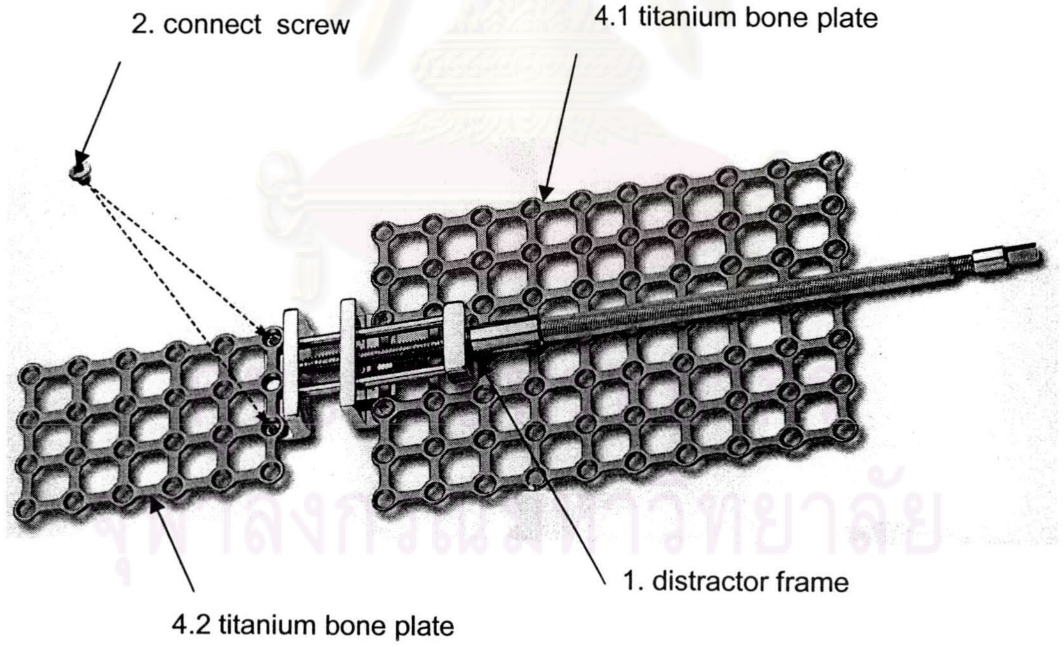
บทที่ 4

การออกแบบ

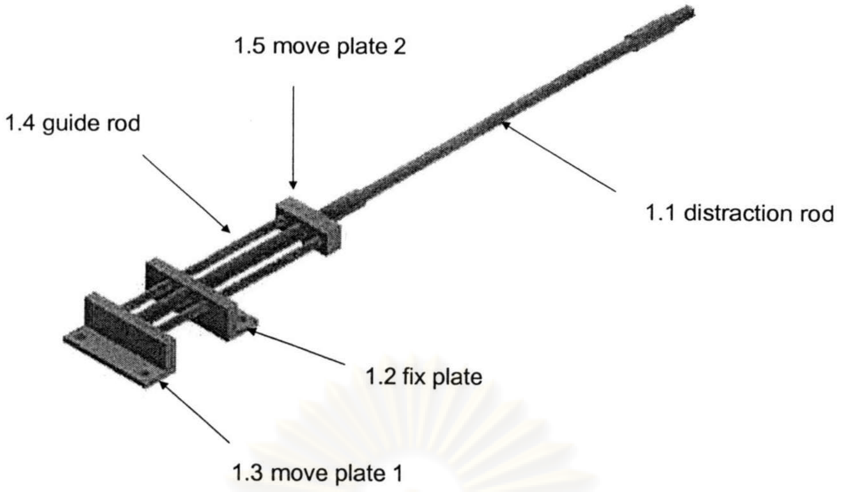
4.1 แนวความคิดการออกแบบ

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการยืดกระดูก (distractor) สำหรับกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface) และกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone) ให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเดิม

ดังนั้นในการออกแบบนี้จะทำการศึกษาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการยืดกระดูก (distractor) ที่มีชื่อเรียกว่า Modular Internal Distraction (MID) system ซึ่งเป็นอุปกรณ์ยืดกระดูกที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีลักษณะเป็นอุปกรณ์ที่วางอยู่ใต้ชั้นผิวหนัง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ยืดกระดูกนี้ให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเดิม



รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์ยืดกระดูก Modular Internal Distraction (MID) system [6]

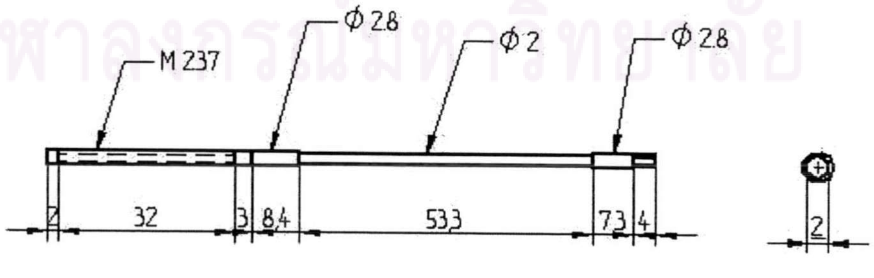


รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของ distractor frame

4.1.1 **ส่วนประกอบของ** MID System

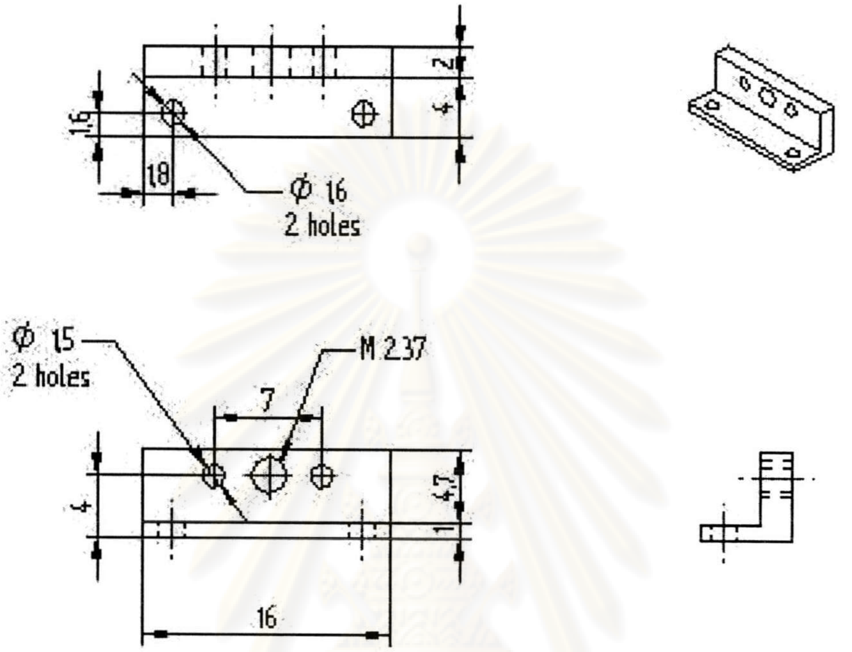
1. distractor frame มีขนาดในการยืดกระดูก 15 mm และ 30 mm ทำจาก stainless steel ซึ่งประกอบไปด้วย

1.1 distraction rod จะมีลักษณะเป็นเพลากลมประกอบด้วยแท่งเกลียวซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวพิเศษ ช่วงเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.37 mm และมีระยะหลีดเท่ากับ 0.5 mm เพื่อทำการยืดกระดูกให้ได้ระยะที่ต้องการ



รูปที่ 4.3 distraction rod

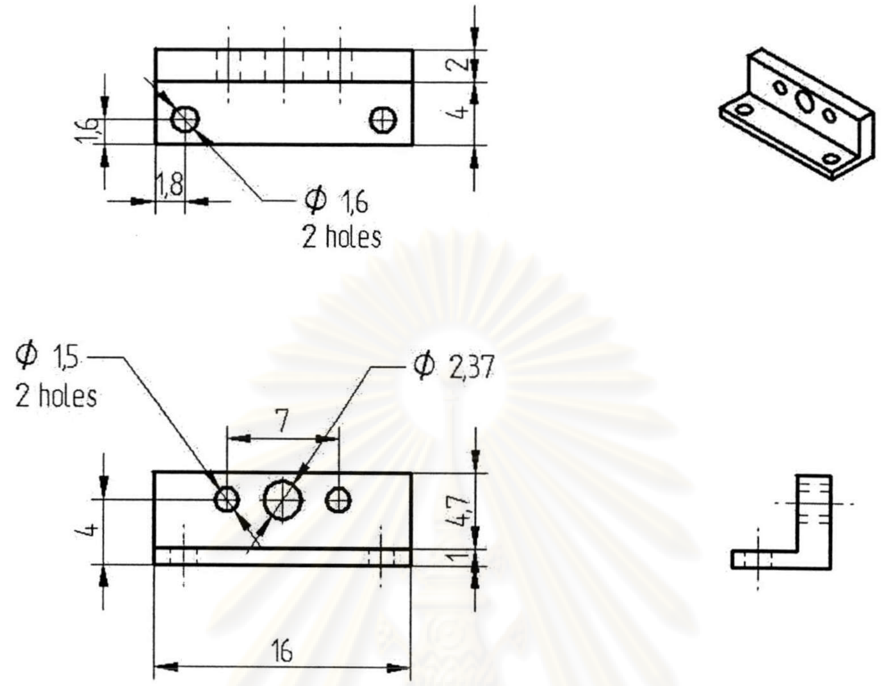
1.2 fix plate จะเป็นส่วนที่ไปยึดติดกับกระดูกในส่วนที่อยู่นิ่ง โดยจะไปยึดติดกับ titanium bone plate โดย connect screw แล้ว titanium bone plate นี้ก็จะไปยึดติดกับกระดูกโดย bone screw โดยที่ตัว fix plate นี้จะไม่ได้ยึดติดกับกระดูกโดยตรง



รูปที่ 4.4 fix plate

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

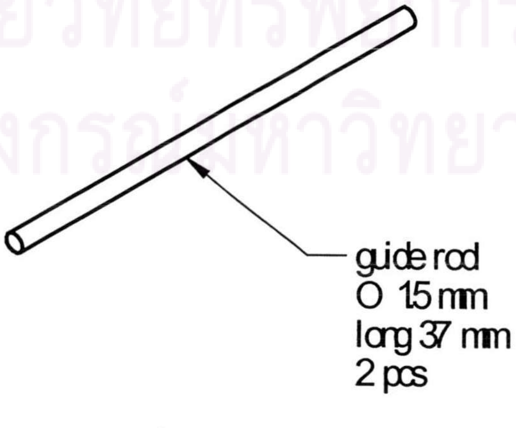
1.3 move plate 1 จะยึดติดกับ titanium bone plate โดยใช้ connect screw ซึ่ง move plate นี้จะไม่ได้ยึดติดกับกระดูก



รูปที่ 4.5 move plate 1

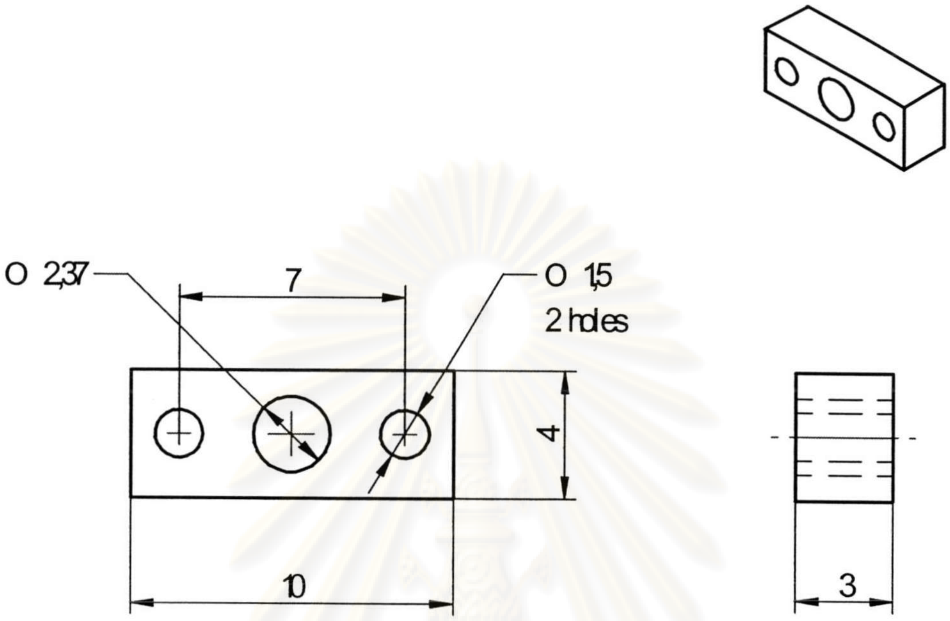
1.4 guide rod จะมีลักษณะเป็นแท่งเพลากลม ทำหน้าที่ประคอง distraction rod ให้เคลื่อนที่ไปได้ในทิศทางที่ต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 guide rod

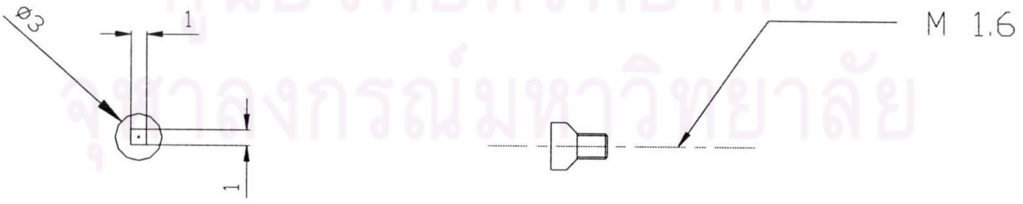
1.5 move plate 2 จะไปยึดติดกับปลายของ guide rod เพื่อจำกัดระยะทางในการยืดกระดูก



รูปที่ 4.7 move plate 2

2. connect screw ใช้ยึด distractor frame เข้ากับ titanium bone plate ทำจาก titanium alloy มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 connect screw

3. bone screw ใช้ยึด titanium bone plate เข้ากับกระดูก ทำจาก titanium alloy มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 mm

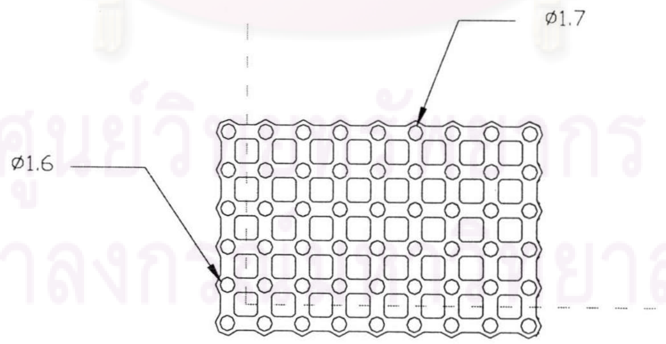
รูปที่ 4.9 bone screw

4. titanium bone plate ทำจาก titanium จะมี 2 ส่วน คือ

4.1 ส่วนที่ยึดกับ fix plate โดยที่ส่วนนี้จะไปยึดกับกระดูกในส่วนที่อยู่กับที่ โดยใช้ bone screw

4.2 ส่วนที่ยึดกับ move plate โดยที่ส่วนนี้จะไปยึดกับกระดูกในส่วนที่ต้องการเลื่อนระยะ distraction ออกไป โดยใช้ bone screw

โดยที่ขนาดของ plate จะมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับ ลักษณะการนำไปใช้งาน ซึ่งจะไปยึดกับกระดูกโดยใช้ bone screw



รูปที่ 4.10 titanium bone plate

5. activation key จะทำหน้าที่หมุน distraction rod เพื่อทำการ distraction ให้ได้ระยะที่ต้องการ

4.1.2 วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์

เนื่องจากอุปกรณ์มีลักษณะเป็นอุปกรณ์ที่วางอยู่ใต้ชั้นผิวหนัง (internal device) ทำให้วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติเป็นวัสดุ biomaterial เพื่อให้สามารถใช้ได้ภายใต้ข้อจำกัดที่ต้องใส่เข้าไปภายในร่างกาย ซึ่งจะถูกปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อและกล้ามเนื้อ

วัสดุ biomaterial ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ stainless steel 316L, titanium และ titanium alloy[1] เนื่องจากมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

ส่วนประกอบของ Modular Internal Distraction (MID) system จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่ทำจากวัสดุต่างๆดังนี้

- distractor frame ทำจาก stainless steel 316L
- connect screw ทำจาก titanium alloy
- bone screw ทำจาก titanium alloy
- titanium bone plate ทำจาก titanium

4.2 เกณฑ์ในการออกแบบ

จากวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ที่จะทำการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ยึดกระดูกให้สามารถใช้ยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลางอย่างเดียว (midface advancement) หรือยึดกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้าอย่างเดียว (frontoorbital advancement) หรือยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลางและกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้าไปพร้อมๆกัน (frontofacial advancement)

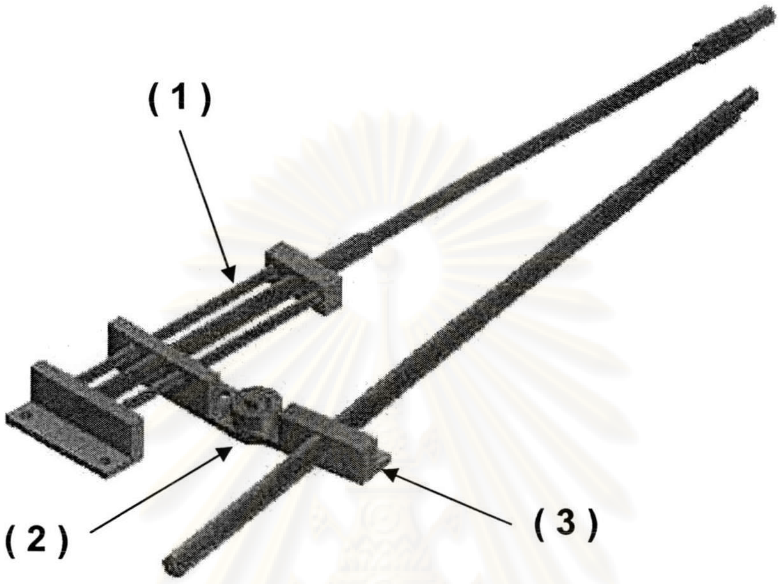
ทำให้อุปกรณ์ยึดกระดูกนี้ จะประกอบไปด้วย ชุดของอุปกรณ์ยึดกระดูกจำนวน 2 ชุด เพื่อทำการยึดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลางและกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้า โดยที่จะมีกลไกเชื่อมต่อระหว่างชุดอุปกรณ์ยึดกระดูก 2 ชุดนี้ เพื่อให้สามารถทำการยึดกระดูกได้พร้อมกันในอุปกรณ์ชุดเดียวกัน

---

[1] คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแสดงในภาคผนวก ก

4.3 รูปแบบของอุปกรณ์

แนวความคิดที่ 1



รูปที่ 4.11 แนวความคิดที่ 1

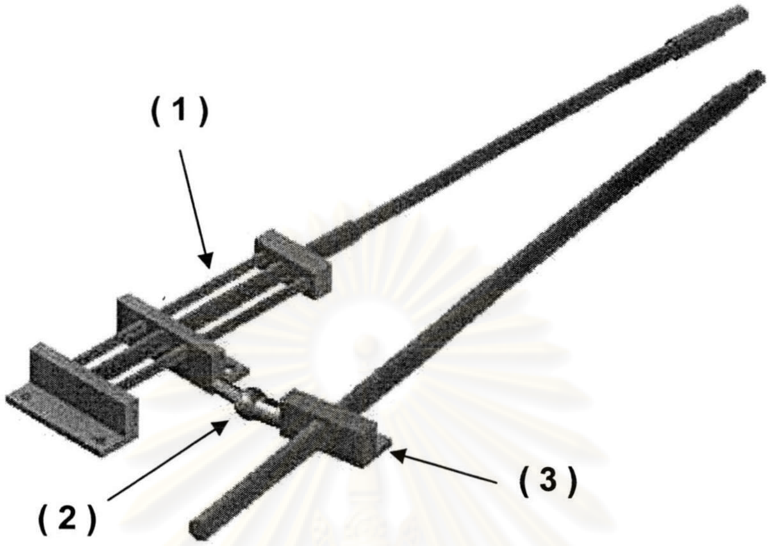
ส่วนประกอบ

1. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone)
2. จุดเชื่อมต่อ มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถทำการยึดกระดูกได้พร้อมกันในอุปกรณ์ชุดเดียวกัน มีลักษณะเป็นจุดหมุนเพื่อทำการปรับทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2
3. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface)

ข้อดี ง่ายและสะดวกในการใช้

ข้อเสีย สามารถปรับทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ได้เพียงระนาบเดียว
มีความยืดหยุ่นในการใช้งานต่ำ

แนวความคิดที่ 2



รูปที่ 4.12 แนวความคิดที่ 2

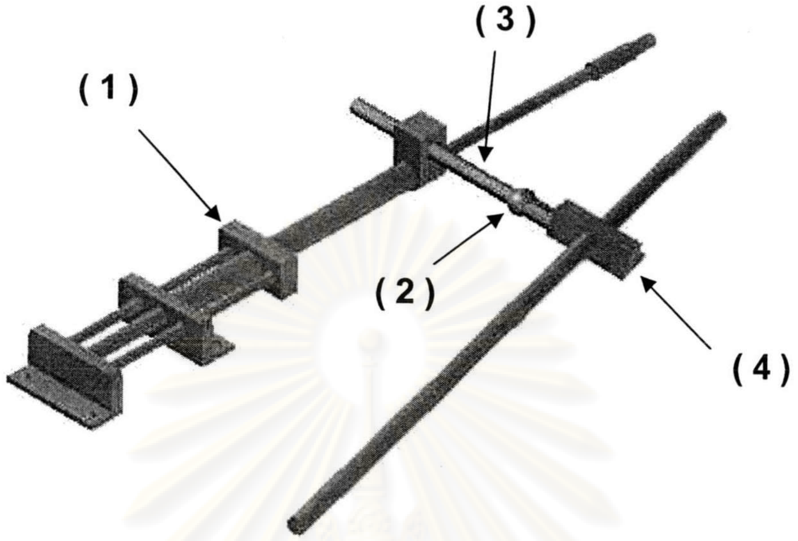
ส่วนประกอบ

1. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone)
2. จุดเชื่อมต่อ มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับ อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถทำการยึดกระดูกได้พร้อมกันในอุปกรณ์ชุดเดียวกัน มีลักษณะเป็นกลไกเชื่อมต่อแบบ ball joint เพื่อทำการปรับทิศทางและตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2
3. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface)

ข้อดี มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเพิ่มขึ้น
สามารถปรับทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ได้ใน 3 ระนาบ

ข้อเสีย ยังมีข้อจำกัดในการจัดวางอุปกรณ์

แนวความคิดที่ 3



รูปที่ 4.13 แนวความคิดที่ 3

ส่วนประกอบ

1. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone)
2. จุดเชื่อมต่อ มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถทำการยึดกระดูกได้พร้อมกันในอุปกรณ์ชุดเดียวกัน มีลักษณะเป็นกลไกเชื่อมต่อแบบ ball joint เพื่อทำการปรับทิศทางและตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2
3. ก้านต่อโยง มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เพื่อทำการปรับตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2
4. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface)

ข้อดี สามารถปรับทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ได้ใน 3 ระนาบ
มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเพิ่มขึ้น

ข้อเสีย มีบางส่วนโผล่ออกมาด้านนอกผิวหนังศีรษะ

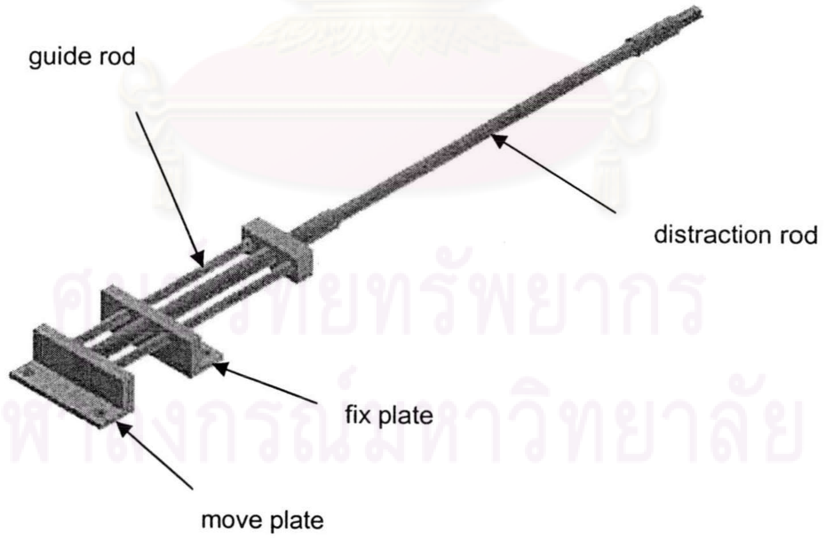
4.4 **การเลือกรูปแบบของอุปกรณ์** (Concept Selection)

จากเกณฑ์ในการออกแบบที่อุปกรณ์ยืดกระดูก (distractor) นี้จะประกอบไปด้วยชุดของอุปกรณ์ยืดกระดูกจำนวน 2 ชุด เพื่อทำการยืดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลางและกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้า โดยที่จะมีกลไกเชื่อมต่อระหว่างชุดอุปกรณ์ยืดกระดูก 2 ชุดนี้ เพื่อให้สามารถทำการยืดกระดูกได้พร้อมกันในอุปกรณ์ชุดเดียวกัน และจากข้อจำกัดในการจัดวางอุปกรณ์ ทำให้ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้รูปแบบของแนวความคิดที่ 3 เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ยืดกระดูกนี้ต่อไป

4.5 ขั้นตอนการออกแบบรายละเอียด

4.5.1 ขั้นตอนที่ 1

ศึกษาองค์ประกอบของ Modular Internal Distraction (MID) system ซึ่งเป็นอุปกรณ์ยืดกระดูกที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 4.14 Modular Internal Distraction (MID) system

อุปกรณ์ยืดกระดูก (distraction devices) ที่ใช้ยึดติดกับกะโหลกศีรษะ เพื่อใช้ในการยืดกระดูกนั้นจะมีลักษณะเป็น สกรูส่งกำลัง (power screw) เพราะจะใช้เปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อน เพื่อทำการยืดขยายระยะในการยืดกระดูก

การศึกษาลักษณะของสกรูส่งกำลังและเกลียว

ในการศึกษาจะพิจารณาถึง

- ระยะหลีด (lead) เป็นระยะทางที่ได้ขณะที่สกรูหมุนไปหนึ่งรอบ (360 องศา)
- ระยะพิตช์ (pitch)
- มุมฮีลิกซ์ หรือ มุมหลีด (helix or lead angle)

นั่นคือจากการที่เราจะทำการยืดกระดูก 0.5 ม.ม. 2 ครั้งต่อวัน ทำให้ในการพิจารณาเกลียวของสกรูส่งกำลัง จะกำหนดโดยให้การที่หมุนสกรูส่งกำลังไป 1 รอบ (360 องศา) จะเป็นการกำหนดให้ระยะหลีด หรือระยะยืดกระดูกที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.5 ม.ม. โดยจะมีความสัมพันธ์กับระยะพิตช์และมุมฮีลิกซ์ด้วย

โดยในการพิจารณาเกลียวของสกรูส่งกำลัง จะให้เกลียวมีลักษณะของการล็อคด้วยตัวเอง (self locking) เพื่อไม่ให้สกรูเคลื่อนที่ย้อนกลับ

ในการพิจารณาแท่นรองรับ เนื่องจากต้องอยู่ภายใต้ผิวหนัง จึงทำให้ต้องมีขนาดเล็กและรูปร่างโค้งมน เพื่อที่จะไม่ไปทำให้ผิวหนังเกิดอาการตึง หรือเกิดบาดแผลขึ้น

การพิจารณาสกรูที่ใช้ในการยึด จะต้องให้มีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอที่จะใช้ในการยึด titanium bone plate เข้ากับกระดูก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของ MID System

Distraction rod

จะมีลักษณะเป็นสกรูส่งกำลัง (power screw) เนื่องจากจะใช้เปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อน เพื่อทำการยืดขยายระยะ distraction ในการยืดกระดูก

สมการของสกรูส่งกำลัง

โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักขึ้น [12]

$$T = W\frac{d_m}{2}\frac{f\pi d_m + L\cos\alpha_n}{\pi d_m\cos\alpha_n - fL} + W\frac{f_c d_c}{2} \qquad (4.1)$$

T	=	โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักขึ้นหรือลง
W	=	น้ำหนักหรือภาระที่ต้องการจะยกขึ้นหรือลง
d_m	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรูส่งกำลัง
f	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของเกลียวและแป้นเกลียว
L	=	ระยะหลีด
α_n	=	thread angle
f_c	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างสกรูกับบ่ารองรับ
d_c	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของบ่ารองรับ

โดยที่ T = 49.7 N.cm จากเอกสารอ้างอิง [5]

W = 7 – 9 kg จากเอกสารอ้างอิง [11]

ซึ่งเราจะให้มีค่าเท่ากับ 100 N

d_m = 2.36 mm

L = 0.5 mm

$f \approx f_c \approx 0.7$

α_n มีค่าน้อยๆ ทำให้ $\cos\alpha_n \approx 1$

$d_c \approx 2.36$ mm

จากสมการของสกรูส่งกำลัง ถ้าเรากำหนดให้

W = 100 N จะได้ T = 177.64 N.mm

T = 49.7 N.cm จะได้ W = 279.77 N

นั่นคือ เมื่อใช้ โมเมนต์บิดเท่ากับ 49.7 N.cm เพื่อทำการไข distraction rod ให้ยืดขยายระยะออกไปก็จะสามารถเอาชนะแรงจากเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ของผิวหนังที่มาต้านไว้ได้ (W) นั่นคือ distractor frame สามารถทำการ distraction ออกไปได้ตามที่ต้องการ

และจะพบว่าโมเมนต์บิดที่ใช้ในการเอาชนะแรงจากเนื้อเยื่ออ่อน (W) มีค่าเท่ากับ 177.64 N.mm ซึ่งจากการที่ใช้โมเมนต์บิดในการไข distraction rod มีค่าเท่ากับ 49.7 N.cm นั่นคือจะมีการใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ

$$N = \frac{497}{177.64} = 2.8 \qquad (4.2)$$

มุมหลีด (lead angle)

คือ มุมระหว่างระนาบที่สัมผัสกับความเอียงของเกลียวและระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของสกรู [13] ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\tan\alpha = \frac{L}{\pi . d_m} \qquad (4.3)$$

$$= \frac{0.5}{\pi \times 2.36} = 0.0674$$

จะได้ $\alpha = 3.86^\circ$

การล็อคด้วยตนเอง (Self-Locking)

คือหลังจากยกน้ำหนักขึ้นแล้วสกรูจะล็อคตัวเองมิให้น้ำหนักเคลื่อนที่ลงมา

จาก สมการการล็อคด้วยตนเอง [12]

$$f \geq \frac{L\cos\alpha_n}{\pi d_m} \qquad (4.4)$$

จะได้ $$0.7 \geq \frac{0.5 \times 1}{\pi \times 2.36}$$

$$0.7 \geq 0.07$$

นั่นคือ สกรูจะมีลักษณะของ การล็อคด้วยตนเอง (Self-Locking) เพื่อไม่ให้สกรูเคลื่อนที่ย้อนกลับลงมาหลังจากที่ทำการยืดขยายระยะออกไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การโก่งงอ (Buckling)

จากอัตราส่วนความเพรียว (slenderness ratio) $\frac{L_e}{k}$

โดยที่ L_e = ความยาวสมมูล (equivalent length)

$$k = \left(\frac{I}{A}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ รัศมีไจเรชั่น} \qquad (4.5)$$

$$= \frac{d}{4} \text{ สำหรับหน้าตัดทรงกลม} \qquad (4.6)$$

$$= \frac{2.35}{4} = 0.5875$$

L_e จะขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่

ปลายยึดแบบธรรมดา	L_e	=	L'
ปลายยึดแบบธรรมดา-ยึดแน่น	L_e	=	$0.707L'$
ปลายยึดแน่นสองข้าง	L_e	=	$\frac{L'}{2}$
โดยที่	L'	=	30 mm

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับอัตราส่วนความเพรียว

	L'	$0.707L'$	$\frac{L'}{2}$
L_e	30	21.21	15
$\frac{L_e}{k}$	51.1	36.1	25.5

โดยที่ $\frac{L_e}{k} < 40$ จะเป็น สกรูสั้น

$40 < \frac{L_e}{k} < 110$ จะเป็น สกรูความยาวปานกลาง

พิจารณากรณีสกรูสั้น

จากสมการความเค้นกดของสกรูสั้น [13]

$$\sigma_d = \frac{W}{A_r} \qquad (4.7)$$

วัสดุที่ใช้เป็น stainless steel 316L σ_y = 220 MPa E = 200 GPa

ใช้ ค่าความปลอดภัย (N) = 2.8

จะได้

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{220}{2.8} = 78.6MPa \qquad (4.8)$$

แทนค่าเข้าไปในสมการ (4.7) จะได้

$$78.6 = \frac{W}{\frac{\pi(2.35)^2}{4}}$$

$$W = 341 \text{ N}$$

นั่นคือ สกรูสามารถรับแรงได้ถึง 341 N ซึ่งแรงที่มากระทำจริงมีค่าเท่ากับ 100 N สกรูสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดการโก่งงอ

พิจารณากรณีสกรูความยาวปานกลาง

$$\frac{L_e}{k} = 51.1$$

จากสมการความเค้นกดของสกรูความยาวปานกลาง [13]

$$W = \frac{A_r\sigma_y}{N}\left[1 - \frac{\sigma_y\left(\frac{L_e}{k}\right)^2}{4\pi^2 E}\right] \qquad (4.9)$$

$$= 341 \ (1 - 0.0728)$$

$$= 316 \text{ N}$$

นั่นคือ สกรูสามารถรับแรงได้ถึง 316 N ซึ่งแรงที่มากระทำจริงมีค่าเท่ากับ 100 N สกรูสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดการโก่งงอ

ความเค้นรวม

สกรูส่งกำลังอยู่ภายใต้แรงกดแล้วก็ยังมีความเค้นเฉือนอันเนื่องมาจากการบิดของสกรูอีกด้วย

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด [13]

$$\tau_d = \left[\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (4.10)$$

ความเค้นกด

$$\sigma = \frac{W}{A_r} \qquad (4.11)$$

$$= \frac{100}{\frac{\pi(2.35)^2}{4}}$$

$$= 23.06 \quad N/mm^2$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} \qquad (4.12)$$

$$= \frac{16 \times 178}{\pi(2.35)^3}$$

$$= 69.85 \quad N/mm^2$$

จากสมการความเค้นเฉือนสูงสุด (4.10) จะได้

$$\tau_d = \left[\left(\frac{23.06}{2}\right)^2 + (69.85)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 70.8 \quad N/mm^2$$

โดยที่ ความเค้นสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในสกรู

$$\tau_y = 0.6\sigma_y \qquad (4.13)$$

$$= 0.6\,(220)$$

$$= 132 \quad MPa$$

ความเค้นรวมที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 70.8 N/mm^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเค้นสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในสกรู

นั่นคือ สกรู สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Bone Screw

ทำจาก Titanium Alloy มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 mm กำหนดให้มีแต่แรงเฉือนมากระทำกับสกรู ทำให้เกิดความเค้นเฉือนขึ้นภายในลำตัวสกรู

จากสมการความเค้นเฉือน $$\tau = \frac{F}{A} \tag{4.14}$$

$$= \frac{100}{\frac{\pi(1.65)^2}{4}}$$

$$= 46.77 \quad N/mm^2$$

มี bone screw ข้างละ 2 ตัว นั่นคือ สกรูแต่ละตัวจะรับความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับ 23.38 N/mm^2

โดยที่ ความเค้นสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในสกรู

$$\tau_y = 0.6\sigma_y \tag{4.15}$$

$$= 0.6\,(800)$$

$$= 480 \quad MPa$$

ใช้ ค่าความปลอดภัย (N) เท่ากับ 2.8 จะได้

$$\tau_y = \frac{480}{2.8} = 171 MPa$$

จะพบว่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในสกรูมีค่าน้อยกว่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ นั่นคือ สามารถใช้สกรูได้อย่างปลอดภัย

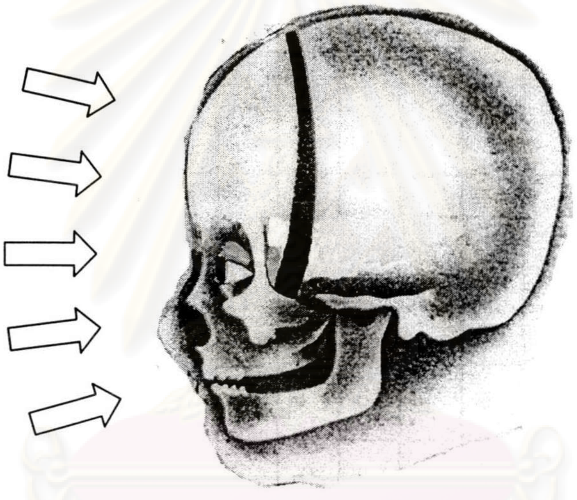
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2 ขั้นตอนที่ 2

ศึกษาถึงการขยายระยะให้ได้ตามที่ต้องการ โดยพิจารณาถึง

1. ความถี่ในการยืดกระดูก (rhythm of distraction) โดยในปัจจุบันอัตราที่นิยมกันคือ 0.5 ม.ม. 2 ครั้งต่อวัน เพื่อให้ได้ระยะทาง 1 ม.ม.ต่อวัน [3]

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ยืดกระดูก อันได้แก่ แรงจากเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ของผิวหนัง ซึ่งจะเป็นแรงที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ยืดกระดูก มีค่าเท่ากับ 7 – 9 kg ขึ้นอยู่กับระยะทางในการยืดกระดูก [11]



รูปที่ 4.15 แรงจากเนื้อเยื่ออ่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 **ขั้นตอนที่** 3

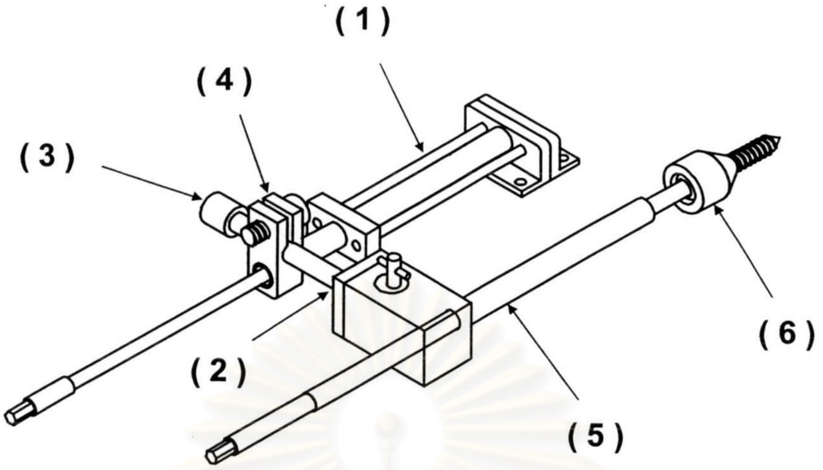
ออกแบบกลไกที่ใช้ในการยึดกระดูก

จากรูปแบบของอุปกรณ์ต่างๆที่ได้สร้างสรรค์ออกมา (Concept Design) และการเลือกรูปแบบของอุปกรณ์ (Concept Selection) ที่ได้ทำการเลือกรูปแบบของอุปกรณ์ในแนวความคิดที่ 3 ทำให้ได้แนวทางในรูปแบบของอุปกรณ์ขั้นสุดท้ายที่จะได้ทำการออกแบบในส่วนของรายละเอียดต่อไป (detail design)

โดยกลไกที่ใช้ในการยึดกระดูกนี้ จะทำการศึกษาและออกแบบรูปแบบของกลไก จากข้อจำกัดต่างๆในการจัดวาง และความต้องการในการยึดกระดูก อันได้แก่

- รูปแบบของกลไก จะต้องสามารถทำการยึดขยายระยะได้ทั้งในส่วนของบริเวณกะโหลกศีรษะส่วนหน้าและบริเวณใบหน้าส่วนกลาง โดยจะมีสกรูส่งกำลังจำนวน 2 ชุด เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนการหมุนให้เป็นการเลื่อน เพื่อทำการยึดกระดูกบริเวณกะโหลกศีรษะส่วนหน้าและบริเวณใบหน้าส่วนกลาง
- ขนาดและทิศทางในการยึดกระดูก
- การที่ต้องเลาะเข้าไปบริเวณหลังต่อกระดูกโหนกแก้ม ทำให้มีการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อสำคัญ อันเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบรูปแบบของกลไกนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 รูปแบบของอุปกรณ์ยึดกระดูก

ส่วนประกอบ

1. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone)

2. จุดเชื่อมต่อ มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถทำการยึดกระดูกได้พร้อมกันในอุปกรณ์ชุดเดียวกัน มีลักษณะเป็นกลไกเชื่อมต่อแบบ ball joint เพื่อทำการปรับทิศทางและตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้วก็จะทำการล็อคโดยอาศัยกลไกของเพลาลูกเบี้ยวยึดให้แน่น

3. ก้านต่อโยง มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เพื่อทำการปรับตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้วก็จะทำการล็อคโดยอาศัย ชุดล็อคซีแคลมป์

4. ชุดล็อคซีแคลมป์ ทำหน้าที่ยึดตำแหน่งของก้านต่อโยงที่จะไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2

5. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 มีหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface)

6. ที่ยึดกระดูก ทำหน้าที่ไปยึดกับกระดูก เพื่อทำการยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface) ให้ยึดขยายระยะออกไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.4 **ขั้นตอนที่** 4

การจัดวางอุปกรณ์ยึดกระดูก

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในการติดตั้งอุปกรณ์ยึดกระดูกแบบภายในคือ ข้อจำกัดในการจัดวางอุปกรณ์ โดยจำเป็นต้องมีการเลาะเข้าไปบริเวณหลังต่อกระดูกโหนกแก้ม ทำให้มีการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อสำคัญ ทำให้เมื่อต้องการที่จะติดตั้งอุปกรณ์ยึดกระดูกในบริเวณที่ต่ำกว่านั้นลงไปสามารถทำได้อย่างลำบากทั้งในการจัดวางและการถอดออก

จากเกณฑ์ในการออกแบบกลไกที่ได้ออกแบบมาซึ่งจะมีอุปกรณ์ยึดกระดูกจำนวน 2 ชุด โดยที่ อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่หนึ่งจะยึดติดกับกะโหลกศีรษะบริเวณขมับ (temporal region) เพื่อทำหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone)

โดยจะมีจุดเชื่อมต่อโผล่ออกมานอกผิวหนังศีรษะ เพื่อเป็นกลไกเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่หนึ่งเข้ากับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สอง

และอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สองจะทำหน้าที่ยึดกระดูกบริเวณใบหน้าส่วนกลาง (midface) โดยที่ปลายของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สองนี้ จะไปยึดเข้ากับกระดูกใบหน้าส่วนกลางเพื่อทำการยืดกระดูกใบหน้าส่วนกลางให้ยืดขยายระยะออกไป โดยจะมีก้านต่อโยงเชื่อมต่อมาจากอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่หนึ่ง ซึ่งอยู่ด้านนอกผิวหนังศีรษะ

และจะให้ปลายของอุปกรณ์ยึดกระดูกโผล่ออกมานอกผิวหนัง โดยจะอยู่ด้านหลังของกะโหลกศีรษะ เพื่อทำการไขยืดกระดูกให้ได้ระยะตามที่ต้องการ และไม่ส่งผลกระทบต่อจิตใจของคนไข้มากนัก

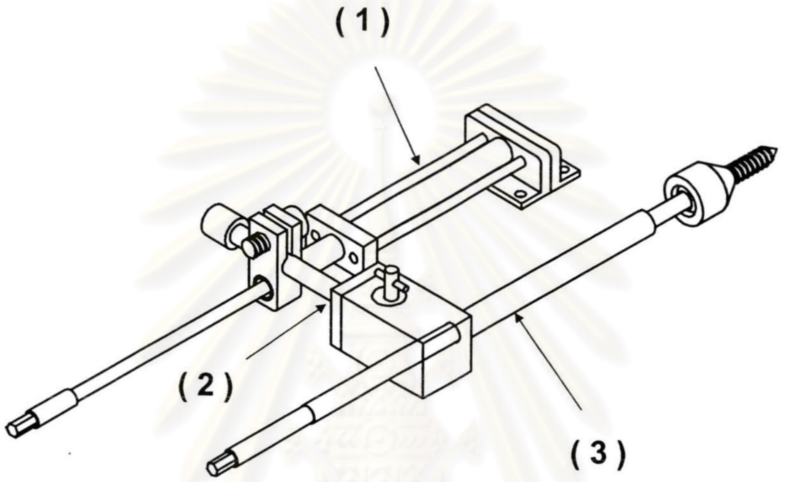
นั่นคือ อุปกรณ์ยึดกระดูกที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานี้จะประกอบไปด้วยทั้งส่วนที่อยู่ภายในและภายนอกผิวหนังศีรษะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.5 **ขั้นตอนที่** 5

การพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ยืดกระดูก

อุปกรณ์ยืดกระดูก (distractor) ที่ได้ทำการพัฒนาและออกแบบนี้ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆด้วยกันคือ (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ยืดกระดูก

1. อุปกรณ์ยืดกระดูกชุดที่ 1 ทำหน้าที่ ยืดกระดูกบริเวณกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone)

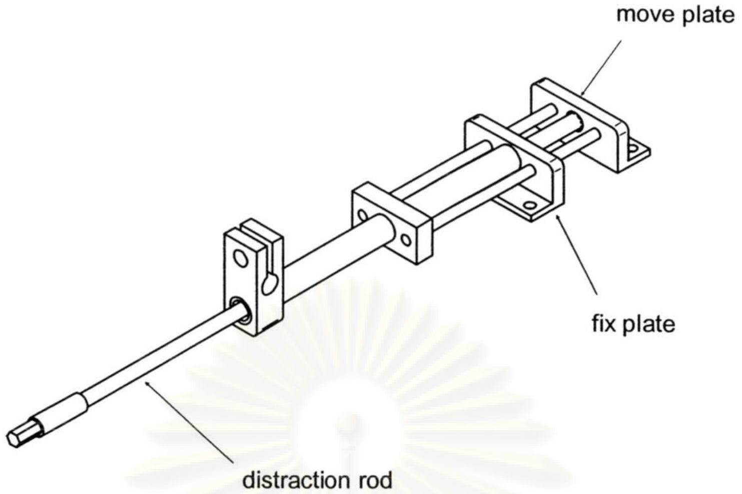
2. จุดเชื่อมต่อ ทำหน้าที่ เป็นกลไกเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ยืดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยืดกระดูกชุดที่ 2

3. อุปกรณ์ยืดกระดูกชุดที่ 2 ทำหน้าที่ ยืดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดการออกแบบของแต่ละชิ้นส่วน

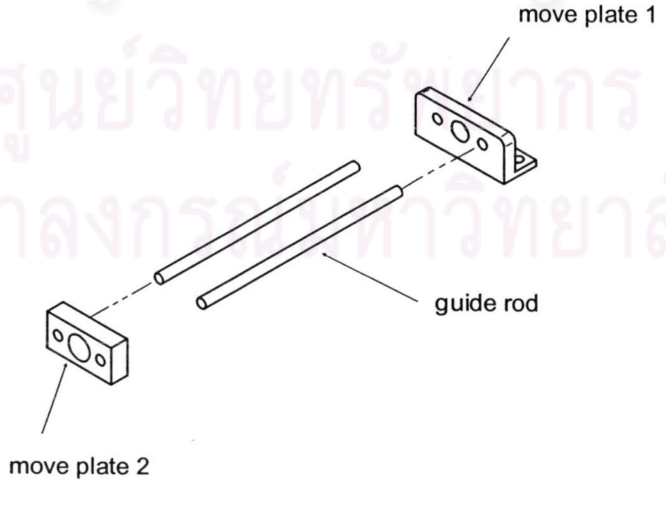
1. อุปกรณ์ยืดกระดูกชุดที่ 1 ทำหน้าที่ ยืดกระดูกบริเวณกะโหลกศีรษะส่วนหน้า (frontal bone) (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.18 อุปกรณ์ยืดกระดูกชุดที่ 1

ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆด้วยกันคือ

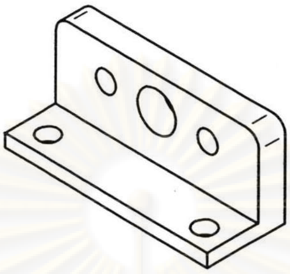
1.1 move plate จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนย่อยด้วยกันคือ



รูปที่ 4.19 move plate

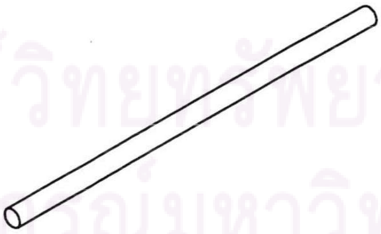
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1.1 move plate 1 จะเป็นส่วนที่ไปยึดติดกับกระดูกในส่วนที่ต้องการจะให้เกิดการเคลื่อนที่เพื่อยืดกระดูก โดยจะไปยึดติดกับ titanium bone plate โดย connect screw แล้ว titanium bone plate นี้ก็จะไปยึดติดกับกระดูกโดย bone screw โดยที่ตัว move plate 1 นี้จะไม่ได้ยึดติดกับกระดูกโดยตรง (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.20 move plate 1[2]

1.1.2 guide rod จะทำหน้าที่ประคองให้การยืดกระดูกสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ โดยมีลักษณะเป็นแท่งเพลากลม ขนาดความยาวจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการยืดกระดูกที่ต้องการทั้งหมด (รูปที่ 4.21)

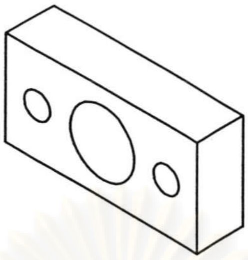


รูปที่ 4.21 guide rod[3]

[2] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

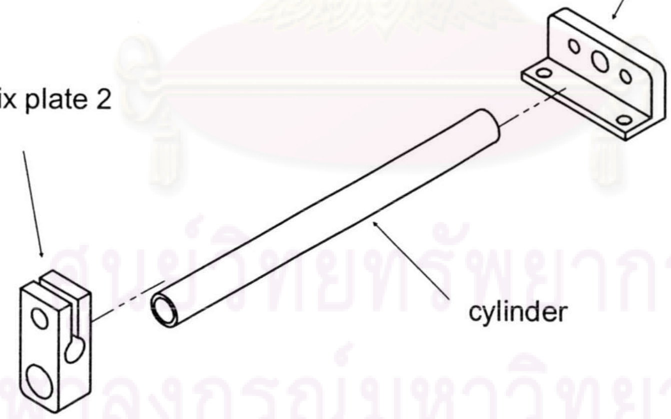
[3] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

1.1.3 move plate 2 จะไปยึดติดกับปลายของ guide rod เพื่อจำกัดระยะทางในการยึดกระดูก (รูปที่ 4.22)



รูปที่ 4.22 move plate 2[4]

1.2 fix plate จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนย่อยด้วยกันคือ (รูปที่ 4.23)

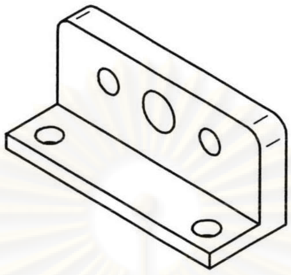


รูปที่ 4.23 fix plate

[4] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

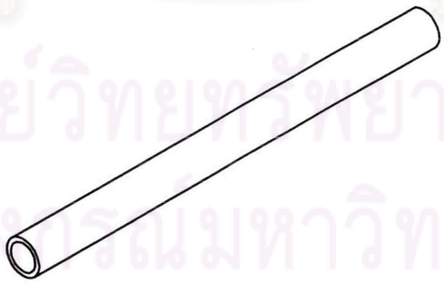
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2.1 fix plate 1 จะเป็นส่วนที่ไปยึดติดกับกระดูกในส่วนที่อยู่นิ่ง โดยจะไปยึดติดกับ titanium bone plate โดย connect screw แล้ว titanium bone plate นี้ก็จะไปยึดติดกับกระดูกโดย bone screw โดยที่ตัว fix plate 1 นี้จะไม่ได้ยึดติดกับกระดูกโดยตรง (รูปที่ 4.24)



รูปที่ 4.24 fix plate1[5]

1.2.2 cylinder 1 จะมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก โดยปลายข้างหนึ่งจะยึดติดกับ fix plate 1 และปลายอีกข้างหนึ่งจะยึดติดกับ fix plate 2 ทำหน้าที่ครอบป้องกันส่วนเกลียวของ distraction rod จากการปกคลุมของเนื้อเยื่อและกล้ามเนื้อบนใบหน้า และเพื่อเป็นฐานที่ยึดของ fix plate 2 (รูปที่ 4.25)



รูปที่ 4.25 cylinder 1[6]

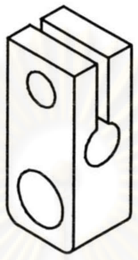
---

[5] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

[6] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

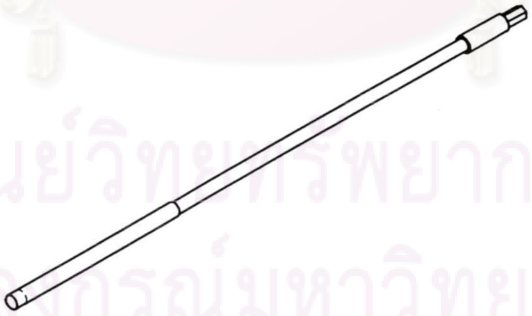
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2.3 fix plate 2 จะทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับก้านต่อโยงที่จะเป็นกลไกเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ซึ่งจะอยู่ภายนอกผิวหนังศีรษะ โดยมีลักษณะเป็นซีแคลมป์ เพื่อจับยึดก้านต่อโยงให้แน่น หลังจากที่ได้ทำการปรับตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ให้ได้ตำแหน่งตามที่ต้องการแล้ว (รูปที่ 4.26)



รูปที่ 4.26 fix plate 2[7]

1.3 distraction rod 1 จะมีลักษณะเป็นเพลากลมแท่งเกลียวภายนอก เพื่อทำการเปลี่ยนการหมุนให้เป็นการเลื่อนที่ยึดกระดูกให้ได้ระยะทางตามที่ต้องการ ปลายจะโผล่พ้นออกมานอกผิวหนังศีรษะโดยจะอยู่ด้านหลังของกะโหลกศีรษะเพื่อทำการไขยึดกระดูกให้ได้ระยะตามที่ต้องการ (รูปที่ 4.27)



รูปที่ 4.27 distraction rod 1[8]

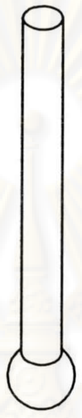
[7] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

[8] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. จุดเชื่อมต่อ จะเป็นกลไกที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 1 กับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน ประกอบไปด้วย

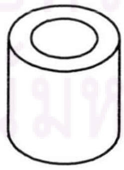
2.1 ก้านต่อโยง ทำหน้าที่เป็นตัวปรับระยะของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 โดยที่ปลายจะเป็นลูกบอล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นกลไกแบบ ball joint เพื่อปรับตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 อีกด้วย (รูปที่ 4.28)



รูปที่ 4.28 ก้านต่อโยง[9]

2.2 ฝาครอบ ทำหน้าที่ครอบปิดส่วนปลายของก้านต่อโยง ไม่ให้โผล่ออกมาเป็นเสาแหลมที่จะก่อให้เกิดอันตรายได้ (รูปที่ 4.29)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



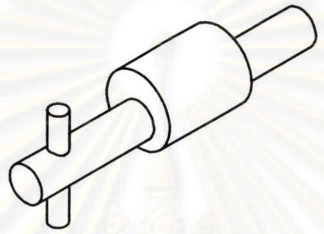
รูปที่ 4.29 ฝาครอบ[10]

[9] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

[10] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

2.3 กลไกล็อคลูกบอล หลังจากที่ได้ปรับตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ให้ได้ตามที่ต้องการแล้ว ก็จะทำการล็อคยึดให้แน่นโดยอาศัยกลไกของเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งประกอบไปด้วย

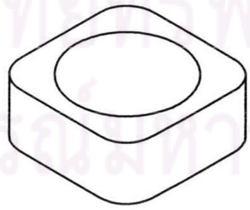
2.3.1 เพลาลูกเบี้ยว ทำหน้าที่ไปดันแผ่นล็อคให้ขึ้นไปจับยึดกับลูกบอลที่ปลายของก้านต่อโยง โดยมีลักษณะเป็นเพลาที่เยื้องศูนย์กัน (รูปที่ 4.30)



รูปที่ 4.30 เพลาลูกเบี้ยว[11]

2.3.2 แผ่นล็อค (lock plate) ทำหน้าที่จับยึดลูกบอลให้แน่น โดยจะอาศัยเพลาลูกเบี้ยวมาทำหน้าที่ปรับระยะขึ้นลงในการจับยึดลูกบอล (รูปที่ 4.31)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

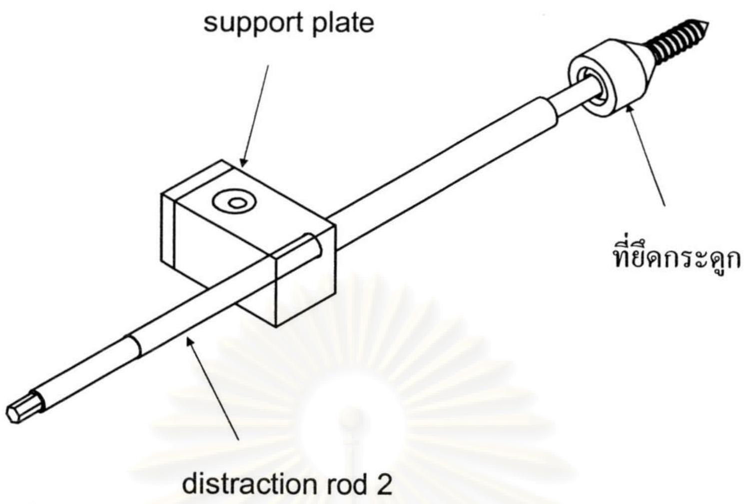


รูปที่ 4.31 แผ่นล็อค[12]

[11] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

[12] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

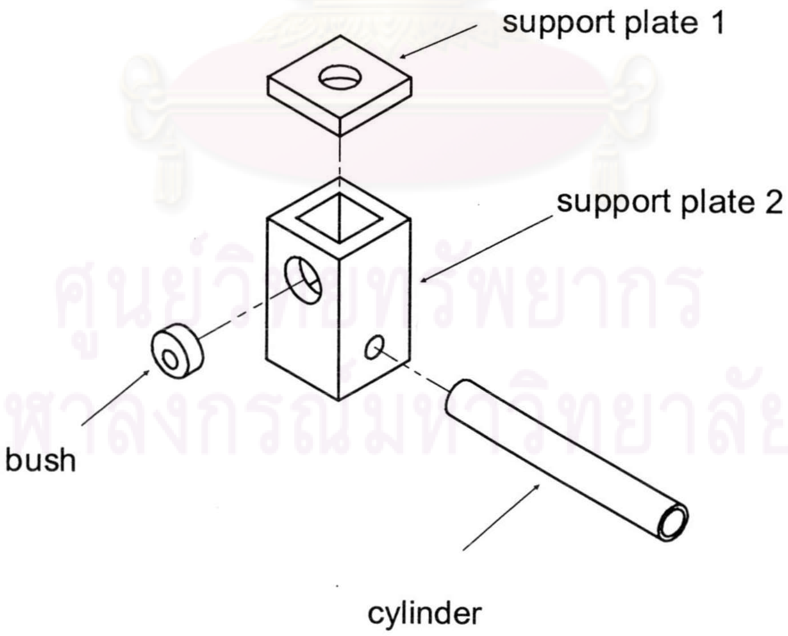
3. อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 ทำหน้าที่ ยึดกระดูกบริเวณกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface)



รูปที่ 4.32 อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2

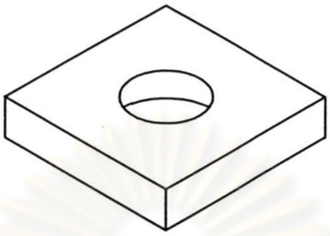
ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆด้วยกันคือ

3.1 support plate ประกอบไปด้วย 4 ส่วนย่อยๆด้วยกันคือ



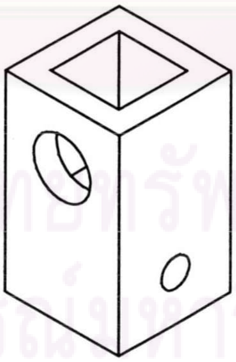
รูปที่ 4.33 support plate

3.1.1 support plate 1 ทำหน้าที่เป็นแผ่นปิดยึดส่วนที่เป็นปลายลูกบอลของก้านต่อโยง หลังจากที่ได้สวมใส่ลูกบอลเข้าไปในเบ้าของ support plate 2 แล้ว (รูปที่ 4.34)



รูปที่ 4.34 support plate 1[13]

3.1.2 support plate 2 ทำหน้าที่เป็นเบ้ารองรับปลายลูกบอลของก้านต่อโยง โดยที่จะมีกลไกล็อคลูกบอลอยู่ภายในด้วย และจะเป็นแท่นรองรับที่มีลักษณะเป็นเกลียวภายในเพื่อให้ distraction rod ของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่ 2 นี้เคลื่อนที่ผ่านไปได้ด้วย (รูปที่ 4.35)

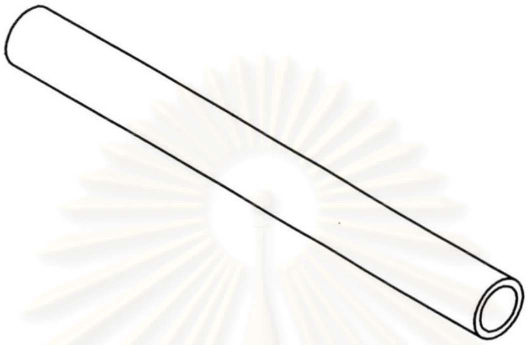


รูปที่ 4.35 support plate 2[14]

[13] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

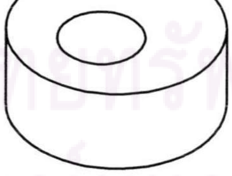
[14] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

3.1.3 cylinder 2 ทำหน้าที่ครอบป้องกันส่วนเกลียวของ distraction rod จากการปกคลุมของเนื้อเยื่อและกล้ามเนื้อบนใบหน้า โดยมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก ไปยึดติดกับ support plate 2 (รูปที่ 4.36)



รูปที่ 4.36 cylinder 2[15]

3.1.4 bush ทำหน้าที่รองรับระหว่างเพลาลูกเบี้ยว กับ support plate 2 เพื่อให้เพลาลูกเบี้ยวสามารถหมุนได้โดยไม่สั่นคลอน (รูปที่ 4.37)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.37 bush[16]

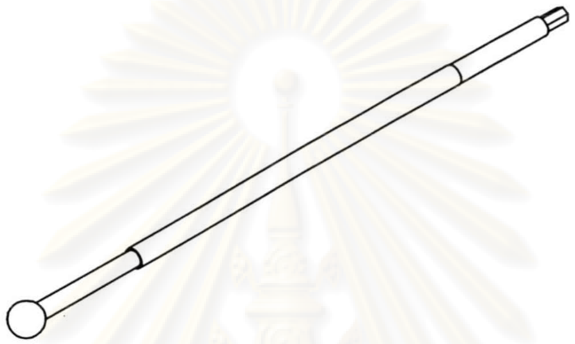
---

[15] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

[16] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

3.2 distraction rod 2 มีลักษณะเป็นเพลากลมแท่งเกลียวภายนอก เพื่อทำการเปลี่ยนการหมุนให้เป็นการเลื่อนที่ยึดกระดูกให้ได้ระยะตามที่ต้องการ โดยในส่วนนี้จะไปทำการยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface) ให้เคลื่อนที่ขยายระยะออกไป

ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญคือ บริเวณปลายของ distraction rod จะมีลักษณะเป็นลูกบอล เพื่อที่จะไปดันที่ยึดกระดูกให้ทำการยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface) ให้ขยายระยะออกไป (รูปที่ 4.38)

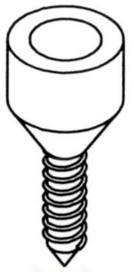


รูปที่ 4.38 distraction rod 2[17]

3.3 ที่ยึดกระดูก เพื่อทำหน้าที่ยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface) ให้ยืดขยายระยะออกไป โดยที่มีลักษณะเป็นเบ้าให้ลูกบอลจากปลายของ distraction rod 2 สามารถสอดเข้ามาได้ ภายในเบ้าจะเป็นร่องเหลี่ยม สำหรับให้ก้านไข ไขเพื่อทำการยึดเข้ากับกระดูก และที่ปลายจะมีลักษณะเป็นสกรูเพื่อทำการไขลงไปยึดเข้ากับกระดูก (รูปที่ 4.39)

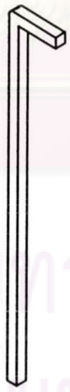
โดยที่ยึดกระดูกนี้จะสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับลักษณะของกระดูกที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งจะแตกต่างกันที่ขนาดความยาวของสกรูที่จะไขลงไปยึดเข้ากับกระดูก จะมี 2 ขนาดด้วยกันคือ 10 ม.ม. และ 13 ม.ม.

[17] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.39 ที่ยึดกระดูก[18]

ก้านไข ทำหน้าที่ไขที่ยึดกระดูกให้ลงไปยึดเข้ากับกระดูก มีลักษณะเป็นหัวเหลี่ยมเพื่อให้เข้ากับร่องเหลี่ยมภายในเบ้าของที่ยึดกระดูก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.40 ก้านไข[19]

[18] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

[19] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ส่วนประกอบของอุปกรณ์ยึดกระดูก

1. **การออกแบบลูกบอลที่ปลายของ** distraction rod 2

ที่บริเวณปลายของ distraction rod 2 จะมีลักษณะเป็นลูกบอล เพื่อที่จะไปดันชุดจับกระดูกที่จะมีเบ้าให้ลูกบอลสอดเข้ามาได้ ให้ไปยึดกระดูกใบหน้าส่วนกลาง (midface) ให้ขยายระยะออกไป

การสัมผัสกันระหว่างลูกบอลจากปลายของ distraction rod 2 และเบ้าของชุดดันกระดูกจะมีลักษณะเป็นจุดสัมผัส (point contact) ทำให้ที่บริเวณนี้จะเกิด contact stress แบบ two spherical surfaces ขึ้น

Contact stress จะกระจายไปรอบๆบริเวณพื้นที่สัมผัสวงกลมรัศมี a ซึ่งอยู่ที่จุดสัมผัสของพื้นผิว โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงจากศูนย์ที่ขอบของพื้นที่สัมผัสไปถึงค่ามากที่สุดที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่สัมผัส [14]

$$a = 0.88\left[\frac{F(E_1 + E_2)r_1 r_2}{E_1 E_2 (r_1 + r_2)}\right]^{\frac{1}{3}} \qquad (4.16)$$

$$\sigma_c = 1.5\frac{F}{\pi . a^2} \qquad (4.17)$$

ในกรณีนี้เป็นผิวสัมผัสภายใน และเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน

$r_2 \quad = \quad -r_2$

$E_1 \quad = \quad E_2 \quad = \quad E$

จากสมการ (4.16) และ (4.17) จะกลายเป็น

$$a = 0.88\left[\frac{2Fr_1 r_2}{E(r_2 - r_1)}\right]^{\frac{1}{3}} \qquad (4.18)$$

$$\sigma_c = 0.62\left[FE^2\left(\frac{r_2 - r_1}{2r_1 r_2}\right)^2\right]^{\frac{1}{3}} \qquad (4.19)$$

โดยที่ F = 100 N

r_1 = 2.5 mm

r_2 = -3 mm

E = 200 GPa

แทนค่าเข้าไปในสมการ (4.19) จะได้

$$\sigma_c = 50.4 \quad MPa$$

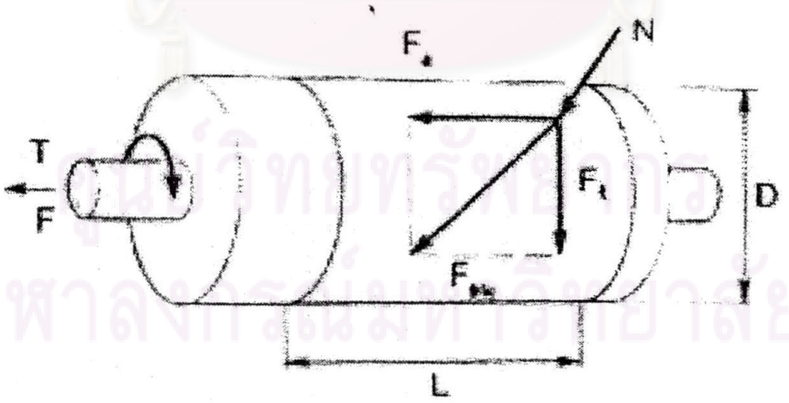
ซึ่ง ค่าความเค้นครากที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ

$$\sigma_y = 220 \quad MPa$$

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นคราก นั่นคือ สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย

2. **การออกแบบ** fix plate 2

ที่จุดนี้ fix plate 2 จะทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่หนึ่งกับก้านต่อโยงที่จะเป็นกลไกเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สอง โดยมีลักษณะเป็นซีแคลมป์เพื่อจับยึดก้านต่อโยงให้แน่น ด้วยการขันยึดของสกรูที่ทำให้เกิดแรงอัดตามพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง fix plate 2 กับก้านต่อโยง



รูปที่ 4.41 แรงกระทำที่ผิวสัมผัสของก้านต่อโยง

โดยที่ก้านต่อโยงจะสามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งในแนวรัศมีหรือแนวตามแกน

การปรับเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกนเกิดขึ้นเนื่องมาจากน้ำหนักของอุปกรณ์ยึดกระดูก

การปรับเปลี่ยนตำแหน่งในแนวรัศมีเกิดขึ้นเนื่องมาจากการบิดของก้านต่อโยง

จากสมการ deformation strain [12]

$$\delta = \frac{F.L}{A.E} \qquad (4.20)$$

โดยที่ δ = ระยะบีบตัวของซีแคลมป์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขันยึดของสกรูที่ใช้ระยะพิตช์เท่ากับ 0.5 mm ในที่นี้กำหนดให้หมุนสกรูไป 1 รอบ

= 0.5 mm

F = แรงบีบของซีแคลมป์

L = ขนาดของซีแคลมป์

= 2 mm

A = พื้นที่หน้าตัดของซีแคลมป์

= 30 mm^2

E = 200 GPa (วัสดุที่ใช้ stainless steel 316L[20])

นำเข้าไปแทนค่าในสมการ (4.20) จะได้

F = 1500 N

ซึ่งแรง F นี้จะก่อให้เกิดความเค้นขึ้นที่ซีแคลมป์ มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (4.21)$$

นำเข้าไปแทนค่าในสมการ (4.21) จะได้

σ = 50 MPa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[20] คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแสดงในภาคผนวก ก

ซึ่ง ค่าความเค้นครากที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ

$$\sigma_y = 220 \quad MPa$$

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นคราก นั่นคือ สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย

3. การออกแบบแผ่นล็อคและเพลาลูกเบี้ยว

โดยกลไกเพลาลูกเบี้ยวจะทำหน้าที่ไปดันแผ่นล็อคให้ไปกดกับลูกบอลเพื่อให้ลูกบอลอยู่นิ่งกับที่

จากสมการ deformation strain (4.20)

$$\delta = \frac{F.L}{A.E}$$

โดยที่ δ = ระยะหดตัวของลูกบอล

= 0.22 mm

F = แรงจากแผ่นล็อคที่ขึ้นไปกดลูกบอล

L = ขนาดของลูกบอล

= 5 mm

A = พื้นที่หน้าตัดของลูกบอล

เนื่องจาก พื้นที่หน้าตัดของลูกบอลมีค่าไม่คงที่ เราจะเลือกใช้ค่าพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.82 mm^2

E = 200 GPa (วัสดุที่ใช้ stainless steel 316L[21])

นำเข้าไปแทนค่าในสมการ (4.20) จะได้

$$F = 86.4 \quad N$$

ซึ่งแรง F นี้จะก่อให้เกิดความเค้นขึ้นที่ลูกบอล มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (4.22)$$

---

[21] คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแสดงในภาคผนวก ก

นำเข้าไปแทนค่าในสมการ (4.22) จะได้

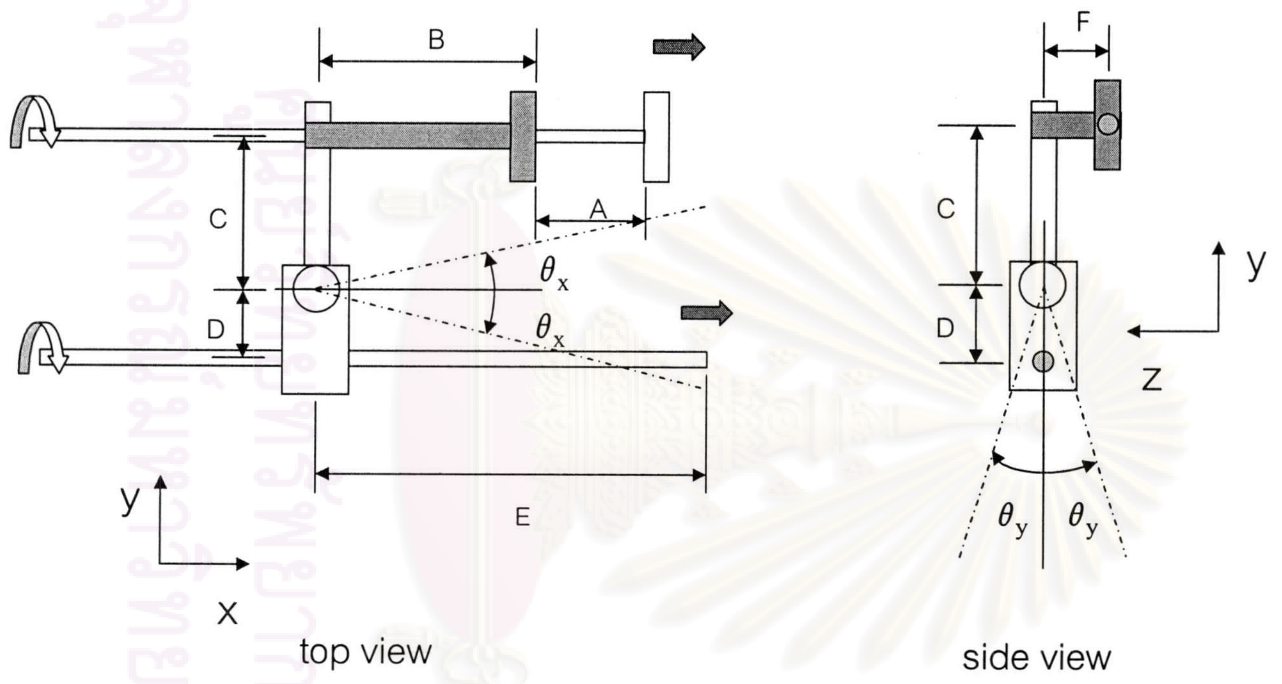
$$\sigma \quad = \quad 8.8 \quad MPa$$

ซึ่ง ค่าความเค้นครากที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ

$$\sigma_y \quad = \quad 220 \quad MPa$$

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นคราก นั่นคือ สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

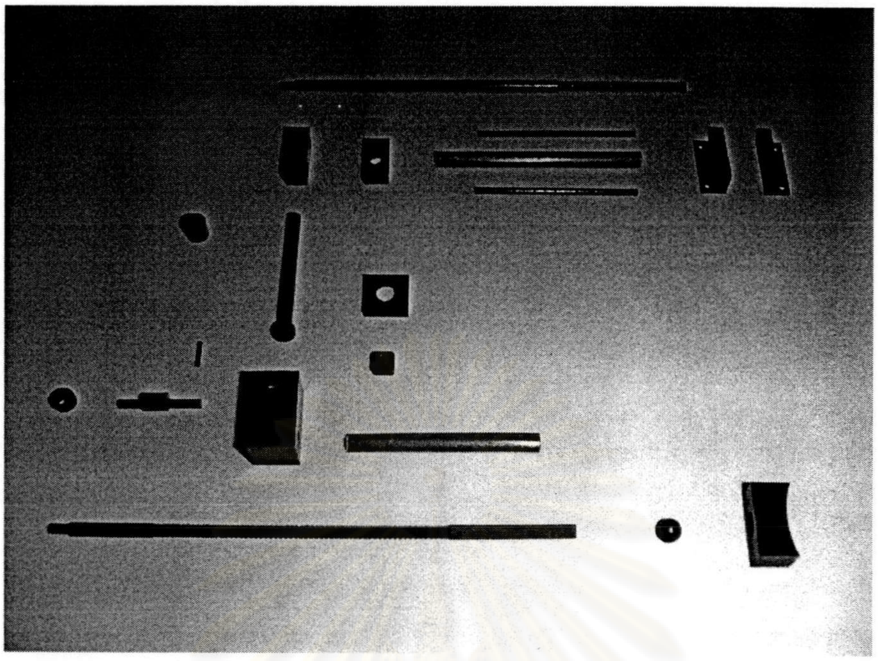


รูปที่ 4.42 แผนภาพคิเนมาติกส์ของอุปกรณ์ยึดกระดูก

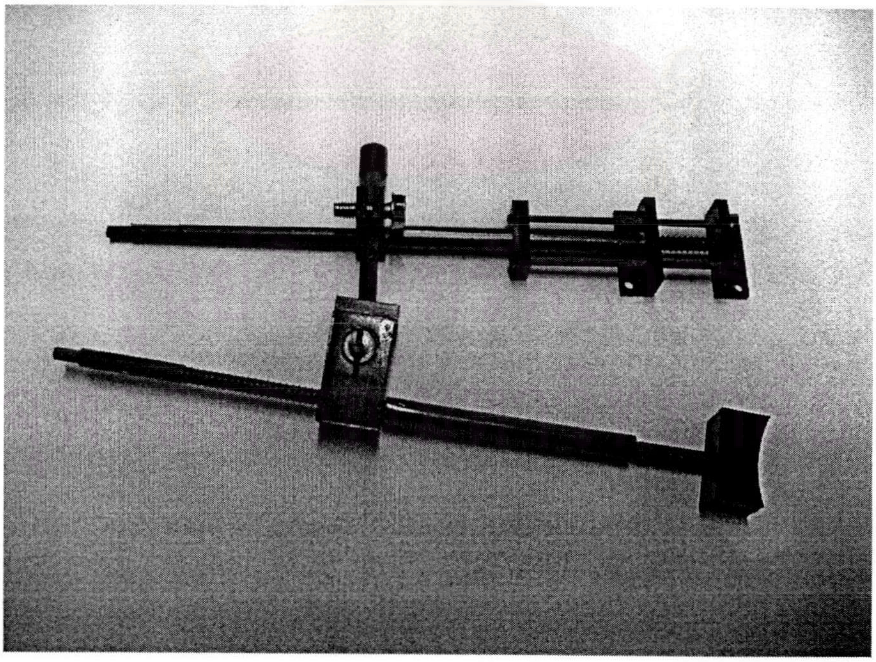
ค่าขอบระยะของอุปกรณ์ยึดกระดูก

A	=	ระยะทางในการยึดกระดูกของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่หนึ่ง
	=	0 - 30 mm ระยะทางตามแนวแกน x
B	=	ความยาวของ fix plate
	=	50 mm ระยะทางตามแนวแกน x
C	=	ระยะทางจากแกนของ distraction rod 1 ไปยัง ball joint
	=	5 – 25 mm ระยะทางตามแนวแกน y
D	=	ระยะทางจาก ball joint ไปยัง แกนของ distraction rod 2
	=	12 mm
E	=	ระยะทางในการยึดกระดูกของ อุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สอง
	=	0 – 40 mm
F	=	ระยะทางจากแกนของ ditraction rod 1 ไปยังแกนของ distraction rod2
	=	4.5 mm ระยะทางตามแนวแกน z
θ_x	=	มุมการเคลื่อนที่ของ support plate ในระนาบ xy โดยมีแกน x เป็นแกนอ้างอิง
	=	มุมการเคลื่อนที่ของ distraction rod 2 ในระนาบ xy โดยมีแกน x เป็นแกนอ้างอิง
	=	- 16 ถึง +16 องศา
θ_y	=	มุมการเคลื่อนที่ของ support plate ในระนาบ yz โดยมีแกน y เป็นแกนอ้างอิง
	=	มุมการเคลื่อนที่ของ distraction rod 2 ในระนาบ yz โดยมีแกน y เป็นแกนอ้างอิง
	=	-16 ถึง +16 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.43 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ยึดกระดูก



รูปที่ 4.44 อุปกรณ์ยึดกระดูก

4.6 ขั้นตอนการใช้งานอุปกรณ์

1. นำอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่หนึ่ง ไปติดในบริเวณที่ต้องการจะทำการยืดกระดูก ซึ่งอุปกรณ์ยืดกระดูกชุดนี้จะอยู่ใต้ผิวหนังศีรษะ โดยจะมี cylinder 1 โผล่ออกมาด้านนอกผิวหนังศีรษะ

2. ประกอบ fix plate 2 เข้ากับปลายของ cylinder 1 ที่โผล่ออกมาด้านนอกผิวหนังศีรษะ

3. นำก้านต่อโยงที่เชื่อมต่อมาจากอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สอง ไปสวมเข้ากับ fix plate 2

4. สวมฝาครอบเข้ากับปลายของก้านต่อโยง

5. ทำการปรับตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สอง เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้วก็จะทำการล็อคด้วยชุดล็อคซีแคลมป์เพื่อยึดก้านต่อโยง และกลไกเพลาลูกเบี้ยวเพื่อล็อคลูกบอลที่ปลายของก้านต่อโยง โดยจะมีปลายของ cylinder 2 ฝังเข้าไปในผิวหนังศีรษะ

6. สอด distraction rod 2 เข้าไปใน support plate 2 โดยจะผ่าน cylinder 2 เข้าไปใต้ผิวหนังศีรษะ

7. ประกอบลูกบอลเข้ากับปลายของ distraction rod 2 ด้วยการสวมอัด

8. ติดตั้งที่ยึดกระดูกเข้ากับกระดูกใบหน้าส่วนกลาง

9. ประกอบปลายลูกบอลของ distraction rod 2 เข้ากับที่ยึดกระดูก

10. ปรับตำแหน่งและทิศทางของที่ยึดกระดูก

11. ทำการปรับตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ยึดกระดูกชุดที่สอง อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ตำแหน่งและทิศทางตามที่ต้องการ

12. หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ยึดกระดูกแล้ว ก็จะทำการยืดกระดูกตามที่ต้องการโดยจะไขปลายของ distraction rod ที่โผล่ออกมาด้านนอกผิวหนังศีรษะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย