y.R., Li J.S., Chen Y.X., Wu S.J., and Bao N.R. (2005). Design of cervical pedicle locator and three-dimensional location of cervical pedicle, *Spine*, vol.30, pp. 1045-1050.
- Panjabi M.M., Shin E.K., Chen N.C., and Wang J.L. (2000). Internal morphology of human cervical pedicles, *Spine*, vol.25, pp. 1197-1205.
- Simoni A., Gonzo L. and Gottardi M. *Integrated Optical Sensors for 3-D Vision*, Integrated Optical Sensors Group, ITC-IRST, Povo, Trento, Italy.
- Vertebral Column Function. [Online].Available: <http://www.vertebralcolumn.net/>, [2555, กรกฎาคม 12].
- นายแพทย์ ต่อพงษ์ บุญมาประเสริฐ. SPINAL SURGERY. [Online].Available: http://www.med.cmu.ac.th/hospital/nis/download/spine2011/spinal_surgery.pdf, [2555, กรกฎาคม 12].

- นายแพทย์ ทายาท บุรณกาล. Fusion in spinal Surgery. [Online].Available:
<http://www.thaispine.com>, [2555, กรกฎาคม 12].
- พ.ต.อ. พิระชัย ดำรงค์วานิช.โรคปวดหลัง. [Online].Available:
http://thaispine.tripod.com/spi_nonop.html, [2555, กรกฎาคม 12].
- รศ.นพ.วิฑูรย์ พิชัยศักดิ์. การผ่าตัดกระดูกสันหลังกดทับเส้นประสาท. [Online].Available:
<http://www.healthkonthai.com>, [2555, กรกฎาคม 12].

งานวิจัยที่ได้ทำการนำเสนอ

1. Korgiattipong J, Aroonjarattham K, Chanasakulniyom M, Anuchitchanchai P and Aroonjarattham P. The prototype of drill guide for cervical spine C3 to C7. The 28th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT28); 15-17 Oct 2014, Thailand.
2. Aroonjarattham K and Aroonjarattham P. Advanced method for three-dimensional morphometric data of Thai cervical spine. (Prepare to Submit).
3. Aroonjarattham K and Aroonjarattham P. The prototype of cervical drill guide for Thai cervical spine. (In progress)

BME-01

เครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7
สำหรับการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 28
Format and Guidelines of Full Paper for the 28th Conference of the Mechanical
Engineering Network of Thailand

จตุรงค์ ก่อเกียรติพงศ์¹, กิตติ อรุณจรัสธรรม^{2*}, มณีรัตน์ ชนะสกุลนิยม¹, พร้อมพงศ์ อนุชิตชาญชัย² และ
ปัญญา อรุณจรัสธรรม¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 25/25 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา พุทธมณฑล นครปฐม 73170

²ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์และเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ถนนลงหาดบางแสน ชลบุรี 20000

*ติดต่อ: kittaroon@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 0 3839 4850

บทคัดย่อ

การผ่าตัดกระดูกต้นคอจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดและเครื่องมือนำวิถีในการผ่าตัดทำให้การผ่าตัดกระดูกต้นคอถูกจำกัดในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีเครื่องมือพร้อมเท่านั้น โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายวิภาคของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7 ของกลุ่มคนไทยจำนวน 20 ราย เพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกกระดูกต้นคอ จากการออกแบบเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกกระดูกต้นคอด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คและทำการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว จากนั้นทำการทดสอบ โดยทดลองเจาะโมเดลกระดูกต้นคอซึ่งหล่อขึ้นรูปด้วยวัสดุโพลียูรีเทนพบว่าสามารถนำร่องการเจาะกระดูกในตำแหน่งเพดิกัลได้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำการทดลองการเจาะกระดูกกระดูกต้นคอตั้งกล่าวมาตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนในการเจาะกระดูกกระดูกในตำแหน่งกึ่งกลางเพดิกัล ซึ่งผลการตรวจสอบหาค่าความผิดพลาดของการเยื้องศูนย์กลางจากเพดิกัลพบว่าการเจาะกระดูกคลาดเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของเพดิกัลในกระดูกต้นคोन้อยที่สุดคือไม่คลาดเคลื่อนเลย และคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพียง 60.67 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเครื่องต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7 เหมาะจะนำไปช่วยศัลยแพทย์เพื่อใช้ในการผ่าตัดต่อไป

คำหลัก: เพดิกัล, อุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูก, กระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7

Abstract

The cervical spine surgery was required a surgeon who had an experience and navigation devices. For this limitation, the cervical spine surgery had only in the large hospital. This project aims to evaluate the data of the 20 Thai cervical spines C3-C7 to designs the prototype of drill guide for the cervical spine. The prototype of drill guide was designed by the SolidWorks CAD software and was constructed by rapid prototyping technology. The prototype of drill guide was tested by drilling the cervical models, which was casted from polyurethane material. The results were shown 100 percent of drill hole in the pedicle region. The eccentricity between the center of pedicle region and center of drill hole were

BME-01

shown 0 percent of the least deviation and 60.67 percent for the most deviation. The prototype of drill guide for the cervical spine was a useful device to help the surgeon to insert the screw in the pedicle region.

Keywords: Pedicle, Design the Prototype of Drill Guide, Cervical spines C3 to C7

1. บทนำ

กระดูกสันหลังเป็นกระดูกแกนกลางของร่างกาย โดยเชื่อมต่อกันมาจากศีรษะ บริเวณส่วนบนเชื่อมกับกระดูกไหปลาร้าและสะบักเพื่อต่อเนื่องไปยังแขนทั้ง 2 ข้าง ส่วนล่างเชื่อมกับกระดูกเชิงกรานเป็นข้อต่อให้กับสะโพกและกระดูกขาทั้ง 2 ข้าง โดยแกนกลางกระดูกสันหลังของคนปกติจะมีทั้งหมด 33 ชิ้น ซึ่งจำแนกตามตำแหน่งและรูปร่างลักษณะได้แก่ กระดูกส่วนต้นคอ (Cervical vertebrae) มีจำนวน 7 ชิ้น, กระดูกส่วนทรวงอก (Thoracic vertebrae) มีจำนวน 12 ชิ้น, กระดูกส่วนนันทอ (Lumbar vertebrae) มีจำนวน 5 ชิ้น, กระดูกส่วนกระเบนเหน็บ (Sacral vertebrae) มีจำนวน 5 ชิ้นและกระดูกส่วนก้นกบ (Coccyx) มีจำนวน 4 ชิ้น

อาการปวดหลังพบมากมายในปัจจุบันซึ่งมีสาเหตุมาจากการนั่งผิดท่า, การยืนหรือนั่งท่าเดิมมากเกินไป เป็นต้น ซึ่งการรักษาจะเริ่มจากการรักษาโดยไม่ผ่าตัดก่อนเสมอ จนกระทั่งมีสิ่งบ่งชี้ที่ชัดเจน ศัลยแพทย์จึงทำการผ่าตัด เช่น กระดูกสันหลังหักกดทับไขสันหลังซึ่งจำเป็นต้องได้รับการผ่าตัดโดยด่วน เพื่อไม่ให้เกิดภาวะอัมพาต เทคนิคการผ่าตัดที่ถือเป็นหัวใจสำคัญวิธีหนึ่งที่ใช้กันบ่อยมากในการผ่าตัดกระดูกสันหลังคือ การเชื่อมต่อกกระดูกสันหลัง (Spinal fusion) ซึ่งมีการใช้สกรูชนิดโลหะในการผ่าตัดทางกระดูกสันหลัง (Spinal fixation) อยู่บ่อยครั้งเพื่อยึดตรึงกระดูกสันหลังให้แข็งแรง หรือช่วยเพิ่มอัตราการติดของกระดูกสันหลังในแต่ละระดับ สกรูที่ใช้ในการยึดตรึงกระดูกสันหลังเรียกว่าเพดิลลัสกรู (Pedicle screws) การผ่าตัดใส่เพดิลลัสกรูศัลยแพทย์ที่ทำการผ่าตัดจำเป็นต้องมีความรู้และความชำนาญเป็นอย่างมากเนื่องจากการผ่าตัดใส่เพดิลลัสกรูศัลยแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดไม่สามารถมองเห็นได้โดยตรงจากการผ่าตัด

ทำให้มีปัญหาในการใส่เพดิลลัสกรูมาก ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถี (Navigator) มาประกอบการผ่าตัดเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการผ่าตัดใส่เพดิลลัสกรูในกระดูกสันหลังแต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำให้ศัลยแพทย์ต้องใช้เวลาในการผ่าตัดนานขึ้นเพราะมีความซับซ้อนขณะใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นและเพิ่มค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7 เนื่องจากมีรูปทรงของกระดูกที่ใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างจากข้อที่ 1 และข้อที่ 2 จะมีรูปทรงของกระดูกที่แตกต่างออกไปมาก โดยอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอใช้การคำนวณจุดเจาะสกรูจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของผู้ป่วยแต่ละรายล่วงหน้าก่อนการผ่าตัดเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการเจาะสกรูบริเวณเพดิลลัสของกระดูกต้นคอ ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเจาะสกรูได้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีเพื่อเพิ่มความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

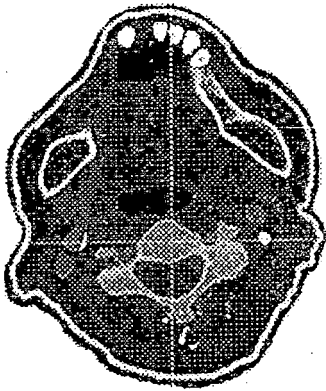
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7 มีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

2.1 การปรับแต่งรูปร่างกระดูกในโปรแกรมไอทีเค-สแนป (ITK SNAP) จากภาพถ่ายซีทีสแกน

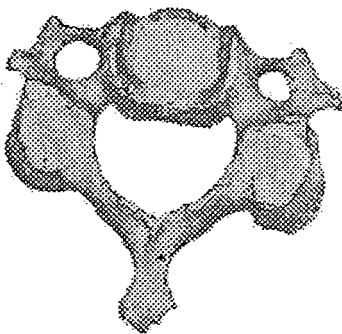
เป็นกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยโดยนำภาพถ่าย 2 มิติจากเครื่องสแกนคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (Computerize Tomography) หรือซีทีสแกนมาเข้าโปรแกรมไอทีเค-สแนปเพื่อทำการปรับแต่งและแยกรูปทรงกระดูกออกจากสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 1

BME-01



รูปที่ 1 แสดงภาพจากสแกนคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (CT Scan)

แบบจำลอง 3 มิติของกระดูกต้นคอที่ถูกสร้างขึ้นมาจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์สเตอริโอลิโธกราฟี (Stereolithography: STL) ดังแสดงในรูปที่ 2

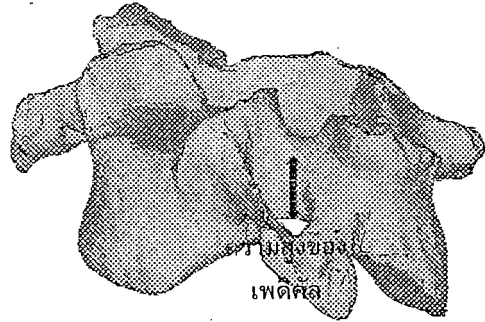


รูปที่ 2 แสดงโมเดลกระดูกต้นคอ 3 มิติของกระดูกต้นคอข้อที่ 3

2.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอ

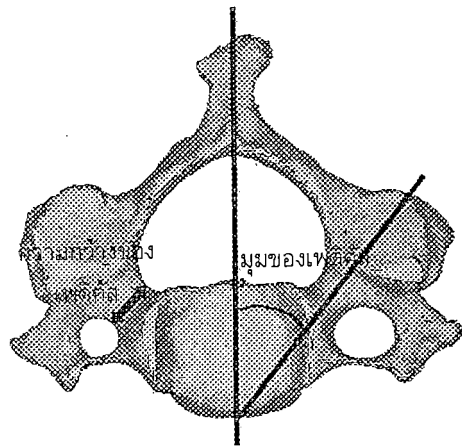
ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเจาะสกรูกระดูกต้นคอ [1-2] ได้แก่

- ความสูงของเพดิกัล (Pedicule Height) จะทำการวัดที่บริเวณคอคอดของเพดิกัลจากด้านบนสุดถึงล่างสุดในจุดที่แคบที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงความสูงของเพดิกัลของกระดูกต้นคอข้อที่ 3

- ความกว้างของเพดิกัล (Pedicule Width) จะทำการวัดความกว้างของเพดิกัลในบริเวณที่แคบที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4
- มุมของเพดิกัลในแนวราบตัดขวาง (The angle of the pedicle on the transverse plane) จะทำการวัดมุมที่อยู่ระหว่างแกนกลางของกระดูกต้นคอกับความยาวของแกนเพดิกัลดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงความกว้างของเพดิกัลและมุมในแนวราบตัดขวางของกระดูกต้นคอข้อที่ 3

ในการวัดค่าพารามิเตอร์ข้างต้นได้ทำการวัดจากผู้ป่วยจำนวน 20 รายรวมเป็นกระดูกต้นคอจำนวน 100 ชิ้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 1

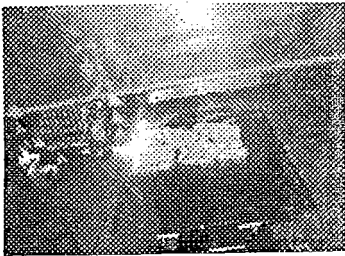
BME-01

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 7

กระดูกต้นคอ	ความสูงของเพดิกัล (มิลลิเมตร)	ความกว้างของเพดิกัล (มิลลิเมตร)	มุมของเพดิกัล (องศา)
ข้อที่ 3	7.72	4.87	47.21
ข้อที่ 4	8.21	4.85	48.95
ข้อที่ 5	7.99	4.87	48.46
ข้อที่ 6	8.32	5.21	38.65
ข้อที่ 7	8.72	6.28	38.76

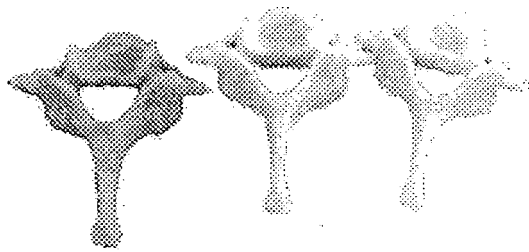
2.3 การขึ้นรูปโมเดลกระดูกต้นคอ

ทำการขึ้นรูปโมเดลกระดูกต้นคอเพื่อนำมาทดสอบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอโดยใช้การขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วโมเดลกระดูกต้นคอ

จากนั้นนำโมเดลต้นแบบมาทำแม่พิมพ์และทำการหล่อโมเดลกระดูกด้วยเรซินเพื่อนำมาทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6 โดยโมเดลสีฟ้าสร้างจากการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วและโมเดลสีครีมสร้างจากการหล่อด้วยเรซิน



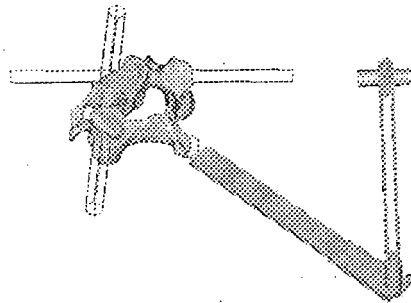
รูปที่ 6 แสดงโมเดลกระดูกต้นคอ

2.4 การออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ

ในการออกแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโซลิดเวิร์ก โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบคือ

- ต้องปรับมุมที่แขนที่ทางออกมาได้เพราะตำแหน่งของเพดิกัลจะมีมุมที่ทางออกจากแนวกลางของกระดูกที่ไม่เท่ากัน
- ต้องปรับมุมก้ม-เงยของท่อนำการเจาะสกรูได้เพราะตำแหน่งของเพดิกัลจะมีมุมก้ม-เงยจากแนวระดับที่ไม่เท่ากัน
- ต้องปรับมุมทางเข้า-ออกของท่อนำการเจาะสกรูได้เพื่อทำการปรับระยะเฉียดสอดคล้องกับตำแหน่งเพดิกัล

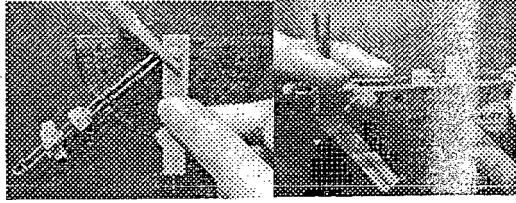
จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบตามเงื่อนไขข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงภาพโมเดลอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอเมื่อวางเทียบกับโมเดลกระดูก

จากนั้นนำโมเดลไปทำการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็ว โดยทำการวัดค่ามุมจากอุปกรณ์เครื่องวงกลมและทำการวัดระยะด้วยไม้บรรทัดดังแสดงในรูปที่ 8

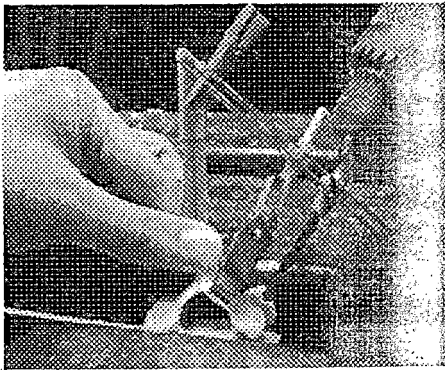
BME-01



(ก) (ข)

รูปที่ 8 แสดงการตั้งค่าอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ: (ก) ตั้งค้ำมุม และ (ข) ตั้งระยะ

นำอุปกรณ์ที่ได้ตั้งค่าแล้วไปทำการเจาะโมเดลกระดูกต้นคอที่ตั้งแสดงในรูปที่ 9 โดยให้ดอกสว่านเจาะตามแนวท่อการนำเจาะสกรู

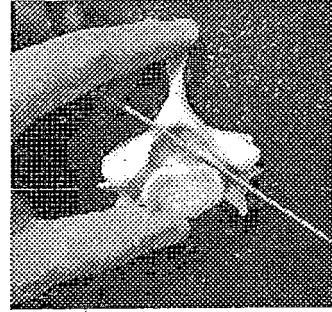


รูปที่ 9 การเจาะรูในแนวเพดิกัลโดยใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอ

3. ผลการทดลอง

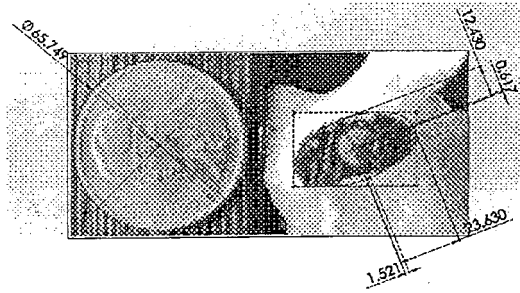
ภายหลังจากใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอทำการเจาะสกรูที่บริเวณเพดิกัล โดยเจาะเข้ากับโมเดลกระดูกที่ขึ้นรูปจากเรซินและทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งรูเจาะกับบริเวณกึ่งกลางของเพดิกัลมีวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้

- ทำการเลื่อยโมเดลกระดูกที่บริเวณเพดิกัลที่ตั้งแสดงในรูปที่ 10 เพื่อดูตำแหน่งรูเจาะภายหลังจากเข้าไปในส่วนเพดิกัลของกระดูกต้นคอ



รูปที่ 10 ทำการเลื่อยโมเดลกระดูกบริเวณเพดิกัลภายหลังจากการเจาะด้วยสว่าน

- ทำการวัดขนาดของเพดิกัลโมเดลกระดูกแต่ละชิ้นด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์กเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ตั้งแสดงในรูปที่ 11 พบว่าบริเวณเพดิกัลมีลักษณะพื้นที่เป็นรูปวงรีจึงได้ทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนเอกและแนวแกนโทของวงรี



รูปที่ 11 แสดงขนาดของเพดิกัลเทียบกับเหรียญ 25 สตางค์ โดยวัดจากแกนเอกและแกนโทของพื้นที่เพดิกัล

ตัวอย่างการคำนวณขนาดของรูเจาะที่บริเวณเพดิกัลของกระดูกต้นคอข้อที่ 3 โดยคิดค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนเอกและแนวแกนโทของพื้นที่วงรีเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

- แนวแกนเอกของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$(1.521 \cdot 100) / 23.63 = 6.44\%$$

BME-01

- แนวแกนโทของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$(0.617 \times 100) / 12.43 = 4.96 \%$$

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของการใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3 ในแนวแกนเอกของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 6.44% จากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเพดิกัล และในแนวแกนโทของเพดิกัลมีค่าความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 4.96% จากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเพดิกัล เมื่อทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของกระดูกต้นคอครบทุกข้อกระดูกนำมาแสดงได้ดังตารางที่ 2 สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนเอกและตารางที่ 3 สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกนโท

ตารางที่ 2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะภายหลังจากใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอในแนวแกนเอกของเพดิกัล

จำนวนชิ้นงาน	ค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะ (%)				
	ข้อที่3	ข้อที่4	ข้อที่5	ข้อที่6	ข้อที่7
1	26.91	48.48	5.85	22.37	12.2
2	26.74	1.14	26.34	3.09	23.34
3	6.44	25.54	7.32	5.28	9.19
4	14.17	22.34	2.8	25.13	12.21
เฉลี่ย	18.57	24.38	10.58	13.97	15.49

ตารางที่ 3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะภายหลังจากใช้อุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอในแนวแกนโทของเพดิกัล

จำนวนชิ้นงาน	ค่าความคลาดเคลื่อนของรูเจาะ (%)				
	ข้อที่3	ข้อที่4	ข้อที่5	ข้อที่6	ข้อที่7
1	18.77	0	1.56	10.99	33.55
2	34.54	4.05	60.67	14.8	0.26
3	4.96	26.04	17.14	4.64	6.36
4	47.97	43.21	43.55	5.08	6.29
เฉลี่ย	26.56	18.33	30.73	8.89	10.62

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการผ่าตัดมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นทุกปี โดยในการผ่าตัดใส่สกรูเพื่อยึดตรึงกระดูกต้นคอได้มีการนำเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีมาช่วยศัลยแพทย์ในการหาตำแหน่งและทิศทางที่สกรูเคลื่อนเข้าไปภายในกระดูก ณ จุดที่ศัลยแพทย์ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า จากการศึกษพบว่าการใช้สกรูเพื่อยึดตรึงกระดูกต้นคอโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีจะเพิ่มความปลอดภัยในการผ่าตัดมากยิ่งขึ้น [3-7] ลุดวิกและคณะ [8] ได้ทำการศึกษาและพบว่าในการสกรูเพื่อยึดตรึงกระดูกต้นคอที่บริเวณเพดิกัลโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีจะสามารถใส่สกรูได้ถูกต้องตามตำแหน่งถึง 82 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อีก 18 เปอร์เซ็นต์พบว่าสกรูเบนออกไปนอกบริเวณเพดิกัล ในขณะที่อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอสามารถเจาะสกรูให้อยู่ในตำแหน่งเพดิกัลของกระดูกต้นคอได้อย่างแม่นยำทุกครั้ง โดยไม่มีครั้งใดที่รูเจาะทะลุออกนอกโมเดลกระดูกที่บริเวณเพดิกัล สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

อุปกรณ์ต้นแบบนำร่องการเจาะสกรูที่กระดูกต้นคอสามารถนำมาใช้ทดแทนเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีได้ในกรณีที่โรงพยาบาลไม่สามารถจัดหาเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีมาใช้งานหรือใช้ควบคู่ไปกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำวิถีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแก่คนไข้ได้เช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มความแม่นยำในการตั้งค่าต่างๆ ที่ใช้ในการนำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 ให้มากขึ้น เนื่องจากต้นแบบอุปกรณ์นำร่องการเจาะสกรูกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 นี้ใช้การตั้งค่าด้วยมือ (Manual) ทำให้มีความลำบากและยุ่งยากในการดำเนินการ
2. ควรเพิ่มความแข็งแรงให้กับอุปกรณ์นำร่องการเจาะกระดูกต้นคอข้อที่ 3-7 มากขึ้น โดยอาจเปลี่ยนไป

BME-01

ใช้วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์เป็นอลูมิเนียมหรือสแตนเลสทั้งชิ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความคงทนของอุปกรณ์ได้มากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณนายสมิทธิ ศิริวรรณานันท์, นายณัฐวุฒิ ริกช้อน และนายดุสิต จันทวีชรากร ที่ช่วยเก็บข้อมูลการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bozbuga, M., Ozturk, A., Ari, Z., Sahinoglu, K., Bayraktar, B. and Cecen, A. (2004) Morphometric evaluation of subaxial cervical vertebrae for surgical application of transpedicular screw fixation. *Spine*, vol. 19, pp. 1876-1880.
- [2] Banerjee, P.S., Roychoudhury, A. and Karmakar, S.K. (2012) Morphometric analysis of the cervical spine of Indian population by using computerized tomography. *J. Med Allied Sci*, pp. 66-76.
- [3] Liu, Y.J., Tian, W., Liu, B., Li, Q., Hu, L., Li, Z.Y., Yuan, Q., Xing, Y.G., Wang, Y.Q. and Sun, Y.Z. (2005) Accuracy of CT-based navigation of pedicle screws implantation in the cervical spine compared with X-ray fluoroscopy technique. *Chin J Surg*, vol. 43, pp. 1328-1330.
- [4] Ludwig, S.C., Kramer, D.L., Balderston, R.A., Vaccaro, A.R., Foley, K.F. and Albert, T.J. (2000) Placement of pedicle screws in the human cadaveric cervical spine: comparative accuracy of three techniques. *Spine*, vol. 25, pp. 1655-1667.
- [5] Richter, M., Amiot, L.P., Neller, S., Kluger, P. and Puhl, W. (2000) Computer assisted surgery in posterior instrumentation of the cervical spine: an in vitro feasibility study. *Eur Spine L (suppl 1)*, vol. 9, pp. S65-S70.

[6] Richter, M., Cakir, B. and Schmidt R. (2005) Cervical pedicle screws: conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws. *Spine*, vol. 30, pp. 2280-2287.

[7] Tian, W., Liu, Y.J., Liu B., Li, Q., Hu, L., Li, Z.Y. and Yuan, Q. (2006) Clinical contrast of cervical pedicle screw fixation assisted by C-arm fluoroscopy or 3D navigation system. *Clin J Surg*, vol. 44, pp. 1399-1402.

[8] Ludwig, S.C., Kowalski, J.M., Edwards, C.C. and Heller, J.G. (2000) Cervical pedicle screws: comparative accuracy of two insertion techniques. *Spine*, vol. 25, pp. 2675-2681.