

การตรวจสอบท่าออกกำลังกายที่ถูกต้อง  
Accurate Exercise Posture Detection

อมลรุจี	ภูมิกอง
Amolrujee	Poomikong
อุบลวรรณ	รักษาสัตย์
Ubonwan	Raksasat

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2560

การตรวจสอบท่าออกกำลังกายที่ถูกต้อง  
Accurate Exercise Posture Detection

โดย

อมลรจี

ภูมิทอง

อุบลวรรณ

รักษาสัตย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ชูชาติ

ปิณฑวิรุจน์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

# Accurate Exercise Posture Detection

Amolrujee      Poomikong

Ubonwan      Raksasat

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

ปริญญาานิพนธ์	ปีการศึกษา 2560
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การตรวจสอบท่าออกกำลังกายที่ถูกต้อง Accurate Exercise Posture Detection
จัดทำโดย	นางสาวอมลรจี ภูมิทอง รหัสประจำตัว 57011489 นางสาวอุบลวรรณ รักษาสัตย์ รหัสประจำตัว 57011552

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....

(รศ.ดร.ชูชาติ ปินทวิรุจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตรวจสอบท่าออกกำลังกายที่ถูกต้อง
นักศึกษา	นางสาวอมลรุจี ภูมิทอง รหัสนักศึกษา 57011489 นางสาวอุบลวรรณ รักษาสัตย์ รหัสนักศึกษา 57011552
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

### บทคัดย่อ

การออกกำลังกายเป็นกิจกรรมที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ แต่การออกกำลังกายด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้องกลับก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายเกิดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อและกระดูกข้อต่อต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงออกแบบโปรแกรมที่ทำการตรวจสอบและแสดงการแจ้งเตือนเมื่อออกกำลังกายผิดพลาดเพื่อป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้องและเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกาย ขึ้นโดยใช้โปรแกรม Blender ทำงานร่วมกับกล้อง Kinect สามารถตรวจจับและแสดงผลท่าออกกำลังกายในรูป animation ของตัวหุ่นที่เคลื่อนไหวตามท่าทาง โดยในการตรวจจับท่าออกกำลังกาย Bodyweight Squat สามารถบอกชนิดท่า Bodyweight Squat ที่ทำว่าเป็นประเภท Mini Squats, Half Squats หรือ Full Squats ได้ แสดงองศาของเข่า แสดงแรงที่เกิดขึ้นที่เข่า และสามารถแจ้งเตือนเมื่อออกกำลังกายผิดได้

<b>Thesis Title</b>	Accurate Exercise Posture Detection
<b>Student</b>	Miss Amolrujee Poomikong Student ID 57011489
	Miss Ubonwan Raksasat Student ID 57011552
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Biomedical Engineering
<b>Academic Year</b>	2017
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Chuchart Pintavirooj

## **Abstract**

Exercise has many benefits for good health but exercise postures incorrect has a negative effect on the body for injuries to muscles, bones, joints, etc. Therefore, this thesis is designed a program to monitor and displays alerts when exercising incorrectly to prevent injuries from exercise with incorrect posture and increase the efficiency of exercise by Blender program works with Kinect camera to detect and display workouts in an animation of moving the human model. Result particularize Squat of the type that is a Mini Squats, Half Squats or Full Squats, angle of the knee while acting Squats, force occur to knee are reported and can alert when the workout is incorrect posture.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอดจนจบจนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการให้คำแนะนำเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ

ผู้วิจัยหวังว่า ปริญญาานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้าน  
อื่นๆได้

อมลรุจี ภูมิทอง

อุบลวรรณ รักษาสัตย์

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญรูป .....	ช
สารบัญตาราง .....	ซ
บทที่ 1 .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....	2
1.6 โครงสร้างปริญญานิพนธ์ .....	3
บทที่ 2 .....	4
2.1 กายวิภาคของข้อเข่า .....	4
2.1.1 องค์ประกอบที่สำคัญของข้อเข่า ประกอบด้วย .....	4
2.2 ท่าออกกำลังกาย .....	20
2.2.1 Squat .....	20
2.2.2 ประโยชน์ที่จากการทำท่า Squat .....	22
2.2.3 การบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย .....	23
2.2.4 การบาดเจ็บจากการ Weight Training .....	24

## สารบัญ(ต่อ)

2.3 Kinect .....	26
2.3.1 ส่วนประกอบของกล้อง Kinect .....	26
2.3.2 หลักการทำงาน .....	26
2.3.3 Coordinate mapping .....	29
2.3.4 ข้อดี .....	29
2.3.5 ข้อเสีย .....	30
2.4 โปรแกรม Blender .....	30
2.4.1 จุดเด่นของโปรแกรม Blender .....	31
2.5 Delicode NI mate .....	31
Delicode .....	31
2.6 Python .....	31
2.6.1 จุดเด่นของ Python .....	32
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ (Goniometer).....	33
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	34
2.8.1 Analysis Of Annormal Body Movement Using Non-Contract 3D Sensor .....	34
2.8.2 แอปพลิเคชันฝึกฝนทักษะมวยไทยด้วยอุปกรณ์ Kinect .....	34
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	35
3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ .....	35
3.1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน .....	35
3.1.2 ออกแบบหุ่น .....	35
3.1.3 โปรแกรม.....	39
3.2 การออกแบบการทดลอง .....	41

## สารบัญ(ต่อ)

3.2.1 ทดสอบความถูกต้องของระบบ .....	41
3.3 วิธีการคำนวณมุม.....	45
บทที่ 4.....	47
4.1 ผลที่ได้จากการทดลอง.....	47
4.1.1 การวัดมุม .....	47
4.1.2 ผลที่แสดงทางโปรแกรม.....	49
บทที่ 5.....	51
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก .....	54

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แสดงเส้นเลือดที่มาเลี้ยงบริเวณข้อเข่า.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นเลือดที่มาเลี้ยงรอบ proximal tibia มีลักษณะล้อมรอบเหมือนซี่ล้อเกวียน.....	6
รูปที่ 2.3 แสดง anastomosis ของเส้นเลือดที่ไปเลี้ยง patella .....	8
รูปที่ 2.4 รูปที่ 2.4แสดงลักษณะของ Patella ชนิดต่างๆ .....	9
รูปที่ 2.5 แสดง Q-angle ซึ่งเกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อ quadriceps และ patellar tendon .....	10
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างชั้นต่างๆ ที่ห่อหุ้มเข่าด้าน medial.....	12
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างชั้นต่าง ๆ ที่ห่อหุ้มเข่าด้าน lateral .....	12
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของเอ็นที่เกาะภายในและภายนอกข้อเข่า .....	14
รูปที่ 2.9 รูปที่ 2. 9แสดงจุดเกาะของเอ็น cruciate ที่เกาะภายในข้อเข่า.....	16
รูปที่ 2.10 แสดงการแผ่อกตามยาวของแนวเกาะ ACL ทำให้มีลักษณะรูปร่างเหมือนเท้า .....	17
รูปที่ 2.11 แสดง anterolateral band PCL ซึ่งจะตั้งตัวในท่าเข่างอ และ posteromedial band PCL ซึ่งจะตั้งตัวในท่าเข่าเหยียดตรง.....	18
รูปที่ 2.12 แสดง Menisci เป็นรูปพระจันทร์เสี้ยว เมื่อมองจากด้านบน.....	19
รูปที่ 2.13 Degrees of knee flexion during the deep squat.....	20
รูปที่ 2.14 Bodyweight Squats [3].....	21
รูปที่ 2.15 กล้ามเนื้ออักเสบ .....	25
รูปที่ 2.16 เอ็นข้อไหล่ฉีก.....	25
รูปที่ 2.17 กล้อง Kinect .....	26
รูปที่ 2.18 แพทเทิร์นจุด.....	27
รูปที่ 2.19 ความลึกตื่นของวัตถุ.....	27
รูปที่ 2.20 โครงการควบคุมมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุด คน 6 คน.....	28
รูปที่ 2.21 โครงการควบคุมมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุด .....	28
รูปที่ 2.22 โปรแกรม Blender.....	30
รูปที่ 2.23 โปรแกรม Delicode NI mate.....	31
รูปที่ 2.24 โกนิโอมิเตอร์(Goniometer).....	33

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมการทำงาน .....	35
รูปที่ 3.2	การ weight paint โมเดล .....	36
รูปที่ 3.3	การออกแบบโมเดล .....	36
รูปที่ 3.4	การเชื่อมต่อต่อกระดูกโมเดลกับโปรแกรม Delicode NI Mate 2.....	37
รูปที่ 3.5	การเชื่อมต่อข้อต่อกับโมเดล .....	38
รูปที่ 3.6	แสดงการจับท่าทางการเคลื่อนไหว .....	38
รูปที่ 3.7	โพล์ชาร์ตของโปรแกรม .....	39
รูปที่ 3.8	แสดงการออกแบบหน้าจอหลักของโปรแกรม .....	40
รูปที่ 3.9	แสดงการออกแบบแสดงผลของโปรแกรม .....	40
รูปที่ 3.10	จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด RGB ของท่า Mini Squat.....	42
รูปที่ 3.11	จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด Depth & extras ของท่า Mini Squat.....	42
รูปที่ 3.12	จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด RGB ของท่า Half Squat.....	43
รูปที่ 3.13	จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด Depth & extras ของท่า Half Squat.....	43
รูปที่ 3.14	จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด RGB ของท่า Full Squat .....	44
รูปที่ 3.15	จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด Depth & extras ของท่า Full Squat .....	44
รูปที่ 3.16	กำหนดพิกัดจุด.....	45
รูปที่ 4.1	การวัดโดยใช้ Goniometer 1.....	48
รูปที่ 4.2	การวัดโดยใช้ Goniometer 2.....	48
รูปที่ 4.3	ท่า Half Squat 64 องศา.....	49
รูปที่ 4.4	ส่วนต่างๆที่แสดงผล.....	50

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง.....	47
------------------------------	----

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การออกกำลังกายเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้ร่างกายมีสุขภาพที่ดีโดยช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและระบบไหลเวียนโลหิต รวมทั้งสร้างเสริมทักษะทางกีฬา การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจะช่วยสร้างเสริมระบบภูมิคุ้มกันและช่วยป้องกันโรคต่างๆ ได้รวมถึงยังช่วยสร้างเสริมสุขภาพจิตและลดความเครียดได้ การออกกำลังกายให้ได้ประโยชน์สูงสุดนั้น ควรเป็นไปอย่างเหมาะสมกับอายุ สภาพร่างกาย ภูมิกิจ และท่าทางที่ถูกต้อง โดยไม่น้อยเกินไปและไม่หักโหมจนเกินไป แต่การออกกำลังกายที่ไม่ถูกต้อง โดยการออกกำลังกายด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้อง อาจเกิดการบาดเจ็บโดยการออกกำลังกายด้วยท่าที่ไม่ถูกต้องก่อให้เกิดผลเสียต่อกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่อต่างๆ ดังนั้นป้องกันการบาดเจ็บสำหรับผู้เริ่มต้นออกกำลังกายและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกายสำหรับผู้ที่ต้องการพัฒนาการออกกำลังกายให้มีความหนักมากขึ้น

โดยการออกกำลังกายท่า Bodyweight Squat เป็นท่าที่นิยมออกกำลังกาย และเป็นท่าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกล้ามเนื้อขาส่วนหน้า Quadriceps, กล้ามเนื้อสะโพก, กล้ามเนื้อต้นขากลุ่ม Adductor, กล้ามเนื้อขาส่วนหลัง Hamstrings, กล้ามเนื้อหลัง erector spinae และ กล้ามเนื้อหน้าท้อง โดยท่า Mini Squats, Half Squats และ Full Squats

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้เป็นการตรวจสอบท่าทางออกกำลังกาย Bodyweight Squat แบบ real time โดยใช้กล้อง Kinect เป็นตัวตรวจจับการเคลื่อนไหวของท่าทางออกกำลังกาย และแสดงตัวหุ่นจำลองการเคลื่อนไหวท่าทางของผู้ออกกำลังกาย ทำการวิเคราะห์ท่าทางการออกกำลังกายและทำการแจ้งเตือนเมื่อมีการออกกำลังกายด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้อง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อตรวจท่าทางในการออกกำลังกายที่ถูกต้อง
- 2) เพื่อการออกกำลังกายที่ได้ประสิทธิภาพ
- 3) เพื่อป้องกันอาการบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย
- 4) เพื่อกระตุ้นการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

- 1) การออกแบบโปรแกรมที่ช่วยแจ้งเตือนท่าออกกำลังกายที่ไม่ถูกต้องและแสดงผลเป็น Real time
- 2) ทำการศึกษาและใช้กล้อง Kinect for window v2 เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 3) ทำการศึกษารูปแบบและพัฒนาด้วยโปรแกรม Blender
- 4) การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Python
- 5) ทำการตรวจวัดจากการออกกำลังกายท่า Squats : Mini Squats, Half Squats และ Full Squats

### 1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย

- 1) ศึกษาข้อมูลท่าออกกำลังกาย Squat
- 2) ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในโครงการและเลือกโปรแกรมที่จะใช้ เช่น Blender, Python
- 3) ออกแบบโปรแกรม
- 4) ออกแบบหุ่น Animation 3D
- 5) เขียนโปรแกรมเพื่อตรวจสอบท่าออกกำลังกาย
- 6) ทดสอบการทำงานของโปรแกรม

### 1.5 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1) ทำให้การออกกำลังกายได้ผลลัพธ์ตามที่หวัง คือ น้ำหนักลดหรือได้กล้ามเนื้อตามที่ต้องการ
- 2) ผู้ใช้งานได้ท่าออกกำลังกายที่ถูกต้อง
- 3) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกาย
- 4) ลดข้อบกพร่องจากการออกกำลังกายที่ผิดท่า
- 5) ได้ความรู้ในการเขียนโปรแกรม

## 1.6 โครงสร้างปริญญาานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึง ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของโครงการ ขั้นตอนการทำวิจัย ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมทั้ง โครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี ในบทนี้จะกล่าวถึง กายวิภาคของข้อเข่า ทำออกกำลังกาย Kinect โปรแกรม Blender, NI mate, Python เครื่องมือที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ (Goniometer) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การออกแบบระบบในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบซอฟต์แวร์ การออกแบบการทดลอง วิธีการคำนวณหามุม

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ในบทนี้จะกล่าวถึง สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

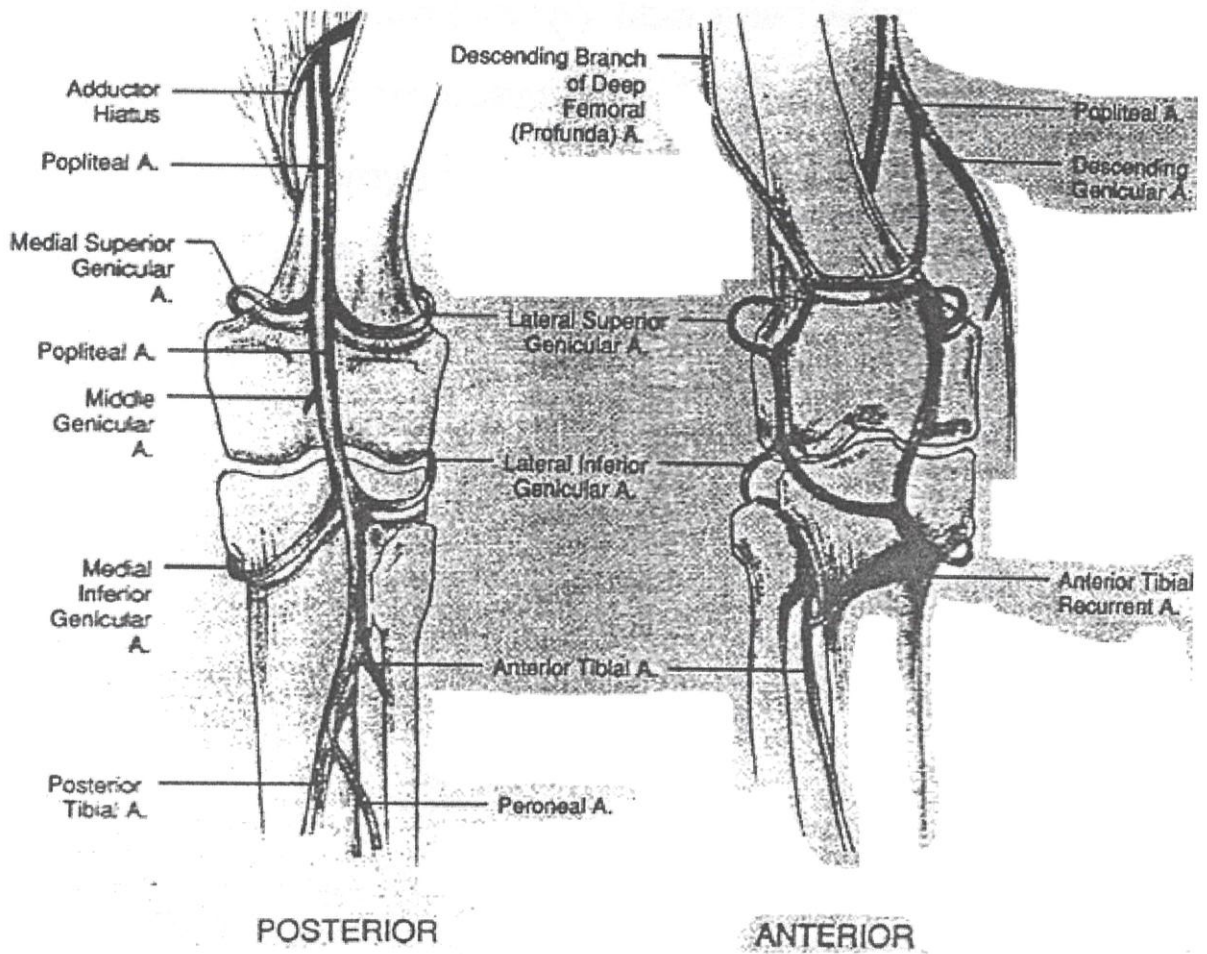
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทนี้ จะกล่าวถึง อุปกรณ์ โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เช่น โปรแกรม Blender, Kinect และ NI Mate เป็นต้น การบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย ทำในการออกกำลังกาย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กายวิภาคของข้อเข่า [1]

##### 2.1.1 องค์ประกอบที่สำคัญของข้อเข่า ประกอบด้วย

###### 2.1.1.1 Femur

ส่วนของกระดูก femur ที่เกี่ยวข้องกับข้อเข่าส่วนใหญ่แล้วอยู่ตรงส่วนล่างของกระดูกต้นขา femur ส่วนที่อยู่เหนือข้อนั้น จะเกี่ยวข้องในแนวแรงที่จะผ่านลงสู่เข่า และ Head of femur ลงไป ดังนั้น การเกาะของกล้ามเนื้อหลายมัดซึ่งทอดข้ามข้อเข่า ได้แก่ Quadriceps muscle, Hamstring muscle, Popliteus muscle รวมทั้ง Gastrocnemius muscle ส่วนของ distal femur จะมีลักษณะเป็น condyles 2 อัน ประกบกันกับกระดูก proximal tibia และกระดูก patella รวมเป็นข้อเข่า Femur ได้รับเลือดมาเลี้ยงจาก Nutrient artery เป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นแขนงของ 1st หรือ 2nd perforating branch of profundus femoris แต่ในส่วนปลายที่เชื่อมต่อกับ tibia เป็นข้อเข่า นั้น medial condyle ได้รับเลือดมาเลี้ยงจากแขนง deep branch ของ Supreme genicular artery และให้แขนงเป็น medial superior genicular artery ส่วน lateral femoral condyle รับเลือดมาจาก condylar fossa และ anterior cruciate ligament นั้นรับเลือดมาจาก middle genicular artery (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นเลือดที่มาเลี้ยงบริเวณข้อเข่า [1]

Epiphyseal plate ของ distal femur จะปรากฏ ossification center ตั้งแต่แรกคลอด และจะเชื่อมต่อเข้ากับ metaphysis เป็นเนื้อเดียวกันเมื่ออายุประมาณ 14-19 ปี โดยให้การเจริญเติบโตประมาณ 70% ของความยาว femur และเป็น 40% ของขาข้างนั้น ส่วนปลายของ medial femoral condyle จะมีความยาวในแนว AP ยาวกว่าทาง lateral ด้วยรูปร่างดังกล่าว ทำให้ในตอนท้ายสุดของการเหยียดเข่าออกจะมี screw-home mechanism เกิดขึ้น โดยจะมี external rotation ของ tibia เมื่อเทียบกับ femur

### 2.1.1.2 Tibia

ผิว articular surface ของ tibia ค่อนข้างตั้งฉากกับแกนของ tibia ส่วนปลายของกระดูก tibia ร่วมกับกระดูก fibular ประกอบขึ้นเป็นข้อเท้า (ankle joint) ส่วน tibial plateau จะประกอบเป็นขอล่างของผิวข้อเข่า ของ knee joint surface โดยแบ่งเป็น lateral และ medial plateau คั่นกลางด้วย intercondylar bony eminence ซึ่งเป็นที่เกาะของเอ็นไขว้หน้า (Anterior cruciate ligament = ACL) และเอ็นไขว้หลัง (Posterior cruciate ligament = PCL) และ ผิวของ lateral plateau จะค่อนข้างแบน ในขณะที่ทางด้าน medial เป็นแอ่งลงไป (concave) ทาง posterolateral ของ tibial plateau จะไป articulate กับ fibula บริเวณสันนูนของกระดูก Tibia ที่คลำได้ชัดเจนทางหน้าเป็น tibial tubercle และที่เป็นเกาะของ patella tendon บริเวณตรงกลาง ส่วนปุ่มกระดูกเล็กที่คลำได้ lateral ออกไปจาก tibial tubercle เล็กน้อยเรียกว่า Gerdy's tubercle ซึ่งเป็นที่เกาะของ Iliotibial band

แขนงเลือดที่มาเลี้ยง shaft ของ tibia มาจาก nutrient branch ของ posterior tibial artery ทางเข้าทางด้านหลังของ tibia ใต้ต่อ origin ของ Soleus muscle จากนั้นให้แขนงใน intramedullary ขึ้นบนและลงล่างเลี้ยง shaft ของ tibia ส่วนบริเวณ proximal tibia ซึ่งมี cortex ค่อนข้างบางจะมีแขนงทางทะลุเข้าไปโดยรอบเหมือนซี่ล้อเกวียน (รูปที่ 2.2) Proximal physis ของ tibia จะเป็นส่วนให้ความเจริญเติบโตกับ tibia ถึง 55% ซึ่งคิดเป็น 27% ของความยาวของขาทั้งหมด



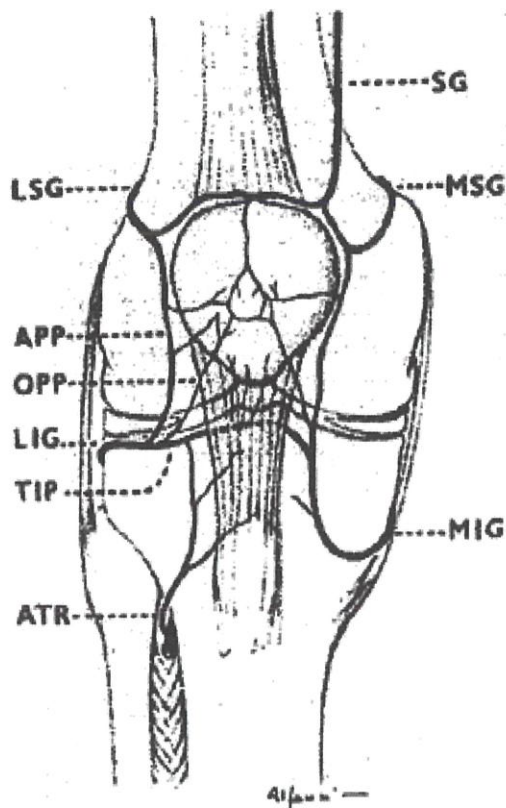
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นเลือดที่มาเลี้ยงรอบ proximal tibia มีลักษณะล้อมรอบเหมือนซี่ล้อเกวียน [1]

### 2.1.1.3 Patella

เป็น sesamoid bone ขนาดใหญ่ภายใน Quadriceps muscle มีผิว articulate กับ Suprapatella pouch ในขณะที่เหยียดเข้าสุดและ articulate กับ intercondylar trochea groove ของ femur ในขณะที่กำลังก้าวขึ้นบันไดนั้น patella ต้องรับ load มากถึง 3 เท่าของน้ำหนักตัว อย่างไรก็ตามการทำงานของ patella ยังช่วยการได้เปรียบเชิงกลในขณะเหยียดเข้าออก โดยช่วยลดแรงดึงที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้อย่างมาก

โดยทั่วไป patella ประกอบด้วย articular facet 2 ข้าง คือ medial และ lateral facet ซึ่งแต่ละองศาของการงอหรือเหยียดข้อเข่า patella จะ articulate กับ femur มากน้อยต่างกันไปในท่าเหยียดเข้าสุด patella จะ articulate กับ Intercondylar trochea fossa ทั้งทาง medial และ lateral facet ซึ่งเป็นการช่วยลด force per surface area ลงไป เพราะในขณะ flexion นั้น patella ต้องรับแรงที่กดต่อ femoral surface สูงมาก

แขนงของเส้นเลือดที่มาเลี้ยง patella นั้นจะประกอบเป็นรูปวงกลมล้อมรอบ patella เป็น Extraosseous pattern โดยแต่ละ Quadrant จะมีเส้นเลือดสำคัญต่างๆ มาเลี้ยง คือทาง Superomedial Quadrant มีแขนงของ Supreme genicular และ medial superior genicular arteries จะ anastomose กันด้วย transverse suprapatellar artery ให้แขนงไปเลี้ยงบริเวณ superolateral quadrant ทาง inferolateral quadrant ประกอบด้วย anastomosis ของ lateral inferior genicular artery และ recurrent branch จาก tibialis anterior (รูปที่ 2.3) นอกจากนี้จะมี anastomosis กับ infero-medial genicular artery ผ่านทาง transverse infra-patellar artery



รูปที่ 2.3 แสดง anastomosis ของเส้นเลือดที่ไปเลี้ยง patella [1]

กลุ่มเส้นเลือดบริเวณ inferior patella จะประกอบกันเป็นร่างแหให้แขนงขึ้นไปเลี้ยงส่วนล่างของกระดูกสะบ้า ซึ่งระบบเส้นเลือดที่เลี้ยงกระดูกสะบ้าสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ

1) Midpatellar vessels เข้าสู่ patella ทาง middle third ของด้านหน้ากระดูกสะบ้า

2) Polar vessels ซึ่งเข้ามาทาง infrapatellar anastomosis ของ inferior genicular artery เป็นที่น่าสังเกตว่า กระดูกสะบ้าที่หักบริเวณขอบนอกมักติดกันยาก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีเลือดมาเลี้ยงน้อย Wiberg แบ่ง patella ออกเป็นชนิดต่างๆ ตามรูปร่างของ medial facet

Type I : medial facet มีขนาดใกล้เคียงกับ lateral facet

Type II : medial facet มีขนาดประมาณครึ่งหนึ่งของ lateral facet

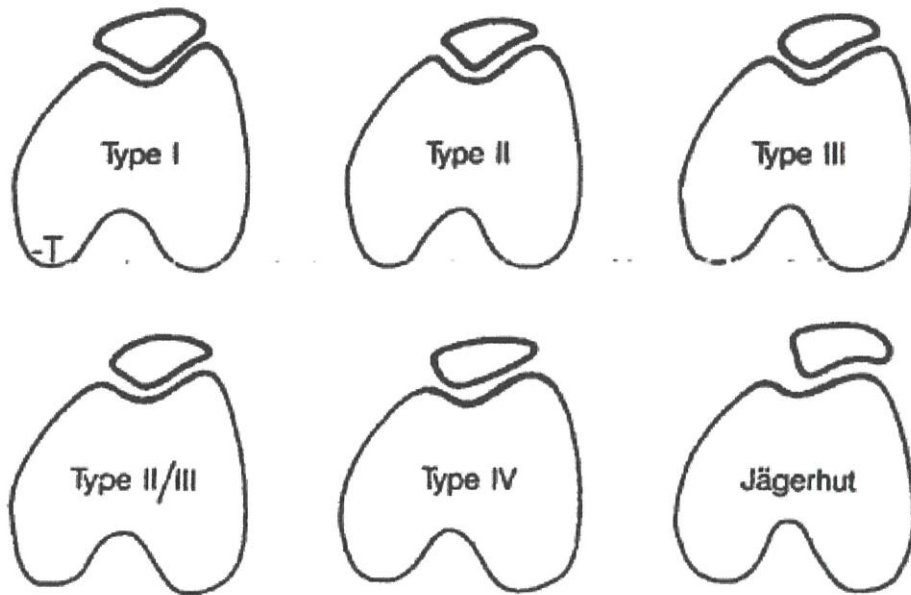
Type III : patella เลื่อนไปทาง lateral มากจนดูเหมือนไม่มี medial facet และขอบทาง medial facet นูนเป็นสันขึ้นมา

Baumgart แบ่ง patella ออกเป็น 6 ชนิด โดยสามชนิดแรกเหมือนการแบ่งของ Wiberg และเพิ่มเติมอีก 3 ชนิด (รูปที่ 2.4) ดังนี้

Type II หรือ III : ซึ่งมี medial facet แทนแทนที่จะเว้าเป็นแอ่งลงไป

Type IV : ไม่มี medial facet

Type V : มี lateral subluxation ของ patella



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของ Patella ชนิดต่างๆ [1]

แนวแรงของกล้ามเนื้อ Quadriceps ที่ผ่านสะบ้าจะทำมุมกับแนวแรงดึงของ patellar tendon ขนาดหนึ่งเรียก Q angle (รูปที่ 2.5) แต่แรงต่างๆ นี้จะสมดุลย์กับแรงดึงจาก Vastus medialis และ Vastus lateralis รวมทั้ง patello-femoral ligaments และ retinaculum ทั้งทาง lateral และ medial



รูปที่ 2.5 แสดง Q-angle ซึ่งเกิดจากแรงดึงของกล้ามเนื้อ quadriceps และ patellar tendon [1]

#### 2.1.1.4 Synovium

จะคลุมผิวภายในข้อเข่าบริเวณส่วนที่ไม่มีกระดูกอ่อนคลุม โดยเจริญมาจากชั้น mesoderm และไม่มีลักษณะของ epithelium lining อย่างแท้จริง แต่จะมีเนื้อเยื่อชั้นลึกลงไปอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ alveolar, fibrous หรือ adipose ซึ่งในชั้นนี้จะมีแขนงของเส้นเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ synovium คลุม cruciate ligaments จะเป็นแหล่งสำคัญ สำหรับให้แขนงประสาทและเส้นเลือดไปเลี้ยง cruciate ligament นั้น

synovium ที่บุรอบผิวข้อเข่าบางส่วนเจริญมาจาก membrane ที่แบ่งข้อเข่าตั้งแต่ยังเป็น embryo อยู่ โดย membrane เหล่านี้จะแยกส่วนของเข่าออกเป็น 3 ส่วน คือ suprapatellar, lateral และ medial compartment เมื่อเป็น embryo ที่มีอายุประมาณ 3 เดือน ในครรภ์มารดา compartment เหล่านี้จะรวมกันและ membrane เริ่มหดหายไป ถ้าหาก membrane เหล่านี้ยังคงเหลืออยู่จะหนาตัวขึ้นเป็นสัน เรียกว่า plica ซึ่งอาจเป็น remnant ธรรมดาที่ไม่มีความสำคัญ หรืออาจมีการหนาตัวขึ้นมาก และมีผลขัดขวางการเคลื่อนไหวของข้อเข่า ทำให้เจ็บปวดได้ plica ที่พบบ่อยถึง 90% ของข้อเข่าคือ suprapatella plica ซึ่งมักไม่ทำให้มีอาการผิดปกติใดๆ สำหรับ infrapatella plica (ligamentum muscosum) ก็พบได้บ่อยเช่นกันเกาะอยู่หน้าต่อ ACL และมักไม่ทำให้มีอาการเช่นเดียวกัน ส่วน plica ที่ทำให้มีอาการปวดมักเป็น medial plica ซึ่งเกาะจาก suprapatella แนวนยาวลงมาถึง infrapatellar fat pad อาจมีการหนาตัวมากและแข็ง ซึ่งจะขัดขวางการเคลื่อนไหวข้อเข่าในตำแหน่งต่างๆ

### 2.1.1.5 Ligament and Associated Restraining Structures

สามารถแบ่งกายวิภาคเป็นส่วนต่าง ๆ คือ

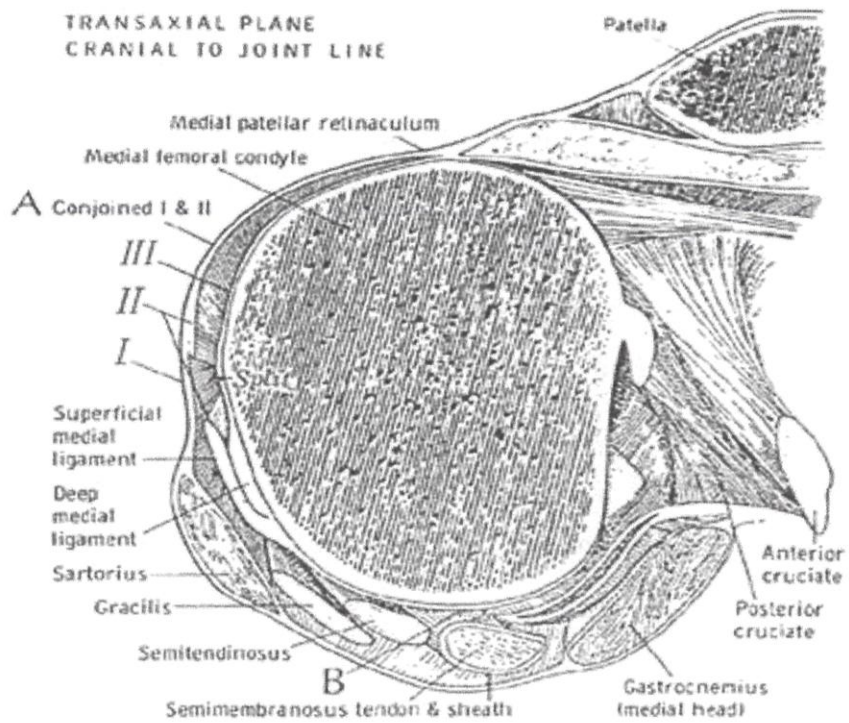
1) Medial knee anatomy

อาจแบ่งได้เป็น 3 ชั้นตาม Warren (รูปที่ 2.6)

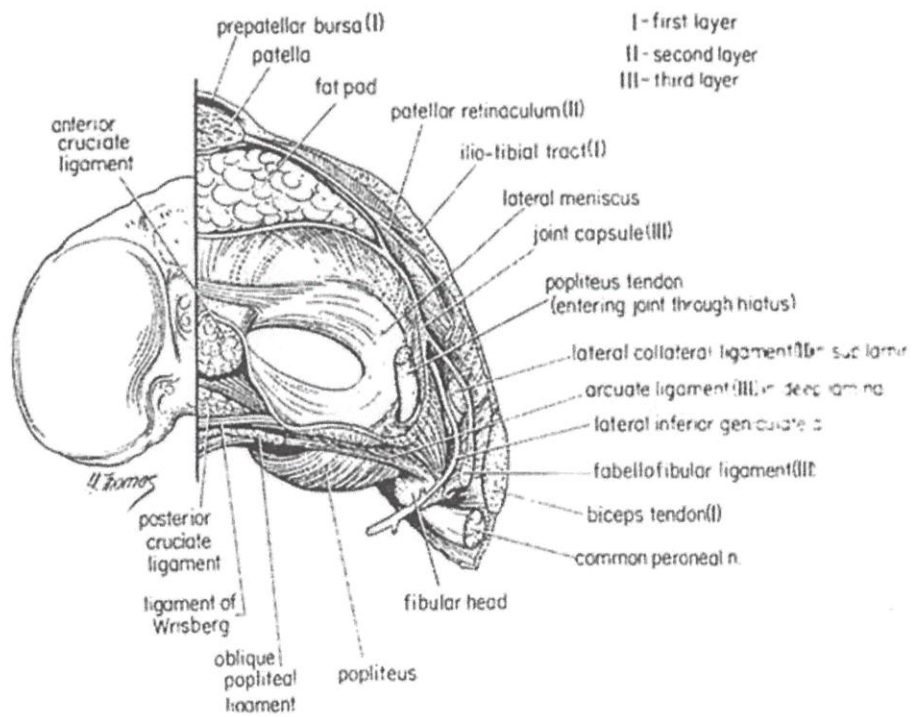
I. Superficial layer (Layer I) ประกอบด้วย Deep fascia ที่คลุม Quadriceps ต่อเนื่อง ไปเป็น deep fascia of the leg จะคลุมกล้ามเนื้อ Sartorius และเป็นทีเกาะของกล้ามเนื้อนี้ด้วย

II. Layer II เป็นส่วนของ Superficial medial collateral ligament (MCL) ซึ่ง Layer I กับ II นี้จะรวมกันไปเชื่อมกับ Vastus medialis ทางด้านหน้าต่อไป เป็น Patellar retinaculum ดังนั้น layer I กับ II จะแยกกันชัดเจนก็ตรงบริเวณที่ค่อนมาทางด้านหลังบริเวณ Superficial MCL นี้เอง กล้ามเนื้อ Gracilis และ Semitendinosus จะวิ่งอยู่ระหว่าง layer I และ II นี้ layer II มีชื่อเรียกต่าง ๆ ได้แก่ Superficial medial collateral ligament, Tibial collateral ligament หรือ medial collateral ligament เกิดจากบริเวณ longitudinal fiber ของ superficial MCL ไปทางด้านหลังจะเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกับ layer II (joint capsule) ร่วมกับ Semimembranosus เป็น postero-medial corner ให้ความแข็งแรงกับข้อเข่า ซึ่ง Houghston เรียกว่า posterior oblique ligament ในขณะที่ Warren ให้ส่วนนี้เป็น oblique fiber ของ superficial collateral ligament

III. Layer III เป็นส่วนของ joint capsule ซึ่งทางส่วนข้างหน้าจะบางและไม่ค่อยให้ความแข็งแรงมากนัก แต่ส่วนกลางและทางด้านหลังของ layer III นี้ จะให้ความสำคัญกับเข่ามาก โดยเฉพาะส่วนกลางบางคนเรียกว่า middle capsule ligament หรือ deep medial ligament หรือ deep collateral ligament หรือ deep MCL ซึ่งอยู่ใต้ต่อชั้น superficial ชั้น deep MCL แบ่งเป็นส่วนของ menisco-femoral และ menisco-tibial portion ส่วนบริเวณที่เกาะรอบขอบของ meniscus ไปยัง tibia เป็นส่วนของ coronary ligament ชั้น layer III นี้ จะแยกกันชัดเจนบริเวณ midportion เช่นเดียวกับ layer II และบริเวณ posteromedial ต่อ oblique fiber นั้นจะเป็นส่วนที่สามารถตัดเพื่อขยาย fiber ทำให้สามารถเหยียดเข้าได้มากขึ้น โดยไม่ไปรบกวนต่อ posterior oblique fiber ทำในกรณีที่ต้องการเหยียดเข้าให้มากขึ้น Semimembranosus insertion เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ให้ความแข็งแรงต่อ postero-medial corner ประกอบด้วยจุดเกาะ 5 จุด จุดแรกเกาะโดยตรงที่ posteromedial ของ tibia ใต้ต่อ joint line จุดที่ 2 เกาะไปทางข้างหน้าใต้ต่อ superficial MCL จุดที่ 3 รวมเป็น posteromedial capsule จุดที่ 4 รวมเป็น oblique popliteal ligament คลุมหลังต่อ knee joint capsule จุดที่ 5 รวมกับ superficial MCL ทางด้านล่าง



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างชั้นต่างๆ ที่ห่อหุ้มเข่าด้าน medial [1]



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างชั้นต่าง ๆ ที่ห่อหุ้มเข่าด้าน lateral [1]

## 2) Lateral knee anatomy

Seebacher แบ่งชั้นทาง lateral ออกเป็น 3 ชั้น (รูปที่ 2.7) ได้แก่

I. Superficial layer เป็นส่วนของ deep fascia จากด้านหลังต่อมาทางด้านหน้า ซึ่งทาง lateral คือ iliotibial tract ซึ่งรวมกับ intermuscular septum ไปเกาะบริเวณ supracondylar tubercle ของ femur และลงมาเกาะที่ Gerdy's tubercle ของ tibia เป็น capsule-osseous attachment ซึ่งให้ความมั่นคงต่อเข้าทาง lateral ตามที่ Terry เคยรายงานไว้และเรียกส่วนนี้ว่า anterolateral ligament of the knee ส่วนที่อยู่หน้าไปกว่านี้จะไปรวมกับ Vastus lateralis เป็น lateral patellar retinaculum ส่วนทางด้านหลังจะรวมกับ biceps tendon ซึ่งเทียบได้กับ Sartorius ใน layer I ของ medial site

Marshall พบว่า Biceps tendon มีจุดเกาะแยกเป็น 4 ส่วน คือ 1. เกาะที่บริเวณ Gerdy's tubercle 2. รวมกับ crural fascia ของขา 3. คล้องรอบ lateral collateral ligament (LCL) 4. ลงไปเกาะที่ styloid process ของ head of fibular

II. ชั้นลึกลงไปกว่า superficial layer เป็นชั้นของ retinaculum ของ Quadriceps muscle และ patellofemoral ligament ซึ่งทอดจาก patella ไปยัง 1. intermuscular septum 2. lateral epicondyle 3. fabella หรือ posterolateral capsule โดย Reider พบว่า patella ยังมีลักษณะเหมือน Wiberg type III มากขึ้นเท่าไรก็ยังมี patellofemoral ligament หนามากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งช่วยอธิบายการเกิด patellar subluxation และช่วยเป็นแนวทางในการผ่าตัดรักษา

III. ชั้นลึกที่สุดทาง lateral ของเข้าประกอบด้วย lateral capsule และ lateral collateral ligament ตัว lateral capsule จะเกาะจากขอบของผิวข้อเข้าไปยัง meniscus ยึด tibial กับ meniscus ด้วย coronary ligament บริเวณที่ใกล้กับ fibula head จะเชื่อมกับ fibular head บริเวณด้านหลังของ lateral meniscus มีส่วนที่ meniscus แยกจาก capsule ไว้วาวประมาณ 1.3 cm ซึ่งเป็นทางให้ Popliteus tendon พาดผ่านไปเกาะที่ femoral condyle บริเวณนี้ capsule จะแยกเป็น 2 ชั้น ชั้น superficial จะหุ้มรอบ LCL แล้วไปสุตรรวมกันเป็น fabellofibula ligament ด้านหลัง ดังนั้น Seebacher จึงถือเอา LCL เป็นส่วนหนึ่งของชั้น capsular layer LCL จะเกาะจาก epicondyle ของ femur ไปยัง head ของ fibula และอยู่หลังต่อจุดหมุนของเข้า จึงตั้งในท่าเข้าเหยียดและหย่อนในท่าเข้างอโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเข่างอมากกว่า 30 องศา และทำหน้าที่เป็น primary restrain สำหรับ varus stress test

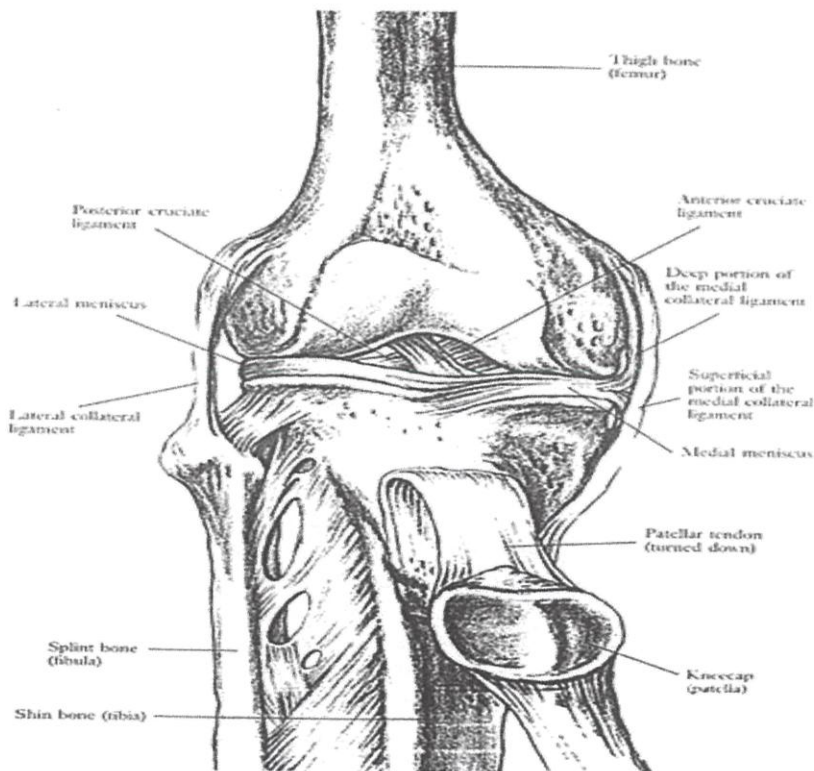
ชั้น deeper lamina ของ capsule จะทอดผ่าน posterolateral ของ meniscus ประกอบเป็น coronary ligament และส่วนปลายสุดเป็น arcuate ligament ซึ่งจะแผ่จาก styloid process ของ fibula head แล้วรวมกับ popliteus musculo-tendinous junction สุดท้าย posterior capsule ใกล้กับส่วนปลายของ oblique popliteal ligament ชั้น deeper lamina นี้จะแยกตัวจาก LCL ด้วย

inferior lateral geniculate artery ligament ด้วย ดังนั้นจึงสามารถใช้ inferior lateral geniculate artery เป็น landmark ช่วยแยกชั้นของ ligament นี้ได้

De Lee ไม่แยก arcuate ligament ออกจาก fabellofibula ligament แต่จะเรียกรวมกันเป็น arcuate complex เลย โดยรวมเอา ligament ดังกล่าวทั้ง 2 และ LCL, popliteus และ lateral head of gastrocnemius Popliteus ligament ต่อจาก myotendinous junction ของ popliteus muscle ไปยัง lateral femoral condyle จะเกาะกับ lateral mensiscus และ arcuate ligament แล้วทอดเข้าสู่ knee joint แต่อยู่ extrasynovial จุดเกาะจะอยู่หลังต่อ LCL

### 3) Cruciate ligament anatomy

เป็น intraarticular extrasynovial ligament อยู่บริเวณ intercondylar notch ของ femoral condyle ประกอบด้วย anterior cruciate ligament (ACL) เกาะจาก medial side ของ lateral femoral condyle ไปยัง intercondylar eminence ของ tibia และ posterior cruciate ligament (PCL) เกาะจาก lateral side of medial femoral condyle ไปยังด้านหลังของ intercondylar ใต้ต่อระดับ tibia plateau ประมาณ 1.5 cm (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของเอ็นที่เกาะภายในและภายนอกข้อเข่า [1]

#### 4) Histologic anatomy of cruciate ligament

บริเวณจุดเกาะของ cruciate ligament จะมีการค่อยๆ เปลี่ยนแปลงจาก zone ที่ยึดหยุ่นของ ligament ไปสู่ zone ของกระดูกที่แข็งกว่า ระหว่างนั้นจะมีส่วน zone ที่ค่อย ๆ เปลี่ยนเป็น zone ที่มีการ calcified การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ ทำให้เกิดสภาพต่อเนื่อง Cooper แบ่ง zone ต่าง ๆ เหล่านี้เป็น

Zone I เป็น Weavy collagen zone

Zone II เป็น Fibrocartilage zone

Zone III เป็น Mineralized zone

Zone IV เป็น Bone matrix collagen และจะเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกับ mineralized zone

#### 5) Vascular anatomy of cruciate ligament

cruciate ligament รับเลือดมาเลี้ยงจาก synovium โดยรับแขนงมาจาก middle geniculate artery ของ popliteal artery โดยจะมีแขนงเส้นเลือดใน synovium วิ่งตามแนวขวางต่อ ligament ทางเข้าโดยรอบไป anastomose กับ endoligamentous vessels ซึ่งวิ่งตามแนวยาวขนานกับ collagen bundle ส่วนบริเวณที่เกาะของ ligament นั้นมีเลือดจากกระดูกผ่านเข้ามาใน ligament บ้าง แต่เป็นปริมาณน้อย ในภาวะปกติจะได้รับเลือดจากแขนงของ inferior medial และ lateral geniculate artery แต่จะมีปริมาณมากขึ้น เมื่อส่วนกลางของ ligament ได้รับบาดเจ็บหรือมีการฉีกขาดเกิดขึ้น

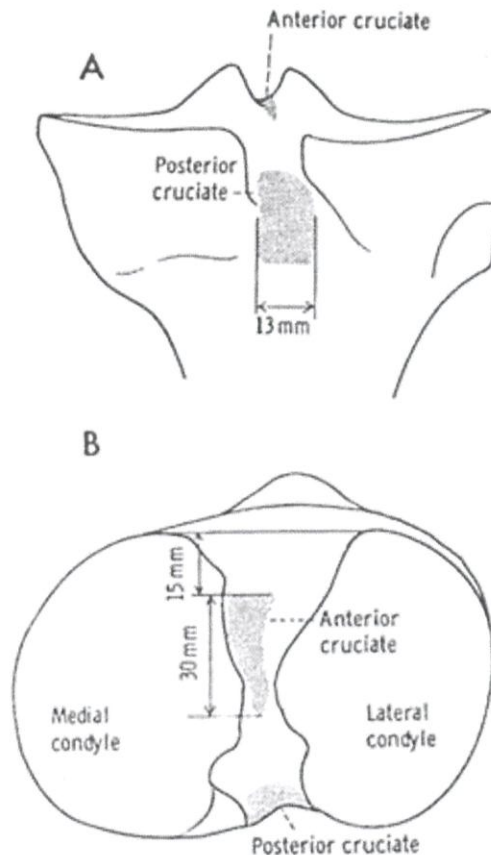
#### 6) Neurologic anatomy of cruciate ligament

cruciate ligament ได้รับ nerve supply จากส่วนของ tibial nerve ในบริเวณ popliteal fossa ใน ปี ค.ศ.1984 Schultz ได้ศึกษา mechanoreceptor ของ cruciate ligament และพบว่า ภายใน cruciate ligament มี mechanoreceptor อยู่ ลักษณะเป็น golgi tendon organ โดยสันนิษฐานว่าน่าจะทำหน้าที่รับ proprioceptive sense Schutte ได้ศึกษา neuroanatomy ของ ACL และ PCL พบว่านอกจาก free nerve ending แล้วยังมี mechanoreceptors อีก 3 ชนิด คือ Ruffini endings, Golgi tendon organ ซึ่งทั้ง 2 เป็น slow adapting mechanoreceptor สามารถรับรู้ความรู้สึกแม้มี stimuli เพียงเล็กน้อย และ Pacinian corpuscle ซึ่งเป็น rapidly adapting mechanoreceptor

#### 7) Insertion site anatomy of cruciate ligament

ใน ค.ศ.1975 Girgis ได้รายงานการศึกษาการเกาะของ ACL ของ PCL อย่างละเอียด (รูปที่ 2.9) หลังจากนั้นก็มีผู้ศึกษาอีกหลายคนทั้ง Odensten และ Daniel พบลักษณะการเกาะของ cruciate ligament คล้ายกัน คือจุดเกาะเป็น crescent shape หรือ oval shape โดย ACL มีแนวการเกาะที่ femoral attachment เป็นแนวยาวตาม axis ของ femur ส่วน tibial attachment เป็นแนว

ยาวตาม antero-posterior ของ axis ของ tibia ทำให้มีการบิดของ ACL ในระหว่างการเคลื่อนไหวแต่ ละตำแหน่งและความตึงแต่ละส่วนของ fibers จะไม่เท่ากันตลอด



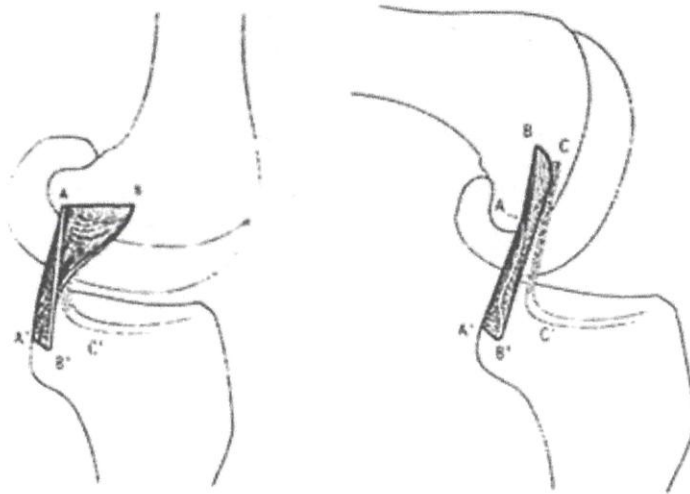
รูปที่ 2.9 แสดงจุดเกาะของเอ็น cruciate ที่เกาะภายในข้อเข่า [1]

ลักษณะการเกาะของ ACL ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ การแผ่ออกตามยาวของแนวเกาะ ACL ทำให้มีลักษณะรูปร่างเหมือนเท้า (รูปที่ 2.10) ซึ่งจะทำให้มี impingement กับส่วนบนของ intercondylar notch เป็นเหตุให้ ACL มี strain มากขึ้นและเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้ ACL ขาดได้ง่าย โดยมีการศึกษาของ Anderson กับพวกและ Houseworth กับพวกในปี 1987 ให้ผลตรงกันว่า intercondylar notch ของผู้ป่วยที่มี ACL ขาดมักจะแคบกว่า notch ของคนปกติอย่างมีนัยสำคัญ Souryal กับพวกยังพบว่า อัตราส่วนความกว้างของ Notch ต่อ Intercondylar distance ของผู้ป่วยที่มี ACL ขาดสอง ข้าง จะแคบกว่าของคนปกติ ในขณะที่อัตราส่วนนี้ของผู้ป่วยที่ ACL ขาดข้างเดียวไม่แตกต่างจากของคนปกติ ทั่วไป และให้อัตราส่วนนี้มีค่าน้อยกว่า 0.2 เป็น risk factor ต่อการเกิด ACL injury ลักษณะจุดเกาะของ PCL ที่ femur เป็นรูปครึ่งวงกลม ซึ่งมีขนาด 21 x 10 mm มี longitudinal axis ในแนว anteroposterior เกาะ inner wall และขอบด้านบนบนของ intercondylar notch แต่ถ้ามี

meniscomfemoral มาร่วมเกาะบริเวณนี้แล้ว PCL ก็จะเลื่อนไปเกาะทาง inner wall ของ notch มากขึ้น ส่วนที่ tibia นั้น PCL เกาะต่ำกว่า tibial plateau level ลงมา แต่ยังคงอยู่ใน intraarticular อยู่แนวเดียวกับ intercondylar eminence มี fiber orientation ที่ Hughston บรรยายไว้เป็น anterolateral band ซึ่งจะติงตัวในท่าเข่างอ และ posteromedial band ซึ่งจะติงตัวในท่าเข้าเหยียดตรง (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.10 แสดงการแผ่อกตามยาวของแนวเกาะ ACL ทำให้มีลักษณะรูปร่างเหมือนเท้า [1]

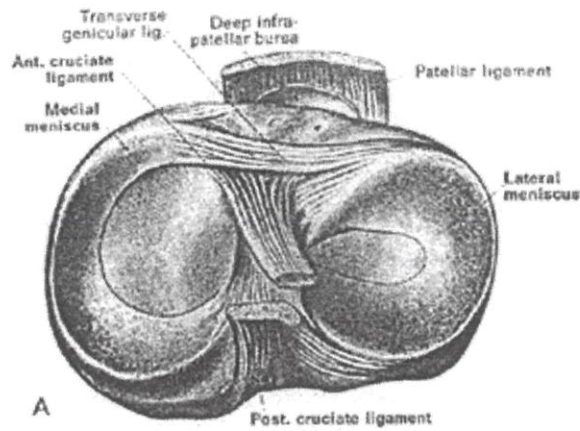


รูปที่ 2.11 แสดง anterolateral band PCL ซึ่งจะตั้งตัวในท่าเข่างอ และ posteromedial band PCL ซึ่งจะตั้งตัวในท่าเข่าเหยียดตรง [1]

#### 2.1.1.6 Meniscus

Meniscus เป็นกระดูกอ่อนในข้อเข่าเสริมอยู่ระหว่างผิวข้อของ tibia ซึ่งไม่เข้ารูปกับ femur อย่างแนบสนิท ช่วยทำให้ผิวข้อเข้ารูปกันจนสนิทและมีการกระจายแรงที่สม่ำเสมอ meniscus จะเกาะอยู่กับ tibial แน่นหนากว่า femur ด้วย coronary ligaments แต่ก็จะมีการขยับตัวให้ห่างโดยจะขยับมาทางข้างหลังในขณะที่เข่างอ Medial meniscus จะเกาะกับ tibia แน่นหนากว่า lateral meniscus ทำให้แต่เดิมมีความเชื่อว่า medial meniscus มีอุบัติการณ์ฉีกขาดมากกว่า lateral meniscus ส่วนที่เกาะกับ capsule มากที่สุดของ medial meniscus อยู่บริเวณที่ติดกับ posterior oblique ligament

Meniscus เป็นรูปพระจันทร์เสี้ยว เมื่อมองจากด้านบน (รูปที่ 2.12) และเป็นรูปรีเมื่อมองในภาพตัดขวาง มีเลือดมาเลี้ยงเฉพาะขอบประมาณ 25-30% ด้านนอกยกเว้นบริเวณ popliteus hiatus ของ lateral meniscus แต่ส่วนที่ไม่มีเลือดมาเลี้ยงก็สามารถรับอาหารและออกซิเจนจาก pressure gradient ที่เกิดขึ้นขณะเข่ามีการขยับในท่างอและเหยียด ทำให้มีความเปลี่ยนแปลงความดันในข้อเข่า ส่วนของ meniscus ที่มีเลือดมาเลี้ยงจะทะลุผ่านเข้ามาจากขอบนอกเป็นรูปซี่ล้อเกวียน เช่นเดียวกับที่ไปเลี้ยง tibia



รูปที่ 2.12 แสดง Menisci เป็นรูปพระจันทร์เสี้ยว เมื่อมองจากด้านบน [1]

variation อย่างหนึ่งของ meniscus ก็คือการมีรูปร่างผิดปกติไปจากรูปพระจันทร์เสี้ยวเป็นรูปแผ่นกลมทั้งชิ้นแทน ไม่มีรอยเว้าด้านใน (Discoid meniscus) พบอุบัติการณ์ประมาณ 1-2% ในแถบอเมริกาเหนือ และ 15% ในชาวเอเชียแปซิฟิก Discoid meniscus แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

- 1) Complete type
- 2) Incomplete type
- 3) Wrisberg ligament type

สองประเภทแรกนั้น แบ่งตามลักษณะของ meniscus ที่พบ แต่จะมีการเกาะกับ ligament ตามปกติ ส่วนประเภทหลังนี้จะเกาะกับ Wrisberg ligament ค่อนข้างแน่นมาก และจะมีการขยับโดยการดึงของ ligament นี้ด้วย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มี Wrisberg ligament สั้น เวลาผู้ป่วยเหยียดเข่าสุดจะทำให้ meniscus ถูกดึงไปข้างหน้าและมีเสียงดังเกิดขึ้น ร่วมกับอาการเจ็บได้ จึงเป็นกลุ่มที่จำเป็นต้องได้รับการรักษา

### 2.1.1.7 กล้ามเนื้อรอบข้อเข่า

กล้ามเนื้อต่างๆ ที่ทอดข้ามข้อสามารถก่อให้เกิดความมั่นคงภายในข้อได้ในลักษณะของ Dynamic stabilizer เมื่อมี tone ของกล้ามเนื้อ ดังนั้นการฝึกฝนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจึงสามารถช่วยเพิ่มความมั่นคงภายในข้อ โดยการเพิ่ม joint reaction force โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการสมดุลงของแนวแรงตำแหน่งต่างๆ เช่น การสมดุลงระหว่าง Quadriceps muscle ร่วมกับ Hamstring muscle และ Gastrocnemius muscle เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกล้ามเนื้อมัดเล็กที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงของข้อได้ในลักษณะนี้อีกเช่น tensor fascia lata และ iliotibial tract, popliteus muscle

## 2.2 ท่าออกกำลังกาย

### 2.2.1 Squat [2]

#### 2.2.1.1 Bodyweight Squat

เป็นท่า squat พื้นฐาน ที่ใช้กำลังจากกล้ามเนื้อหลายๆ ส่วนของร่างกาย โดยเฉพาะช่วงลำตัวลงไป ไล่ตั้งแต่หน้าท้อง หลัง ต้นขาด้านหน้า และต้นขาด้านหลัง โดยเป็นท่าที่ช่วยกระชับและเพิ่มความแข็งแรงให้กับต้นขาและสะโพกได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของ Bodyweight Squat ได้ดังนี้

- 1) Mini Squat
- 2) Half Squat
- 3) Deep Squat

#### 2.2.1.2 แรงที่เกิดขึ้นในการทำ Bodyweight Squat

- 1) Mini Squat

ที่ 0-60 องศา จะเกิดแรงเฉือนสูงสุด เป็นช่วงที่จะแยต่อเอ็นหากเรา Squat แล้วทิ่มเข่าลงหรือข้อเท้าลงก่อน รวมถึงเป็นช่วงที่จะเกิด Dynamic Knee Valgus หรือเข่าบิดเข้าข้างในได้ง่ายถ้าคุมฟอร์มไม่ดี แต่ถ้า Squat ด้วยเทคนิคที่ถูกต้องคือใช้สะโพกลงก่อน คุมเข่าให้ไม่บิดเข้าในได้ก็ไม่มีปัญหาที่ 15-30 องศา เกิดแรงเฉือนต่อ ACL สูงสุด ถ้าคนที่มีปัญหาเอ็นไขว้หน้าฉีกขาดอาจจะต้องระวังในช่วงนี้ให้มากๆ ไม่ใช่ใช้น้ำหนักมากเกินไป ไม่ทิ่มเข่าลงก่อนสะโพก คุม Dynamic Knee Valgus ให้ได้ที่ 10-70 องศา เป็นช่วงที่ Hamstring ทำงานเป็นหลัก เพราะฉะนั้นจะเกิดแรงเฉือนไปด้านหลังมากขึ้น ซึ่งเริ่มจะมีผลต่อ PCL หรือเอ็นไขว้หลัง ถ้าคนที่ปกติก็ไม่มีปัญหา

## 2) Half Squat

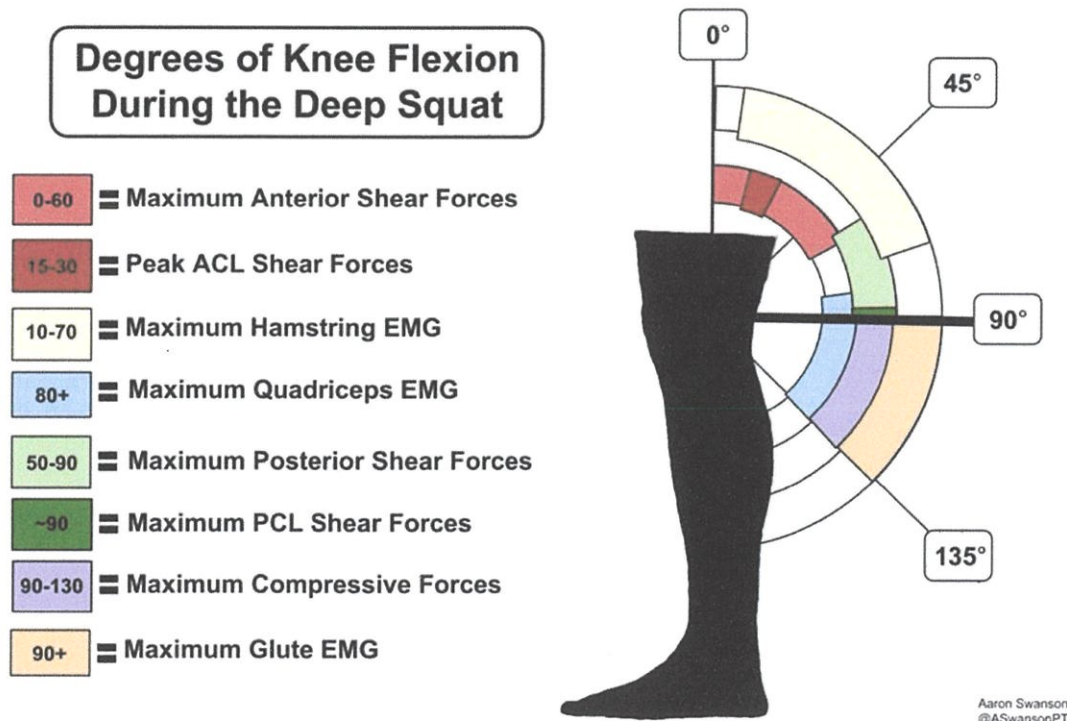
ที่ 80 องศา ขึ้นไปเป็นองศาที่เหมาะสมในการฝึก Quad หรือกล้ามเนื้อหน้าขา เหมาะกับนักกีฬาหลายๆชนิดที่ไม่จำเป็นต้องย่อเข้าเยอะ เช่น ฟุตบอล วิ่ง เป็นต้น ที่ 50-90 องศา เป็นองศาที่จะเริ่มมีแรงเฉือนไปด้านหลังมากขึ้น พร้อมกับมีแรงกดเพิ่มขึ้น ผู้ที่มีปัญหา PCL เอ็นสะบ้าอักเสบ หรือสะบ้าขูดผิวข้อ มักจะมีอาการปวด 90 องศาหรือ Half Squat เป็นช่วงที่เกิดแรงเฉือนต่อ PCL มากที่สุด

## 3) Deep Squat

ที่ 90-120 องศา เมื่อเริ่มลงลึกขึ้น แรง Compression หรือแรงกดต่อหมอนรองและผิวข้อสะบ้าจะสูงขึ้น จึงไม่เหมาะกับผู้ที่ผิวข้อสะบ้าเสื่อมหรือขูดผิวข้อ เอ็นสะบ้าอักเสบ หมอนรองกระดูกเข่าอักเสบ

ที่ 90 องศาเป็นต้นไปเป็นองศาที่เหมาะสมกับการสร้างกล้ามเนื้อแกนกลาง รวมถึงใช้ฝึกสำหรับการแข่งขันในนักกีฬา Power Lifting, Strongman , Olympic lifting หรือนักกีฬาอื่นๆที่จำเป็นต้องใช้มูมนี่ในการเคลื่อนไหว เช่น วอลเลบอล บาสเก็ตบอล อเมริกันฟุตบอล ทั้งนี้ทั้งนั้นควรฝึกด้วยเทคนิคที่ถูกต้องและต้องไม่มีอาการบาดเจ็บของ ผิวข้อและหมอนรองกระดูก

โดยสรุปแรงที่กระทำกับเข่าเมื่อออกกำลังกายท่า Squats ที่มุมเข่าต่างๆได้ดังรูป 2.13



รูปที่ 2.13 Degrees of knee flexion during the deep squat [2]



รูปที่ 2.14 Bodyweight Squats [3]

#### ข้อเสนอแนะ

1) Squat เข้าไม่เลยปลายเท้าปลอดภัยต่อ Patella Tendon, PF joint มากกว่า เพราะ จะมีแรงกดต่อเข่าและข้อเท้าน้อยกว่า แต่จะเพิ่มแรงกดและแรงเฉือนต่อสะโพกและหลังมากกว่า ไม่เหมาะกับคนที่มีอาการปวดหลัง

2) Squat เข้าเลยปลายเท้า จะเกิดแรง Compression หรือแรงกดต่อส่วข้อสูงที่สุด ไม่เหมาะกับผู้ที่มีอาการเอ็นสะบ้าอักเสบ สะบ้าขูดผิวข้อ หมอนรองกระดูกเสื่อม เข่าเสื่อม ข้อเท้าติด สำหรับคนที่มีกล้ามเนื้อยังไม่แข็งแรง ค่อยๆเพิ่มความลึก เพิ่มน้ำหนัก และฝึกด้วยเทคนิคที่ถูกต้องดังรูป 2.14

#### 2.2.2 ประโยชน์ที่จากการทำท่า Squat [4]

##### 1) กระตุ้นฮอร์โมนเสริมกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อทั้งหลายจะเติบโตขึ้นได้ต้องอาศัยฮอร์โมนต่าง ๆ ซึ่งจะหลั่งออกมาหลังจากการออกกำลังกาย โดยท่าออกกำลังกาย Squats เป็นท่าออกกำลังกายที่กระตุ้นการผลิตฮอร์โมนได้ดีอันดับต้น ซึ่งถือว่าการเล่นท่านี้ได้ประโยชน์มาก

##### 2) เสริมความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลัก

การเล่นท่า Squat พร้อมกับการถือดัมเบลและบาร์เบลไปด้วย ก็จะได้ออกแรงทั้งจากด้านล่างและด้านบน ส่งผลให้กล้ามเนื้อหลักได้รับการบริหารไปด้วย ซึ่งช่วยลดอาการบาดเจ็บและเป็นการสร้างซิกแพคที่ดี

### 3) เพิ่มความยืดหยุ่น

ท่าออกกำลังกาย Squats ด้วยแบบขั้นสุดลงสุดนี้ เป็นการบริหารกล้ามเนื้อแล้ว สามารถสร้างเสริมความยืดหยุ่นของร่างกายหลายส่วนด้วยกัน โดยเฉพาะต้นขา สะโพก และเอว ซึ่งช่วยเพิ่มความคล่องแคล่วในการเล่นกีฬาและลดอาการปวดหลังได้เป็นอย่างดี

### 4) ลดอาการบาดเจ็บ

การเพิ่มกล้ามเนื้อบริเวณข้อต่อมีส่วนช่วยลดอาการบาดเจ็บของข้อ ซึ่งท่า Squat สามารถเสริมสร้างกล้ามเนื้อในส่วนขาช่วยปกป้องข้อเข่าและสะโพกซึ่งมักบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาและออกกำลังกายได้อย่างบ่อยครั้ง

### 5) เล่นแล้วช่วงล่างแน่น

การออกกำลังกายท่า Squat ออกแบบเพื่อเสริมกล้ามเนื้อขาโดยเฉพาะ โดยผลลัพธ์ของการออกกำลังกายท่า Squat เกิดขึ้นกับขาเป็นหลัก โดยเมื่อเล่นกีฬาหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ ขาที่แข็งแรงจะช่วยให้สามารถยืนและเคลื่อนไหวได้มั่นคงกว่าเดิม

### 6) กระโดดได้สูงกว่า

การกระโดดจำเป็นอย่างมากสำหรับกีฬาบางประเภท ซึ่งการกระโดดที่จะได้ความเร็วและสูง จำเป็นต้องใช้กำลังของกล้ามเนื้อสะโพกเป็นหลัก โดยการออกกำลังกายท่า Squat เหมาะกับการเสริมสะโพกมากกว่าท่าออกกำลังกายอื่นๆ

### 7) ใช้พลังงานได้มากในเวลาอันสั้น

เมื่อเทียบกับการออกกำลังกายด้วยท่าอื่นๆ ท่า Squat เป็นท่าที่ใช้พลังงานสูง และเป็นท่าที่ช่วยกระตุ้นการเต้นของหัวใจได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงช่วยเผาผลาญไขมันได้มาก ก็จึงเป็นท่าที่นิยมและเหมาะสมในการลดน้ำหนัก

### 8) ช่วยในการกายภาพบำบัดในผู้ป่วยโรคเข่าเสื่อม

ท่า Squat ที่ใช้จะอยู่ในประเภท Mini Squat ซึ่งใช้ผนังเป็นตัวช่วย โดยยืนห่างจากผนัง 1 ฟุต กด หลังให้แนบผนังยืนกางขากว้างเท่าระดับหัวไหล่ ค่อยๆ ย่อเข่าลง เล็กน้อยไม่ให้เข่าเกินปลายนิ้วเท้า (ย่อเข่า 30-45 องศา) ผู้ป่วยที่ปวดเข่ามากหรือน้ำหนักตัวเกินมาตรฐาน ไม่ควรปฏิบัติท่านี

## 2.2.3 การบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย

ในปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจในการออกกำลังกายและเล่นกีฬามากขึ้น แต่พบว่าส่วนมากยังขาดความรู้และความเข้าใจในการดูแลตนเองเพื่อป้องกันอาการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬา

### 2.2.3.1 การป้องกันตนจากการบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย

- 1) ตรวจสอบร่างกายหรือตรวจสอบสุขภาพก่อนออกกำลังกายเพื่อหาความผิดปกติของโครงสร้างร่างกาย
- 2) ตรวจสอบสมรรถภาพของร่างกาย เพื่อจะได้รู้ขีดความสามารถและจุดบกพร่องของตน
- 3) เรียนรู้รายละเอียด เทคนิค และเลือกกีฬา หรือการออกกำลังกายที่ถูกต้องและเหมาะสมต่อตนเอง
- 4) ตรวจสอบเช็คอุปกรณ์กีฬา สนาม และเครื่องแต่งกายให้มีความเหมาะสม และพร้อมต่อการทำงาน
- 5) การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) ก่อนออกกำลังกาย เพื่อให้เลือดถูกส่งไปที่กล้ามเนื้อและสร้างความยืดหยุ่นให้กับเอ็นกล้ามเนื้อ เป็นการเตรียมความพร้อมให้ร่างกาย และคลายกล้ามเนื้อก่อนและหลังการออกกำลังกายก็ทุกครั้ง
- 6) เริ่มออกกำลังกายอย่างช้าๆ ตามขั้นตอน โดยค่อยๆเพิ่มความหนัก ความนาน ความบ่อยในการออกกำลังกายขึ้น
- 7) สังเกตปฏิกิริยาของร่างกายตลอดเวลาทั้งก่อน ระหว่างและหลังออกกำลังกาย
- 8) หลังการออกกำลังกายทุกครั้งอย่าหยุดทันที ต้องวอร์มดาวน์ก่อนทุกครั้ง เพื่อให้ร่างกายเข้าสู่สภาวะปกติ

### 2.2.4 การบาดเจ็บจากการ Weight Training

#### 2.2.4.1 เอ็นข้อไหล่ฉีก [5] เกิดจาก

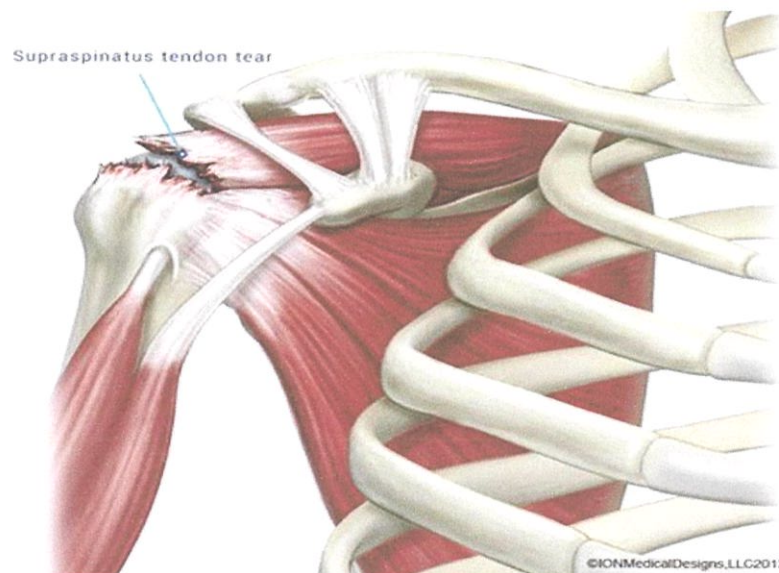
- 1) ใช้เวลาในการอบอุ่นร่างกายน้อยเกินไป เหตุผลสำคัญที่ทำให้รู้สึกเจ็บบริเวณหัวไหล่อาจมาจากปัญหาเอ็นข้อไหล่ฉีก เพราะใช้เวลาในการวอร์มอัพน้อยเกินไป จนทำให้กล้ามเนื้อไม่พร้อมรับการฝึก บวกกับการหักโหมยกเวทเพื่อเน้นเสริมความแข็งแรงให้กับร่างกายช่วงบน ส่งผลให้มีอาการเจ็บปวดที่หัวไหล่ ดังรูปที่ 2.14 นั้นเอง ฉะนั้นควรวอร์มอัพจนร่างกายพร้อมก่อนออกกำลังกายทุกครั้ง
- 2) ฝึกท่าเดิมเยอะเกินไป การฝึกแบบนี้จะไปย่ำให้กล้ามเนื้อบอบช้ำมากขึ้น รวมถึงกระดูก ข้อต่อส่วนต่างๆและเอ็นข้อไหล่
- 3) การละเลยที่จะเสริมความแข็งแรงให้เอ็นข้อไหล่ มีผู้ที่ออกกำลังกายจำนวนไม่น้อยที่ออกกำลังกายเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ จนลืมไปว่ากล้ามเนื้อไหล่ก็สำคัญไม่แพ้กัน ซึ่งกล้ามเนื้อส่วนที่เราไม่ค่อยได้ใช้นั้น จะไม่แข็งแรงเท่าส่วนอื่น ๆ ดังนั้นพอมาออกกำลังกายเน้นส่วนไหล่ที ก็อาจได้รับอาการบาดเจ็บ



รูปที่ 2.13 กล้ามเนื้ออักเสบ [5]

#### 2.2.4.2 กล้ามเนื้ออักเสบ เกิดจาก [5]

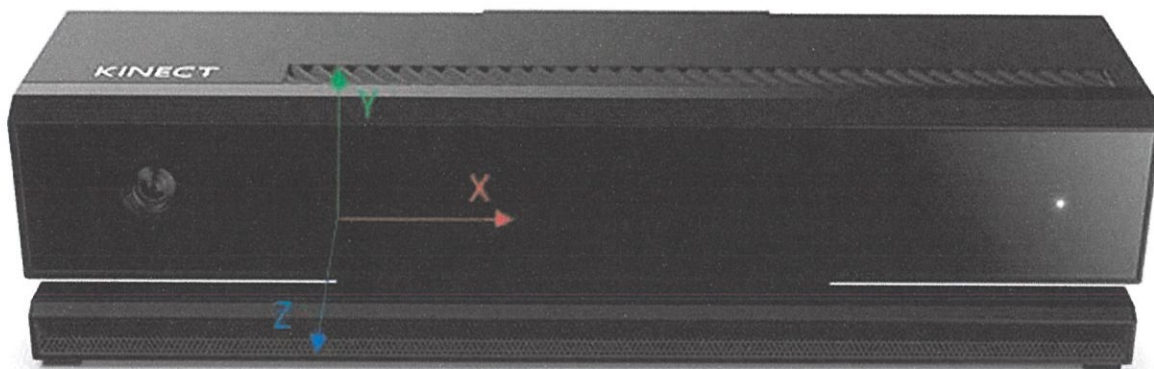
- 1) การออกกำลังกายแบบย่ำท่า
- 2) การเกร็งกล้ามเนื้อแบบผิดปกติ
- 3) ความถี่ในการออกกำลังกายที่มากเกินไปดังรูป 2.13



รูปที่ 2.14 เอ็นข้อไหล่ฉีก [6]

## 2.3 Kinect [7]

Kinect เป็นอุปกรณ์เสริมของเครื่องเล่นเกม Xbox ที่ถูกผลิตมาเพื่อเพิ่มความสมจริงและความสนุกสนานในการเล่นเกมนั้น โดยใช้เทคโนโลยีที่วิจัยและพัฒนาาร่วมกับ Prime Sensor เป็นตัวขับเคลื่อนการพัฒนา Kinect ในช่วงแรกนั้น ทางไมโครซอฟต์ซึ่งเป็นผู้ผลิตได้ใช้ชื่ออย่างไม่เป็นทางการว่า โปรเจกนาทาล (Project Natal) จนกระทั่ง เปลี่ยนมาใช้ชื่อ Kinect ดังรูปที่ 2.15



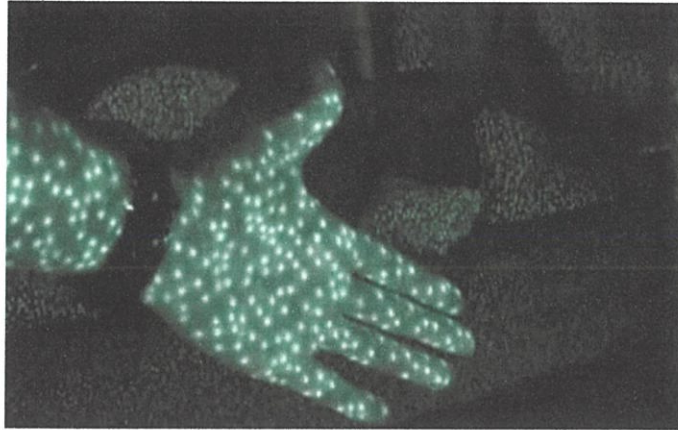
รูปที่ 2.15 กล้อง Kinect [7]

### 2.3.1 ส่วนประกอบของกล้อง Kinect

- 1) อุปกรณ์ฉายแสงอินฟราเรด (Infrared)
- 2) กล้องวัดความลึกของภาพ (Depth Camera)
- 3) กล้องวิดีโอ (Video Camera)
- 4) ไมโครโฟนและเซนเซอร์ (Sensor) ประมวลผล

### 2.3.2 หลักการทำงาน

Kinect จะตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ใช้โดยเริ่มต้นจากการให้ Infrared projector ฉายแสงอินฟราเรดในลักษณะเป็นแพทเทิร์นจุดดั่งภาพ



รูปที่ 2.16 แพทเทิร์นจุด [7]

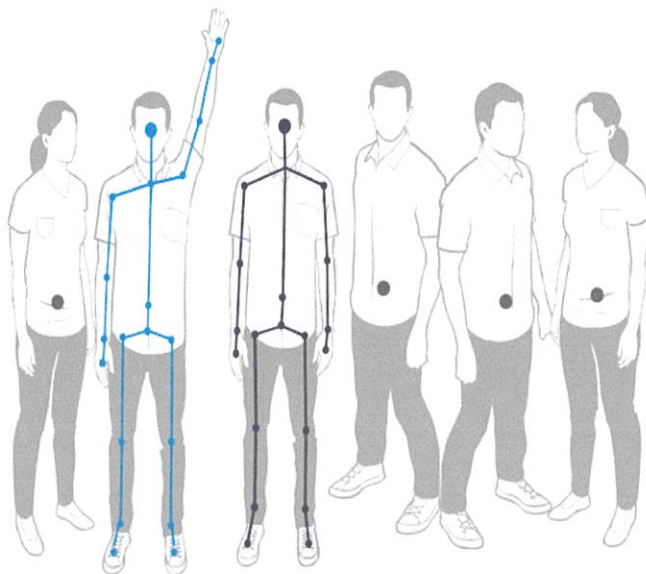
จากนั้น Infrared camera จะรับระดับความสว่างของแสงที่ตกกระทบบนวัตถุ โดยวัตถุที่อยู่ใกล้แสงจะมีความสว่างมากและวัตถุที่อยู่ไกลจะมีแสงสว่างน้อยกว่า จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ออกไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์จะได้ระดับความลึกที่ออกมาเป็นภาพด้านล่าง โดยวัตถุที่อยู่ใกล้กับตัวเซนเซอร์จะมีสีอ่อนและวัตถุที่อยู่ไกลจะมีสีเข้มไล่ระดับกันไปดังรูปที่ 2.16 และ 2.17



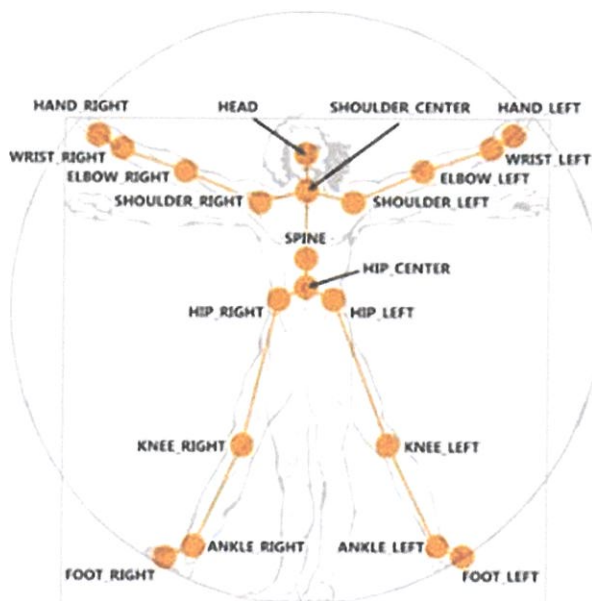
รูปที่ 2.17 ความลึกต้นของวัตถุ [7]

เมื่อ Kinect รู้ระดับความลึกแล้วก็จะสามารถแยกผู้เล่นออกจากสภาพแวดล้อมภายในห้องได้ นอกจากนี้ Microsoft Kinect Sensor ยังมีระบบ Skeletal Tracking ที่ใช้ติดตามโครงกระดูกของผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถติดตามได้มากที่สุด 2 คน แต่จะมองเห็นทั้งหมด 6 คน ซึ่งภาพที่แสดงจะเป็นภาพของโครงกระดูกมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุดสำคัญตามร่างกาย คือ Hand Right, Wrist Right, Elbow

Right, Shoulder Right, Hip Right, knee Right, Ankle Right, Foot Right, Hand Left, Wrist Left, Elbow Left, Shoulder Left, Hip Left, knee Left, Ankle Left, Foot Left, Head, Spine ดังรูป 2.18 และ 2.19



รูปที่ 2.18 โครงกระดูกมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุด คน 6 คน [7]



รูปที่ 2.19 โครงกระดูกมนุษย์ที่แทนด้วยข้อต่อ 20 จุด [7]

ระยะการตรวจจับการเคลื่อนไหวของ Kinect นั้นจะตรวจจับได้ไกลที่สุดในระยะที่ห่างออกไป 0.8 เมตร จนถึง 4 เมตร แต่ระยะที่ทำการตรวจจับได้ดีที่สุดคือห่างจาก Kinect ตั้งแต่ 1.2 เมตร จนถึง 3.5 เมตร

### 2.3.3 Coordinate mapping [8]

#### 2.3.3.1 Camera space

Camera space จะอ้างอิงถึง 3D coordinate system ที่สร้างโดยกล้อง Kinect โดย มีการกำหนดดังนี้

- 1) จุดออริจิน ( $x=0, y=0, z=0$ ) จะอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์กลางของ IR sensor บนกล้อง Kinect
- 2) แกน X จะเพิ่มขึ้นไปทางซ้ายของเซนเซอร์
- 3) แกน Y จะเพิ่มขึ้นทางด้านบน
- 4) แกน Z จะเพิ่มออกมาจากทางด้านหน้าของตัวกล้อง Kinect
- 5) 1 หน่วย = 1 เมตร (1 unit = 1 meter)

#### 2.3.3.2 Depth space

Depth space คือคำศัพท์ที่อธิบาย ตำแหน่ง 2 มิติในภาพที่มีความลึก (3 มิติ) โดยเป็นตำแหน่งของ pixel X เป็นคอลัมน์ และ Y เป็นแถว เมื่อ  $x=0, y=0$  มีตำแหน่งตรงมุมบนสุดซ้ายของภาพ และ  $x=511, y=423$  (width-1, height-1) มีตำแหน่งตรงมุมด้านล่างขวาของภาพ ค่า z แสดงความลึกของภาพ จึงเป็นการสร้าง 3 มิติของภาพ

#### 2.3.3.3 Color space

Color space คือคำศัพท์ที่อธิบายตำแหน่งของภาพสีใน 2 มิติ โดยตำแหน่งคอลัมน์ แถว ของพิกเซลในภาพ เมื่อ  $x=0, y=0$  มีตำแหน่งตรงมุมบนสุดซ้ายของภาพ และ  $x=1919, y=1079$  (width-1, height-1) ตำแหน่งตรงมุมด้านล่างขวาของภาพ

Color sensor ของ Kinect จะช่วยชดเชยค่าความลึกเล็กน้อย โดยเซนเซอร์ตัวนี้จะสร้างความลึกให้โดยอินฟราเรด (infrared)

### 2.3.4 ข้อดี [9]

- 1) Kinect เป็นจุดเด่นและมีประโยชน์ในการสั่งงานอย่างมาก
- 2) ระบบ Multi-tasking ของ Xbox One ใช้งานง่ายและเร็วดี
- 3) เกมต่างๆ ที่เล่นบน Xbox One ทำงานได้ดีเยี่ยมและมีกราฟิกที่ดีและคมชัดดี
- 4) Voice control ทำงานได้อย่างดีมาก
- 5) TV และ One Guide ทำงานได้ราบรื่นดี
- 6) Skype ระบบรู้จำใบหน้า และฟังก์ชันอื่นๆ มีประโยชน์ดี

### 2.3.5 ข้อเสีย [9]

- 1) เกมของ Xbox 360 ไม่สามารถนำมาเล่นกับ Xbox One ได้ ทั้งๆ ที่จ่ายเงินซื้อมาอย่างถูกต้องตามลิขสิทธิ์
- 2) Voice controller และระบบรู้จำใบหน้าไม่สามารถใช้ได้กับ Xbox One รุ่นที่ไม่มี Kinect (Kinect-less version)
- 3) ระบบควบคุมด้วยท่าทาง หรือ Gesture controls ยังไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อเปรียบเทียบกับ Dual Shock 4 ของ Play station 4
- 4) Xbox One ยังมีเนื้อหาใน App Chanel น้อยไป
- 5) การใช้ Kinect เป็นเครื่องมือเล่นเกม ยังคงไม่สมบูรณ์แบบนัก

### 2.4 โปรแกรม Blender [10]

โปรแกรม Blender เป็นโปรแกรมสร้างงาน 3 มิติที่มีความสามารถในการสร้างโมเดลรูปทรงต่างๆ ทั้งยังกำหนดพื้นผิวหรือสลายให้กับวัตถุได้ สามารถปรับแสง กำหนดมุมมอง สร้างชิ้นงานแอนิเมชัน พร้อมใส่เอฟเฟกต์สร้างความเหมือนจริงและชวนติดตาม จนกระทั่งประมวลผลออกมาเป็นชิ้นงานที่ 3 มิติที่สมบูรณ์แบบนอกเหนือจากนั้น ยังรองรับการสร้างเกม เนื่องจากมีเครื่องมือที่ช่วยในการทำโมเดลสำหรับเกมและการทำงานอื่นๆ ที่เกี่ยวกับเกม โดยรูปที่ 2.20 แสดงโลโก้โปรแกรม Blender



รูปที่ 2.20 โปรแกรม Blender [10]

### 2.4.1 จุดเด่นของโปรแกรม Blender

- 1) เป็นโปรแกรมที่ใช้ทรัพยากรระบบและพื้นที่ในการติดตั้งโปรแกรมน้อยมีความสามารถในการสร้างงาน
- 2) ได้หลายรูปแบบ เช่น การสร้างการ์ตูนอนิเมชัน งานดีไซน์ งานสถาปัตยกรรมและตกแต่งภายใน การสร้างสเปเชียลเอฟเฟกต์ และการสร้างเกม เป็นต้น
- 3) ทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น Windows Mac Linux และอื่นๆ โปรแกรม Blender สามารถใช้เป็นโปรแกรมพื้นฐานสำหรับผู้ต้องการศึกษาสร้างงาน 3 มิติ รวมทั้งบริษัทขนาดเล็กและขนาดกลางก็สามารถนำแกรมไปใช้สร้างงานชิ้นงานตามวัตถุประสงค์ตามเป้าหมายของบริษัทได้เช่นกัน เนื่องจากไม่ต้องจ่ายงบประมาณ ในการซื้อโปรแกรมมาใช้นั่นเอง

### 2.5 Delicode NI mate [11]

Delicode NI mate เป็นโปรแกรม cross-platform, cross-sensor แบบ real time ในการจับการเคลื่อนไหวท่าทาง โดยไม่ต้องมีการกำหนดจุด แสดงเป็นภาพ 3 มิติ โดยรูปที่ 2.21 แสดงโลโก้โปรแกรม Ni Mate



รูปที่ 2.21 โปรแกรม Delicode NI mate [11]

### 2.6 Python [12]

Python คือชื่อภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม กล่าวคือสามารถรันภาษา Python ได้ทั้งบนระบบ Unix, Linux, Windows NT, Windows 2000, Windows XP หรือแม้แต่ระบบ FreeBSD อีกอย่างหนึ่งภาษาดังกล่าวนี้เป็น Open Source เหมือนอย่าง PHP ทำให้ทุกคนสามารถที่จะนำ Python มาพัฒนาโปรแกรมของเราได้ฟรีๆ โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และความเป็น Open Source ทำให้มีคนเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ Python มีความสามารถสูงขึ้น และใช้งานได้ครอบคลุมกับทุกลักษณะงาน

โค้ดของ Python ถูกสร้างขึ้นมาจากภาษาซี การประมวลผลจะทำในแบบอินเทอร์พรีเตอร์ คือจะประมวลผลไปที่ละบรรทัดและปฏิบัติตามคำสั่งที่ได้รับ Python เวอร์ชันแรกคือ เวอร์ชัน 0.9.0 ออกมาเมื่อปี 2533 และเวอร์ชันปัจจุบันคือ 3.5

### 2.6.1 จุดเด่นของ Python

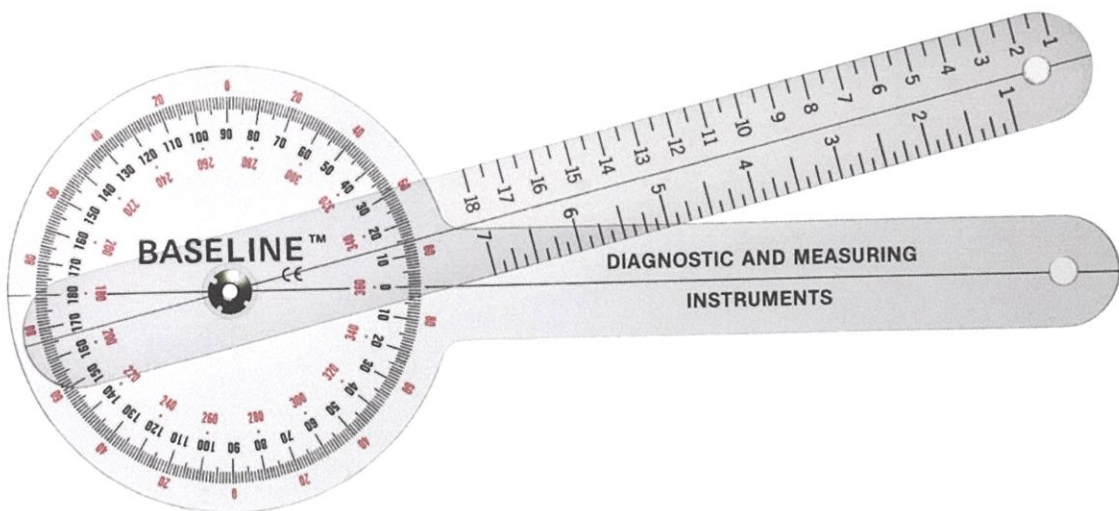
- 1) สนับสนุนแนวแบบคิดออบเจกต์โอเรียนเตด หรือ OOP (Object Oriented Programming)
- 2) เป็น Open Source
- 3) โค้ดที่เขียนด้วย Python สามารถนำไปรันบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย
- 4) สนับสนุนเทคโนโลยี COM ของ Ms-windows
- 5) Python รวมมาตรฐานการอินเตอร์เฟซ Tkinter ซึ่งสนับสนุนบนระบบ X windows, Ms-windows และ Macintosh การใช้คำสั่ง Tkinter API ช่วยให้โปรแกรมเมอร์ไม่ต้องแก้ไขโค้ดเมื่อนำไปรันบนระบบปฏิบัติการอื่นๆ
- 6) เป็น Dynamic typing คือ สามารถเปลี่ยนชนิดข้อมูลได้ง่ายและสะดวก
- 7) มี Build-in Object Types คือ โครงสร้างของข้อมูลที่สามารถใช้ได้ ใน Python ประกอบด้วย ลิสต์, ดิกชันนารี, สตริง ที่ง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูง
- 8) มีเครื่องมือต่างๆ มากมาย เช่น การประมวลผลเท็กซ์ไฟล์ การเรียงข้อมูล การเชื่อมต่อสตริง การตรวจสอบเงื่อนไขของข้อความ การแทนค่า เป็นต้น
- 9) มีมอดูลสำหรับจัดการ Regular Expression
- 10) มีมอดูลที่สร้างขึ้นจากนักพัฒนาสนับสนุนมากมาย ได้แก่ COM, Image, CORBA, ORBs, XML เป็นต้น
- 11) จัดการหน่วยความจำอย่างอัตโนมัติ สามารถจัดการพื้นที่หน่วยความจำที่ไม่ต่อเนื่องให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 12) อนุญาตให้ฝังชุดคำสั่งของ Python เอาไว้ภายในโค้ดภาษา C/C++ ได้
- 13) อนุญาตให้โปรแกรมเมอร์สร้าง Dynamic Link Library (DLL) เพื่อใช้ร่วมกับ Python
- 14) มีมอดูลสนับสนุนเกี่ยวกับเน็ตเวิร์ก โปรเซสเซอร์ regular, expression, xml, GUI และอื่นๆ
- 15) ประกอบด้วยมอดูลสำหรับสร้าง Internet Script และติดต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่าน Sockets, และทำหน้าที่เป็น CGI Script ตรวจจับใช้งานคำสั่ง FTP , Gopher, XML และอื่นๆอีกมาก
- 16) สามารถประมวลผลทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 17) มีฟังก์ชันสนับสนุนฐานข้อมูล เช่น MySQL, Sybase, Oracle , Informix, ODBC และอื่นๆ
- 18) มีไลบรารีสนับสนุนด้านการสร้างภาพกราฟิก เช่น ทำภาพเบลอ หรือภาพชัด หรือเขียน

ข้อความบนภาพ ตลอดจนบันทึกไฟล์ในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ

- 19) มีไลบรารีสนับสนุนด้านปัญญาประดิษฐ์
- 20) มีไลบรารีสำหรับสร้างเอกสาร PDF โดยไม่ต้องติดตั้ง Acrobat Writer
- 21) มีไลบรารีสำหรับสร้าง Shockwaves Flash (SWF) โดยไม่ต้องติดตั้ง Macromedia Flash

## 2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ (Goniometer)

เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวัดมุมหรือช่วยให้วัตถุที่จะหมุนไปยังตำแหน่งเชิงมุมที่แม่นยำ Goniometer นี้จะสามารถวัดช่วงของการเคลื่อนไหวรอบข้อต่อของส่วนต่างๆของร่างกาย ช่วยในการวัดมุมของเข่า ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 โคนิโอมิเตอร์(Goniometer) [13]

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.8.1 Analysis Of Abnormal Body Movement Using Non-Contract 3D

#### Sensor [14]

สุภาพร ชุ่มเพ็ญ ในปี 2016 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษาการวิเคราะห์ความผิดปกติของท่าทาง การเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยใช้เซ็นเซอร์ 3 มิติ ชนิดไม่สัมผัส ใช้เครื่อง Visual 3D เป็นเครื่องที่ใช้มาร์คชนิดสะท้อนแสงติดตามร่างกาย เพื่อสร้างภาพ 3 มิติ ซึ่งสามารถหามุมของข้อต่อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า รวมทั้งสามารถหาความเร็ว ความเร่งเชิงมุม และแรงที่กระทำต่อกระดูกแต่ละชิ้นในการเคลื่อนไหว เป็นต้น การใช้ Kinect ในการจับการเคลื่อนไหว การใช้โกนิโอมิเตอร์ (Goniometer) ในการวัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อ

### 2.8.2 แอปพลิเคชันฝึกฝนทักษะมวยไทยด้วยอุปกรณ์ Kinect [15]

พงษ์พันธ์ รัตนชินาลัย, อภิวัชร โมระนิรัตน์กุล และ ดร.สุภวรรณ อันนันหนับ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการวิจัย แอปพลิเคชันฝึกฝนทักษะมวยไทยด้วยอุปกรณ์ Kinect โดยแอปพลิเคชันนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือเรียนรู้ท่ามวยไทยขั้นพื้นฐานเป็นโหมดการสอนท่าพื้นฐานเรียกว่า “แม่ไม้มวยไทย” ซึ่งมีทั้งหมด 15 ท่าการฝึกสอน ประการสองคือแข่งขันมวยไทยกับหุ่นจำลองที่เสมือนกับขึ้นชกบนเวทีมวยไทยจริง โดยที่ Kinect จะทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกายตามที่แอปพลิเคชันได้กำหนดไว้ ซึ่งแอปพลิเคชันนี้สามารถฝึกให้ผู้ใช้งานเรียนรู้ท่ามวยไทยได้อย่างถูกต้องตามหลักการแม่ไม้มวยไทย และสามารถฝึกซ้อมมวยไทยที่ไหนก็ได้โดยมีคอมพิวเตอร์ Kinect และแอปพลิเคชันฝึกฝนทักษะมวยไทยด้วยอุปกรณ์ Kinect

## บทที่ 3

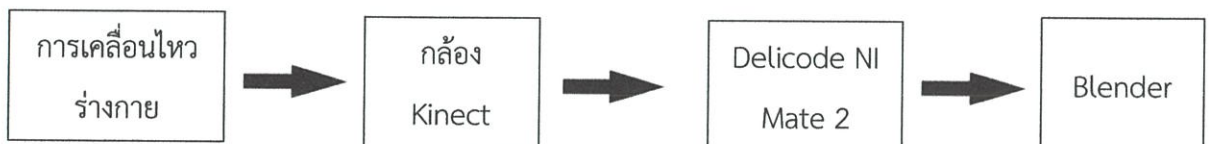
### การออกแบบระบบ

#### 3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ และแสดงผล ได้เลือกใช้โปรแกรม Blender ซึ่งสามารถพัฒนาโปรแกรมจากไมโครซอฟท์ที่ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการตรวจจับและวิเคราะห์ข้อมูลจาก Kinect ได้

##### 3.1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

การตรวจสอบการเคลื่อนไหวของร่างกายในการออกกำลังกาย เมื่อร่างกายเคลื่อนไหวในแต่ละท่าทาง จะถูกจับท่าทางโดยกล้อง Kinect จากนั้นข้อมูลการเคลื่อนไหวจะถูกนำเข้าไปในโปรแกรม Blender โดยใช้โปรแกรม Delicode NI Mate 2 ในการข้ามแพลตฟอร์ม(Cross-platform) ระหว่างกล้อง Kinect กับ Blender โดยจะทำการแสดงผลในโปรแกรม Blender โมเดลจะเคลื่อนไหวตามการเคลื่อนไหวของผู้ออกกำลังกายดังแสดงบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1

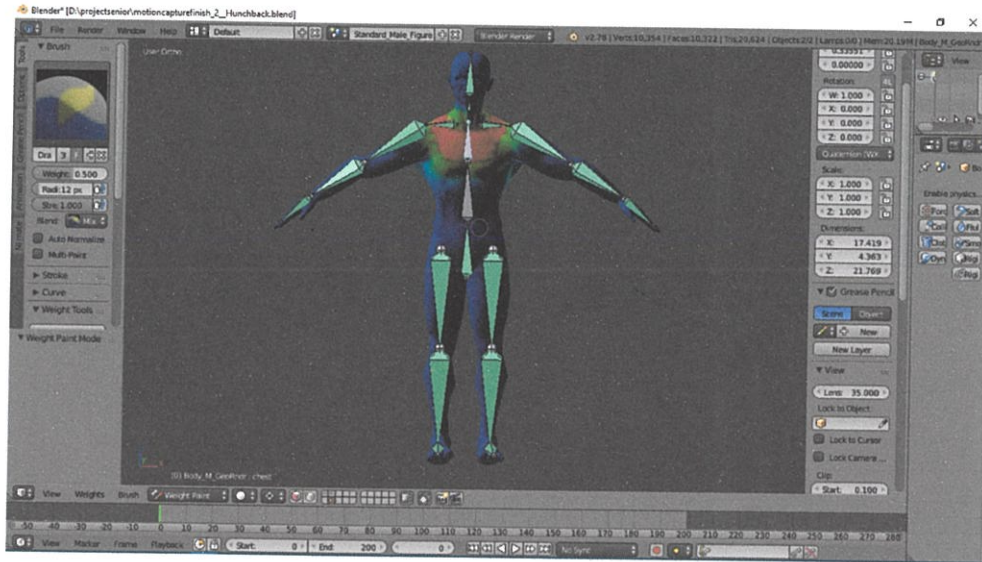


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

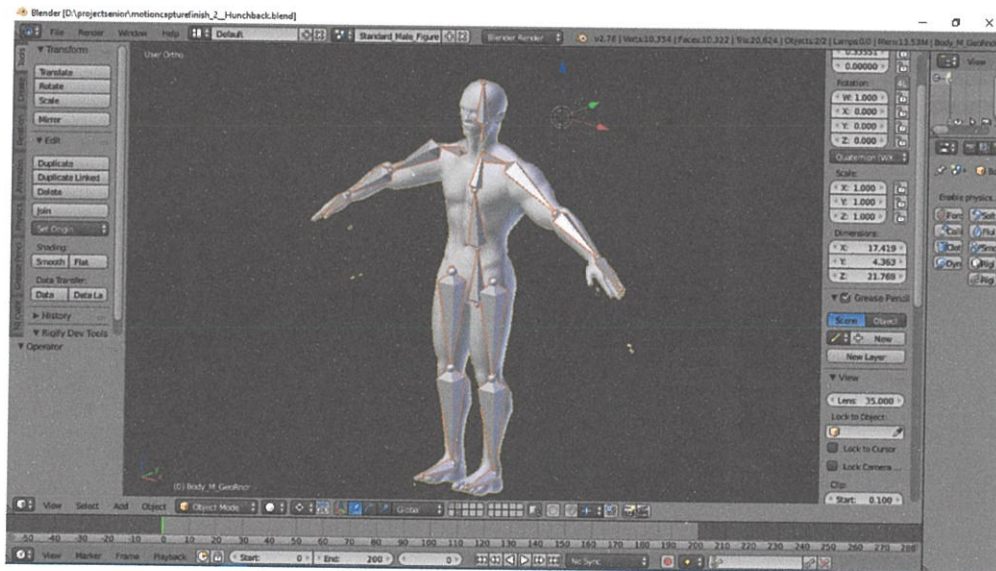
##### 3.1.2 ออกแบบหุ่น

###### 3.1.2.1 ออกแบบหุ่นโมเดล

ออกแบบหุ่นโมเดลผู้ชายที่ให้เคลื่อนไหวตามท่าทางการออกกำลังกาย โดย rigging โมเดลกับกระดูก(bone) เพื่อเป็นแกนในการเคลื่อนที่ของแต่ละส่วนร่างกาย และทำการควบคุมการเคลื่อนไหวของแต่ละส่วนโมเดลโดยการ weight paint ดังรูปที่ 3.2 ในแต่ละกระดูกกับกล้ามเนื้อ



รูปที่ 3.2 การ weight paint โมเดล

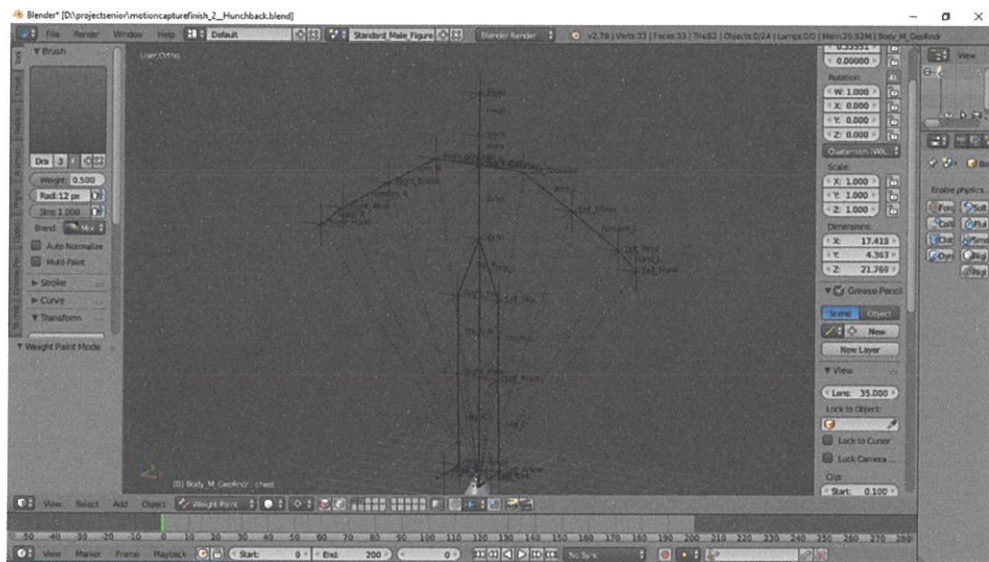


รูปที่ 3.3 การออกแบบโมเดล

โดยรูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบหุ่นโมเดลที่สำเร็จแล้วโดย ringing กับการเคลื่อนไหวของกระดูกได้

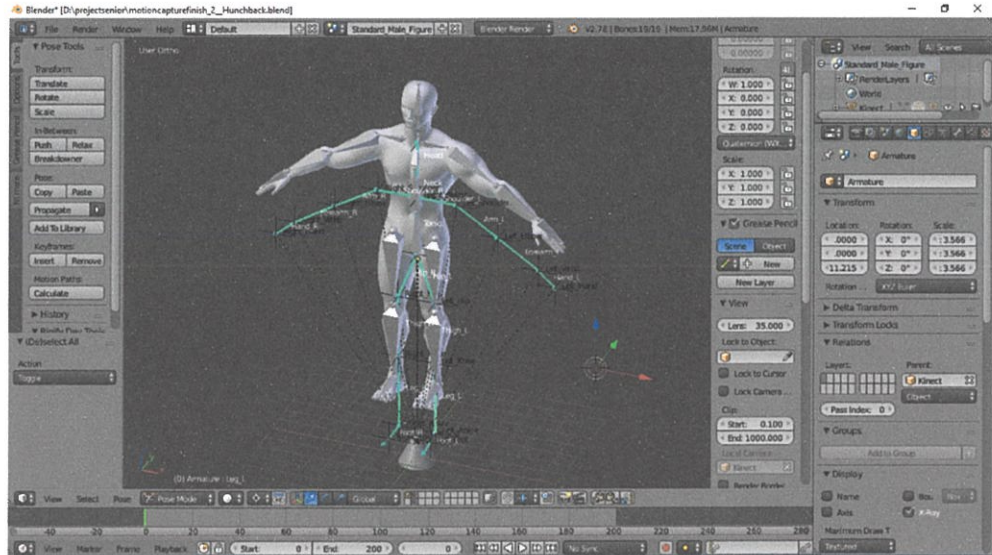
### 3.1.2.2 Motion Capture

เป็นการควบคุมหุ่นโมเดลให้เคลื่อนไหวตามผู้ออกกำลังกายโดยใช้การตรวจจับท่าทางจากกล้อง Kinect จากนั้นข้อมูลการเคลื่อนไหวในแต่ละข้อต่อต่างๆ จะถูกเชื่อมกับข้อต่อของกระดูกของโมเดล โดยโปรแกรม Delicode NI Mate 2 ซึ่งจะติดตั้ง Add-ons ในโปรแกรม Blender คือ Animation : Delicode NI Mate Tool

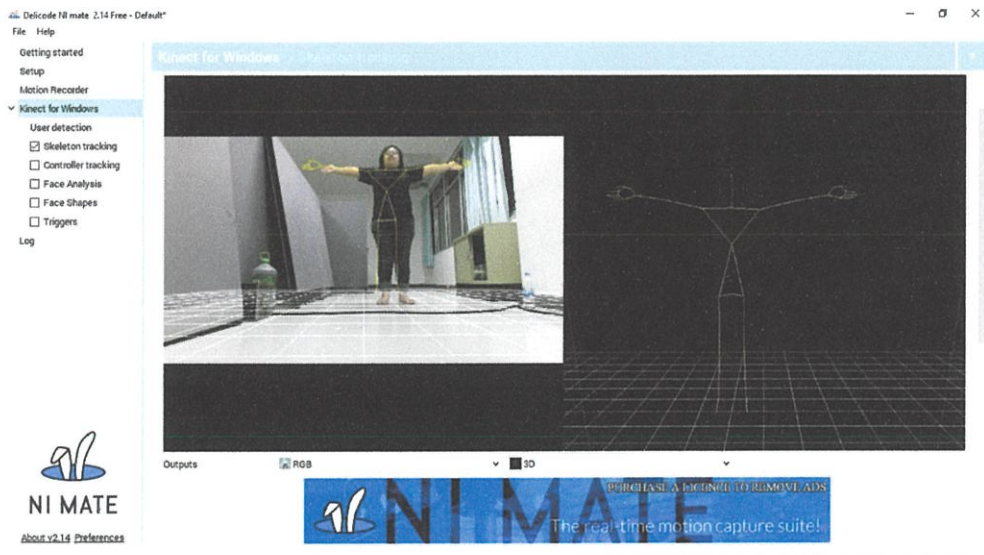


รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อกระดูกโมเดลกับโปรแกรม Delicode NI Mate 2

โปรแกรม Delicode NI Mate 2 สามารถเชื่อมกับโปรแกรม Blender ซึ่งจะช่วยทำการรับข้อมูลจากกล้อง Kinect มายังโปรแกรม Blender ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อข้อต่อกับโมเดล

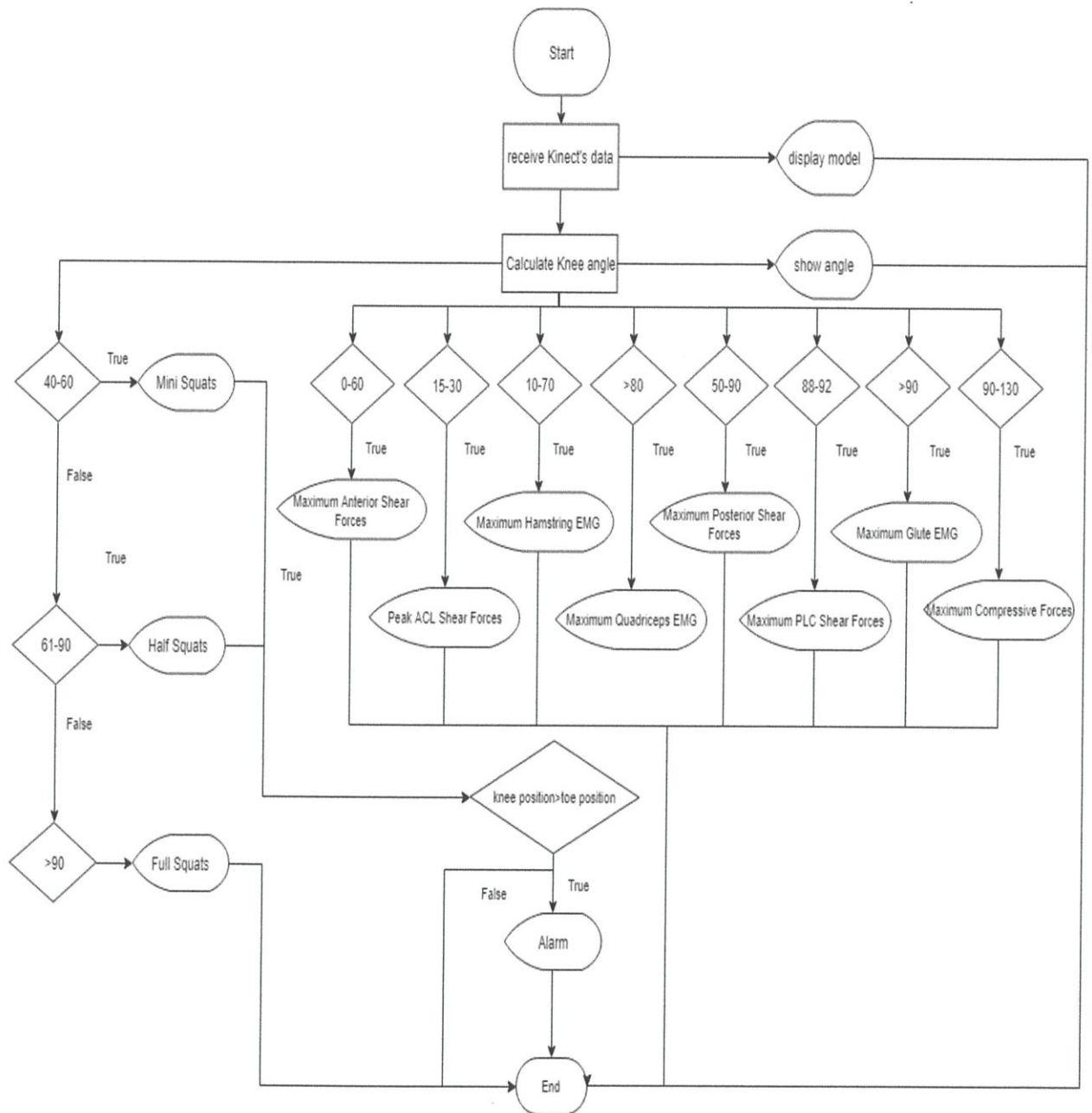


รูปที่ 3.6 แสดงการจับท่าทางการเคลื่อนไหว

รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อหุ่นเข้ากับข้อต่อ เพื่อช่วยให้หุ่นเคลื่อนไหวได้คล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยรูปที่ 3.6 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Ni Mate ที่ทำการจับท่าทางการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยกล้อง Kinect

### 3.1.3 โปรแกรม

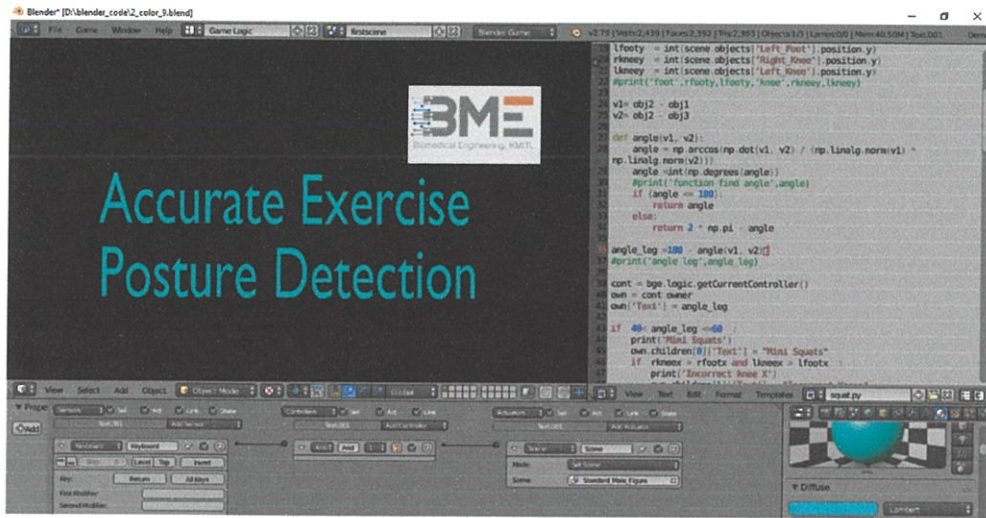
#### 3.1.3.1 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรม การทำงานของโปรแกรมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



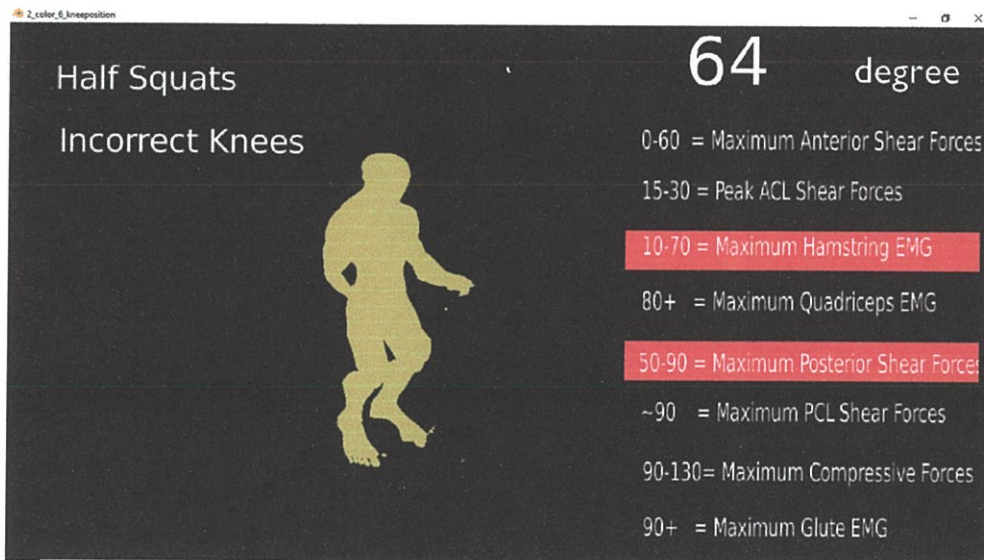
รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรม

โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.7 โดยใช้ในการเขียนโค้ดภาษา Python ร่วมกับ Animation ของหุ่นในโปรแกรม Blender

### 3.1.3.2 ผลที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบหน้าจอหลักของโปรแกรม



รูปที่ 3.9 แสดงการออกแบบแสดงผลของโปรแกรม

ผลการออกแบบหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม โดยทำการออกแบบหน้าจอแสดงผล 2 หน้าต่าง โดยหน้าแรกแสดงชื่อโปรแกรม และหน้าต่างที่ 2 แสดงผลการตรวจจับแบบ real-time ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

## 3.2 การออกแบบการทดลอง

### 3.2.1 ทดสอบความถูกต้องของระบบ

#### 3.2.1.1 การกำหนดส่วนต่างๆ

1) กำหนดตำแหน่งการวาง Xbox ให้อยู่สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร และผู้ทดลองอยู่ห่างจาก Xbox ประมาณ 2.0 เมตร

2) ให้ผู้ทดลอง ยืนในจุดที่ได้กำหนดไว้

3) ให้ผู้ทดลองทำการ Weight training squat ทั้ง 3 ประเภท คือ Mini Squat, Half Squat, Full Squat เพื่อดูการแสดงผลตามที่ได้กำหนดไว้

4) ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากข้อที่ 3

#### 3.2.1.2 ประเภทที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองได้มีการกำหนด Squat เป็นประเภทได้ 3 ประเภท ซึ่งเป็นท่าที่ผู้ออกกำลังกาย นิยม ได้ดังนี้

##### 1) Mini Squat

ได้กำหนดองศาของท่าไว้ที่ 0-60 องศา แรงที่เกิดขึ้นในการทำท่านี้คือ Maximum Anterior Shear Forces และที่ 15-30 องศา แรงที่เกิดขึ้นในการทำท่านี้คือ Peak ACL Shear Forces ลักษณะท่าในการออกกำลังกายเป็นดังในรูปที่ 3.10 – รูปที่ 3.11

##### 2) Half Squat

ได้กำหนดองศาของท่าไว้ที่ 60-90 องศา แรงที่เกิดขึ้นในการทำท่านี้ จะเริ่มมีแรงเฉือนไปด้านหลังมากขึ้น พร้อมกับมีแรงกดเพิ่มขึ้น ที่ 90 องศาหรือ Half Squat เป็นช่วงที่เกิดแรงเฉือนต่อ PCL มากที่สุดลักษณะท่าในการออกกำลังกายเป็นดังในรูปที่ 3.12 – รูปที่ 3.13

##### 3) Full Squat

ได้กำหนดองศาของท่าไว้ที่ 90-120 เมื่อเริ่มลงลึกขึ้น แรง Compression หรือแรงกดต่อหมอนรองและผิวข้อสะบ้าจะสูงขึ้น ลักษณะท่าในการออกกำลังกายเป็นดังในรูปที่ 3.14 – รูปที่ 3.15



รูปที่ 3.10 จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด RGB ของท่า Mini Squat

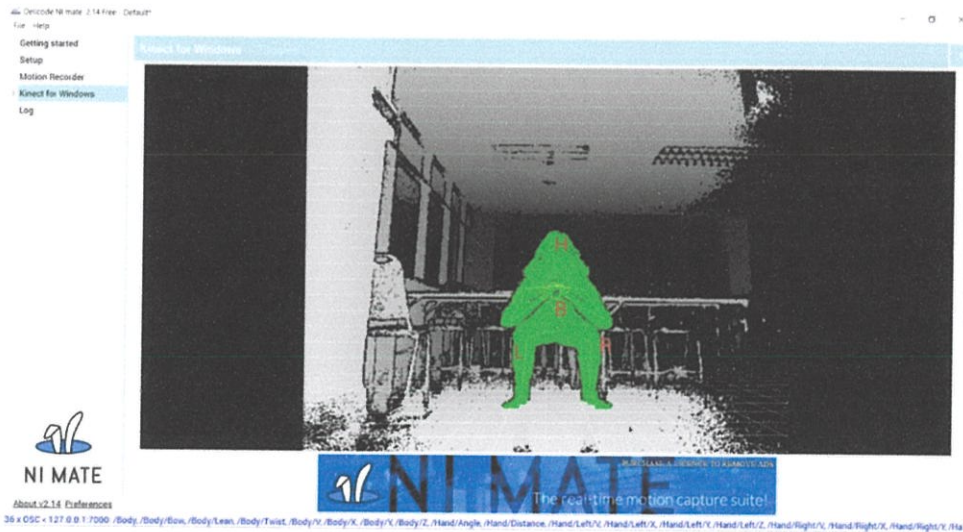


รูปที่ 3.11 จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด Depth & extras ของท่า Mini Squat

รูปที่ 3.10 และ 3.11 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Ni Mate ที่จับท่าทางการออกกำลังกายในท่า Mini Squats โดยโปรแกรม Ni Mate แสดงจุด และเส้นโครงของร่างกาย



รูปที่ 3.12 จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด RGB ของท่า Half Squat



รูปที่ 3.13 จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด Depth & extras ของท่า Half Squat

รูปที่ 3.12 และ 3.13 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Ni Mate ที่จับท่าทางการออกกำลังกายในท่า Half Squat โดยโปรแกรม Ni Mate



รูปที่ 3.14 จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด RGB ของท่า Full Squat

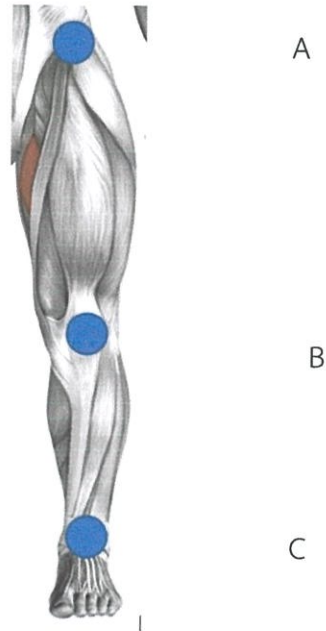


รูปที่ 3.15 จุดที่ NI MATE จับ ในโหมด Depth & extras ของท่า Full Squat

รูปที่ 3.12 และ 3.13 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Ni Mate ที่จับท่าทางการออกกำลังกายในท่า Full Squat โดยโปรแกรม Ni Mate

### 3.3 วิธีการคำนวณมุม

วิธีการคำนวณมุม เพื่อตรวจจับข้อมูลบริเวณของเข่า ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 จุด ที่ได้ทำการกำหนดไว้ คือ



รูปที่ 3.16 กำหนดพิกัดจุด [16]

สูตรคำนวณหามุมของเข่า

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{v} \cdot \vec{u}}{|\vec{v}| |\vec{u}|} \right) \quad (3.1)$$

สูตรการหาผลรวมเวกเตอร์

$$\vec{v} = (A_x - B_x) + (A_y - B_y) + (A_z - B_z) \quad (3.2)$$

$$\vec{u} = (B_x - C_x) + (B_y - C_y) + (B_z - C_z) \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \vec{v} \cdot \vec{u} = & ((A_x - B_x) + (A_y - B_y) + (A_z - B_z)) \\ & \times ((B_x - C_x) + (B_y - C_y) + (B_z - C_z)) \end{aligned} \quad (3.4)$$

สูตรการหาผลรวมขนาดเวกเตอร์

$$|V| = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2} \quad (3.5)$$

$$|U| = \sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2 + (B_z - C_z)^2} \quad (3.6)$$

$$|V||U| = \frac{\sqrt{((A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2)} \times \sqrt{((B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2 + (B_z - C_z)^2)}}{\quad} \quad (3.7)$$

จากรูปที่ 3.16 โดยกำหนดตัวแปรแทนของพิกัด  $A, B$  และ  $C$  ออกเป็นแกน  $X, Y$  และ  $Z$  จะได้ตัวแปรของแต่ละแกนดังนี้

$$A = A_x, A_y, A_z$$

$$B = B_x, B_y, B_z$$

$$C = C_x, C_y, C_z$$

จากพิกัดและแกนที่กำหนดนั้น สามารถนำไปแทนลงในสมการที่ 3.1-3.7 จะได้ค่าของมุมข้อเท้าที่ใช้ในการกำหนดมุมในระบบ

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบใช้งานจริงในการตรวจสอบท่าออกกำลังกาย Squat ทั้ง 3 ประเภท คือ Mini Squat, Half Squat, Full Squat ซึ่งตรวจสอบการแสดงผลทางหน้าจอ ที่แสดงข้อความ ดังเช่น มีการบอกว่าทำถูกหรือทำผิด องศาที่ทำ แรงที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จะมีดังนี้

#### 4.1 ผลที่ได้จากการทดลอง

##### 4.1.1 การวัดมุม

เป็นการทดสอบเปรียบเทียบมุมระหว่าง Goniometer และโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

ครั้งที่	Goniometer(degree)	โปรแกรม(degree)
1	4	7
2	32	35
3	47	53
4	85	88
5	104	104
6	28	27
7	40	41
8	69	67
9	98	95
10	111	116

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าของมุมที่ได้จากระบบและ Goniometer มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าที่ต่างกันนั้นคาดว่าเกิดจาก ความคลาดเคลื่อนของผู้ทำการใช้ Goniometer วัดมุมผู้ทดลองและตัวผู้ทดลอง ในระหว่างการใช้ Goniometer วัดเปรียบเทียบ



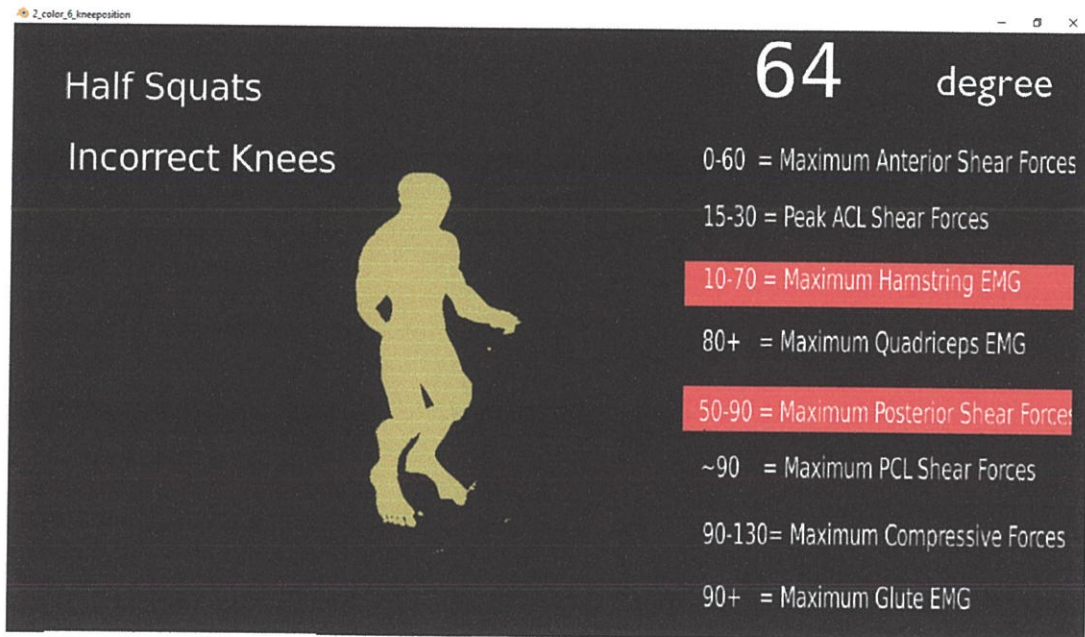
รูปที่ 4.1 การวัดโดยใช้ Goniometer 1



รูปที่ 4.2 การวัดโดยใช้ Goniometer 2

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงการวัดมุมของเข่าโดยใช้ Goniometer โดยให้ผู้ถูกทดลองทำมุมเข่าที่องศาต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับมุมที่ได้จากโปรแกรม

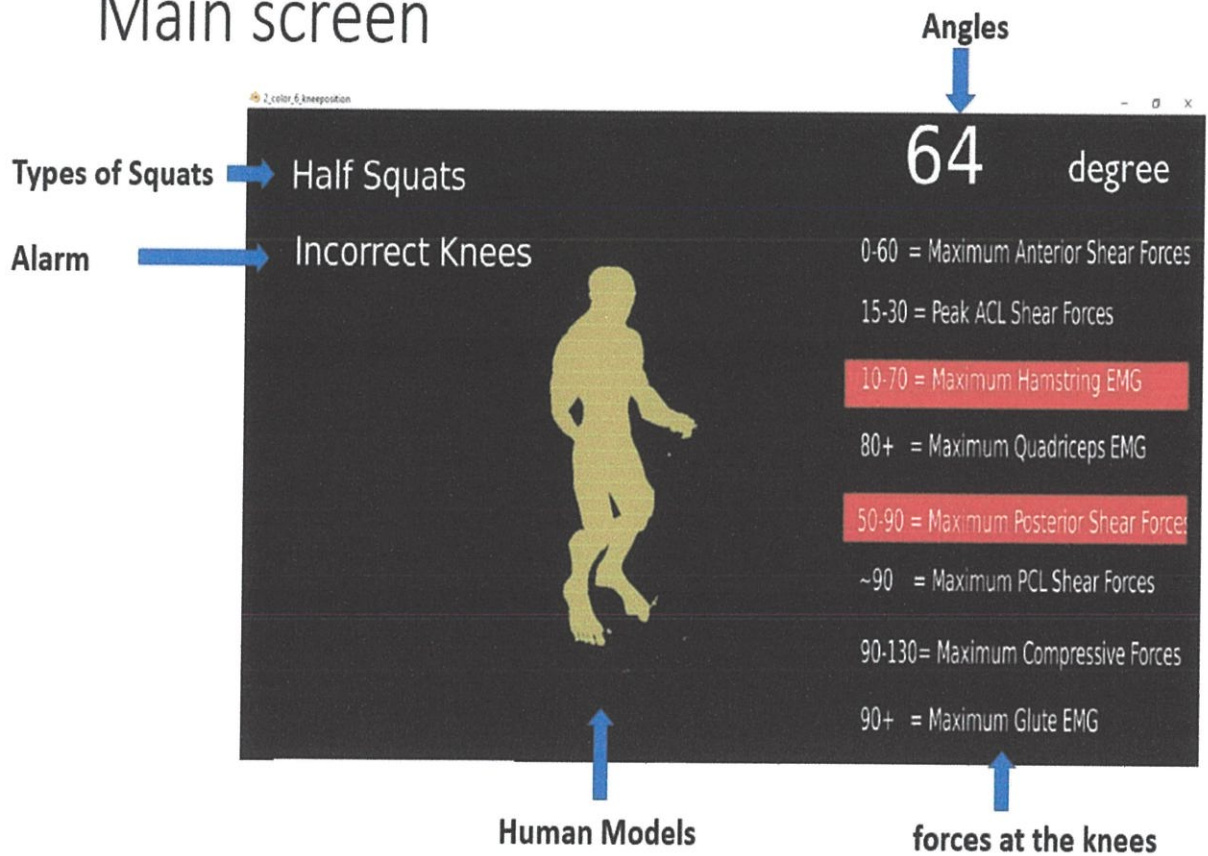
#### 4.1.2 ผลที่แสดงทางโปรแกรม



รูปที่ 4.3 ทำ Half Squat 64 องศา

จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงผลรับที่ได้จากการจับท่าออกกำลังกายของ Kinect โดยผู้ออกกำลังกายได้ทำท่า Half Squat ซึ่งการแสดงผลทางหน้าจอ นั้น ได้ทำตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เมื่อผู้ออกกำลังกายในท่าที่ผิด โปรแกรมจะแสดงข้อความว่า Incorrect Knees เพราะเมื่อออกกำลังกายท่า Squats โดยเข่าเลยปลายเท้า เพราะจะเป็นอันตรายต่อเข่า

# Main screen



รูปที่ 4.4 ส่วนต่างๆที่แสดงผล

การแสดงผลหน้าจอโปรแกรมเมื่อทำการตรวจสอบท่าออกกำลังกายจะแสดงผลดังรูปที่ 4.4 โดยหน้าจอแสดงผลจะประกอบด้วย มุมของเข่า, ชนิดของท่า Squat, แฉ่งเตือนเมื่อออกกำลังกายผิด, ตัวหุ่น และแรงที่เกิดขึ้นที่เข่า

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โปรแกรมการตรวจสอบท่าทางการออกกำลังกายที่ออกแบบโดยโปรแกรม Blender และใช้กล้อง Kinect ในการตรวจจับท่าทางการออกกำลังกายและการแยกท่าออกกำลังกาย Squats 3 ประเภท คือ Mini Squats, Half Squats , Full Squats จากมุมการมองของเขาโดยการวิเคราะห์ด้วยภาษา Python

จากการทดลองวัดมุมด้วย Goniometer มาเปรียบเทียบกับโปรแกรมการตรวจสอบท่าทางการออกกำลังกายได้ค่ามุมใกล้เคียงกัน และในการออกกำลังกายด้วยท่า Squats โปรแกรมสามารถแสดงประเภท Squats และแจ้งเตือนเมื่อออกกำลังกายด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้องได้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางในการพัฒนาและต่อยอดโปรแกรมการตรวจสอบท่าทางการออกกำลังกายที่ถูกต้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์ของการออกกำลังกายและสามารถนำไปประยุกต์งานได้ดียิ่งขึ้น

1) นำไปประยุกต์ใช้ในการกายภาพบำบัดด้วยท่าทางต่างๆ เพราะสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ละเอียด โดยไม่ต้องติดอุปกรณ์ใดกับผู้ป่วย

2) ข้อจำกัดคือในการเคลื่อนไหว เช่น เราหันด้านข้างขวาเข้าหากล้องจะเกิดการบังทำให้กล้องไม่สามารถตรวจจับร่างกายทางด้านซ้ายได้ อาจแก้ไขโดยให้ทำมุมเฉียงกับกับกล้องหรือเพิ่มกล้อง Kinect อีกตัว

3) ควรทำด้านกราฟฟิก เพิ่มฉากหลังเพื่อความสวยงามเป็นการจูงใจให้อยากออกกำลังกายหรือทำกายภาพบำบัดมากยิ่งขึ้น

4) โปรแกรมที่นิยมใช้ร่วมกับ Kinect เพื่อตรวจจับท่าทางของร่างกายและแสดงผลทางด้าน animation ได้ที่นิยม Unity, Autodesk Maya และ Unreal Engine 4 เป็นต้น สามารถเลือกใช้ได้ตามความถนัด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.นพ.สมศักดิ์ คุปต์นิรติชัยกุล. “กายวิภาคประยุกต์ของข้อเข่า.” [Online].  
Available : <http://ortho.md.chula.ac.th/student/SHEET/somsak/3016702.html>
- [2] คลินิกเวชกรรมและกายภาพบำบัด. “Squat.” [Online].  
Available : <https://www.facebook.com/1483847081851373/pcb.2152194101683331/2152191938350214/?type=3&theater>
- [3] Unlockmen. “Bodyweight Squat.” [Online].  
Available : <https://www.unlockmen.com/squat-work-out/>
- [4] กระปุกดอทคอม. “ประโยชน์จากการทำ Squat.” [Online].  
Available : <https://men.kapook.com/view99939.html>
- [5] กระปุกดอทคอม. “เอ็นข้อไหล่ฉีก.” [Online].  
Available : <https://men.kapook.com/view140833.html>
- [6] นพ.ไตร พรหมแสง. “สุขภาพข้อไหล่.” [Online].  
Available : <http://shoulderupdate.blogspot.com/>
- [7] Kanyanut Piroonrat and Porrawat Rattanakuha. “Microsoft Kinect Sensor.” [Online].  
Available : [https://mcu56.learninginventions.org/?page\\_id=244](https://mcu56.learninginventions.org/?page_id=244)
- [8] Microsoft. “Coordinate mapping.” [Online].  
Available : <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn785530.aspx>
- [9] Digit Rvdigit. “ข้อดีข้อเสีย Xbox one.” [Online].  
Available : <https://electronictrips.blogspot.com/2015/07/xbox-one.html>

## เอกสารอ้างอิง[ต่อ]

[10] Comscicafe. “Blender.” [Online].

Available : <http://www.comscicafe.com/article/110/what-is-blender-3d#.Wdzx6VuCypo>

[11] NI MATE. “ni mate.” [Online]. Available : <https://ni-mate.com/about/>

[12] mindphp. “Python.” [Online]. Available : <http://www.mindphp.com>

[13] เปลดัก. “โกนิโอมิเตอร์ Goniometer.” [Online]. Available :

<http://www.vetchapan.com/index.php/%E0%B9%82%E0%B8%81%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B9%82%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C-goniometer-detail>

[14] สุภาพร ชุ่มเพ็ญ. “Analysis Of Annormal Body Movement Using Non-Contract 3D Sensor.” [Online]. Available : Analysis Of Annormal Body Movement Using Non-Contract 3D Sensor // สุภาพร ชุ่มเพ็ญ

[15] พงษ์พันธ์ รัตนชินาลัย, อภิวัชร โมระนิรัตน์กุล และ ดร.สุภวรรณ อันนันหนับ. “แอปพลิเคชันฝึกฝนทักษะมวยไทยด้วยอุปกรณ์ Kinect.” [Online]. Available :

<http://www.it.kmitl.ac.th/~natapon/ncit2015/papers/p320-moraniratkul.pdf>

[16] “อาการปวดกล้ามเนื้อบริเวณขา กายวิภาคของกล้ามเนื้อขา โยกขวา.” [Online]. Available : <https://mnz1.ru/th/an-aching-in-the-muscles-of-the-legs-anatomy-of-the-leg-muscles.html>

## ภาคผนวก

### โปรแกรม

```
import bge

import math

import mathutils

import numpy as np

scene= bge.logic.getCurrentScene()

obj1= scene.objects['Right_Hip'].position

obj2= scene.objects['Right_Knee'].position

obj3= scene.objects['Right_Ankle'].position

rfootx = int(scene.objects['Right_Foot'].position.x)

lfootx = int(scene.objects['Left_Foot'].position.x)

rkneex = int(scene.objects['Right_Knee'].position.x)

lkneex = int(scene.objects['Left_Knee'].position.x)

rfooty = int(scene.objects['Right_Foot'].position.y)

lfooty = int(scene.objects['Left_Foot'].position.y)

rkneey = int(scene.objects['Right_Knee'].position.y)

lkneey = int(scene.objects['Left_Knee'].position.y)

v1= obj2 - obj1

v2= obj2 - obj3

def angle(v1, v2):

    angle = np.arccos(np.dot(v1, v2) / (np.linalg.norm(v1) * np.linalg.norm(v2)))
```

```

angle =int(np.degrees(angle))

if (angle <= 180):

    return angle

else:

    return 2 * np.pi - angle

angle_leg =180 - angle(v1, v2)

cont = bge.logic.getCurrentController()

own = cont.owner

own['Text'] = angle_leg

if 40< angle_leg <=60 :

    print('Mini Squats')

    own.children[0]['Text'] = "Mini Squats"

    if rkneex > rfootx and lkneex > lfootx :

        print('Incorrect knee X')

        own.children[1]['Text'] = "Incorrect Knees"

    elif rkneey > rfooty and lkneey > lfooty :

        print('Incorrect knee Y')

        own.children[1]['Text'] = "Incorrect Knees"

    else :

        print('Correct knee')

        own.children[1]['Text'] = "Correct Knees"

elif 60< angle_leg <=90 :

```

```

print('Half Squats')

own.children[0]['Text'] = "Half Squats"

if rkneex > rfootx and lkneex > lfootx :

    print('Incorrect knee X')

    own.children[1]['Text'] = "Incorrect Knees"

elif rkneey > rfooty and lkneey > lfooty :

    print('Incorrect knee Y')

    own.children[1]['Text'] = "Incorrect Knees"

else :

    print('Correct knee')

    own.children[1]['Text'] = "Correct Knees"

elif 90 < angle_leg :

    print('Deep Squats')

    own.children[0]['Text'] = "Deep Squats"

else :

    own.children[0]['Text'] = " "

object = bge.logic.getCurrentScene().objects

if 0 <= angle_leg <= 60 :

    print('Maximum Anterior Shear Forces')

    object["Plane"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane"].color = [0,0,0,0]

```

```

if 15<= angle_leg <=30 :

    print('Peak ACL Shear Forces')

    object["Plane.001"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane.001"].color = [0,0,0,0]

if 10< angle_leg <=70 :

    object = bge.logic.getCurrentScene().objects

    print('Maximum Hamstring EMG')

    object["Plane.002"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane.002"].color = [0,0,0,0]

if 80 < angle_leg :

    object = bge.logic.getCurrentScene().objects

    print('Maximum Quadriceps EMG')

    object["Plane.003"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane.003"].color = [0,0,0,0]

if 50< angle_leg <=90 :

    object = bge.logic.getCurrentScene().objects

    print('Maximum Posterior Shear Forces')

    object["Plane.004"].color = [1,0,0,0]

else :

```

```

    object["Plane.004"].color = [0,0,0,0]

if 88< angle_leg <=92 :

    object = bge.logic.getCurrentScene().objects

    print('Maximum PCL Shear Forces')

    object["Plane.005"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane.005"].color = [0,0,0,0]

if 90< angle_leg <=130 :

    object = bge.logic.getCurrentScene().objects

    print('Maximum compressive Forces')

    object["Plane.006"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane.006"].color = [0,0,0,0]

if 90< angle_leg :

    object = bge.logic.getCurrentScene().objects

    print('Maximum Glute EMG')

    object["Plane.007"].color = [1,0,0,0]

else :

    object["Plane.007"].color = [0,0,0,0]

```