

การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้า  
เท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย  
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES IN STRAIGHT PUNCH BETWEEN  
PUNCHING WITH LEAD AND REAR FOOT STANCE AND PARALLEL STANCE IN BOXERS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Sports and Exercise Science

FACULTY OF SPORTS SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัด ตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบ เท้าขนานกันในนักมวย
โดย	นายภุชงค์ ศรีเพียงจันทร์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์

---

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

ภูษงค์ ศรีเพียงจันทร์ : การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย. ( A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES IN STRAIGHT PUNCH BETWEEN PUNCHING WITH LEAD AND REAR FOOT STANCE AND PARALLEL STANCE IN BOXERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร. ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างคือ นักกีฬามวยไทยและมวยสากลจากค่ายมวยในสังกัดกรุงเทพมหานคร อายุ 17 – 25 ปี น้ำหนัก 52 – 64 กิโลกรัม ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะทำการทดสอบการชกหมัดตรงด้วยแรงชกสูงสุด ในรูปแบบการชกทั้ง 4 รูปแบบ ประกอบด้วย 1. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว 2. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว 3. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว และ 4. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัว โดยเรียงลำดับการชกด้วยวิธีการสุ่ม ซึ่งผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องทำการชกรูปแบบละ 5 ครั้ง ข้อมูลจากการวิจัยจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยแบบวัดซ้ำ (One-way repeated measures ANOVA with post-hoc Bonferroni) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ .05

ผลการวิจัย แรงชกหมัดตรงที่ได้จากการชกทั้ง 4 รูปแบบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < .05$ ) โดยสามารถเรียงลำดับของแรงชกได้ดังนี้ 1. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัว 2. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว 3. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว และ 4. การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว จากผลการวิจัยพบว่ากระบิดลำตัวมีความสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างแรงชกหมัดตรง

สรุปผลการวิจัย การชกหมัดตรงที่ทรงประสิทธิภาพ มีกลไกการส่งแรงเป็นไปตามหลักการห่วงโซ่คิเนติกส์ ที่กล่าวว่าแรงชกจะเกิดจากการส่งแรงจากข้อเท้าก่อนที่จะถูกส่งผ่านข้อเข่า สะโพก ไหล่ ศอก มือ และส่งไปเป็นแรงชกหมัดตรง โดยมีการหมุนของกระดูกเชิงกรานและการบิดลำตัวเป็นกลไกที่สำคัญในการแรงชกจากรยางค์ส่วนล่างไปยังรยางค์ส่วนบน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออก ลายมือชื่อนิสิต .....

กำลังกาย

ปีการศึกษา 2564 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6178407539 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE

KEYWORD: Boxing Straight punch Trunk rotation Punching force Ground reaction force X-factor

Puchong Sripheangchan : A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES IN STRAIGHT PUNCH BETWEEN PUNCHING WITH LEAD AND REAR FOOT STANCE AND PARALLEL STANCE IN BOXERS. Advisor: Assoc. Prof. CHAIPAT LAWSIRIRAT, Ph.D.

Methods: Boxers and/or Muay Thai boxers from a boxing camp in Bangkok who were between 17-25 years of age and whose body weight was between 52-64 kg were purposively selected. The participants were asked to throw straight punches with their maximum effort in four different straight punch styles, i.e., 1. Parallel foot stance without trunk rotation, 2. Lead and rear foot stance without trunk rotation, 3. Parallel foot stance with trunk rotation, and 4. Lead and rear foot stance with trunk rotation. The punching style were randomly assigned. The participants were asked to perform 5 punches in each punching style. The obtained data were analyzed in terms of mean, standard deviation, and one-way repeated measures ANOVA with post-hoc Bonferroni at the statistically significant level of  $p < 0.05$ .

Results: Punching forces were statistically different among the four punching styles ( $p < 0.05$ ). The order of the punching forces were 1. Lead and rear foot stance with trunk rotation, 2. Parallel foot stance with trunk rotation, 3. Lead and rear foot stance without trunk rotation, and 4. Parallel foot stance without trunk rotation. As a result, trunk rotation played critical role in creating punching force in straight punch.

Conclusion: Throwing a powerful straight punch follows the concept of kinetic chain where punching force is first developed from the ankle before transferring through joints, knee, hip, shoulder, elbow, hands, and finally to punching forces. To transfer force from the lower extremity to the upper extremity, pelvic and trunk rotations are critical mechanisms.

Field of Study: Sports and Exercise Science      Student's Signature .....

Academic Year: 2021      Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนจากรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางการ แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจพล เบญจพลากร ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช กรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ กรรมการ ภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัย และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การ สนับสนุนทุนการศึกษาวิจัยและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อเก็บข้อมูลการวิจัย ตลอดจนผู้ช่วยวิจัยและผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการทำวิจัยจนสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด สุดท่ายนี้ ข้าพเจ้าขออุทิศผลที่เกิดจากประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่บิดาผู้ล่วงลับของข้าพเจ้าผู้เป็น แรงผลักดันให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อตั้งแต่ต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภุชงค์ ศรีเพียงจันทร์

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
คำถามในการวิจัย .....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์หลัก.....	3
วัตถุประสงค์รอง.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
คำจำกัดความของการวิจัย.....	4
บทที่ 2 .....	8
ทบทวนวรรณกรรม .....	8
1. มวย (Boxing) .....	8
2. หมัดตรงในกีฬามวย (Straight punch in boxing).....	9

3. หลักการทางชีวกลศาสตร์ (Principles of biomechanics).....	10
4. เครื่องมือการวิจัยตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในกีฬามวยสากล .....	27
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
5.1 งานวิจัยในประเทศ .....	34
5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ .....	35
กรอบแนวคิดในการวิจัย .....	38
บทที่ 3 .....	39
วิธีดำเนินการวิจัย .....	39
ประชากร.....	39
กลุ่มตัวอย่าง .....	39
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย (Inclusion criteria).....	39
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการศึกษา (Exclusion criteria).....	39
เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย (Subject withdrawal criteria).....	39
การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย .....	40
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	40
1. ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย.....	40
2. ขั้นตอนการทดลอง .....	41
3. ขั้นตอนเก็บรวบรวมข้อมูล.....	43
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	49
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	50
บทที่ 4 .....	52
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	52
ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย.....	52
แรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัว (Punching force per body weight).....	53



ความเร็วสูงสุดของไหล่ (Peak shoulder linear velocity).....	55
ความเร็วสูงสุดของข้อศอก (Peak elbow linear velocity).....	58
ความเร็วสูงสุดของข้อมือ (Peak wrist linear velocity) .....	60
ความเร็วสูงสุดของหมัดตรง (Peak fist linear velocity) .....	63
ความเร็วสูงสุดของสะโพก (Peak hip linear velocity).....	65
ความเร็วสูงสุดของข้อเข่า (Peak knee linear velocity) .....	68
ความเร็วสูงสุดของข้อเท้า (Peak ankle linear velocity).....	70
การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง 4 รูปแบบ .....	74
มุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพก (X-factor).....	78
ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัว (Trunk rotation angular velocity).....	79
ความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกราน (Pelvic rotation angular velocity).....	79
แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวดิ่ง (Vertical ground reaction force).....	80
บทที่ 5 .....	87
สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย .....	87
สรุปผลการวิจัย.....	87
อภิปรายผลการวิจัย.....	88
ข้อจำกัดในการวิจัย.....	91
ข้อเสนอแนะการวิจัย.....	91
บรรณานุกรม.....	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก .....	96
ภาคผนวก ข .....	97
ภาคผนวก ค .....	106
ภาคผนวก ง.....	117

ภาคผนวก จ .....	118
ภาคผนวก ฉ .....	125
ประวัติผู้เขียน .....	133



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ระนาบ แกน และทำการเคลื่อนไหวกพื้นฐาน.....	14
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ประสบการณ์การชกมวย และความยาวของรยางค์ส่วนต่าง ๆ (n=18).....	52
ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวของการชก หมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	53
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของแรงชกหมัดตรงต่อ น้ำหนักตัวระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	53
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของแรงชกหมัดตรงต่อ น้ำหนักตัวระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	54
ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของไหล่ของการชกหมัดตรง ทั้ง 4 รูปแบบ .....	55
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของไหล่ ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	55
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของไหล่ ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	56
ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อศอกของการชกหมัด ตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	58
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของ ข้อศอกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	58
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของ ข้อศอกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	59
ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อมือของการชกหมัด ตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	60

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของ ข้อมือระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	61
ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของ ข้อมือระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	61
ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของหมัดตรงของการชก หมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	63
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของ หมัดตรงระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	63
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของหมัด ตรงระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	64
ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของสะโพกของการชกหมัด ตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	65
ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของ สะโพกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	66
ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของ สะโพกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	66
ตารางที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อเข้าของการชกหมัด ตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	68
ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของ ข้อ เข้าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	68
ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของ ข้อ เข้าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	69
ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกหมัด ตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	70
ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของ ข้อ เท้าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	71

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของ ข้อเท้าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	72
ตารางที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	80
ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	80
ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	81
ตารางที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	82
ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	82
ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ .....	83
ตารางที่ 33 Pelvis marker placement .....	119
ตารางที่ 34 Lower limb marker placement .....	120
ตารางที่ 35 Lower limb marker placement (ต่อ).....	121
ตารางที่ 36 Head markers .....	121
ตารางที่ 37 Torso markers.....	122
ตารางที่ 38 Upper limb markers .....	123
ตารางที่ 39 Upper limb markers (ต่อ).....	124

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ช่วงการเคลื่อนไหวของการชกหมัดตรงทั้ง 3 ช่วง.....	10
รูปที่ 2 ระบายและแกนการเคลื่อนไหว .....	11
รูปที่ 3 (ซ้าย) ท่าอไหล่ สะโพก และเข่า (ขวา) ท่าเหยียดไหล่ สะโพก และเข่า.....	12
รูปที่ 4 (ซ้าย) ท่ากางไหล่และสะโพก (ขวา) ท่าหุบไหล่และสะโพก.....	13
รูปที่ 5 ท่าหมุนเข้าและท่าหมุนออกของรยางค์ส่วนล่าง .....	13
รูปที่ 6 ท่าหมุนไหล่แบบรูปกรวย .....	13
รูปที่ 7 แสดงการบวกเวกเตอร์ $a$ และ $b$ .....	14
รูปที่ 8 แสดงการลบเวกเตอร์ $a$ และ $b$ .....	15
รูปที่ 9 ชุดเวกเตอร์ $a, b$ เป็นชุดเวกเตอร์พื้นฐานของเวกเตอร์ในระนาบ $P$ .....	16
รูปที่ 10 ผลคูณเชิงเวกเตอร์ $a \times b$ .....	17
รูปที่ 11 การเคลื่อนที่ของอนุภาค $P$ ในแนวเส้นตรง.....	18
รูปที่ 12 วัตถุแข็งเกร็ง $B$ ที่หมุนรอบแกนนิ่ง $Oz$ .....	19
รูปที่ 13 ลำดับการหมุนของแกน XYZ .....	20
รูปที่ 14 การกำหนดแกนของระบบพิกัดแบบ GCS.....	22
รูปที่ 15 การกำหนดแกนของระบบพิกัดแบบ SCS หรือ LCS.....	23
รูปที่ 16 รูปแบบแกนเสมือนของระบบพิกัดแบบ JCS .....	23
รูปที่ 17 ตัวอย่างอุปกรณ์สอบเทียบค่า Wand (Dynamic) และ L-frame (Static) ยี่ห้อ Qualisys ผลิตจากประเทศสวีเดน.....	25
รูปที่ 18 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลด้วยวิธี Moving Average .....	26
รูปที่ 19 Bolex H16 REX-5 spring-wound clockwork 16 mm camera .....	28
รูปที่ 20 กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวความเร็วสูงแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Qualisys รุ่น Oqus 7+ ..	29

รูปที่ 21	การระบุแกน LCS ของส่วนลำตัว สะโพก และสันเท้า.....	30
รูปที่ 22	การระบุ X-factor ด้วยมุมระหว่างแนวเส้นตรงของไหล่และสะโพก.....	30
รูปที่ 23	การระบุ SCS ของส่วนลำตัว และสะโพก.....	31
รูปที่ 24	เครื่องมือวัดแรงชกในงานวิจัยของ Atha et al. (1985).....	32
รูปที่ 25	ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงชกในงานวิจัยของ Smith et al. (2000).....	32
รูปที่ 26	อุปกรณ์วัดแรงชกในงานวิจัยของ Nakano et al. (2014).....	33
รูปที่ 27	รูปแบบการติดตั้งหุ่นชกสำหรับการทดสอบ หุ่นชกที่มีลักษณะเหมือนศีรษะของนักกีฬามวย (Hybrid III) และสมดุของแรงที่ใช้คำนวณหาแรงชกในแนวแกน X ในงานวิจัยของ Walilko et al. (2005).....	34
รูปที่ 28	กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	38
รูปที่ 29	การระบุ SCS ของส่วนลำตัวและส่วนสะโพก และการระบุค่ามุม X – factor.....	46
รูปที่ 30	เงื่อนไขการหาค่าผลลัพธ์ด้วย atan2.....	47
รูปที่ 31	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของไหล่ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	57
รูปที่ 32	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของข้อศอกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	60
รูปที่ 33	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของข้อมือระหว่างการชกหมัดตรง 4 รูปแบบ.....	62
รูปที่ 34	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของหมัดตรงระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	65
รูปที่ 35	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของสะโพกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	67
รูปที่ 36	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อเข่าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ.....	70
รูปที่ 37	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อเท้าระหว่างการชกหมัดตรง 4 รูปแบบ.....	73
รูปที่ 38	แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง.....	74
รูปที่ 39	แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง.....	75
รูปที่ 40	แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง.....	76
รูปที่ 41	แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง.....	77
รูปที่ 42	แสดงการเปรียบเทียบมุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพก (X-factor).....	78

รูปที่ 43	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการบิดลำตัว.....	79
รูปที่ 44	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการหมุนกระดูกเชิงกราน .....	79
รูปที่ 45	แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาระหว่างชกหมัดตรง .....	84
รูปที่ 46	แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาระหว่างชกหมัดตรง .....	84
รูปที่ 47	แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาระหว่างชกหมัดตรง .....	85
รูปที่ 48	แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาระหว่างชกหมัดตรง .....	85
รูปที่ 49	แสดงผลการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*Power.....	96
รูปที่ 50	การเชื่อมต่อระบบกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว จำนวน 8 ตัว.....	117
รูปที่ 51	ตำแหน่งติดตามมาร์กเกอร์สะท้อนแสงแบบ Plug-in Gait บนร่างกายชกขวา ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016) .....	118
รูปที่ 52	ตำแหน่งติดตามมาร์กเกอร์สะท้อนแสงแบบ Plug-in Gait บนร่างกายชกซ้าย.....	118
รูปที่ 53	ตำแหน่งติดตามมาร์กเกอร์สะท้อนแสงบนนวมชก .....	124
รูปที่ 54	ท่า Lunges with unilateral trunk rotation.....	125
รูปที่ 55	ท่า Lunges with unilateral trunk rotation.....	125
รูปที่ 56	ท่า Static elbow extension with unilateral knee flexion .....	126
รูปที่ 57	ท่า Hip abduction.....	126
รูปที่ 58	ท่า Hip abduction.....	127
รูปที่ 59	ท่า Spinal extension for the abdomen and hip flexors .....	127
รูปที่ 60	ท่า Backward roll for the cervical and lumbar spine .....	128
รูปที่ 61	ท่า Lateral base for the gluteus and lumbar spine .....	128



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬามวย (Boxing) จัดอยู่ในกลุ่มการแข่งขันกีฬาประเภทต่อสู้ที่มีลักษณะเฉพาะคือ นักกีฬาจะสามารถใช้หมัดโจมตีคู่ต่อสู้ได้เพียงอย่างเดียว หมัดจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกีฬามวย โดยนักกีฬาจะใช้หมัดชกไปยังร่างกายของคู่ต่อสู้ให้ได้รับบาดเจ็บ เพื่อสร้างความได้เปรียบทางยุทธวิธี และทำคะแนนเอาชนะผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามในการแข่งขัน (Lenetsky et al., 2013) ซึ่งรูปแบบของหมัดที่นักมวยใช้ในการแข่งขันมีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ หมัดแย็บ (Jab), หมัดตรง (Straight punch), หมัดฮุค (Hook) และหมัดอัปเปอร์คัต (Uppercut) (AIBA Coaches Commission, 2010) โดยหมัดแต่ละรูปแบบจะต่างกันในวิถีของหมัด ความเร็วหมัด และแรงชก ซึ่งนักกีฬาจะเลือกใช้หมัดตามความเหมาะสมกับสถานการณ์ระหว่างการแข่งขัน (รัตน ทองเอี่ยม, 2016)

หมัดตรงเป็นหมัดที่นักมวยชกไปยังศีรษะหรือร่างกายของคู่ต่อสู้ในวิถีตรง ซึ่งเป็นหมัดที่มีความรุนแรง อีกทั้งยังถูกกล่าวถึงมากที่สุดในกีฬามวย (Turner et al., 2011) โดยนักกีฬาจะใช้หมัดตรงในจังหวะที่ต้องการแรงชกมาก เช่น การทำคะแนนหรือการน็อกเอาต์ผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม (รัตน ทองเอี่ยม, 2016) การชกหมัดตรงในกีฬามวยเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวที่มีความซับซ้อน เพราะเป็นการเชื่อมโยงการเคลื่อนไหวของแขน ลำตัว และขาเข้าด้วยกัน โดยมีรยางค์ส่วนล่างเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การชกหมัดตรงมีประสิทธิภาพ (Lenetsky et al., 2013) ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนไหวดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dyson et al. (2007) ที่กล่าวว่าแรงและความเร็วสูงสุดของหมัดตรงนั้นเริ่มจากการทำงานของกล้ามเนื้อขาและส่งแรงผ่านร่างกายไปยังจุดที่หมัดกระทบเป้า อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cabral et al. (2010) กล่าวว่า การชกหมัดตรงในกีฬามวยมีรูปแบบการเคลื่อนไหวอย่างเป็นลำดับจากรยางค์ส่วนต้นไปยังรยางค์ส่วนปลาย ด้วยการเพิ่มความเร็วเชิงมุมของสะโพก ลำตัว และแขนตามลำดับ โดยเป็นไปตามหลักการผลรวมความเร็ว (Summation of speed principle) ที่ได้อธิบายไว้ว่าการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนต้นด้วยความเร็วสูงสุดจะส่งผลให้รยางค์ส่วนปลายมีความเร็วสูงสุด (N. Marshall & Elliott, 2000) นอกจากนี้รูปแบบการเคลื่อนไหวของการชกหมัดตรงในกีฬามวยยังสามารถอธิบายได้ด้วยห่วงโซ่ไคเนติกส์ (Kinetics chain) ซึ่งเป็นการอธิบายกลไกการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันของร่างกายแต่ละส่วนในการส่งผ่านแรงไปยังรยางค์ส่วนปลายเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหว (Kibler, 2012)

ถึงแม้ว่า McGinnis (2013) จะกล่าวว่าแรงจากรยางค์ส่วนล่างไม่สามารถส่งผลต่อแรงชกของหมัดตรงตามหลักการทางกลศาสตร์ แต่ก็มีงานวิจัยของ Tong-lam et al. (2017) ที่กล่าวว่า การบิดลำตัว (Trunk rotation) เป็นกลไกสำคัญในการถ่ายโอนแรงปฏิกิริยาจากพื้นไปเป็นแรงชก

หมัดตรง ซึ่งหากนักมวยชกหมัดตรงที่มีองศาและความเร็วของการบิดลำตัวสูงสุดจะทำให้มีความเร็วหมัด ณ จุดที่กระทบเป้า และแรงชกสูงสุด นอกจากนี้ Tong-lam et al. (2017) ได้มีการแบ่งช่วงของการชกหมัดตรงในกีฬามวยออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) Starting position คือช่วงที่น้ำหนักร่างกายของนักมวยทั้งหมดจะอยู่ที่เท้าทางด้านหน้า, 2) Lead toe off คือช่วงที่นักมวยเริ่มมีการถ่ายน้ำหนักร่างกายจากเท้าทางด้านหน้ามายังเท้าทางด้านหลัง และ 3) Lead Toe In คือช่วงสุดท้ายที่ความเร็วการบิดลำตัวของนักมวยจะเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าทางด้านหน้าจะเพิ่มมากขึ้น และแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าทางด้านหลังจะลดลง นักกีฬาจะใช้เท้าทางด้านหน้าเป็นจุดหมุนและถีบเท้าทางด้านหลังส่งแรงบิดลำตัวไปทางด้านหน้า เพื่อสร้างโมเมนตัมของการชกให้ได้แรงชกสูงสุด

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าการบิดลำตัวเป็นกลไกการถ่ายโอนแรงที่สำคัญและเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงในกีฬามวย ซึ่งได้มีงานวิจัยที่อธิบายถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงไว้เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Filimonov et al. (1985) ได้ระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงในกีฬามวยไว้ด้วยกัน 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) แรงส่งจากกล้ามเนื้อแขนไปยังเป้าชก 2) การบิดลำตัว และ 3) การใช้ขาผลักออกจากพื้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Turner et al. (2011) ที่ได้กล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) การเพิ่มแรงผลักจากขาทางด้านหลัง 2) การวางเท้าอย่างมั่นคงหลังจากการก้าวเท้าไปข้างหน้าที่จะช่วยเพิ่มการเบรกและการถ่ายโอนแรง 3) การเพิ่ม Stretch-shortening cycle (SSC) ของกล้ามเนื้อส่วนลำตัว 4) การเพิ่มความเร็วของหมัด และ 5) การเพิ่มมวลยังผล (Effective mass) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวไม่ได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับท่ายืนหรือลักษณะการยืนของนักกีฬาชกหมัดตรง แต่ความเป็นจริงในสถานการณ์การแข่งขันนักกีฬามวยจะมีรูปแบบการชกหมัดตรงทั้งการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและท่ายืนแบบเท้าขนานกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงชกจากลักษณะของท่ายืนชกหมัดตรงที่ต่างกัน

จากการศึกษาเกี่ยวกับการชกหมัดตรงในกีฬามวยที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่สนใจทำการศึกษารูปแบบการชกหมัดตรงตามรูปแบบการฝึกซ้อมโดยทั่วไปกล่าวคือ นักกีฬาจะยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและชกหมัดตรงออกไปยังศีรษะหรือร่างกายของคู่ต่อสู้พร้อมกับการบิดลำตัวร่วมด้วย ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการชกหมัดตรงในรูปแบบที่แตกต่างจากการฝึกซ้อมดังที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย ด้วยการเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ ประกอบด้วย 1) การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าและไม่บิดลำตัว 2) การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิดลำตัว 3) การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน

และไม่ปิดลำตัว และ 4) การชกหมัดตรงด้วยทำยืนแบบเท้าขนานกันและปิดลำตัว โดยเรียงลำดับจากการ สุ่มรูปแบบของกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลมาเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปร ทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการชกหมัดตรงแต่ละรูปแบบ ซึ่งข้อมูลที่ค้นพบจะสามารถตอบคำถาม การวิจัยได้ว่าการชกหมัดตรงด้วยทำยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวยมีตัวแปร ทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงแตกต่างกันหรือไม่ และสามารถอภิปรายผลการศึกษาถึงปัจจัย ที่ส่งผลต่อตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงแต่ละรูปแบบ ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา สามารถนำไปใช้สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการชกหมัดตรงในกีฬามวย ที่โค้ชและผู้ฝึกสอนสามารถ นำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับวางแผนการพัฒนาทักษะและเทคนิคการชกหมัดตรงของนักมวย รวมถึงการ เสริมสร้างสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาที่เป็นปัจจัยส่งผลให้การชกหมัดตรงนั้นมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้โอกาสให้นักกีฬาสามารถคว้าชัยชนะในการแข่งขันได้มากยิ่งขึ้น

### คำถามในการวิจัย

การชกหมัดตรงด้วยทำยืนแบบเท้าขนานกันกับแบบเท้าหน้าเท้าตาม และการชกหมัดตรงแบบ ปิดลำตัวกับแบบไม่ปิดลำตัว มีตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงแตกต่างกันหรือไม่

### สมมติฐานการวิจัย

การชกหมัดตรงด้วยทำยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามกับแบบเท้าขนานกัน และการชกหมัดตรงแบบ ปิดลำตัวกับแบบไม่ปิดลำตัว มีตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงแตกต่างกัน

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

#### วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยทำยืนแบบเท้า หน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

#### วัตถุประสงค์รอง

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบปิดลำตัวและ แบบไม่ปิดลำตัว

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักมวยไทยและมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุ 17-25 ปี น้ำหนัก 52-64 กิโลกรัม

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักมวยไทยและมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุ 17-25 ปี น้ำหนัก 52-64 กิโลกรัม สังกัดค่ายมวยในกรุงเทพมหานคร จำนวน 18 คน

### 3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ

3.1 ตัวแปรต้น (Independent variable) คือ การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้า เท้าตามกับแบบเท้าขนานกัน และการชกหมัดตรงแบบบิดลำตัวและไม่บิดลำตัว

3.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงด้วยหมัดข้างขวา

3.2.1 ความเร็วสูงสุดของหมัดตรง (Peak fist linear velocity;  $V_p$ )

3.3.2 แรงชกหมัดตรง (Peak punching force;  $F_p$ )

3.3.3 ความเร็วสูงสุดของข้อมือ (Peak wrist linear velocity;  $V_w$ )

3.3.4 ความเร็วสูงสุดของศอก (Peak elbow linear velocity;  $V_E$ )

3.3.5 ความเร็วสูงสุดของไหล่ (Peak shoulder linear velocity;  $V_S$ )

3.3.6 ความเร็วสูงสุดของสะโพก (Peak hip linear velocity;  $V_H$ )

3.3.7 ความเร็วสูงสุดของเข่า (Peak knee linear velocity;  $V_K$ )

3.3.8 ความเร็วสูงสุดของข้อเท้า (Peak ankle linear velocity;  $V_A$ )

3.3.9 มุมระหว่างแนวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor;  $\gamma$ )

3.3.10 ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัว (Trunk rotation angular velocity;  $\omega_T$ )

3.3.11 ความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกราน (Pelvic rotation angular velocity;  $\omega_H$ )

3.3.12 แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่แนวตั้งกระทำกับเท้าข้างขวาและซ้าย (Left and right foot vertical ground reaction force;  $GRF_L$  and  $GRF_R$ )

4. สถานที่เก็บข้อมูลการวิจัย คือ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ การกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### คำจำกัดความของการวิจัย

**กีฬามวย (Boxing)** หมายถึง กีฬามวยไทยและมวยสากล

**นักกีฬามวย (Boxers)** หมายถึง นักมวยไทยและมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุระหว่าง 17-25 ปี น้ำหนัก 52-64 กิโลกรัม สังกัดค่ายมวยในกรุงเทพมหานคร

**หมัดตรง (Straight punch)** หมายถึง หมัดที่นักมวยใช้หมัดข้างขวาชกไปยังศีรษะหรือร่างกายของคู่ต่อสู้ในวิถีตรงด้วยแรงสูงสุด

**ระยะเอื่อม** หมายถึง ระยะที่นักมวยยืนห่างจากเป้าชกบนแผ่นวัดแรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามหรือท่ายืนแบบเท้าขนานกัน และนักมวยสามารถเอื่อมมือไปแตะเป้าชกโดยแขนเหยียดสุดพอดี

**การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามและไม่ปิดลำตัว** หมายถึง การชกหมัดตรงที่นักมวยยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตาม โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน นักมวยจะต้องยืนให้ปลายเท้าข้างเท้าหน้า (เท้าซ้าย) ห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้าข้างเท้าหน้ากับเป้าชกของระยะเอื่อม และนักมวยจะชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดไปยังเป้าชกโดยไม่ปิดลำตัวขณะชก

**การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามและปิดลำตัว** หมายถึง การชกหมัดตรงที่นักมวยยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตาม โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน นักมวยจะต้องยืนให้ปลายเท้าข้างเท้าหน้า (เท้าซ้าย) ห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้าข้างเท้าหน้ากับเป้าชกของระยะเอื่อม และนักมวยจะชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดไปยังเป้าชกโดยปิดลำตัวขณะชก

**การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่ปิดลำตัว** หมายถึง การชกหมัดตรงที่นักมวยยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน นักมวยจะต้องยืนให้ปลายเท้าห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้ากับเป้าชกของระยะเอื่อม และนักมวยจะชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดไปยังเป้าชกโดยไม่ปิดลำตัวขณะชก

**การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและปิดลำตัว** หมายถึง การชกหมัดตรงที่นักมวยยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน นักมวยจะต้องยืนให้ปลายเท้าห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้ากับเป้าชกของระยะเอื่อม และนักมวยจะชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดไปยังเป้าชกโดยปิดลำตัวขณะชก

**ความเร็วสูงสุดของหมัดตรง (Peak fist linear velocity;  $V_p$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของหมัดตรงที่นักมวยชกออกไปกระทบกับเป้าชก โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของนวมชกข้างขวาตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

**แรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัว (Punching force per body weight;  $F_p$  per BW)** หมายถึง ค่าแรงปะทะที่เกิดขึ้นเมื่อนักมวยชกหมัดตรงไปกระทบกับเป้าชก มีวิธีการคำนวณโดยใช้ค่า

ความเร่งสูงสุดของเป้าชกหลังจากหมัดกระทบเป้า ( $a_t$ ) และมวลของเป้าชก ( $m$ ) เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณแรงชก โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังสมการ  $F_p = ma_t$  มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) และนำแรงชกที่ได้ไปหารด้วยน้ำหนักตัวของนักมวย มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

**ความเร่งของสูงสุดของเป้าชกหลักจากที่หมัดกระทบเป้า (Peak target acceleration;  $a_t$ )** หมายถึง ความเร่งสูงสุดของเป้าชกหลังจากที่หมัดกระทบเป้า โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ด้านหลังของเป้าชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทียกกำลังสอง ( $m/s^2$ )

**ความเร็วสูงสุดของข้อมือ (Peak wrist linear velocity;  $V_w$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของข้อมือ โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บริเวณข้อมือทางด้านนิ้วก้อยข้างขวา หรือตำแหน่ง RWRB (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

**ความเร็วสูงสุดของศอก (Peak elbow linear velocity;  $V_E$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของศอก โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral epicondyle บริเวณศอกข้างขวา หรือตำแหน่ง RELB (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

**ความเร็วสูงสุดของไหล่ (Peak shoulder linear velocity;  $V_S$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของไหล่ โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Acromioclavicular joint บริเวณไหล่ข้างขวา หรือตำแหน่ง RSHO (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

**ความเร็วสูงสุดของสะโพก (Peak hip linear velocity;  $V_H$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของสะโพก โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Anterior superior iliac spine (ASIS) บริเวณสะโพกข้างขวา หรือตำแหน่ง RASI (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

**ความเร็วสูงสุดของเข่า (Peak knee linear velocity;  $V_K$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของเข่า โดยคำนวณจากความเร่งสูงสุดของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บน Flexion-extension axis ของเข่าข้างขวา หรือตำแหน่ง RKNE (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

**ความเร็วสูงสุดของข้อเท้า (Peak ankle linear velocity;  $V_A$ )** หมายถึง ค่าความเร็วสูงสุดของข้อเท้า โดยคำนวณจากความเร่งสูงสุดของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral malleolus บริเวณข้อเท้าข้างขวา หรือตำแหน่ง RANK (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

**มุมระหว่างแนวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor;  $\gamma$ )** หมายถึง มุมการบิดลำตัวของนักมวยขณะชกหมัดตรงไปที่เป้าชก มีวิธีการหาค่ามุมโดยใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่เป็นการหมุนตามลำดับของแกน X, Y และ Z โดยระบุพิกัดด้วยระบบ Segment Coordinate Systems (SCS) ของส่วนลำตัวและสะโพก และพิจารณาค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ระหว่าง SCS ของส่วนลำตัวและสะโพก เป็นค่า X-factor มีหน่วยเป็นองศา (degree) ซึ่งกำหนดให้ X-factor ที่มีทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากเหนือศีรษะมีค่าเป็นบวก

**ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัว (Trunk rotation angular velocity;  $\omega_T$ )** หมายถึง ค่าความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัวของนักมวยขณะชกหมัดตรงไปที่เป้าชก มีวิธีการหาค่าโดยใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่เป็นการหมุนตามลำดับของแกน X, Y และ Z โดยระบุพิกัดด้วยระบบ Segment Coordinate Systems (SCS) ของส่วนลำตัวและสร้างเมทริกซ์การหมุนของส่วนลำตัวจากส่วนประกอบเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector component) ของ SCS ส่วนลำตัว และหาค่าเมทริกซ์การหมุนส่วนลำตัวเพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่ามุมและความเร็วของการบิดลำตัว มีหน่วยเป็นองศาต่อวินาที (degree/s)

**ความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกราน (Pelvic rotation angular velocity;  $\omega_H$ )** หมายถึง ค่าความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกรานของนักมวยขณะชกหมัดตรงไปที่เป้าชก มีวิธีการหาค่าโดยใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่เป็นการหมุนตามลำดับของแกน X, Y และ Z โดยระบุพิกัดด้วยระบบ Segment Coordinate Systems (SCS) ของส่วนเชิงกรานและสร้างเมทริกซ์การหมุนของส่วนเชิงกรานจากส่วนประกอบเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector component) ของ SCS ส่วนเชิงกราน และหาค่าเมทริกซ์การหมุนส่วนเชิงกรานเพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่ามุมและความเร็วของการหมุนกระดูกเชิงกราน มีหน่วยเป็นองศาต่อวินาที (degree/s)

**แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง (Vertical ground reaction force; Vertical GRF)** หมายถึง แรงปฏิกิริยาของแรงที่เท้ากระทำกับพื้นในแนวตั้ง ซึ่งแรงทั้งสองแรงมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ข้อที่ 3 (Newton's third law) (Robertson et al., 2014) โดยจะเก็บข้อมูลด้วยแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาตลอดช่วงการชก มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. มวย (Boxing)
2. หมัดตรงในกีฬามวย (Straight punch in boxing)
3. หลักการทางชีวกลศาสตร์ (Principles of biomechanics)
  - 3.1 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Plane and axes)
  - 3.2 ทำการเคลื่อนไหวพื้นฐาน (Fundamental movement)
  - 3.3 เวกเตอร์และปริมาณเวกเตอร์ (Vector and vector quantities)
  - 3.4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion)
  - 3.5 ตัวแปรคิเนเมติกส์ของการเคลื่อนที่ (Kinematics variables of motion)
  - 3.6 การหมุนแบบ Euler
  - 3.7 การระบุพิกัดการเคลื่อนที่
  - 3.8 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Movement analysis)
4. เครื่องมือการวิจัยทางชีวกลศาสตร์ในกีฬามวย
  - 4.1 เครื่องมือการวิจัยตัวแปรคิเนเมติกส์
  - 4.2 เครื่องมือการวิจัยตัวแปรเนติกส์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
  - 5.1 งานวิจัยในประเทศ
  - 5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

#### 1. มวย (Boxing)

มวยเป็นกีฬาประเภทต่อสู้ที่นักกีฬาจะสามารถใช้หมัดต่อสู้กันได้เพียงอย่างเดียว หมัดจึงเป็นทักษะที่สำคัญในกีฬามวย (Lenetsky et al., 2013) การแข่งขันกีฬามวยผู้เล่นทั้งสองฝ่ายจะต้องแข่งขันกันทั้งหมด 3 ยก ๆ ละ 3 นาที และพักการแข่งขันระหว่างยก 1 นาที ตัดสินการแข่งขันจากคะแนนที่ได้รับเมื่อนักกีฬาชกเข้าเป้าตามกติกา ผู้เล่นฝ่ายที่มีคะแนนสูงกว่าจะเป็นฝ่ายชนะการแข่งขันหรือตัดสินให้ผู้เล่นที่สามารถน็อกเอาท์คู่ต่อสู้ได้เป็นฝ่ายชนะการแข่งขัน (AIBA, 2019) ดังนั้นการจะเอาชนะผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามได้ นักกีฬาจะต้องชกหมัดที่มีประสิทธิภาพซึ่งหมายถึงหมัดที่ชกได้แรงชกสูงสุดเพื่อทำคะแนนหรือน็อกเอาท์คู่ต่อสู้ (Tong-lam et al., 2017)



## 2. หมัดตรงในกีฬามวย (Straight punch in boxing)

รูปแบบพื้นฐานของหมัดในกีฬามวยมีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ หมัดแย็บ (Jab), หมัดตรง (Straight punch), หมัดฮุก (Hook) และหมัดอัปเปอร์คัต (Uppercut) (AIBA Coaches Commission, 2010) นักกีฬามวยจะเลือกใช้หมัดแต่ละประเภทตามสถานการณ์การแข่งขัน (Tong-lam et al., 2017) หมัดตรงเป็นทักษะที่สำคัญที่สุดในกีฬามวยเพราะเป็นหมัดที่มีพลังมาก (Turner et al., 2011)

หมัดตรงมีรูปแบบการฝึกโดยเริ่มจากการยืนลักษณะเท้าหน้าเท้าตาม นักมวยจะเล็งเป้าหมายไปที่ปลายคางของคู่ต่อสู้ จากนั้นจึงมีการถ่ายน้ำหนักของร่างกายจากเท้าทางด้านหลังไปที่เท้าหน้า พร้อมกับบิดลำตัวไปทางด้านหน้า และส่งหมัดตรงออกไปยังคู่ต่อสู้ (AIBA Coaches Commission, 2010) จะเห็นได้ว่ารูปแบบการฝึกทักษะการชกหมัดตรงที่โค้ชและผู้ฝึกสอนใช้กับนักมวยมีพื้นฐานอยู่บนหลักการผลรวมความเร็ว (Summation of speed principle) ที่ได้อธิบายไว้ว่าการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนต้นด้วยความเร็วสูงสุดจะส่งผลให้ร่างกายส่วนปลายมีความเร็วสูงสุด (N. Marshall & Elliott, 2000) อีกทั้งยังสามารถอธิบายได้ด้วยห่วงโซ่คิเนติกส์ (Kinetics chain) ที่เป็นการอธิบายกลไกการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันของร่างกายแต่ละส่วนในการส่งผ่านแรงไปยังร่างกายส่วนปลายเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหว (Kibler, 2012) โดยหลักการที่กล่าวมาข้างต้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dyson et al. (2007), Cabral et al. (2010) และ Lenetsky et al. (2013) ที่กล่าวว่าพลังของหมัดตรงเกิดจากการส่งแรงจากเท้าทางด้านหลัง ผ่านขา สะโพก ลำตัว ไหล่ และศอก ไปยังหมัด

Tong-lam et al. (2017) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการชกหมัดตรงที่ทรงประสิทธิภาพในนักกีฬามวย จากผลการศึกษาศาสามารถแบ่งช่วงการเคลื่อนไหวของการชกหมัดตรงในกีฬามวยได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่

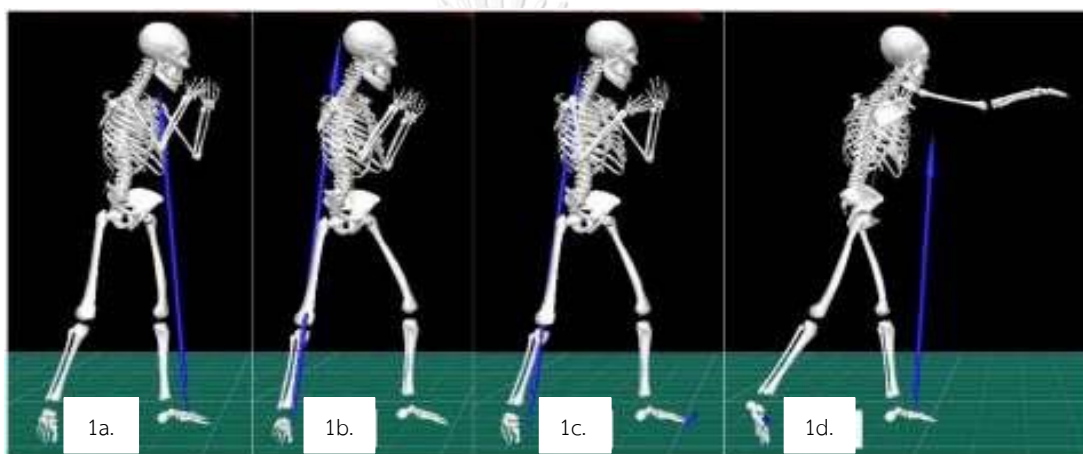
1) Starting position เป็นช่วงแรกที่นักมวยเริ่มมีการสะสมพลังงานสำหรับใช้ในการชกหมัดตรง ด้วยการถ่ายน้ำหนักของร่างกายทั้งหมดจากเท้าทางด้านหน้าไปที่เท้าทางด้านหลัง นักมวยจะเริ่มเปิดปลายเท้าทางด้านหน้าส่งผลให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าทางด้านหน้าจะค่อย ๆ ลดลง และแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าทางด้านหลังจะเพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 1a-1b)

2) Lead toe off (LTO) เป็นช่วงที่นักมวยจะเริ่มส่งหมัดตรงออกไป โดยนักมวยจะเปิดปลายเท้าทางด้านหน้าและถ่ายน้ำหนักของร่างกายทั้งหมดมาที่เท้าทางด้านหลัง จนทำให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าทางด้านหน้ามีค่าเป็นศูนย์ น้ำหนักทั้งหมดของร่างกายจะถูกถ่ายมายังเท้าทางด้านหลัง (ดังรูปที่ 1c)

3) Lead toe in (LTI) เป็นช่วงสุดท้ายที่นักมวยจะถ่ายน้ำหนักของร่างกายทั้งหมดไปที่เท้าทางด้านหน้า และแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าทางด้านหลังจะมีค่าเป็นศูนย์ นักกีฬามวยจะใช้เท้าหน้าเป็นจุดหมุนในการส่งหมัดตรงออกไปกระทบกับเป้าชก ซึ่งช่วงนี้จะเป็นช่วงการเคลื่อนไหว

สำคัญที่ทำให้การชกหมัดตรงมีประสิทธิภาพ เพราะกลไกการถ่ายโอนแรง (Kinetic chain) ของการชกจะเกิดขึ้นและสิ้นสุดลงในช่วงนี้ (ดังรูปที่ 1d)

นอกจากนี้ Tong-lam et al. (2017) ยังได้กล่าวถึงบทบาทของการบิดลำตัวขณะชกนั้นมีส่วนสำคัญต่อกลไกการถ่ายโอนแรงจากรยางค์ส่วนล่างไปยังรยางค์ส่วนบน เพราะในช่วงสุดท้ายของการชก (Lead toe in; LTI) ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่เกิดกระทำกับเท้าทางด้านหลังจะลดลง นักกีฬาจะใช้เท้าทางด้านหน้าเป็นจุดหมุนและอาศัยแรงผลักจากเท้าทางด้านหลังผลักลำตัวไปข้างหน้าเพื่อสร้างโมเมนตัมของการชก ดังนั้นการบิดลำตัวจึงเป็นกลไกสำคัญในการส่งผ่านแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งไปเป็นแรงชกในแนวระนาบ



รูปที่ 1 ช่วงการเคลื่อนไหวของการชกหมัดตรงทั้ง 3 ช่วง

- 1a. แสดงเวกเตอร์ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าในช่วง Starting position
- 1b. แสดงเวกเตอร์ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าในช่วง Lead toe off (LTO)
- 1c-1d. แสดงเวกเตอร์ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าในช่วง Lead toe in (LTI)

ที่มา : (Tong-lam et al., 2017)

### 3. หลักการทางชีวกลศาสตร์ (Principles of biomechanics)

ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) หมายถึง การศึกษาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตด้วยหลักการทางกลศาสตร์ (Hatze, 1974) ซึ่งกลศาสตร์ (Mechanics) คือ สาขาของฟิสิกส์ที่อธิบายการเคลื่อนที่และแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ การศึกษาชีวกลศาสตร์จะทำให้ได้แนวคิดและเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้และทำความเข้าใจการเคลื่อนไหว รวมถึงวิธีการพัฒนาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต (Knudson, 2007)

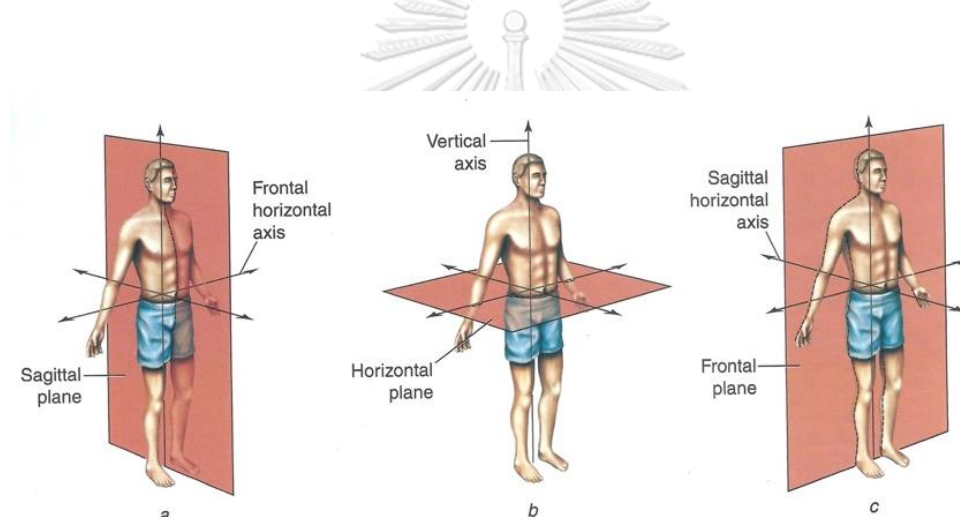
3.1 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Plane and axes) (Behnke, 2006) การเคลื่อนไหวของร่างกายจะเริ่มจากท่าเริ่มต้นที่เรียกว่า Anatomical position จากนั้นจึงมี

การอธิบายการเคลื่อนไหวของร่างกายด้วยระนาบ (plane) และแกน (Axis) ซึ่งมีระนาบที่ตั้งฉากกันอยู่ 3 ระนาบ ได้แก่

3.1.1 ระนาบหน้าหลัง (Sagittal plane or anteroposterior plane) เป็นระนาบที่พาดผ่านจากด้านหน้าไปทางด้านหลังของร่างกาย แบ่งร่างกายออกเป็นซีกซ้ายและขวา และเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับ Frontal horizontal axis

3.1.2 ระนาบด้านข้าง (Frontal plane or lateral plane) เป็นระนาบที่พาดผ่านร่างกายทางด้านข้าง แบ่งร่างกายออกเป็นซีกหน้าและหลัง และเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับ Sagittal horizontal axis

3.1.3 ระนาบตัดขวาง (Horizontal plane or transverse plane) เป็นระนาบที่ตัดขวางร่างกาย แบ่งร่างกายออกเป็นท่อนบนและล่าง และเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับ Vertical axis



รูปที่ 2 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหว  
ที่มา : (Behnke, 2012)

3.2 ท่าเคลื่อนไหวพื้นฐาน (Fundamental movement) (Behnke, 2012)

3.2.1 ท่าเคลื่อนไหวบนระนาบหน้าหลัง (Sagittal plane)

3.2.1.1 ท่าอเข้า (Flexion) หมายถึง ท่าเคลื่อนไหวที่ทำให้มุมของข้อต่อลดลง ตัวอย่างเช่นการงอศอก (Elbow extension) ทำให้มุมระหว่างแขนท่อนล่าง (Forearm) และแขนท่อนบน (Upper arm) ลดลง (ดังรูปที่ 3 ซ้าย)

3.2.1.2 ท่าเหยียดออก (Extension) หมายถึง ท่าเคลื่อนไหวที่ทำให้มุมของข้อต่อเพิ่มขึ้น เป็นการเคลื่อนไหวจากการงอ (Flexion) กลับสู่ท่าเริ่มต้น (ดังรูปที่ 3 ขวา)

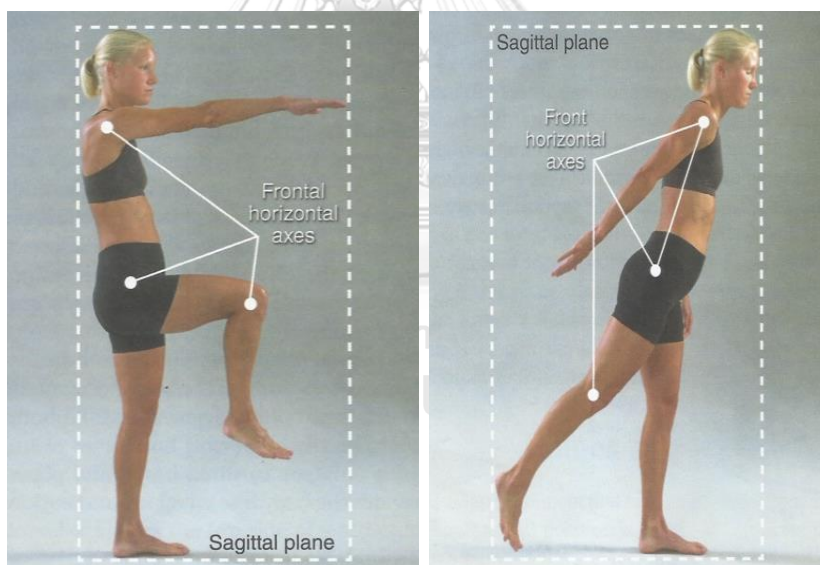
3.2.2 การเคลื่อนไหวบนระนาบด้านข้าง (Frontal plane)

3.2.2.1 ท่ากางออก (Abduction) หมายถึง ท่าเคลื่อนไหวออกจากเส้นแกนกลางของร่างกาย (Midline) ตัวอย่างเช่นการกางแขนที่อยู่ข้างลำตัวไปบนระนาบด้านข้างหรือเรียกว่าท่า Shoulder abduction (ดังรูปที่ 4 ซ้าย)

3.2.2.2 ท่าหุบเข้า (Adduction) หมายถึง ท่าเคลื่อนไหวกลับเข้าสู่เส้นแกนกลางของร่างกาย เป็นท่าเคลื่อนไหวจากท่ากางไหล่กลับสู่ท่าเริ่มต้น (Anatomical position) (ดังรูปที่ 4 ขวา)

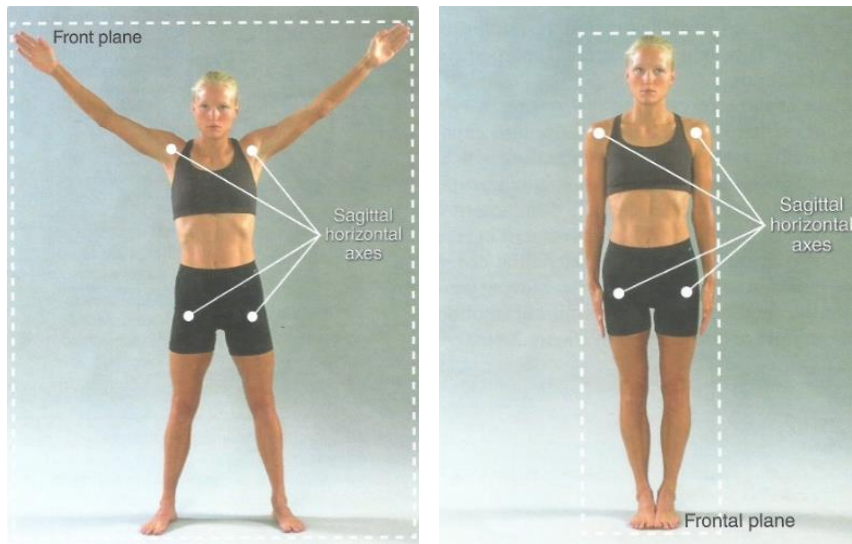
3.2.3 ท่าเคลื่อนไหวบนระนาบตัดขวาง (Horizontal plane or transverse plane)

ท่าหมุน (Rotation) เป็นท่าที่ใช้อธิบายการเคลื่อนไหวของร่างกายบางส่วนบนและส่วนล่างประกอบด้วยท่าหมุนออก (External rotation) เป็นการหมุนของแขนหรือขาออกจากเส้นแกนกลางของร่างกาย และท่าหมุนเข้า (Internal rotation) เป็นการหมุนกลับเข้าสู่เส้นแกนกลางของร่างกาย (ดังรูปที่ 5) นอกจากนี้ยังมีท่าหมุนแบบรูปกรวย (Circumduction) ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวของข้อต่อใดข้อต่อหนึ่งที่มีท่าเคลื่อนไหวพื้นฐานมากกว่าหนึ่งท่าและเคลื่อนไหวอยู่บนระนาบหลายระนาบ (ดังรูปที่ 6)

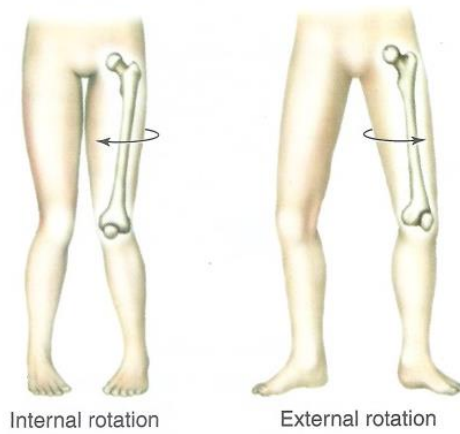


รูปที่ 3 (ซ้าย) ท่ากางไหล่ สะโพก และเข้า (ขวา) ท่าเหยียดไหล่ สะโพก และเข้า

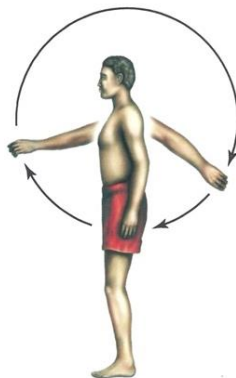
ที่มา : (Behnke, 2012)



รูปที่ 4 (ซ้าย) ท่ากางไหล่และสะโพก (ขวา) ท่าหุบไหล่และสะโพก  
ที่มา : (Behnke, 2012)



รูปที่ 5 ท่าหมุนเข้าและท่าหมุนออกของรอยข้อส่วนล่าง  
ที่มา : (Behnke, 2012)



รูปที่ 6 ท่าหมุนไหล่แบบรูปกรวย  
ที่มา : (Behnke, 2012)

**ตารางที่ 1** ระนาบ แกน และท่าการเคลื่อนไหวพื้นฐาน

Plane	Axis	Movement
Sagittal (anteroposterior)	Frontal horizontal	Flexion and extension
Frontal (lateral)	Sagittal horizontal	Abduction and adduction
Horizontal (transverse)	Vertical	Rotation

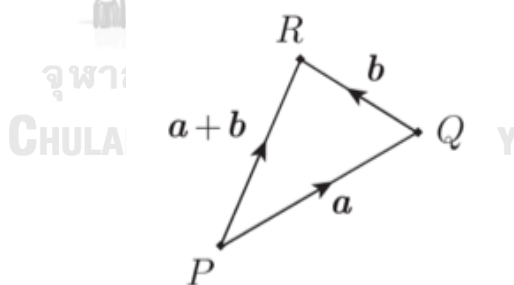
ที่มา : (Behnke, 2012)

3.3 เวกเตอร์และปริมาณเวกเตอร์ (Vector and vector quantities) (Gregory, 2006)

ปริมาณทางฟิสิกส์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ ปริมาณสเกลาร์ (Scalar quantities) และปริมาณเวกเตอร์ (Vector quantities) ปริมาณเวกเตอร์เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทางตัวอย่างเช่น การกระจัด (Displacement) ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์แสดงระยะทางและทิศทางของการเคลื่อนที่ หากสมมติให้มีการเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ขนาดของการกระจัดคือระยะทางจากจุด A ไปยังจุด B และทิศทางของการกระจัดคือทิศของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุด A และจุด B ดังนั้นหากสองเวกเตอร์เป็นเวกเตอร์ที่เท่ากันเวกเตอร์ทั้งสองจะต้องมีขนาดเท่ากันและมีทิศทางเดียวกัน

3.3.1 การบวกเวกเตอร์ (Sum of vector)

กำหนดให้  $a$  และ  $b$  เป็นเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์  $\overrightarrow{PQ}$  แทนเวกเตอร์  $a$ ,  $\overrightarrow{QR}$  แทนเวกเตอร์  $b$  และ  $\overrightarrow{PR}$  แทนเวกเตอร์  $a + b$  เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ (ดังรูปที่ 7)



รูปที่ 7 แสดงการบวกเวกเตอร์  $a$  และ  $b$

ที่มา : (Gregory, 2006)

กฎการบวกเวกเตอร์

$$b + a = a + b$$

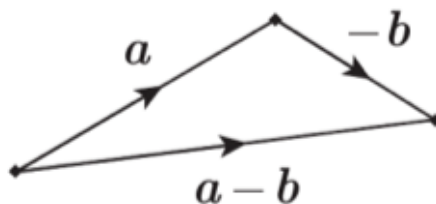
$$a + (b + c) = (a + b) + c$$



### 3.3.2 การลบเวกเตอร์ (Negative of vector)

กำหนดให้  $b$  เป็นเวกเตอร์ และเวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับเวกเตอร์  $b$  แต่มีทิศตรงข้ามเรียกว่าเวกเตอร์  $-b$  ดังนั้นการลบเวกเตอร์  $b$  สามารถทำได้ดังสมการ

$$a - b = a + (-b)$$



รูปที่ 8 แสดงการลบเวกเตอร์  $a$  และ  $b$

ที่มา : (Gregory, 2006)

### 3.3.3 การคูณเวกเตอร์ด้วยปริมาณสเกลาร์ (Scalar multiple)

กำหนดให้  $a$  เป็นเวกเตอร์ และ  $\lambda$  เป็นปริมาณสเกลาร์ ผลของการคูณ  $a$  ด้วย  $\lambda$  จะได้เวกเตอร์ที่มีขนาด  $|\lambda||a|$  และมีทิศทางดังนี้

- (1) ทิศทางเดียวกันกับเวกเตอร์  $a$  ถ้า  $\lambda$  มีค่าเป็นบวก
- (2) ไม่สามารถบอกทิศทางได้ ถ้า  $\lambda$  มีค่าเป็นศูนย์ (ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์ศูนย์)
- (3) มีทิศทาง  $-a$  ถ้า  $\lambda$  มีค่าเป็นลบ

กฎการคูณเวกเตอร์

$$\lambda(\mu a) = (\lambda\mu)a$$

$$\lambda(a + b) = \lambda a + \lambda b \quad \text{และ} \quad (\lambda + \mu)a = \lambda a + \mu a$$

### 3.3.4 เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector)

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย คือ เวกเตอร์ที่มีขนาดหนึ่งหน่วย เช่นเวกเตอร์  $a$  ถูกหารด้วยขนาดของเวกเตอร์  $a$  จะได้ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่มีทิศทางเดียวกันกับเวกเตอร์  $a$  แทนด้วย  $\hat{a}$  ดังสมการ

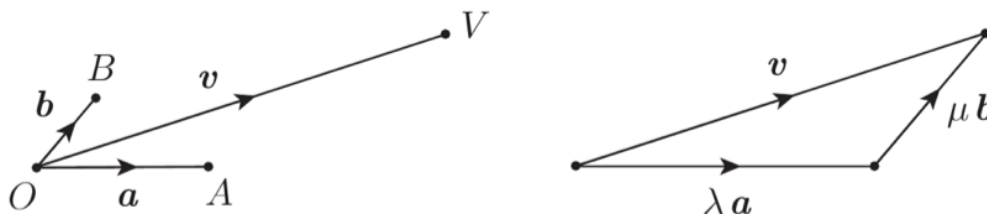
$$\hat{a} = a/|a|$$

### 3.3.5 ชุดเวกเตอร์พื้นฐาน (Basis set)

สมมติให้  $a$  และ  $b$  เป็นเวกเตอร์ที่ไม่ใช่เวกเตอร์ศูนย์ และทิศทางของเวกเตอร์  $b$  อาจมีทิศทางเดียวกันหรือมีทิศทางตรงกันข้ามกับเวกเตอร์  $a$  กำหนดให้  $\overrightarrow{OA}$  และ  $\overrightarrow{OB}$  แทนเวกเตอร์  $a$  และ  $b$  และ  $P$  เป็นระนาบที่ประกอบด้วยสามเหลี่ยม  $OAB$  และมีเวกเตอร์  $v$  ซึ่งแทนด้วย  $\overrightarrow{OV}$  เป็นเวกเตอร์ที่อยู่ในระนาบ  $P$  (ดังรูปที่ 9) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$v = \lambda a + \mu b$$

และเวกเตอร์ที่อยู่ในระนาบเดียวกันจะเรียกว่า Coplanar vector



รูปที่ 9 ชุดเวกเตอร์  $\{a, b\}$  เป็นชุดเวกเตอร์พื้นฐานของเวกเตอร์ในระนาบ  $P$

ที่มา : (Gregory, 2006)

สมมติให้ชุดเวกเตอร์  $\{a, b, c\}$  เป็นชุดเวกเตอร์ที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งเวกเตอร์  $v$  เป็นเวกเตอร์ไม่จำกัด สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$v = \lambda a + \mu b + \nu c$$

ชุดเวกเตอร์  $\{a, b, c\}$  เป็นชุดเวกเตอร์พื้นฐานของเวกเตอร์สามมิติ ส่วนใหญ่นิยมใช้ในรูปของชุดเวกเตอร์  $\{i, j, k\}$  เรียกว่า Orthonormal basis set สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$v = \lambda i + \mu j + \nu k$$

และ Orthonormal basis set  $\{i, j, k\}$  ยังเป็นไปตามกฎมือขวา

3.3.6 ผลคูณเชิงสเกลาร์ (The scalar product  $a \cdot b$ )

สมมติให้  $a$  และ  $b$  เป็นเวกเตอร์ แทนด้วย  $\overrightarrow{OA}$  และ  $\overrightarrow{OB}$  (ดังรูปที่ 9) ดังนั้น  $a \cdot b$  สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$a \cdot b = |a| |b| \cos \theta$$

โดยที่  $\theta$  คือมุมระหว่าง  $OA$  และ  $OB$  ( $a \cdot b$  เป็นปริมาณสเกลาร์)

กฎของผลคูณเชิงสเกลาร์

$$a \cdot b = a \cdot b$$

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

$$(\lambda a) \cdot b = \lambda(a \cdot b)$$

คุณสมบัติของผลคูณเชิงสเกลาร์

$$a \cdot a = |a|^2$$

$$a \cdot b = 0 \text{ ถ้า } a \text{ และ } b \text{ ตั้งฉากกัน หรือ } (a \text{ หรือ } b \text{ มีค่าเป็นศูนย์})$$

ถ้า  $\{i, j, k\}$  คือเวกเตอร์เชิงตั้งฉากปกติ (Orthonormal vector)

$$i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1$$



$$i \cdot j = j \cdot k = k \cdot i = 0$$

$$\text{ถ้า } a_1 = \lambda_1 i + \mu_1 j + \nu_1 k \text{ และ } a_2 = i + \mu_2 j + \nu_2 k$$

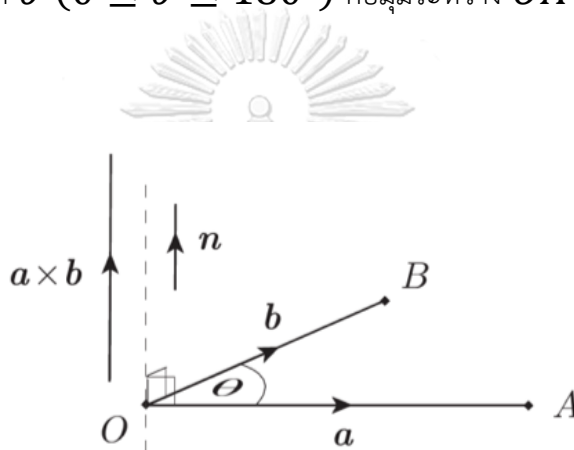
$$a_1 \cdot a_2 = \lambda_1 \lambda_2 + \mu_1 \mu_2 + \nu_1 \nu_2$$

3.3.7 ผลคูณเชิงเวกเตอร์ (The vector product  $a \times b$ )

สมมติให้  $a$  และ  $b$  เป็นเวกเตอร์ แทนด้วย  $\overrightarrow{OA}$  และ  $\overrightarrow{OB}$  และ  $n$  เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector) ที่ตั้งฉากกับระนาบ  $OAB$  (ดังรูปที่ 9) ซึ่ง  $\{a, b, n\}$  เป็นชุดเวกเตอร์ที่เป็นไปตามกฎมือขวา ดังนั้น  $a \times b$  สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$a \times b = (|a| |b| \sin \theta) n$$

โดยที่  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ ) คือมุมระหว่าง  $OA$  และ  $OB$  ( $a \times b$  เป็นปริมาณเวกเตอร์)



รูปที่ 10 ผลคูณเชิงเวกเตอร์  $a \times b$

ที่มา : (Gregory, 2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฎของผลคูณเชิงเวกเตอร์

$$b \times a = -a \times b$$

$$a \times (b + c) = a \times b + a \times c$$

$$(\lambda a) \times b = \lambda(a \times b)$$

คุณสมบัติของผลคูณเชิงเวกเตอร์

$$a \times a = 0$$

$$a \times b = 0 \text{ ถ้า } a \text{ และ } b \text{ ขนานกัน หรือ (} a \text{ หรือ } b \text{ มีค่าเป็นศูนย์)}$$

ถ้า  $\{i, j, k\}$  คือเวกเตอร์เชิงตั้งฉากปกติ (Orthonormal vector)

$$i \times j = k, k \times i = j, j \times k = i$$

$$i \times i = j \times j = k \times k = 0$$

$$\text{ถ้า } a_1 = \lambda_1 i + \mu_1 j + \nu_1 k \text{ และ } a_2 = i + \mu_2 j + \nu_2 k$$

$$a_1 \times a_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \lambda_1 & \mu_1 & v_1 \\ \lambda_2 & \mu_2 & v_2 \end{vmatrix}$$

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสามารถใช้กระบวนการคูณไขว้ (The vector product  $a \times b$ ) ในการระบุพิกัดแบบ Segment Coordinate System (SCS) ของส่วนลำตัวและสะโพก จากเวกเตอร์ส่วนประกอบที่ตั้งฉากกัน เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่ามุมระหว่างแนวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor) ต่อไป

### 3.4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion) (Gregory, 2006)

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันมีอยู่ด้วยกัน 3 ข้อ ได้แก่

3.4.1 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 กล่าวว่าเมื่อมีแรงภายนอกกระทำกับอนุภาคทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่หรือความเร็วอาจมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากอนุภาคไม่มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิม

3.4.2 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 กล่าวว่าเมื่อมีแรง  $F$  มากระทำกับอนุภาคมวล  $m$  อนุภาคนั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = ma$$

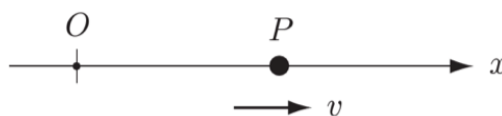
3.4.3 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 กล่าวว่าเมื่ออนุภาคสองอนุภาคส่งแรงกระทำซึ่งกันและกัน แรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงกันข้าม และแรงทั้งสองจะขนานกันเป็นแนวเส้นตรงระหว่างอนุภาคทั้งสอง

### 3.5 ตัวแปรคิเนเมติกส์ของการเคลื่อนที่ (Gregory, 2006)

#### 3.5.1 ความเร็ว (Velocity)

หากพิจารณาอนุภาค  $P$  เคลื่อนที่จากจุด  $O$  ไปตามแนวแกน  $x$  ด้วยเวลา  $t$  (ดังรูปที่ 11) ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยของอนุภาค  $P$  ช่วงเวลา  $t_1 \leq t \leq t_2$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการระหว่างการกระจัดของอนุภาค  $P$  และเวลาที่ใช้ได้ดังนี้

$$\frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (3.5.1a)$$



รูปที่ 11 การเคลื่อนที่ของอนุภาค  $P$  ในแนวเส้นตรง

ที่มา : (Gregory, 2006)

แต่ความเร็วเฉลี่ยจะมีความสำคัญน้อยกว่าความเร็วแบบทันทีทันใด (Instantaneous velocity) ซึ่งเป็นความเร็วในช่วงเวลาที่กำหนด ไม่สามารถหาได้จากสมการ

(3.5.1a) แต่จะสามารถหาความเร็วแบบทันทีทันใดของอนุภาค  $P$  ในทิศทางแนวแกนบวก  $x$  ได้ ด้วยสมการ (3.5.1b) หรือ (3.5.1c)

$$v(t_1) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \left( \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} \right) \quad (3.5.1b)$$

หรือ

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (3.5.1c)$$

อัตราเร็วของอนุภาค  $P$  หรืออัตราการเพิ่มระยะทางมีค่าเท่ากับ  $|v|$

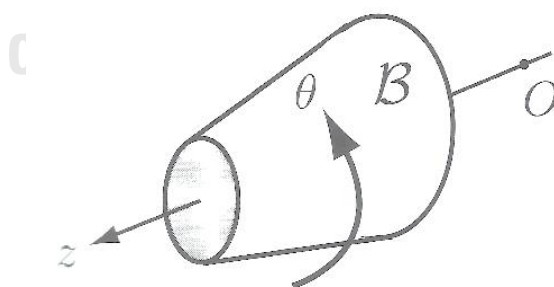
### 3.5.2 ความเร่ง (Acceleration)

ความเร่งของอนุภาค  $P$  เป็นอัตราการเพิ่มความเร็วจึงความเร่งแบบทันทีทันใด (Instantaneous acceleration) ของอนุภาค  $P$  ในทิศทางแนวแกนบวก  $x$  สามารถหาได้ด้วยสมการ (3.5.2)

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (3.5.2)$$

### 3.5.3 ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity)

สมมติให้วัตถุ  $B$  เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) ที่หมุนรอบแกนนิ่ง  $Oz$  (ดังรูปที่ 12) ณ เวลา  $t$  วัตถุ  $B$  มีการกระจัดเชิงมุม  $\theta$  โดยวัดจากตำแหน่งอ้างอิง



รูปที่ 12 วัตถุแข็งเกร็ง  $B$  ที่หมุนรอบแกนนิ่ง  $Oz$

ที่มา : (Gregory, 2006)

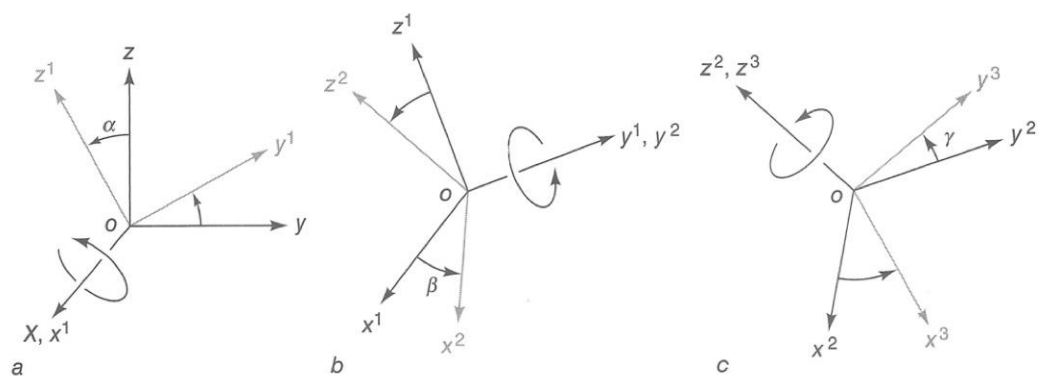
ความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ของวัตถุ  $B$  สามารถหาได้จากสมการ (3.5.3)

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.5.3)$$

อัตราเร็วเชิงมุม (Angular speed) มีค่าเท่ากับ  $|\omega|$ , ความเร็วเชิงมุมและอัตราเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที ( $\text{rads}^{-1}$ )

### 3.6 การหมุนแบบ Euler (Robertson et al., 2013)

การหมุนแบบ Euler เป็นการหมุนตามลำดับแกน XYZ ซึ่งประกอบด้วย การหมุน 3 ลำดับ คือ ลำดับแรกเป็นการหมุนของแกนทางด้านข้าง (แกน X), ลำดับที่สองเป็นการหมุนของแกนทางด้านหน้า (แกน Y) และลำดับสุดท้ายเป็นการหมุนของแกนในแนวตั้ง (แกน Z) โดยแกน X จะมีทิศทางจากซ้ายไปขวา (ดังรูปที่ 13)



รูปที่ 13 ลำดับการหมุนของแกน XYZ

ที่มา : (Robertson et al., 2013)

จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าการหมุนลำดับที่ 1 ( $\alpha$ ) เป็นการหมุนรอบแกน X ทำให้เกิดการวางแนวแกน y และ z ใหม่ ระบุเป็นแกน  $y^1$  และ  $z^1$  ซึ่งแกน X อยู่แนวแกนเดิมแต่ระบุเป็นแกน  $x^1$  การหมุนลำดับที่ 2 ( $\beta$ ) เป็นการหมุนรอบแกน  $y^1$  ทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของแกน  $x^1$  และ  $z^1$  ระบุเป็นแกน  $x^2$  และ  $z^2$  การหมุนลำดับที่ 3 ( $\gamma$ ) เป็นการหมุนรอบแกน  $z^2$  ทำให้แกน  $x^2$  และ  $y^2$  วางแนวใหม่เป็นแกน  $x^3$  และ  $y^3$

มุมของการหมุนรอบแกน XYZ จะกำหนดด้วยสัญลักษณ์  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$  สำหรับ การหมุนลำดับที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมทริกซ์ของการหมุนรอบแกน XYZ คือ  $R$

$$R = R_x R_y R_z$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} R_y = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} R_z = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์การหมุน ( $R$ ) สามารถคำนวณได้จากการคูณกันของเมทริกซ์การหมุนรอบแกน X, Y และ Z

$$R_{xyz} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix}$$

เมื่อกำหนดหาเมทริกซ์การหมุนแล้วจะทำให้สามารถคำนวณหาค่ามุมของการหมุนรอบแกนได้จากค่า  $R$  ดังสมการต่อไปนี้

การคำนวณมุม  $\alpha$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{-R_{32}}{R_{33}} \right)$$

การคำนวณมุม  $\beta$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{R_{31}}{\sqrt{R_{11}^2 + R_{21}^2}} \right)$$

การคำนวณมุม  $\gamma$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{-R_{21}}{R_{11}} \right)$$

การวิจัยครั้งนี้หลักการหมุนแบบ Euler จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ามุมระหว่างแนวไหลกับแนวสะโพก (X-factor) ซึ่งจะใช้ค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z (การหมุนลำดับสุดท้าย)

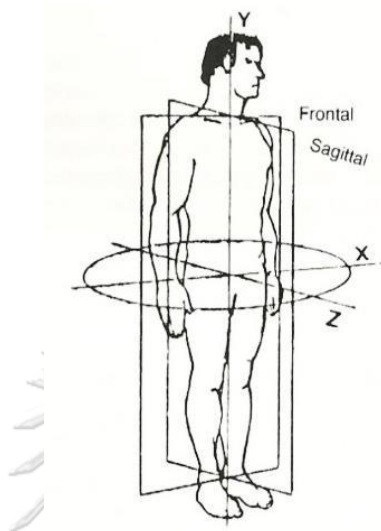
### 3.7 การระบุพิกัดการเคลื่อนที่ (ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

ระบบการระบุพิกัดการเคลื่อนที่ในการศึกษาชีวกลศาสตร์ที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบ คือ Global Coordinate System (GCS), Segment Coordinate System (SCS) หรือ Local Coordinate System (LCS) และ Joint Coordinate System (JCS)

#### 3.7.1 Global Coordinate System (GCS)

ระบบการระบุพิกัด GCS เป็นการระบุพิกัดเทียบกับแกนอ้างอิงที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น การคำนวณหาตำแหน่งและมุมการเคลื่อนไหวจะคำนวณเทียบกับแกนอ้างอิงนั้น ในเชิงคณิตศาสตร์ระบบการระบุพิกัด GCS ที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือระบบพิกัดแบบคาทีเซียน (Cartesian Coordinate System) หรือระบบพิกัด (x, y, z) มีจุดอ้างอิงคือจุด (0, 0, 0)

International Society of Biomechanics (ISB) นิยามรูปแบบการกำหนดแกนอ้างอิง ดังรูปที่ 14 ซึ่งการกำหนดแกนดังกล่าวจะต้องเป็นไปตามกฎมือขวา โดยแกน X จะแสดงทิศทางเคลื่อนที่ในแนวราบ แกน Y แสดงทิศทางเคลื่อนที่ในแนวตั้ง และแกน Z แสดงทิศทางเคลื่อนที่ในแนว Proximal/Distal

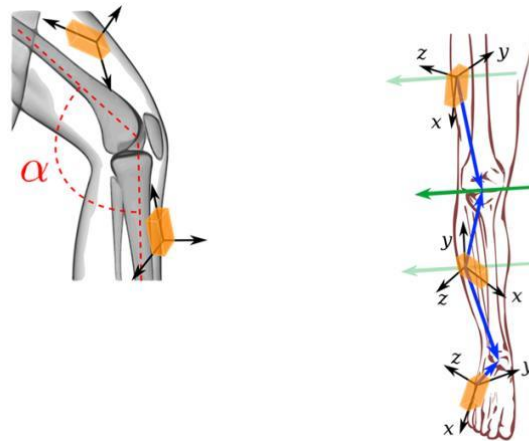


รูปที่ 14 การกำหนดแกนของระบบพิกัดแบบ GCS

ที่มา : (ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

3.7.2 Segment Coordinate System (SCS) หรือ Local Coordinate System (LCS)

ระบบการระบุพิกัด SCS เป็นการระบุพิกัดการเคลื่อนที่โดยอ้างอิงจากแนว Proximal/Distal ของ Segment เป็นตัวกำหนดพิกัด (x, y, z) การกำหนดจุดอ้างอิงของ SCS สามารถกำหนดที่จุดใดก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะกำหนดจุดอ้างอิงของ SCS ณ จุดศูนย์กลางมวล หรือจุดปลาย (Distal) ของ Segment ที่สนใจ (ดังรูปที่ 15) ซึ่งเหตุผลหลักของการเลือกใช้ระบบการระบุพิกัดแบบ SCS แทนระบบ GCS เนื่องจากบางกรณีระบบพิกัดแบบ GCS ไม่สามารถอธิบายตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการเคลื่อนไหวได้อย่างสมเหตุสมผล

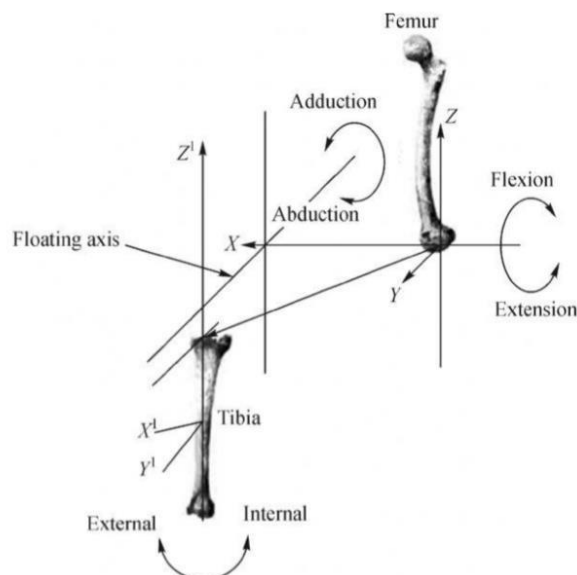


รูปที่ 15 การกำหนดแกนของระบบพิกัดแบบ SCS หรือ LCS

ที่มา : (Seel et al., 2014)

### 3.7.3 Joint Coordinate System (JCS)

ระบบการระบุพิกัด JCS เป็นการระบุพิกัดการเคลื่อนที่โดยมีการตั้งแกนเสมือน (Floating axis) โดยลากเส้นแกนระหว่างวัตถุหรือข้อต่อสองข้อต่อเข้าด้วยกัน และเมื่อสร้างแกนเสมือนขึ้นมาแล้ว สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ เช่น การเคลื่อนที่แบบ Adduction/abduction หรือ External/internal rotation รอบแกนเสมือนดังกล่าว เพื่อให้สามารถเข้าใจรูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อได้ง่ายขึ้น (ดังรูปที่ 16)



รูปที่ 16 รูปแบบแกนเสมือนของระบบพิกัดแบบ JCS

ที่มา : (ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

### 3.8 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Movement analysis) (ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

กระบวนการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวประกอบด้วยที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บข้อมูลการประมวลผลข้อมูล และการรายงานผล

#### 3.8.1 การเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 2 มิติ และแบบ 3 มิติ การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 2 มิติ เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวในระนาบเดียว แต่ส่วนของกรวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ จะเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใน 3 ระนาบ ซึ่งความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทั้ง 2 ประเภท คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยการเก็บข้อมูลแบบ 3 มิติ จะต้องใช้กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวอย่างน้อย 2 ตัว จัดวางในลักษณะทำมุมกัน 90 องศา ส่วนการเก็บข้อมูลแบบ 2 มิติ สามารถใช้กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวเพียงตัวเดียว จัดวางในลักษณะทำมุม 90 องศากับระนาบที่จะทำการวิเคราะห์เท่านั้น ซึ่งกระบวนการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

##### 3.8.1.1. กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับใช้บันทึกภาพเคลื่อนไหว โดยการเลือกใช้กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจะต้องพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ชนิดของมาร์กเกอร์ที่กล้องสามารถบันทึกได้
  2. ความถี่ของการบันทึกภาพ (Sampling rate)
  3. จำนวนกล้องที่สามารถเชื่อมต่อภายในระบบ
  5. ชนิดของแสงที่ใช้ในตัวกล้อง เช่น Infrared base
  6. ชนิดและขนาดของเลนส์รับภาพ
  7. ความเร็วของการแสดงผลข้อมูล (Real time capability)
  8. ความสามารถในการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น แผ่นวัดแรง (Force plate) หรืออุปกรณ์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)
  9. วิธีการสอบเทียบความแม่นยำของกล้อง (Calibration method)
  10. สกุลไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูล เพราะบางครั้งต้องนำข้อมูลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมต่าง ๆ
  11. โปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.8.1.2 อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง
- อุปกรณ์ระบุตำแหน่งหรือมาร์กเกอร์ที่ใช้ในทางชีวกลศาสตร์มีอยู่ 2 ชนิด

ได้แก่



1. Active marker คือ มาร์กเกอร์ที่มีแสงสว่างในตัวเอง มีข้อดีตรงที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนเหมาะสำหรับใช้เก็บข้อมูลในพื้นที่ขนาดเล็ก แต่ไม่เหมาะกับการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวที่มีความซับซ้อน

2. Passive marker คือ มาร์กเกอร์ที่ไม่มีแสงในตัวเอง ต้องอาศัยการสะท้อนแสงจากกล้องบันทึกภาพ เช่น การสะท้อนแสงอินฟราเรด ทำให้เห็นตำแหน่งของมาร์กเกอร์มีลักษณะเป็นจุดบนภาพเคลื่อนไหว

### 3.8.1.3 อุปกรณ์สอบเทียบค่า

การสอบเทียบค่าของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ เป็นการเทียบค่าพิกัดที่ได้จากภาพถ่ายเข้ากับระนาบ 3 มิติที่เกิดขึ้นจริง การสอบเทียบค่ามีอยู่ 2 วิธี คือการสอบเทียบค่าแบบเคลื่อนไหว (Dynamic calibration) และการสอบเทียบค่าแบบสถิตย์ (Static calibration) ซึ่งในบางเอกสารแนะนำว่าให้ทำการสอบเทียบค่าแบบเคลื่อนไหวเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอแล้วหากได้ผลการเทียบค่าที่น่าพอใจ โดยไม่จำเป็นต้องทำการสอบเทียบค่าแบบสถิตย์ ทั้งนี้การสอบเทียบค่าแบบสถิตย์จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหักเหแสงในเลนส์ของกล้องได้ ดังนั้นจึงแนะนำให้สอบเทียบค่าทั้ง 2 วิธีควบคู่กัน



รูปที่ 17 ตัวอย่างอุปกรณ์สอบเทียบค่า Wand (Dynamic) และ L-frame (Static)

ยี่ห้อ Qualisys ผลิตจากประเทศสวีเดน

ที่มา : <https://www.qualisys.com/hardware/accessories/calibration-kits/carbon-fibre-calibration-kit/#features>

## 3.8.2 การประมวลผลข้อมูล

### 3.8.2.1 การระบุตำแหน่ง (Digitizing)

หลักการของ Digitizing คือการเปลี่ยนภาพเคลื่อนไหวให้เป็นภาพนิ่ง และกำหนดพิกัดตำแหน่งของข้อต่อต่าง ๆ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนที่ เช่น การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของข้อต่อที่สนใจได้

### 3.8.2.2 การทำความสะอาดข้อมูล

ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวอาจมาจากสาเหตุหลัก 4 ประการ คือ 1) ความคลาดเคลื่อนจากการสอบเทียบค่า, 2) ความคลาดเคลื่อนระหว่างการเก็บข้อมูล, 3) ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ข้อมูล และ 4) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน (Data propagation) ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์ การทำความสะอาดข้อมูลจะช่วยตัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่มาจากความคลาดเคลื่อนที่มีความถี่สูง (High frequency error) เพื่อปรับค่าข้อมูลดิบให้เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรต่อไป ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องเลือกวิธีการทำความสะอาดข้อมูลและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการสูญหายข้อมูลจริง

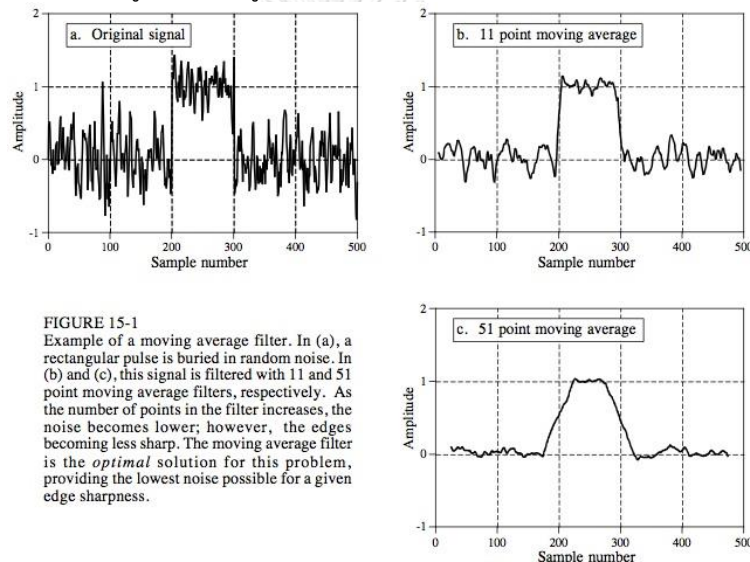


FIGURE 15-1  
Example of a moving average filter. In (a), a rectangular pulse is buried in random noise. In (b) and (c), this signal is filtered with 11 and 51 point moving average filters, respectively. As the number of points in the filter increases, the noise becomes lower; however, the edges becoming less sharp. The moving average filter is the *optimal* solution for this problem, providing the lowest noise possible for a given edge sharpness.

### รูปที่ 18 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลด้วยวิธี Moving Average

ที่มา: <https://motorbehaviour.wordpress.com/2011/06/11/moving-average-filters/>

### 3.8.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจะต้องเริ่มที่การหาจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) ของ Segment ที่สนใจ เพราะการวิเคราะห์ระยะกระจัด ความเร็ว และความเร่งการเคลื่อนที่เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากจุดศูนย์กลางมวลของ Segment นั้น ๆ การศึกษาทางชีวกลศาสตร์จำเป็นต้องกำหนดตัวแปรสำคัญที่ต้องการวิเคราะห์ เพื่อที่จะได้วางแผนการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการนำเสนอข้อมูลที่เหมาะสม

### 3.8.3 การรายงานผลข้อมูล

การเขียนรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยควรระบุข้อมูลให้ครบถ้วนเพื่อให้เกิดความชัดเจนและสามารถให้บุคคลอื่นสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อได้ ข้อมูลสำคัญที่ควรระบุในรายงานผล ได้แก่

### 3.8.3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

- ข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง เป็นต้น
- วิธีการได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่าง
- การเตรียมกลุ่มตัวอย่าง เช่น การอบอุ่นร่างกาย

### 3.8.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

- ชนิดของกล้อง (ระบุนุ่นและผู้ผลิต)
- การตั้งค่าการทำงานของกล้อง เช่น ความถี่ของการบันทึกภาพ
- ตำแหน่งการจัดวางกล้อง
- การเชื่อมต่อการทำงานของกล้องจำนวนหลายตัวหรือการเชื่อมต่อกับ

อุปกรณ์อื่น

### 3.8.3.3 การระบุตำแหน่ง (Digitizing)

- ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทำ Digitizing
- โมเดลที่ใช้ในการทำ Digitizing

### 3.8.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

- เทคนิคที่ใช้ในการทำความสะอาดข้อมูล
- วิธีการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยและมวลของ Segment
- ตัวแปรตามที่ต้องการวิเคราะห์และวิธีการหาค่าตัวแปรตาม

## 4. เครื่องมือการวิจัยตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในกีฬามวยสากล

งานวิจัยทางชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการชกหมัดในกีฬามวยสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ตามประเภทของตัวแปรชีวกลศาสตร์คือ กลุ่มตัวแปรคิเนเมติกส์และกลุ่มตัวแปรคิเนติกส์ ซึ่งกลุ่มที่ศึกษาตัวแปรคิเนเมติกส์จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของการชกหมัดตรงโดยไม่คำนึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ระยะทาง ความเร็ว และความเร่ง ในส่วนของกลุ่มงานวิจัยที่ศึกษาตัวแปรคิเนติกส์จะเป็นการศึกษาตัวแปรสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ได้แก่ แรงชกและแรงปฏิกิริยาจากพื้น (Robertson et al., 2013) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ผู้วิจัยมีการเลือกใช้เครื่องมือวิจัยที่แตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยพอจะสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

### 4.1 เครื่องมือการวิจัยตัวแปรคิเนเมติกส์

Atha et al. (1985) ได้เลือกใช้กล้องฟิล์ม (Bolex camera) ที่สามารถบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยความถี่เท่ากับ 64 เฮิร์ตซ์ (ตั้งรูปที่ 19) และกล้องฟิล์มความเร็วสูง (Hycam rotating prism camera) ที่สามารถบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยความถี่เท่ากับ 400-1500 เฮิร์ตซ์ สำหรับใช้วิเคราะห์

ความเร็วหมัดตรงของ “Frank Bruno” นักกีฬามวยอาชีพรุ่น Heavy weight ได้ผลการวิเคราะห์ความเร็วของหมัดตรง ณ จุดที่กระทบเป้าหมายมีค่าเท่ากับ 8.90 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 19 Bolex H16 REX-5 spring-wound clockwork 16 mm camera  
ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Bolex#/media/File:BolexH16.jpg>

Walilko et al. (2005) เลือกใช้กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวแบบความเร็วสูง (Kodak HG2000 high speed camera) ควบคู่กับอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) สำหรับวิเคราะห์ความเร็วของหมัดตรง พบว่าอุปกรณ์ทั้งสองชนิดสามารถวัดค่าความเร็วของหมัดตรงได้ค่าที่สัมพันธ์กัน ผู้วิจัยเลือกรายงานค่าความเร็วของหมัดตรงที่วิเคราะห์จากความเร่งของหมัดที่วัดได้ด้วยอุปกรณ์วัดความเร่งมีค่าเท่ากับ  $9.14 \pm 2.06$  เมตรต่อวินาที

Piorkowski et al. (2011) เลือกใช้กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวความเร็วสูงแบบอินฟราเรดที่มีความถี่ของการบันทึกภาพสูงสุดเท่ากับ 240 เฮิร์ตซ์ จับภาพตำแหน่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงแบบ 3 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความเร็วของหมัดตรง ณ จุดที่กระทบเป้า เช่นเดียวกับกับงานวิจัยของ Tong-lam et al. (2017) และ Stanley et al. (2018) แต่กล้องที่ใช้จะมีความถี่ของการบันทึกภาพสูงสุดเท่ากับ 1,100 เฮิร์ตซ์ (ดังรูปที่ 20) ซึ่งมีความละเอียดสูงกว่ากล้องที่ใช้ในงานวิจัยของ Piorkowski et al. (2011) พบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วของหมัดตรงจากงานวิจัยของ Piorkowski et al. และงานวิจัยของ Stanley et al. (2018) มีค่าเท่ากับ  $8.22 \pm 1.08$  และ  $6.97 \pm 0.86$  เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในส่วนงานวิจัยของ Tong-lam et al. (2017) ได้รายงานค่าความเร็วของหมัดตรงสูงสุดและต่ำสุดของนักกีฬาเท่ากับ 11.04 และ 8.00 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



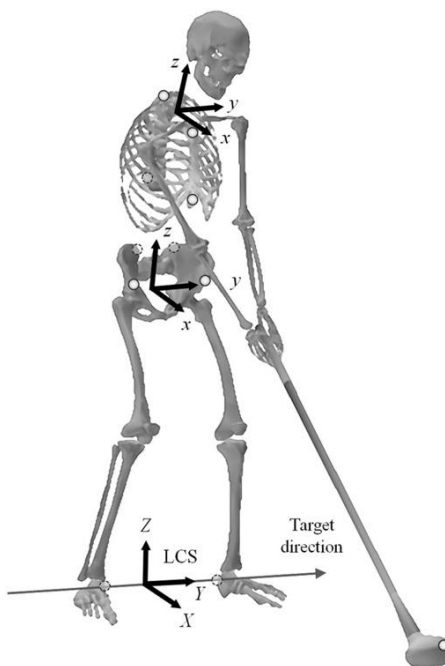
รูปที่ 20 กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวความเร็วสูงแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Qualisys รุ่น Oqus 7+ ที่ใช้ในงานวิจัยของ Tong-lam et al. (2017) และ (Stanley et al., 2018)

ที่มา : <https://www.qualisys.com/hardware/5-6-7/>

นอกจากการศึกษาความเร็วของหมัดตรงในกีฬามวยสากลแล้ว มุมของการบิดลำตัวหรือมุมระหว่างแนวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor) ยังเป็นตัวแปรคิเนเมติกส์อีกหนึ่งตัวแปรที่น่าสนใจ เนื่องจากการบิดลำตัวเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกลไกการถ่ายโอนแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งไปเป็นแรงชกในแนวราบ (Tong-lam et al., 2017) แต่การศึกษาตัวแปรดังกล่าวส่วนใหญ่ จะทำการศึกษาในกีฬาที่มีการสวิง เช่น กีฬาอล์ฟ แต่พบการศึกษาในกีฬามวยน้อยมาก และถึงแม้ว่า Tong-lam et al. (2017) ได้ทำการศึกษาตัวแปร X-factor ของการชกหมัดตรงในนักมวยมาก่อนหน้านี้ แต่ผลการศึกษายังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ของ X-factor กับแรงชกและความเร็วของหมัดตรงได้แน่ชัด เนื่องจากมีจำนวนของกลุ่มตัวอย่างน้อยเกินไปและข้อมูล X-factor กับความเร็วหมัดตรงของกลุ่มตัวอย่างไม่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว

จากการทบทวนงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ X-factor พบว่าปัจจุบันค่า X-factor มีวิธีการวัดอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบก็ให้ค่าที่แตกต่างกัน จึงทำให้ไม่สามารถใช้อ้างอิงกันได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการวัดที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี (ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์, 2018) ได้แก่

1) การระบุแกนสามมิติ (Local coordinate system; LCS) ของส่วนลำตัว (Thorax) และสะโพก (Pelvis) ด้วยการคำนวณจากตำแหน่งของมาร์กเกอร์ แล้วใช้มุมระหว่าง X-axis ของส่วนลำตัวกับสะโพก โปรเจคลงบนระนาบ X-Y ของ LCS ที่ระบุจากตำแหน่งของมาร์กเกอร์บริเวณส้นเท้า (Heels) ข้างซ้ายและขวา (Horan et al., 2010) (ดังรูปที่ 21)

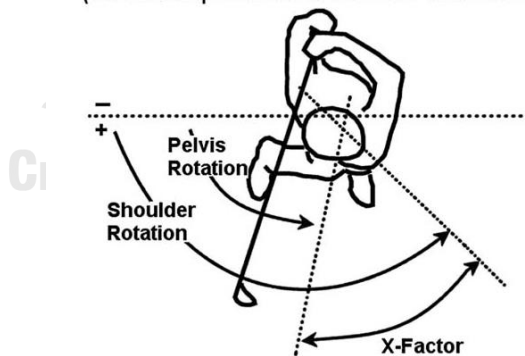


รูปที่ 21 การระบุแกน LCS ของส่วนลำตัว สะโพก และส้นเท้า

ที่มา : (Horan et al., 2010)

2) การใช้มุมระหว่างแนวเส้นตรงของไหล่และสะโพก ซึ่งเป็นแนวเส้นตรงที่สร้างขึ้นจากมาร์กเกอร์ที่ติดบริเวณไหล่และสะโพกข้างซ้ายและขวาส่วนละ 2 ตัว และโปรเจกต์ลงบนระนาบตัดขวาง (Transverse plane) (Chu et al., 2010) (ดังรูปที่ 22)

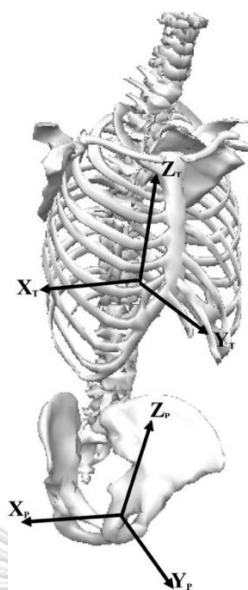
(Transverse plane view at the finish of the swing)



รูปที่ 22 การระบุ X-factor ด้วยมุมระหว่างแนวเส้นตรงของไหล่และสะโพก

ที่มา : (Chu et al., 2010)

3) การใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่มีลำดับการหมุนเป็น X, Y, Z หาค่ามุมระหว่าง SCS ของลำตัวและสะโพก ค่า X-factor จะเป็นค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ซึ่งเป็นการหมุนลำดับสุดท้าย (Brown et al., 2011) (ดังรูปที่ 23)



รูปที่ 23 การระบุ SCS ของส่วนลำตัว และสะโพก

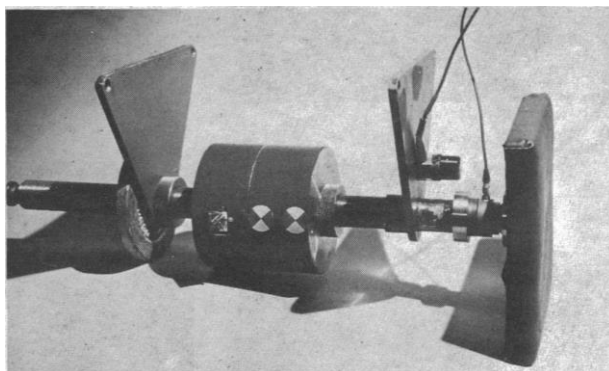
ที่มา : (Brown et al., 2011)

จากการประเมินและเปรียบเทียบค่า X-factor ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีต่าง ๆ โดย (Brown et al., 2013) พบว่าวิธีการหาค่า X-factor ด้วยการใช้ค่ามุมระหว่าง X-axis ระหว่าง SCS ของลำตัว และสะโพก ซึ่งเกิดการหมุนรอบ Z-axis นั้น เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด เพราะค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสวิงที่คงเส้นคงวามากกว่าวิธีอื่น และจากการศึกษาวิธีการหาค่า X-factor ทั้ง 3 วิธี ผู้วิจัยเห็นควรเลือกวิธีการของ (Brown et al., 2011) เป็นวิธีการหาค่าตัวแปร X-factor ในการวิจัยครั้งนี้

#### 4.2 เครื่องมือการวิจัยตัวแปรคิเนติกส์

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวแปรคิเนติกส์ในกีฬามวยที่ทำการศึกษาคือ แรงปฏิกิริยาจากพื้นและแรงชก การศึกษาแรงปฏิกิริยาจากพื้นนั้นส่วนใหญ่จะนิยมใช้แผ่นวัดแรงปฏิกิริยา (Force plate) เป็นเครื่องมือการวิจัย เช่นงานวิจัยของ Piorkowski et al. (2011), Tonglam et al. (2017), Stanley et al. (2018) และ Lenetsky et al. (2020) แต่ในส่วนของการศึกษาแรงชกจะมีการเลือกใช้เครื่องมือการวิจัยที่มีความหลากหลายและแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย

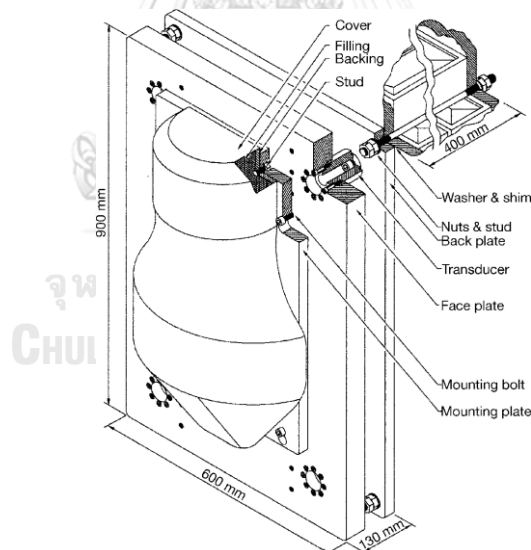
Atha et al. (1985) ได้ทำการศึกษาระงชกสูงสุดของ “Frank Bruno” แชมป์นักกีฬามวยสากลอาชีพระดับโลกรุ่น Heavyweight ด้วยการสร้างเครื่องมือวัดแรงชกที่มีลักษณะเป็นแผ่นวัดแรงชกที่มีน้ำหนักเทียบเท่ากับน้ำหนักของศีรษะนักกีฬามวยรุ่น Heavyweight โดยใช้หลักการ Ballistic pendulum คำนวณหาแรงชกหมัดตรงของนักกีฬามวยสากล (ดังรูปที่ 24) ซึ่งแรงชกสูงสุดของหมัดตรงที่กระทบกับเป้าชกมีค่าเท่ากับ 4096 นิวตัน



รูปที่ 24 เครื่องมือวัดแรงชกในงานวิจัยของ Atha et al. (1985)

ที่มา : (Atha et al., 1985)

Smith et al. (2000) ได้พัฒนาไดนาโมมิเตอร์สำหรับวัดแรงชก ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรง (Force transducer) ไว้ระหว่างแผ่นวัดแรงที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียมทั้งสองแผ่นและยึดแผ่นวัดแรงติดกับผนัง พร้อมติดตั้งหุ่นชกที่มีลักษณะเหมือนกับศีรษะและร่างกายส่วนบนของนักกีฬามวยเข้ากับแผ่นวัดแรง (ดังรูปที่ 25) และเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อประมวลผลข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถวัดค่าแรงชกหมัดตรงสูงสุดของนักกีฬามวยสากลระดับอาชีพได้เท่ากับ  $4800 \pm 227$  นิวตัน



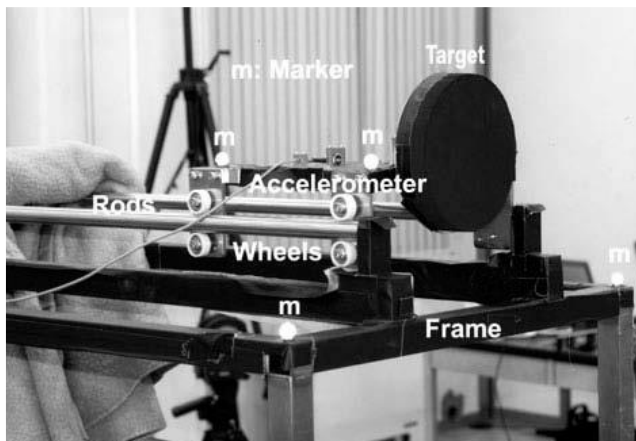
รูปที่ 25 ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงชกในงานวิจัยของ Smith et al. (2000)

ที่มา : (Smith et al., 2000)

ในปี ค.ศ.2014 (Nakano et al., 2014) ได้ออกแบบอุปกรณ์สำหรับวัดแรงชกหมัดตรงของนักกีฬามวย โดยอุปกรณ์ประกอบด้วยเป้าชกมีลักษณะเป็นแผ่นกลมทำจากวัสดุสแตนเลส น้ำหนัก 4.63 กิโลกรัม รางสแตนเลส และติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งแบบหลายแกน (Uniaxial accelerometer) บนเป้าชก (ดังรูปที่ 26) มีวิธีการคำนวณหาแรงชกโดยอาศัยมวลของเป้าชกและความเร่งการเคลื่อนที่



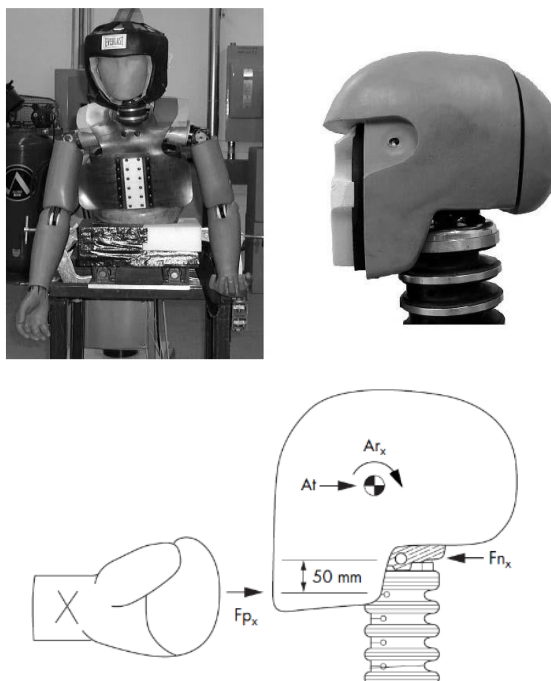
ของเป้าชกไปบนรางสแตนเลสเมื่อหมัดกระทบเป้า สามารถวัดค่าแรงชกหมัดตรงสูงสุดได้เท่ากับ  $2146 \pm 473$  นิวตัน



รูปที่ 26 อุปกรณ์วัดแรงชกในงานวิจัยของ Nakano et al. (2014)

ที่มา : (Nakano et al., 2014)

(Walilko et al., 2005) ได้ใช้หุ่นชกที่มีลักษณะเหมือนศีรษะของนักกีฬามวย (Hybrid III) พร้อมติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งไว้ที่จุดกึ่งกลางของหุ่นชก และติดตั้งเซลล์วัดไฟฟ้าที่บริเวณส่วนบนของคอหุ่น (ดังรูปที่ 27) เป็นเครื่องมือในการศึกษาชีวกลศาสตร์ของหมัดตรงในนักกีฬามวยสากลโอลิมปิก โดยคำนวณหาแรงชกจากสมการ  $F_{px} - F_{nx} = mA_x$  โดยที่  $F_{px}$  คือแรงชกที่นักกีฬาชกไปที่ศีรษะของหุ่น,  $F_{nx}$  คือแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นบริเวณคอของหุ่นส่วนบน,  $m$  คือมวลศีรษะของหุ่น และ  $A_x$  คือความเร่งการเคลื่อนที่ของศีรษะในแนวแกน X ซึ่งสามารถวัดค่าแรงชกสูงสุดของหมัดตรงในนักกีฬามวยสากลรุ่น Middleweight และ Heavyweight เท่ากับ  $2625 \pm 473$  และ  $4345 \pm 280$  นิวตันตามลำดับ อีกทั้งวิธีการนี้ยังได้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยของ Mack และคณะ (Mack et al., 2010) อีกด้วย



รูปที่ 27 รูปแบบการติดตั้งหุ่นชกสำหรับการทดสอบ หุ่นชกที่มีลักษณะเหมือนศีรษะของนักกีฬามวย (Hybrid III) และสมดุลของแรงที่ใช้คำนวณหาแรงชกในแนวแกน X ในงานวิจัยของ Walilko et al. (2005)

ที่มา : (Walilko et al., 2005)

Tong-lam et al. (2017) ได้เลือกใช้วิธีการคำนวณหาแรงชกหมัดตรงของนักกีฬามวยสากล โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's second law of motion;  $\Sigma F=ma$ ) ใช้ความเร่งของเป้าชกหลังจากที่หมัดกระทบเป้าที่บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ความเร็วสูงแบบอินฟราเรดจับภาพตำแหน่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บนเป้าชก และวิเคราะห์ค่าความเร่งด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป สามารถวัดค่าแรงชกหมัดตรงสูงสุดของนักกีฬามวยสากลได้ค่าระหว่าง 1048-1605 นิวตัน

## 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 5.1 งานวิจัยในประเทศ

รัตน์ ทองเอี่ยม (2016) ได้สร้างแบบจำลองการชกหมัดตรงด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้อธิบายกลไกของการชกหมัดตรงของนักมวยเพศชายจำนวน 5 คน โดยทำการชกหมัดตรงไปยังกระสอบชกที่แขวนอยู่ระดับศีรษะของนักกีฬา ผู้วิจัยทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ ที่กำหนดความถี่ของการบันทึกข้อมูลเท่ากับ 500 เฮิรตซ์ พร้อมกับบันทึกข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้น จากการเก็บข้อมูลของผู้วิจัยทั้ง 5 คน พบว่าผู้วิจัยหมายเลข B5 สามารถชกหมัดตรงที่ได้ความเร่งของกระสอบทรายหลังจากหมัดกระทบเป้าต่อน้ำหนักตัวสูงสุด จึงถูกนำมาเป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหว ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถสร้างแรงปะทะได้ 1861 นิวตัน โดยเพิ่มขึ้น 32.27 % จากข้อมูลของตัวแทนการสร้างแบบจำลอง

ความเร็วของหมัด ณ จุดปะทะเท่ากับ 7.11 เมตรต่อวินาที เพิ่มขึ้น 16.59 % ความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของจุดศูนย์กลางมวลในระนาบหน้าหลัง (Sagittal plane) ของแขนส่วนบน แขนส่วนล่าง และหมัดเท่ากับ 5.57 (+7.60%), 7.94 (+1.08%) และ 8.98 (+1.84%) เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของจุดศูนย์กลางมวลในระนาบตัดขวาง (Transverse plane) ของลำตัวส่วนบน ลำตัวส่วนกลาง และลำตัวส่วนล่าง เท่ากับ 804.48 (+5.60%), 592.91 (+4.52%) และ 457.72 (+5.37%) องศาต่อวินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้สรุปกลไกการชกหมัดตรงในกีฬามวยไว้ว่าแรงชกหมัดตรงเริ่มจากการถ่ายน้ำหนักจากเท้าทางด้านหน้าไปที่เท้าทางด้านหลังจนแรงปฏิกิริยาที่เท้าหน้าเป็นศูนย์ ในขณะที่เดียวกันนักกีฬามีการบิดลำตัวไปทางเท้าด้านหลัง จากนั้นนักกีฬาจะถ่ายน้ำหนักกลับไปเท้าทางด้านหน้า สะโพกทำหน้าที่เป็นจุดหมุนให้ลำตัวบิดไปทางเท้าด้านหน้าเพื่อสร้างความเร็วจากลำตัวส่วนล่าง ส่งผ่านลำตัวส่วนกลาง ไปยังลำตัวส่วนบน แล้วส่งหมัดไปยังเป้าหมายหมัดที่มีความเร็ว ณ จุดปะทะสูงสุด จะทำให้มีแรงปะทะสูงสุดด้วย

## 5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Dyson et al. (2007) ได้วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) ในระหว่างที่นักกีฬามวยชกหมัดตรงไปยังอุปกรณ์วัดแรงชก เพื่อศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการชกหมัดตรงด้วยแรงชกสูงสุด โดยทำการศึกษาในนักกีฬามวยสากลสมัครเล่น จำนวน 6 คน จากการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Biceps femoris) เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่มีความสำคัญต่อการส่งแรงชกหมัดตรงไปยังเป้าหมายเพื่อให้ได้แรงชกสูงสุด หมัดตรงที่มีแรงชกและความเร็วหมัดสูงสุดจะเริ่มจากการทำงานของกล้ามเนื้อขาและส่งแรงผ่านส่วนต่าง ๆ ของร่างกายไปยังหมัด โค้ชและผู้ฝึกสอนควรให้ความสำคัญต่อการพัฒนากล้ามเนื้อส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดแรงชกสูงสุด

Cabral et al. (2010) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนไหวของการชกหมัดอัปเปอร์คัตในนักกีฬามวยด้วยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ จากผลการศึกษาพบว่าการชกหมัดอัปเปอร์คัตของนักกีฬามวยมีลำดับการเคลื่อนไหวจากส่วนต้นไปยังส่วนปลาย (Proximal to distal) โดยมีลำดับการเพิ่มความเร็วเชิงมุมของสะโพก ลำตัว และแขน ซึ่งเป็นไปตามหลักการผลรวมความเร็วในงานวิจัยก่อนหน้า

Piorkowski et al. (2011) ได้ทำการศึกษาความเร็วและระยะเวลาที่ใช้ในการส่งหมัดของหมัดแย็บ หมัดตรง และหมัดฮุก ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬามวยเพศชายจำนวน 7 คน และเพศหญิงจำนวน 3 คน ด้วยการใช้กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบอินฟราเรด จากการศึกษาพบว่าหมัดฮุกมีความเร็วหมัด ณ จุดที่กระทบมากกว่าหมัดแย็บและหมัดตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หมัดแย็บและหมัดตรงใช้ระยะเวลาในการส่งหมัดน้อยกว่าหมัดฮุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วของหมัดตรงในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ  $8.22 \pm 1.08$  เมตรต่อวินาที ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Atha et al. (1985) และงานวิจัยของ Walilko et al. (2005) มีค่าเท่ากับ 8.90 และ 8.16 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

Nakano et al. (2014) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดโมเมนตัมของแขนกับการส่งแรงชกขณะที่นักกีฬามวยชกหมัดตรงไปยังเป้าชกที่มีมวลเท่ากับศีรษะของมนุษย์ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬามวยระดับมหาวิทยาลัย โดยใช้กล้องบันทึกการเคลื่อนไหวและใช้อุปกรณ์วัดความเร่งติดไว้กับเป้าชก เพื่อศึกษาการลดโมเมนตัมของแขนก่อนบน แขนก่อนล่าง และหมัด รวมถึงการส่งแรงชก ผลการศึกษาพบว่าขณะชกนักกีฬามีการลดโมเมนตัมของแขนก่อนบนร้อยละ 40, แขนก่อนล่างร้อยละ 35 และหมัดร้อยละ 20 อีกทั้งแรงชกสูงสุดยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการส่งแรงชก จากผลการศึกษาจึงได้มีคำแนะนำให้นักกีฬาเพิ่มโมเมนตัมของแขนก่อนหมัดจะกระทบเป้ามากกว่าร่างกายส่วนอื่นเพราะจะมีผลทำให้เกิดแรงชกส่งไปยังคู่ต่อสู้มากยิ่งขึ้น

BuŠko et al. (2016) ได้ทำการออกแบบเครื่องมือที่ใช้วัดแรงชกและแรงเตะรวมถึงเวลาตอบสนองของนักกีฬาประเภทต่อสู้ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาทั้งในนักกีฬาเพศชายและเพศหญิง โดยแบ่งออกเป็นการศึกษาแรงชกในนักกีฬามวยและการศึกษาแรงเตะในนักกีฬาเทควันโด ผู้วิจัยได้สร้างกระสอบทรายที่ฝังอุปกรณ์วัดความเร่งไว้ภายในโครงเหล็กทรงกระบอกและหุ้มด้วยวัสดุดูดซับแรงกระแทกอีกชั้นหนึ่ง ค่าความเร่งที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดความเร่งของกระสอบชกจะถูกนำมาใช้คำนวณหาแรงชก จากผลการศึกษาพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแรงชกและความเร่งที่วัดได้คิดเป็นร้อยละ 3 และร้อยละ 1 ตามลำดับ การวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่ากระสอบชกที่ฝังอุปกรณ์วัดความเร่งไว้ภายในเป็นเครื่องมือที่ดีสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของนักกีฬาประเภทต่อสู้

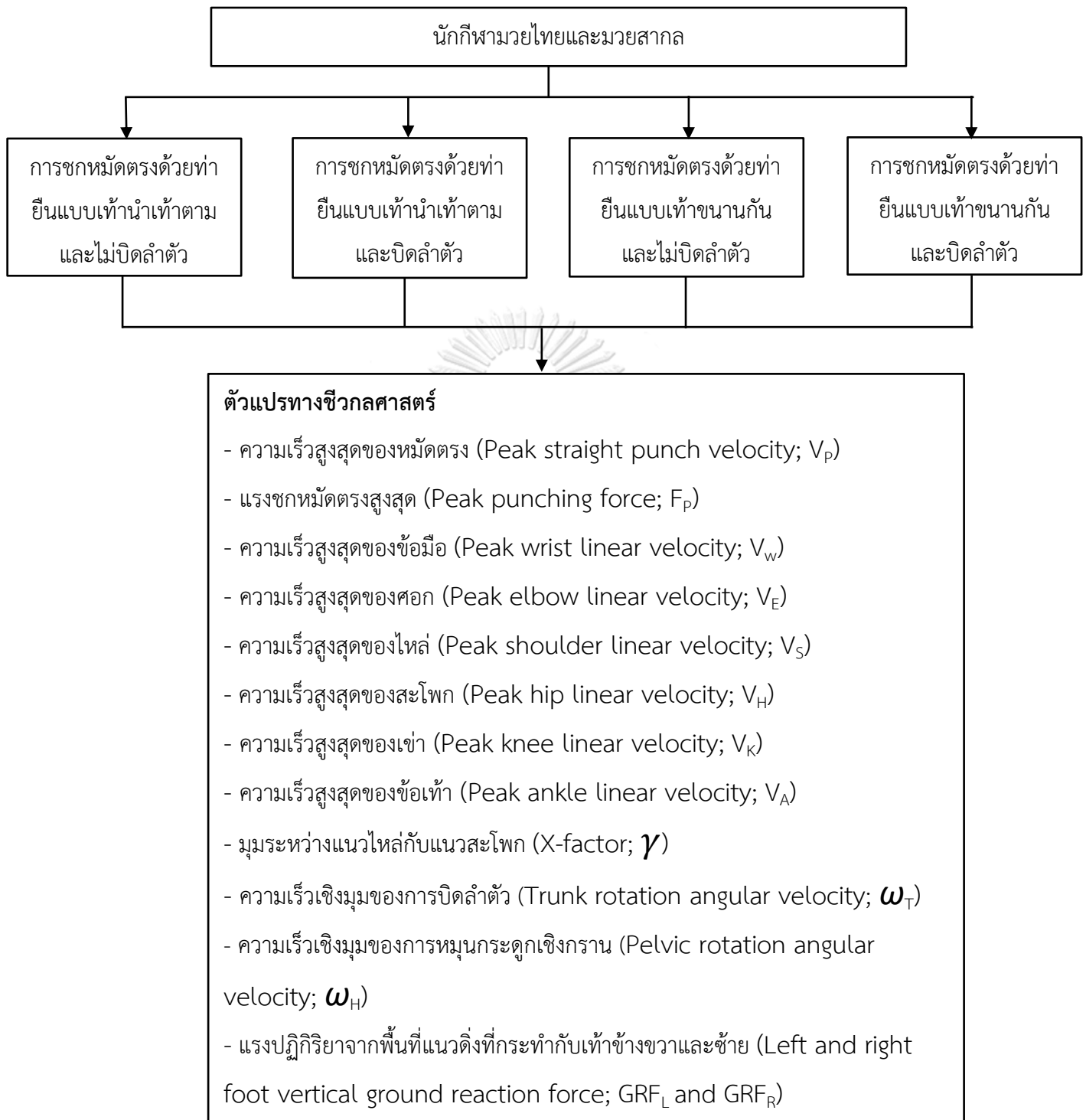
Tong-lam et al. (2017) ได้พยายามศึกษาบทบาทของการบิดลำตัวในการชกหมัดตรงในกีฬามวย ซึ่งส่วนใหญ่ได้มีการกล่าวถึงบทบาทของการบิดลำตัวว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการชกหมัดตรง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มียานวิจัยที่มุ่งศึกษาความสำคัญของการบิดลำตัวในกีฬามวย ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาตัวแปรคิเนเมติกส์และคิเนติกส์ของการชกหมัดตรง จากการศึกษาผู้วิจัยได้ใช้แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าของนักกีฬามวยแบ่งช่วงของการชกหมัดตรงออกเป็น 3 ช่วง คือ 1) Starting position 2) Lead toe off และ 3) Lead toe in พบว่าช่วง Lead toe in เป็นช่วงที่สำคัญที่สุดของการส่งหมัดตรงที่ได้แรงชกสูงสุด เพราะนักกีฬาจะใช้การบิดลำตัวในการส่งแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งไปเป็นแรงชกในแนวราบ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาทั้งตัวแปรคิเนเมติกส์และคิเนติกส์ เพื่อใช้อธิบายกลไกการถ่ายโอนแรงจากรยางค์ส่วนล่างมายังหมัดตรง

ในกีฬามวย อีกทั้งยังได้มีงานวิจัยที่กล่าวว่าการบิดลำตัวนั้นมีบทบาทสำคัญต่อการถ่ายโยงปฏิกิริยาจากพื้นไปเป็นแรงชกและเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงในกีฬามวย นอกจากนี้ยังพบการศึกษาที่ระบุถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงในกีฬามวยไว้เช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยดังกล่าวไม่ได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับท่ายืนหรือลักษณะการยืนของนักกีฬาขณะชกหมัดตรง แต่ความเป็นจริงในสถานการณ์การแข่งขันนักกีฬาจะมีรูปแบบการชกหมัดตรงทั้งการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและท่ายืนแบบเท้าขนานกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงชกจากลักษณะของท่ายืนขณะชกหมัดตรงที่ต่างกัน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย เพื่ออธิบายตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนที่ต่างกันว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร อีกทั้งยังสามารถระบุถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงในกีฬามวยได้อีกด้วย



### กรอบแนวคิดในการวิจัย



รูปที่ 28 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### ประชากร

ประชากร คือ นักมวยไทยและมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุ 17-25 ปี น้ำหนัก 52-64 กิโลกรัม

##### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักมวยไทยและมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุ 17-25 ปี น้ำหนัก 52-64 กิโลกรัม โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) จากนักมวยสังกัดค่ายมวยในกรุงเทพมหานคร ผู้วิจัยกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการคำนวณด้วยโปรแกรม G\*Power เวอร์ชัน 3.1.9.4 มีการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Level of significance) ที่ระดับ .05 ( $\alpha = .05$ ) ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) เท่ากับ 0.80 และขนาดอิทธิพล (Effect size) เท่ากับ 0.30 (Stanley et al., 2018) ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 17 คน และเพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างผู้วิจัยจึงเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 20 ดังนั้นจึงใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 20 คน ภายหลังจากการเก็บข้อมูลพบว่าเกิดปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลที่เก็บได้ของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 คน จึงใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพียง 18 คน (ภาคผนวก ก)

##### เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย (Inclusion criteria)

1. เป็นนักมวยไทยและมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุ 17-25 ปี น้ำหนัก 52-64 กิโลกรัม สังกัดค่ายมวยในกรุงเทพมหานคร
2. เป็นนักมวยไทยหรือมวยสากลที่ถนัดขวา
3. เป็นนักมวยไทยหรือมวยสากลที่มีประสบการณ์การฝึกซ้อมและแข่งขันกีฬามวยไม่น้อยกว่า 1 ปี และฝึกซ้อมกีฬามวยอยู่เป็นประจำ อย่างน้อย 3-5 วันต่อสัปดาห์
4. เป็นบุคคลที่มีสุขภาพร่างกายดี ไม่มีอาการบาดเจ็บของกระดูก กล้ามเนื้อ และข้อต่อจนต้องเข้ารับการรักษาด้วยวิธีการผ่าตัด ในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา นับถึงวันที่เก็บข้อมูลการวิจัย
5. สัมผัสใจเข้าร่วมการวิจัย

##### เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย (Exclusion criteria)

1. ได้รับบาดเจ็บจนเป็นอุปสรรคต่อการวิจัย ทำให้ไม่สามารถทำการวิจัยต่อไปได้
2. ขอดอนตัวออกจากการวิจัย

##### เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย (Subject withdrawal criteria)

เกิดเหตุสุดวิสัยกับผู้เข้าร่วมวิจัยจนไม่สามารถทำการวิจัยต่อไปได้ เช่น ผู้วิจัยได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุหรือมีอาการเจ็บป่วยทางร่างกาย

## การพิทักษ์สิทธิของผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยจะแนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ และขั้นตอนในการทำวิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบ ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสิทธิในการตัดสินใจตอบรับหรือปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัย และสามารถถอนตัวออกจาก การวิจัยได้ทุกเมื่อโดยไม่จำเป็นต้องชี้แจงเหตุผลให้ผู้วิจัยทราบ และหากผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับบาดเจ็บ ระหว่างการเก็บข้อมูลวิจัยผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลทั้งหมด ข้อมูล ทุกอย่างของผู้เข้าร่วมวิจัยถือเป็นความลับที่บุคคลภายนอกไม่สามารถเข้าถึงได้ ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูล ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยและจะทำลายภาพและข้อมูลทั้งหมดหลังเสร็จสิ้นกระบวนการวิจัย

### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 1. ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย

1.1 ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสาร และงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมถึงข้อมูลคุณลักษณะและคู่มือการใช้งานของเครื่องมือ ที่ใช้ในการวิจัย

1.2 นำเสนอโครงการวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาทางจริยธรรมต่อคณะกรรมการ พิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 นำเครื่องมือการวิจัยผ่านการประเมินคุณภาพ IOC โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินได้ค่าดัชนีความสอดคล้องรวมทั้งฉบับเท่ากับ 0.9 (ภาคผนวก ค)

1.4 ผู้วิจัยส่งหนังสือถึงค้ายมวยในกรุงเทพมหานคร เพื่อขออนุญาตทำการวิจัย กับนักมวยในสังกัด หากได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยผู้วิจัยจะติดต่อกับโค้ชและผู้ฝึกสอน เพื่อประชาสัมพันธ์รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัยไปยังนักกีฬาในสังกัด จากนั้นจะทำการนัดหมาย เข้าคัดกรองคุณสมบัติของนักกีฬาที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยว่าตรงตามเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่ม ตัวอย่างเข้าร่วมโครงการวิจัยหรือไม่

1.5 นักมวยที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัยตอบแบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย (ภาคผนวก ข) เพื่อคัดกรองคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย จากนั้น ผู้วิจัยจะชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการวิจัยให้ผู้สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยทราบ พร้อมทั้ง อธิบายถึงสิทธิในการตอบรับหรือปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัยและการพิทักษ์สิทธิของผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองลงนามในเอกสารยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ (ภาคผนวก ข)

1.6 นัดหมายวันและเวลาในการเก็บข้อมูลการวิจัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย ในวันที่นัดหมาย ผู้เข้าร่วมวิจัยจะเดินทางมายังห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเข้ารับการทดลองจำนวน 1 ครั้ง ใช้เวลา ประมาณ 1 ชั่วโมง 55 นาที



## 2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ติดตั้งกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว จำนวน 9 ตัว ประกอบด้วยกล้องแบบ Infrared base จำนวน 8 ตัว และกล้องแบบ Video base จำนวน 1 ตัว โดยติดตั้งกล้องและปรับมุมการรับภาพให้ครอบคลุมพื้นที่การวิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นทำการเชื่อมต่อแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาที่ติดตั้งอยู่กับพื้นห้องปฏิบัติการ จำนวน 2 แผ่น และอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) เข้ากับชุดการทำงานของกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เพื่อให้สามารถส่งการเริ่มต้นที่ข้อมูลของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ในเวลาเดียวกัน

2.2 จัดวางเสาเหล็กสำหรับแขวนเป้าชกในพื้นที่การวิเคราะห์ข้อมูล พร้อมแขวนเป้าชกไว้กับเสา และปรับระดับความสูงของเป้าชกให้จุดต่ำสุดของเป้าชกอยู่ในระดับไหล่ของกลุ่มตัวอย่าง

2.3 ทำการสอบเทียบค่า (Calibration) กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ด้วยอุปกรณ์สอบเทียบค่าแบบ Wand และ L-frame

2.4 อธิบายขั้นตอนการเก็บข้อมูลการวิจัยอย่างละเอียดให้กลุ่มตัวอย่างทราบใช้เวลา 10 นาที

2.5 เก็บข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และวัดความยาวของร่างกายประกอบด้วย

2.5.1 ความยาวของแขน (Total arm length) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Acromio-clavicular joint ไปยังตำแหน่ง Ulnar styloid ทั้งแขนข้างขวาและซ้าย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)

2.5.2 ความยาวของขา (Total leg length) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Greater trochanter ไปยังตำแหน่ง Lateral malleolus ทั้งขาข้างขวาและซ้าย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)

2.5.3 ความกว้างของช่วงไหล่ (Shoulder width) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Acromio-clavicular joint ข้างขวาไปยัง Acromio-clavicular joint ข้างซ้าย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)

2.5.4 ความกว้างของสะโพก (Hip width) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Anterior-superior iliac spine (ASIS) บริเวณสะโพกข้างขวาไปยัง Anterior superior iliac spine (ASIS) ข้างซ้าย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)

2.6 กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงขนาด 12.5 มิลลิเมตร จำนวน 39 ตัว โดยกลุ่มตัวอย่างจะต้องสวมกางเกงรัดกล้ามเนื้อที่ผ่านการทำความสะอาดทุกครั้งหลังใช้งาน ซึ่งผู้วิจัยจัดเตรียมไว้ให้ พร้อมพันมือด้วยผ้าพันมือและสวมนวมขกที่มือข้างซ้ายและขวา แต่ไม่ต้องสวมรองเท้า จากนั้นผู้วิจัยจะเช็ดทำความสะอาดผิวหนังของกลุ่มตัวอย่างตรงตำแหน่ง

ที่จะติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงด้วยสาลีชุบแอลกอฮอล์ และทำการติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงตามรูปแบบ Plug-in Gait (ภาคผนวก จ) ซึ่งผู้วิจัยจะใช้เวลาติดมาร์กเกอร์ประมาณ 20 นาที

2.7 กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) ด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ตามรูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนด (ภาคผนวก ฉ) และอบอุ่นร่างกายตามรูปแบบที่กลุ่มตัวอย่างใช้ก่อนการฝึกซ้อมอยู่เป็นประจำ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นผู้วิจัยจะสาธิตวิธีการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ และให้กลุ่มตัวอย่างซ้อมชกกับเป้าชกให้เกิดความคุ้นชินเป็นเวลา 5 นาที

2.8 กลุ่มตัวอย่างจะต้องสุ่มหยิบสลากที่แสดงลำดับการทำแบบทดสอบการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ จากนั้นผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างเตรียมความพร้อมสำหรับการเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ ๆ ละ 5 ครั้ง โดยเรียงตามลำดับที่แสดงบนสลากที่กลุ่มตัวอย่างสุ่มหยิบขึ้นมาได้ โดยมีรายละเอียดของการเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงแต่ละรูปแบบดังนี้

2.8.1 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่ปิดลำตัว กลุ่มตัวอย่างยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าข้างเท้าหน้า (เท้าซ้าย) ต้องอยู่ห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้าข้างเท้าหน้ากับเป้าชกของระยะเอี๊ยม ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดโดยไม่ปิดลำตัวไปที่เป้าชก จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างพักเป็นเวลา 1 นาที ระหว่างนี้ผู้วิจัยจะทำการบันทึกข้อมูลและผู้ช่วยวิจัยจะเข้าไปจับเป้าชกให้หนึ่ง ทำการเก็บข้อมูลจนครบ 5 ครั้ง และให้กลุ่มตัวอย่างพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

2.8.2 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามปิดลำตัว กลุ่มตัวอย่างยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าข้างเท้าหน้า (เท้าซ้าย) ต้องอยู่ห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้าข้างเท้าหน้ากับเป้าชกของระยะเอี๊ยม ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างชกหมัดตรงไปที่เป้าชกด้วยแรงสูงสุดโดยปิดลำตัวไปทางด้านซ้าย จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างพักเป็นเวลา 1 นาที ระหว่างนี้ผู้วิจัยจะทำการบันทึกข้อมูลและผู้ช่วยวิจัยจะเข้าไปจับเป้าชกให้หนึ่ง ทำการเก็บข้อมูลจนครบ 5 ครั้ง และให้กลุ่มตัวอย่างพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

2.8.3 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่ปิดลำตัว กลุ่มตัวอย่างยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าต้องอยู่ห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้ากับเป้าชกของระยะเอี๊ยม ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดโดยไม่ปิดลำตัวไปที่เป้าชก จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างพักเป็นเวลา 1 นาที ระหว่างนี้ผู้วิจัยจะ

ทำการบันทึกข้อมูลและผู้ช่วยวิจัยจะเข้าไปจับเป้าชกให้หนึ่ง ทำการเก็บข้อมูลจนครบ 5 ครั้ง และให้กลุ่มตัวอย่างพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

2.8.4 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว กลุ่มตัวอย่างยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน โดยเท้าทั้งสองข้างจะวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าต้องอยู่ห่างจากเป้าชกเป็นระยะ 3 ใน 4 ส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเท้ากับเป้าชกของระยะเอี้อม ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างชกหมัดตรงไปที่เป้าชก ด้วยแรงสูงสุดโดยบิดลำตัวไปทางด้านซ้าย จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างพักเป็นเวลา 1 นาที ระหว่างนี้ผู้วิจัยจะทำการบันทึกข้อมูลและผู้ช่วยวิจัยจะเข้าไปจับเป้าชกให้หนึ่ง ทำการเก็บข้อมูลจนครบ 5 ครั้ง และให้กลุ่มตัวอย่างพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

2.9 เสร็จสิ้นกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้เวลาทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 45 นาที

2.10 ทำการถอดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บนร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง

2.11 กลุ่มตัวอย่างทำการผ่อนคลาย (Cool down) ตามรูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนด (ภาคผนวก ฉ) ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

### 3. ขั้นตอนเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ (ปี) น้ำหนัก (กิโลกรัม) ส่วนสูง (เมตร) และความยาวของระยางค์ส่วนต่าง ๆ ของรายการ (เมตร)

3.2 ผู้วิจัยทำการ Normalization ข้อมูลการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ ๆ ละ 5 ครั้งของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 18 คน ให้มีความยาวของข้อมูลที่เท่ากันแล้ว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย ข้อมูลแสดงตำแหน่งและความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสง ข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นขณะที่นักมวยทำแบบทดสอบการชกหมัดตรง ที่บันทึกไว้ด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวและแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นตามลำดับ โดยควบคุมการบันทึกข้อมูลผ่านโปรแกรม Qualisys Tracking Manager (QTM) จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้

3.3.1 ความเร็วของหมัดตรงสูงสุด (Peak fist linear velocity;  $V_p$ ) โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางด้านหลังของนวมชกข้างขวา ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

3.3.2 แรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัว (Punching force per body weight;  $F_p$  per BW) มีวิธีการคำนวณโดยใช้ค่าความสูงสุดของเป้าชกหลังจากหมัดกระทบเป้า ( $a_t$ ) และมวลของเป้าชก ( $m$ ) เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณแรงชกโดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังสมการ

$$F_p = ma_t$$

โดยที่  $F_p$  คือ แรงชกหมัดตรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

$m$  คือ มวลของเป้าชก มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

$a_t$  คือ ความเร่งที่สูงที่สุดของเป้าชกหลังจากที่หมัดกระทบเป้า โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ด้านหลังของเป้าชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ยกกำลังสอง ( $m/s^2$ )

จากนั้นค่าที่แรงชกที่ได้จะถูกนำมาหารด้วยน้ำหนักตัวของนักมวยมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

3.3.3 ความเร็วสูงสุดของข้อมือ (Peak wrist linear velocity;  $V_w$ ) โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บริเวณ Ulna styloid หรือตำแหน่ง RWRB (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

3.3.4 ความเร็วสูงสุดของศอก (Peak elbow linear velocity;  $V_E$ ) โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral epicondyle บริเวณศอกข้างขวา หรือตำแหน่ง RELB (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

3.3.5 ความเร็วสูงสุดของไหล่ (Peak shoulder linear velocity;  $V_S$ ) โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Acromio-clavicular joint บริเวณไหล่ข้างขวา หรือตำแหน่ง RSHO (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

3.3.6 ความเร็วสูงสุดของสะโพก (Peak hip linear velocity;  $V_H$ ) โดยคำนวณจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Anterior superior iliac spine (ASIS) บริเวณสะโพกข้างขวา หรือตำแหน่ง RASI (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

3.3.7 ความเร็วสูงสุดของเข่า (Peak knee linear velocity;  $V_K$ ) โดยคำนวณจากความเร่งสูงสุดของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บน Lateral condyle ของเข่าข้างขวา หรือตำแหน่ง RKNE (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

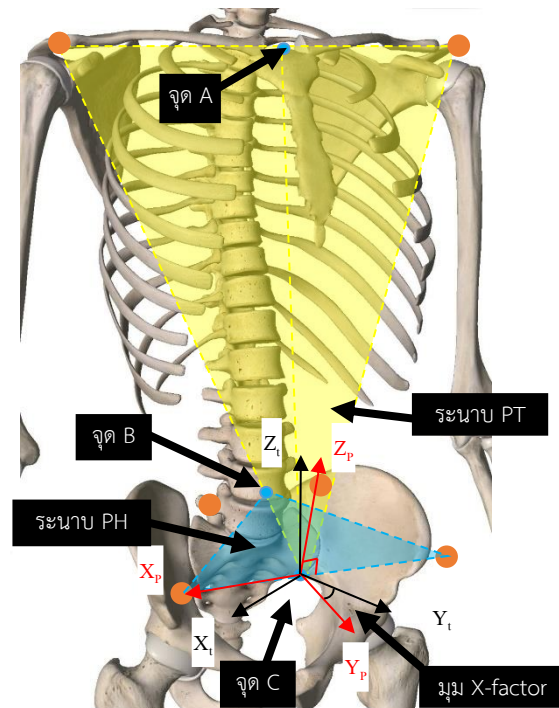
3.3.8 ความเร็วสูงสุดของข้อเท้า (Peak ankle linear velocity;  $V_A$ ) โดยคำนวณจากความเร่งสูงสุดของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral malleolus บริเวณข้อเท้าข้างขวา หรือตำแหน่ง RANK (ภาคผนวก จ) ตลอดช่วงของการชก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

3.3.9 มุมระหว่างแนวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor;  $\gamma$ ) (ซัชซานนท์ พูลสวัสดิ์, 2018) มีวิธีการคำนวณโดยใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่เป็นการหมุนตามลำดับของแกน X,

Y และ Z โดยระบุพิกัดด้วยระบบ Segment Coordinate Systems (SCS) ของส่วนลำตัวและสะโพก และพิจารณาค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ระหว่าง SCS ของส่วนลำตัวและสะโพก เป็นค่า X-factor มีหน่วยเป็นองศา (degree) โดยจะทำการเขียนฟังก์ชันการคำนวณในโปรแกรม MATLAB R2019a คำนวณค่า X-factor ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

3.3.9.1 สร้าง SCS ของส่วนสะโพก จากตำแหน่งของมาร์กเกอร์ สะท้อนแสงที่ติดอยู่บริเวณ Anterior superior iliac spine (ASIS) และ Posterior superior iliac spine (PSIS) ของกระดูกเชิงกราน โดยมีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้นตรงระหว่างตำแหน่งมาร์กเกอร์ ASIS ข้างซ้ายและขวา ระบุให้แกนบวก X มีทิศทางจากซ้ายไปขวา และแกนบวก Z มีทิศทางชี้ขึ้นไปทางส่วนบนของร่างกายตั้งฉากกับระนาบที่เกิดจากตำแหน่งมาร์กเกอร์ ASIS และจุดกึ่งกลางของเส้นตรงระหว่างตำแหน่งมาร์กเกอร์ PSIS ข้างซ้ายและขวา และระบุทิศทางของแกนบวก Y ด้วยวิธีการ Cross product ระหว่างแกน X และ Z ด้วยกฎมือขวา (ดังรูปที่ 29)

3.3.9.2 สร้าง SCS ของส่วนตัว จากตำแหน่งของมาร์กเกอร์ สะท้อนแสงที่ติดอยู่บริเวณ ASIS ของกระดูกเชิงกราน และ Acromio-clavicular joint โดยมีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้นตรงระหว่างตำแหน่งมาร์กเกอร์ ASIS ข้างซ้ายและขวา (เป็นจุดเดียวกันกับ SCS ของสะโพก) ระบุให้แกนบวก Z มีทิศทางชี้ขึ้นไปทางส่วนบนของร่างกาย ซึ่งอยู่บนแนวเส้นตรงที่ลากจากจุดกึ่งกลางของเส้นตรงระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS ข้างซ้ายและขวาไปยังจุดกึ่งกลางของเส้นตรงระหว่าง Acromio-clavicular joint ข้างซ้ายและขวา และระบุทิศทางบวกของแกน Y ไปทางด้านหน้า โดยตั้งฉากกับระนาบ ASIS และ Acromio-clavicular joint (ดังรูปที่ 29)



รูปที่ 29 การระบุ SCS ของส่วนลำตัวและส่วนสะโพก และการระบุค่ามุม X – factor

จุด A คือ จุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ Acromio-clavicular joint

จุด B คือ จุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ PSIS

จุด C คือ จุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS

ระนาบ PT คือ ระนาบที่เกิดจากมาร์กเกอร์ Acromio-clavicular joint และจุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS

ระนาบ PH คือ ระนาบที่เกิดจากมาร์กเกอร์ ASIS และจุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ PSIS

$X_t, Y_t, Z_t$  คือ Components ของ SCS ส่วนลำตัว

$X_p, Y_p, Z_p$  คือ Components ของ SCS ส่วนสะโพก

ที่มา : (ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์, 2018)

3.3.9.3 การคำนวณหาค่า X-factor ( $\gamma$ ) สร้าง Matrix ของ SCS ส่วนสะโพก (Matrix  $H_a$ ) และ SCS ส่วนลำตัว (Matrix  $T_a$ ) จาก Unit vector components  $X_h, Y_h, Z_h$  และ  $X_t, Y_t, Z_t$  ที่ได้จากวิธีการในข้อ 3.3.9.1 และ 3.3.9.2 กำหนดให้  $a$  เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง  $N$  เมื่อกำหนดให้  $N$  คือจำนวนจุดข้อมูล (Frame index)

$$H_a = \begin{bmatrix} X_{hi} & X_{hj} & X_{hk} \\ Y_{hi} & Y_{hj} & Y_{hk} \\ Z_{hi} & Z_{hj} & Z_{hk} \end{bmatrix} T_a = \begin{bmatrix} X_{ti} & X_{tj} & X_{tk} \\ Y_{ti} & Y_{tj} & Y_{tk} \\ Z_{ti} & Z_{tj} & Z_{tk} \end{bmatrix}$$

คำนวณหาค่าเมทริกซ์ผกผัน (Inverse matrix  $T$ ;  $T_a^{-1}$ ) ด้วยวิธีแอดจอยด์เมทริกซ์ และหาค่าเมทริกซ์การหมุน (Rotation matrix;  $R_a$ ) ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$T_a^{-1} = \frac{\text{Adi}(T_a)}{|T_a|} \quad H_a T_a^{-1} = R_a$$

จากสูตรของ Rotation matrix ที่มีลำดับการหมุนเป็น X, Y, Z ( $R_{xyz}$ ) จะสามารถหาค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ที่ถูกกำหนดให้เป็นค่า X-factor ( $\gamma$ ) ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$R_{xyz} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix}$$

$$\text{เมื่อ } R_a = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$X - \text{factor} = \gamma_a = \text{atan2}(r_{12}, r_{11}) \times \frac{180}{\pi}$$

หมายเหตุ:  $\text{atan2}$  ใช้ในกรณีที่ฟังก์ชัน  $\arctan$  อาจมีค่าเป็นลบซึ่งอยู่ในช่วง  $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$  โดยจะสามารถอธิบายเงื่อนไขการหาค่าผลลัพธ์ด้วย  $\text{atan2}$  ได้ (ดังรูปที่ 30)

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{if } x > 0, \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{if } x < 0 \text{ and } y \geq 0, \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & \text{if } x < 0 \text{ and } y < 0, \\ +\frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y > 0, \\ -\frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y < 0, \\ \text{undefined} & \text{if } x = 0 \text{ and } y = 0. \end{cases}$$

รูปที่ 30 เงื่อนไขการหาค่าผลลัพธ์ด้วย  $\text{atan2}$

ที่มา : (ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์, 2018)

3.3.10 ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัว (Trunk rotation angular velocity;  $\omega_T$ ) และความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกราน (Pelvis rotation angular velocity;  $\omega_H$ ) มีวิธีการคำนวณโดยพิจารณา SCS ของส่วนลำตัวที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา มีหน่วยเป็นองศาต่อวินาที (degree/s) โดยจะใช้การเขียนฟังก์ชันการคำนวณในโปรแกรม MATLAB R2019a ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

3.3.10.1 สร้าง Matrix ของ SCS ส่วนลำตัว ( $T_a$ ) และส่วนเชิงกราน ( $H_a$ ) จาก Unit vector components  $X_t, Y_t, Z_t$  ที่ได้จากวิธีการในข้อ 3.3.9.3 ของทุกจุดข้อมูลกำหนดให้  $a$  เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง  $N$  เมื่อกำหนดให้  $N$  คือจำนวนจุดข้อมูล (Frame index)

$$T_a = \begin{bmatrix} X_{ti} & X_{tj} & X_{tk} \\ Y_{ti} & Y_{tj} & Y_{tk} \\ Z_{ti} & Z_{tj} & Z_{tk} \end{bmatrix}$$

$$H_a = \begin{bmatrix} X_{ti} & X_{tj} & X_{tk} \\ Y_{ti} & Y_{tj} & Y_{tk} \\ Z_{ti} & Z_{tj} & Z_{tk} \end{bmatrix}$$

3.3.10.2 หาค่ามุม SCS ของส่วนลำตัวที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจุดข้อมูล โดยใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่เป็นการหมุนตามลำดับของแกน X, Y, Z และใช้ค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ซึ่งเป็นการหมุนลำดับสุดท้าย โดยเริ่มจากการคำนวณหาค่าเมทริกซ์การหมุนส่วนลำตัว ( $TR_a$ ) ส่วนเชิงกราน ( $HR_a$ ) จากนั้นจึงคำนวณหาค่ามุมจากเมทริกซ์การหมุนดังสมการดังต่อไปนี้

กำหนดให้  $a$  เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง  $N$  เมื่อกำหนดให้  $N$  คือจำนวนจุดข้อมูล (Frame index)

$$T_1 T_{a+1}^{-1} = TR_a$$

$$H_1 H_{a+1}^{-1} = HR_a$$

$$\text{เมื่อ } TR_a = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad HR_a = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$T\delta_a = \text{atan2}(r_{12}, r_{11}) * 180/\pi$$

$$H\delta_a = \text{atan2}(r_{12}, r_{11}) * 180/\pi$$

$T\delta_a$  คือมุมของ SCS ลำตัวที่เปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังแต่ละจุดข้อมูล

3.3.10.3 คำนวณความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัว ( $\omega_T$ ) เมื่อความถี่ในการบันทึกข้อมูลเท่ากับ 300 เฮิร์ตซ์ จะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมได้จากสมการดังต่อไปนี้



$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ เมื่อ } t = \frac{1}{300}$$

$$\text{ดังนั้น } T_v = (T\delta_{a+1} - T\delta_a) * 300$$

3.3.10.4 คำนวณความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกราน ( $\omega_H$ ) เมื่อความถี่ในการบันทึกข้อมูลเท่ากับ 300 เฮิรตซ์ จะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$H_v = (H\delta_{a+1} - H\delta_a) * 300$$

3.3.11 แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวดิ่งที่กระทำกับเท้าข้างขวาและซ้าย (Left and right foot vertical ground reaction force; GRF<sub>L</sub> and GRF<sub>R</sub>) ข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาของนักมวยตลอดช่วงของการชก

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ยี่ห้อ Qualisys รุ่น Oqus 7+ ผลิตจากประเทศสวีเดน ประกอบด้วยกล้องแบบ Infrared base จำนวน 8 ตัว และ Video base จำนวน 1 ตัว พร้อมโปรแกรมควบคุมการบันทึกภาพ Qualisys Track Manager (QTM) โดยมีรายละเอียดของการติดตั้งและการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ดังนี้

1.1 ติดตั้งกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว บนราวแขวนที่มีความสูงจากพื้น 2.20 เมตร

1.2 กำหนดความละเอียดและความถี่ของการบันทึกภาพด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ Infrared base เท่ากับ 12 เมกะพิกเซล และ 240 เฮิรตซ์ ตามลำดับ

1.3 สอบเทียบความค่าชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ด้วยอุปกรณ์สอบเทียบค่าแบบ Wand ขนาด 600 มิลลิเมตร และ L-frame

2. มาร์กเกอร์สะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตร จำนวน 39 ตัว พร้อมเทปสำหรับติดมาร์กเกอร์

3. แผ่นวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น ขนาด 90 x 90 เซนติเมตร ยี่ห้อ Bertec ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 2 แผ่น ยึดติดกับพื้นห้องปฏิบัติการ และกำหนดค่าความถี่ของการบันทึกข้อมูลเท่ากับ 1,500 เฮิรตซ์

4. ลูกบอลช่อมชก น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม พร้อมติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงไว้ที่ด้านหลังของเป้าชก

5. นวมชก

6. ผ้าพันมือ

7. กางเกงรัดกล้ามเนื้อ
8. สำลีและแอลกอฮอล์

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

สถานที่เก็บข้อมูล คือ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และใช้ระยะเวลาเก็บข้อมูลการวิจัย 2 สัปดาห์

การวิจัยครั้งนี้มีผู้ช่วยวิจัยจำนวน 1 คน คือ นางสาวอัครยา ศीलสังวรณ (วท.ม.วิทยาศาสตร์การกีฬา) มีหน้าที่จัดเตรียมเครื่องมือการวิจัย และทำการปฐมพยาบาลกรณีที่มีผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับบาดเจ็บ

### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และความยาวรยางค์ของร่างกาย

2. ข้อมูลตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 รูปแบบ ๆ ละ 5 ครั้ง จะถูกนำมาปรับโครงสร้างของข้อมูล (Normalization) ด้วยวิธีการ Ensemble average เพื่อให้ข้อมูลการชกแต่ละครั้งมีจำนวน 100 ข้อมูล (ร้อยละ 100) โดยเริ่มนับตั้งแต่ นักมวยเริ่มส่งหมัดตรงไปกระทบกับเป้าชกและหลังจากที่หมัดกระทบเป้าไปแล้ว นักมวยส่งหมัดออกไปจนสุดแขน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงแต่ละรูปแบบ

3. ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบใด โดยใช้การทดสอบของ โคลโมโกรอฟ - สเมอรนอฟ (Kolmogorov - Smirnov Test) ซึ่งกำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 จากผลการทดสอบจะมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

3.1 กรณีข้อมูลมีการกระจายตัวแบบโค้งปกติ (Normal distribution) จะเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-way repeated measures ANOVA with post-hoc Bonferroni) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ .05

3.2 กรณีข้อมูลไม่ได้มีการกระจายตัวแบบโค้งปกติ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Non-Parametric statistic ด้วยวิธี Kruskal-Wallis test

4. ข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาของกลุ่มตัวอย่างขณะทดสอบการชกหมัดตรงจะถูกนำมาปรับโครงสร้างของข้อมูล (Normalization) ด้วยวิธีการ Ensemble average พร้อมจัดทำแผนภาพแสดงข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ของการชกหมัดตรงแต่ละรูปแบบ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายถึงความแตกต่างของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวยได้
2. สามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงในกีฬามวยได้
3. สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการชกหมัดตรงในกีฬามวย ที่โค้ชและผู้ฝึกสอนสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับวางแผนการพัฒนาทักษะและเทคนิคการชกหมัดตรงของนักมวย



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวยและเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบปิดลำตัวและแบบไม่ปิดลำตัว มีผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักมวยไทยและมวยสากล จำนวน 18 คน ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย โดยจะรายงานข้อมูลการวิจัยในรูปแบบตารางแสดงข้อมูลประกอบความเรียงและแผนภูมิ ดังนี้

#### ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

**ตารางที่ 2** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean  $\pm$  SD) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ประสบการณ์การชกมวย และความยาวของร่างกายส่วนต่าง ๆ (n=18)

	Mean	Std. Deviation
อายุ (ปี)	21.95	3.50
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	62.38	6.40
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	170.85	5.41
ประสบการณ์การชกมวย (ปี)	10.90	4.04
ระยะเอ้อม (เซนติเมตร)	80.40	2.97
ความยาวแขนขวา (เซนติเมตร)	60.60	2.97
ความยาวแขนซ้าย (เซนติเมตร)	60.40	2.90
ความยาวขาขวา (เซนติเมตร)	90.20	3.83
ความยาวขาซ้าย (เซนติเมตร)	89.70	3.83
ความกว้างช่วงไหล่ (เซนติเมตร)	35.80	2.56
ความกว้างสะโพก (เซนติเมตร)	26.43	1.81

จากตารางที่ 2 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย จำนวน 18 คน มีอายุเฉลี่ย  $21.95 \pm 3.50$  ปี น้ำหนักเฉลี่ย  $62.38 \pm 6.40$  กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย  $170.85 \pm 5.41$  เซนติเมตร ประสบการณ์การชกมวยเฉลี่ย  $10.90 \pm 4.04$  ปี ระยะเอ้อม  $80.40 \pm 2.97$  เซนติเมตร ความยาวแขนขวาเฉลี่ย  $60.60 \pm 2.97$  เซนติเมตร ความยาวแขนซ้ายเฉลี่ย  $60.40 \pm 2.90$  ความยาวขาขวาเฉลี่ย  $90.20 \pm 3.83$  เซนติเมตร ความยาวขาซ้ายเฉลี่ย  $89.70 \pm 3.83$  เซนติเมตร ความกว้างช่วงไหล่  $35.80 \pm 2.56$  เซนติเมตร และความกว้างสะโพก  $26.43 \pm 1.81$  เซนติเมตร

### แรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัว (Punching force per body weight)

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Punching force per bodyweight 1	3.6680	.77061	18
Punching force per bodyweight 2	6.9139	1.12623	18
Punching force per bodyweight 3	3.5742	.67097	18
Punching force per bodyweight 4	6.2413	1.02197	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัว การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.67 \pm 0.77$  นิวตันต่อกิโลกรัม การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.91 \pm 1.13$  นิวตันต่อกิโลกรัม การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.57 \pm 0.67$  นิวตันต่อกิโลกรัม และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.24 \pm 1.02$  นิวตันต่อกิโลกรัม

**ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Punching force per bodyweight

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	1872.236	1	1872.236	711.012	<.001	.977
Error	44.764	17	2.633			

**ตารางที่ 5** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons						
(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-3.246*	.191	<.001	-3.816	-2.676
	3	.094	.066	1.000	-.103	.291
	4	-2.573*	.167	<.001	-3.070	-2.076
2	1	3.246*	.191	<.001	2.676	3.816
	3	3.340*	.211	<.001	2.710	3.969
	4	.673*	.114	<.001	.334	1.011
3	1	-.094	.066	1.000	-.291	.103
	2	-3.340*	.211	<.001	-3.969	-2.710
	4	-2.667*	.187	<.001	-3.224	-2.110
4	1	2.573*	.167	<.001	2.076	3.070
	2	-.673*	.114	<.001	-1.011	-.334
	3	2.667*	.187	<.001	2.110	3.224

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 5 พบว่าแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและไม่บิดลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีแรงชกหมัดตรงต่อน้ำหนักตัวมากที่สุด

### ความเร็วสูงสุดของไหล่ (Peak shoulder linear velocity)

**ตารางที่ 6** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของไหล่ของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak shoulder velocity 1	.8960	.25125	18
Peak shoulder velocity 2	1.9173	.37029	18
Peak shoulder velocity 3	.8747	.22476	18
Peak shoulder velocity 4	1.5619	.25317	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของไหล่ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.90 \pm 0.25$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $1.92 \pm 0.37$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.88 \pm 0.22$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $1.56 \pm 0.25$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 7** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของไหล่ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak shoulder velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	1872.236	1	1872.236	711.012	<.001	.977
Error	44.764	17	2.633			

**ตารางที่ 8** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของไหล่ ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Measure	Pairwise Comparisons					95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	Lower Bound	Upper Bound
Peak shoulder velocity	1	2	-1.021*	.107	<.001	-1.339	-.703
		3	.021	.063	1.000	-.168	.211
		4	-.666*	.078	<.001	-.897	-.434
	2	1	1.021*	.107	<.001	.703	1.339
		3	1.043*	.092	<.001	.767	1.318
		4	.355*	.069	<.001	.149	.562
	3	1	-.021	.063	1.000	-.211	.168
		2	-1.043*	.092	<.001	-1.318	-.767
		4	-.687*	.076	<.001	-.914	-.460
	4	1	.666*	.078	<.001	.434	.897
		2	-.355*	.069	<.001	-.562	-.149
		3	.687*	.076	<.001	.460	.914

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

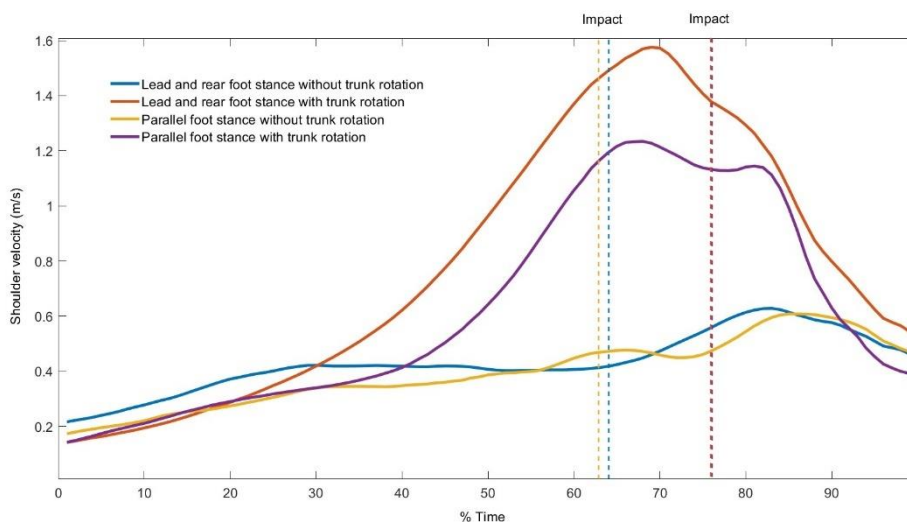
1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของไหล่ของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของไหล่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 8 พบว่าความเร็วสูงสุดของไหล่ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วสูงสุดของไหล่ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



( $p < 0.001$ ) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิดลำตัวมีความเร็วสูงสุดของไหล่มากที่สุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของไหล่อิงรูปที่ 31



รูปที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของไหล่ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 31 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของไหล่ของการชกหมัดตรงแบบบิดลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิดลำตัวอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวจะมีค่าความเร็วของไหล่สูงที่สุด และจากรูปได้แสดงเส้นแบ่งเหตุการณ์ ณ จุดที่หมัดกระทบเป้า จะพบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว หมัดจะกระทบเป้าเร็วที่สุดที่เวลา 62 % ของเวลาที่ใช้ชก ตามมาด้วยการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว หมัดจะกระทบเป้าที่เวลา 64 % ของเวลาที่ใช้ชก แต่พบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวและการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว หมัดจะกระทบเป้าที่เวลาเท่ากันที่เวลา 77 % ของเวลาที่ใช้ชก ซึ่งการกำหนดจุดที่หมัดกระทบเป้าผู้วิจัยได้ใช้กราฟแสดงความเร็วสูงสุดของหมัดตรง โดยอาศัยหลักการว่าความเร็วสูงสุดของหมัดตรงจะเกิดขึ้น ณ จุดที่หมัดกระทบเป้าและความเร็วของหมัดจะลดลงเมื่อหมัดได้กระทบเป้าชกไปแล้ว ทั้งนี้เส้นแบ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะแสดงอยู่ในกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ทุกตัวแปร

### ความเร็วสูงสุดของข้อศอก (Peak elbow linear velocity)

**ตารางที่ 9** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อศอกของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak elbow velocity 1	3.6607	.41033	18
Peak elbow velocity 2	6.4196	.98334	18
Peak elbow velocity 3	3.5198	.68570	18
Peak elbow velocity 4	6.0337	.62572	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อศอกของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.66 \pm 0.41$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.42 \pm 0.98$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.52 \pm 0.69$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.03 \pm 0.63$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 10** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของข้อศอกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak elbow velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	1734.679	1	1734.679	1789.376	<.001	.991
Error	16.480	17	.969			

**ตารางที่ 11** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของข้อศอกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons							
Measure	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Peak elbow velocity	1	2	-2.759*	.220	<.001	-3.416	-2.102
		3	.141	.165	1.000	-.351	.633
		4	-2.373*	.152	<.001	-2.827	-1.919
	2	1	2.759*	.220	<.001	2.102	3.416
		3	2.900*	.197	<.001	2.312	3.487
		4	.386	.220	.580	-.269	1.041
	3	1	-.141	.165	1.000	-.633	.351
		2	-2.900*	.197	<.001	-3.487	-2.312
		4	-2.514*	.206	<.001	-3.129	-1.898
	4	1	2.373*	.152	<.001	1.919	2.827
		2	-.386	.220	.580	-1.041	.269
		3	2.514*	.206	<.001	1.898	3.129

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

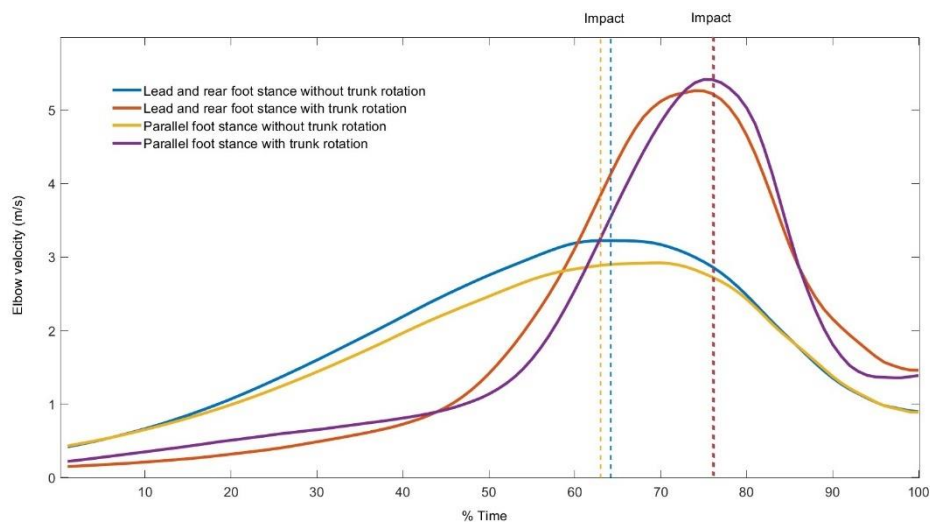
b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 10 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อศอกของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อศอกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 11 พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อศอกของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วสูงสุดของข้อศอกของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) แต่ไม่พบความแตกต่างของความเร็วสูงสุดของข้อศอกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัว

กับการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัว ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อศอกดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของข้อศอกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 32 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของข้อศอกของการชกหมัดตรงแบบบิตลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างเห็นได้ชัด แต่พบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวและการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### ความเร็วสูงสุดของข้อมือ (Peak wrist linear velocity)

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อมือของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak wrist velocity 1	3.5236	.38311	18
Peak wrist velocity 2	6.1001	1.00759	18
Peak wrist velocity 3	3.2414	.56065	18
Peak wrist velocity 4	5.9033	.69354	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อมือของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.52 \pm 0.38$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.10 \pm 1.01$  เมตรต่อวินาที การชก

หมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.24 \pm 0.56$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $5.90 \pm 0.69$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 13** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของข้อมือระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak wrist velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	1585.121	1	1585.121	1716.432	<.001	.990
Error	15.699	17	.923			

**ตารางที่ 14** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของข้อมือระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Pairwise Comparisons

Measure	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Peak wrist velocity	1	2	-2.576*	.230	<.001	-3.261	-1.892
		3	.282	.133	.293	-.115	.679
		4	-2.380*	.142	<.001	-2.802	-1.957
	2	1	2.576*	.230	<.001	1.892	3.261
		3	2.859*	.208	<.001	2.238	3.480
		4	.197	.243	1.000	-.527	.921
	3	1	-.282	.133	.293	-.679	.115
		2	-2.859*	.208	<.001	-3.480	-2.238
		4	-2.662*	.193	<.001	-3.237	-2.087
	4	1	2.380*	.142	<.001	1.957	2.802
		2	-.197	.243	1.000	-.921	.527
		3	2.662*	.193	<.001	2.087	3.237

Based on estimated marginal means

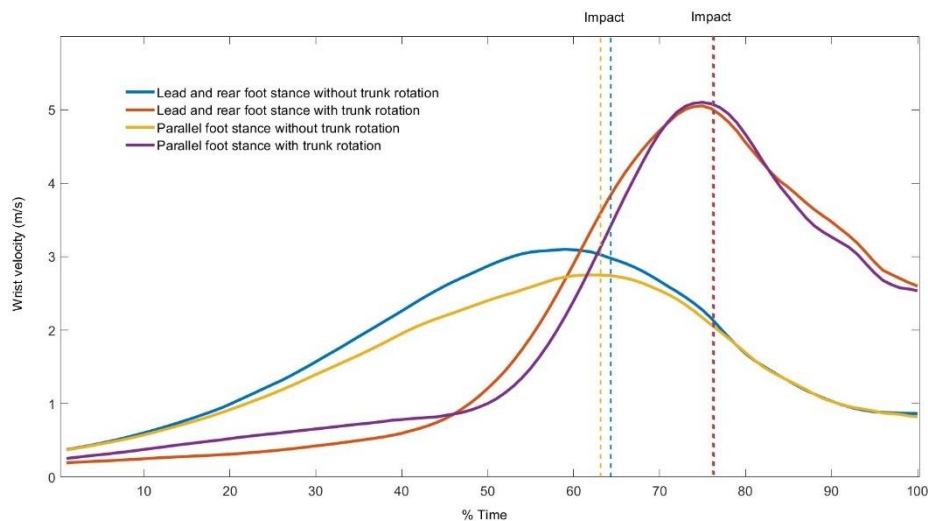
\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 13 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อมือของการชกหมัดตรง ทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อมือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 14 พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อมือของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วของสูงสุดของข้อมือของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) แต่ไม่พบความแตกต่างของความเร็วสูงสุดของข้อมืออย่างมีนัยสำคัญระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวกับการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัว จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความเร็วสูงสุดของข้อมือของการชกหมัดตรงด้วยท่าที่มีการบิตลำตัวจะมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่าที่ไม่มีการบิตตัวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อมืองดรูปที่ 33



รูปที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของข้อมือระหว่างการชกหมัดตรง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 33 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของข้อมือของการชกหมัดตรงแบบบิตลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างเห็นได้ชัด แต่พบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวและการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### ความเร็วสูงสุดของหมัดตรง (Peak fist linear velocity)

**ตารางที่ 15** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของหมัดตรงของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Peak fist velocity 1	4.5817	.59434	18
Peak fist velocity 2	6.8016	1.17433	18
Peak fist velocity 3	4.3693	.68859	18
Peak fist velocity 4	6.6804	.78803	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของหมัดตรงของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม ไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $4.58 \pm 0.59$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.80 \pm 1.17$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $4.37 \pm 0.69$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.68 \pm 0.79$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 16** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของหมัดตรงระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak fist velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	2264.593	1	2264.593	1467.327	<.001	.989
Error	26.237	17	1.543			



**ตารางที่ 17** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของหมัดตรงระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons							
Measure	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Peak fist velocity	1	2	-2.220*	.259	<.001	-2.992	-1.447
		3	.212	.146	.990	-.224	.649
		4	-2.099*	.184	<.001	-2.646	-1.551
	2	1	2.220*	.259	<.001	1.447	2.992
		3	2.432*	.240	<.001	1.718	3.147
		4	.121	.267	1.000	-.676	.919
	3	1	-.212	.146	.990	-.649	.224
		2	-2.432*	.240	<.001	-3.147	-1.718
		4	-2.311*	.186	<.001	-2.865	-1.757
	4	1	2.099*	.184	<.001	1.551	2.646
		2	-.121	.267	1.000	-.919	.676
		3	2.311*	.186	<.001	1.757	2.865

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

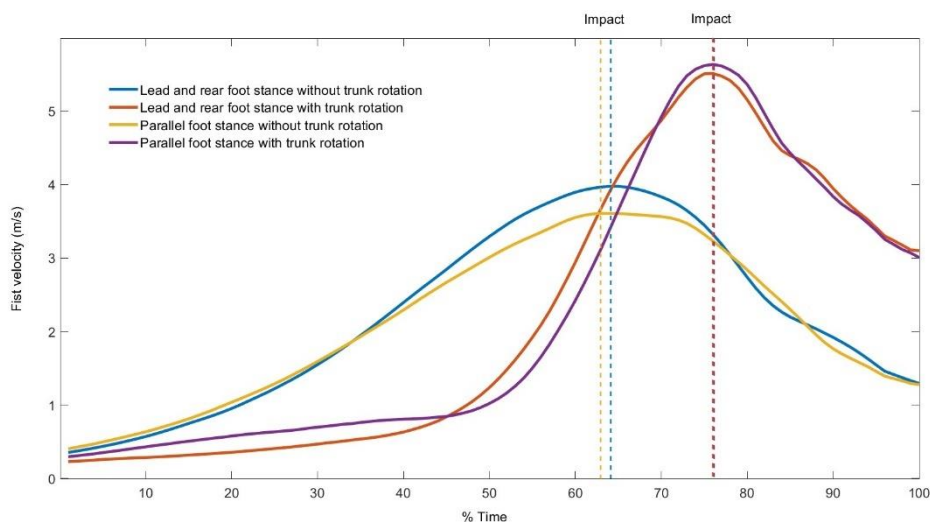
1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 17 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของหมัดของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของหมัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 17 พบว่าความเร็วสูงสุดของหมัดของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วของสูงสุดของหมัดของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) แต่ไม่พบความแตกต่างของความเร็วสูงสุดของหมัดอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวกับ



การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิดลำตัว จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความเร็วสูงสุดของหมัดของการชกหมัดตรงด้วยท่าที่มีการบิดลำตัวจะมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่าที่ไม่มีการบิดตัว โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของหมัดตรงดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของหมัดตรงระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 34 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของหมัดตรงของการชกหมัดตรงแบบบิดลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิดลำตัวอย่างเห็นได้ชัด แต่พบว่าความเร็วสูงสุดของหมัดตรงของการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวและการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความเร็วสูงสุดของหมัดตรงของการชกทั้ง 2 รูปแบบ เกิดขึ้น ณ จุดที่หมัดกระทบเป้า ที่เวลา 76 % ของเวลาที่ใช้ชก

### ความเร็วสูงสุดของสะโพก (Peak hip linear velocity) าลัย

ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของสะโพกของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak hip velocity 1	.3586	.12320	18
Peak hip velocity 2	1.1460	.25800	18
Peak hip velocity 3	.3358	.09735	18
Peak hip velocity 4	.7483	.13291	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของสะโพกของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.36 \pm 0.12$  เมตรต่อวินาที

การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $1.15 \pm 0.26$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.34 \pm 0.10$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.75 \pm 0.13$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 19** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของสะโพกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak hip velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	30.154	1	30.154	744.825	<.001	.978
Error	.688	17	.040			

**ตารางที่ 20** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของสะโพกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Pairwise Comparisons

Measure	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Peak hip velocity	1	2	-.787*	.067	<.001	-.988	-.586
		3	.023	.021	1.000	-.041	.086
		4	-.390*	.035	<.001	-.494	-.286
	2	1	.787*	.067	<.001	.586	.988
		3	.810*	.064	<.001	.620	1.000
		4	.398*	.060	<.001	.219	.576
	3	1	-.023	.021	1.000	-.086	.041
		2	-.810*	.064	<.001	-1.000	-.620
		4	-.412*	.037	<.001	-.523	-.302
	4	1	.390*	.035	<.001	.286	.494
		2	-.398*	.060	<.001	-.576	-.219
		3	.412*	.037	<.001	.302	.523

Based on estimated marginal means

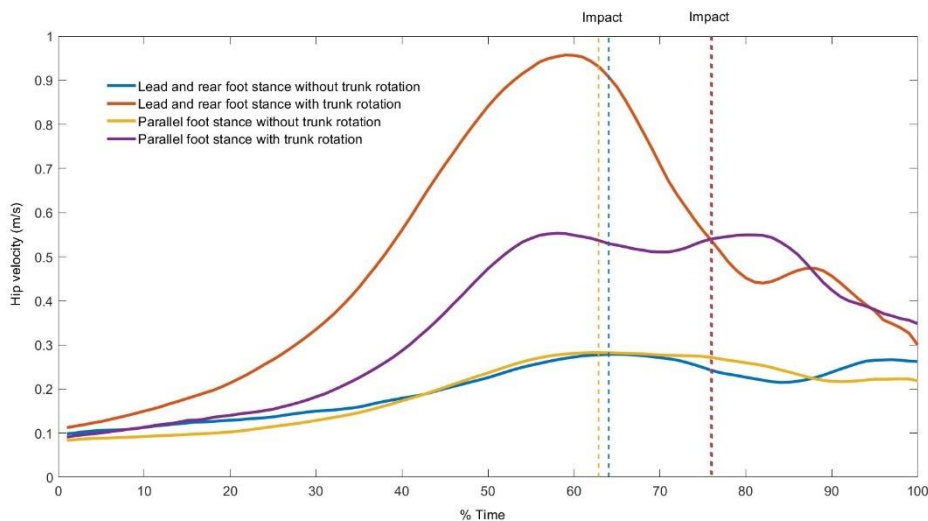
\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 19 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของสะโพกของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของสะโพกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 20 พบว่าความเร็วสูงสุดของสะโพกของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วสูงสุดของสะโพกของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวมีค่ามากกว่า การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัวและการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีความเร็วของสะโพกมากที่สุดซึ่งมากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ และความเร็วของสะโพกสูงสุดของการชกแบบบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสะโพกดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของสะโพกระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 35 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของสะโพกของการชกหมัดตรงแบบบิตลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างเห็นได้ชัด และพบว่า การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีความเร็วของสะโพกสูงกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ

### ความเร็วสูงสุดของข้อเข่า (Peak knee linear velocity)

**ตารางที่ 21** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อเข่าของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak knee velocity 1	.1919	.06856	18
Peak knee velocity 2	1.0122	.36222	18
Peak knee velocity 3	.1798	.12543	18
Peak knee velocity 4	.4175	.11944	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อเข่าของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.19 \pm 0.07$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $1.01 \pm 0.36$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.18 \pm 0.13$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.42 \pm 0.12$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 22** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของข้อเข่าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak knee linear velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	14.602	1	14.602	312.560	<.001	.948
Error	.794	17	.047			

**ตารางที่ 23** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของข้อเข่าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons							
Measure	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Peak knee linear velocity	1	2	-.820*	.085	<.001	-1.074	-.567
		3	.012	.028	1.000	-.071	.095
		4	-.226*	.032	<.001	-.322	-.129
	2	1	.820*	.085	<.001	.567	1.074
		3	.832*	.091	<.001	.560	1.105
		4	.595*	.091	<.001	.323	.867
	3	1	-.012	.028	1.000	-.095	.071
		2	-.832*	.091	<.001	-1.105	-.560
		4	-.238*	.028	<.001	-.321	-.154
	4	1	.226*	.032	<.001	.129	.322
		2	-.595*	.091	<.001	-.867	-.323
		3	.238*	.028	<.001	.154	.321

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

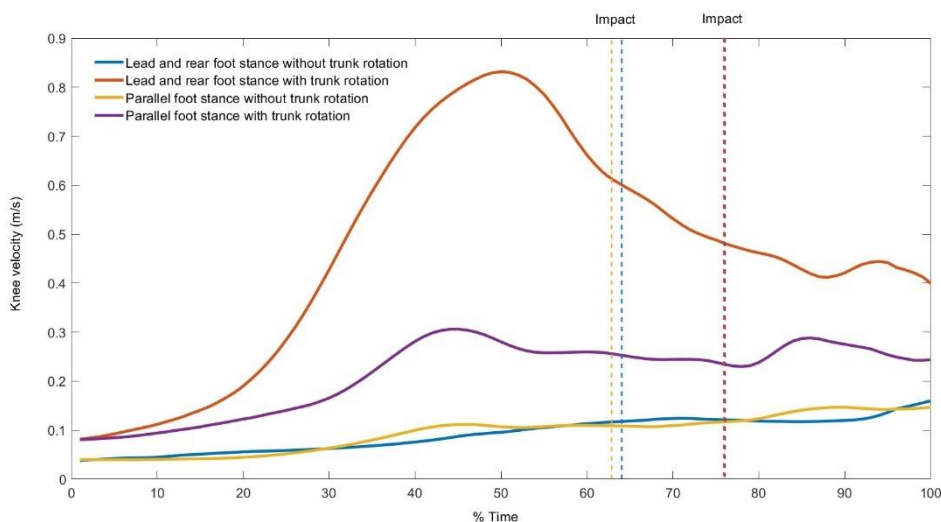
b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 22 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อเข่าของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อเข่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 23 พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อเข่าของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วสูงสุดของข้อเข่าของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและ

บิตลำตัวมีความเร็วสูงสุดของข้อเข่ามากที่สุด ซึ่งมากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ และความเร็วของข้อเข่าสูงสุดของการชกแบบบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อเข่าดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อเข่าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 36 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของข้อเข่าของการชกหมัดตรงแบบบิตลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างเห็นได้ชัด การชกแบบไม่บิตลำตัวมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อเข่าน้อยมาก และพบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญของข้อเข่าสูงกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ

#### ความเร็วสูงสุดของข้อเท้า (Peak ankle linear velocity)

ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak ankle linear velocity 1	.0652	.02259	18
Peak ankle linear velocity 2	.7526	.32214	18
Peak ankle linear velocity 3	.0757	.08443	18
Peak ankle linear velocity 4	.2225	.12115	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามและไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.07 \pm 0.02$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามและบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.75 \pm 0.32$  เมตรต่อวินาที การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.08 \pm 0.08$  เมตรต่อวินาที และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $0.22 \pm 0.12$  เมตรต่อวินาที

**ตารางที่ 25** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของความเร็วสูงสุดของข้อเท้าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak ankle linear velocity

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	5.605	1	5.605	118.476	<.001	.875
Error	.804	17	.047			



**ตารางที่ 26** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของความเร็วสูงสุดของข้อเท้าระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons							
Measure	(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Peak ankle linear velocity	1	2	-.687*	.075	<.001	-.911	-.464
		3	-.011	.019	1.000	-.068	.047
		4	-.157*	.026	<.001	-.233	-.081
	2	1	.687*	.075	<.001	.464	.911
		3	.677*	.072	<.001	.462	.891
		4	.530*	.071	<.001	.318	.742
	3	1	.011	.019	1.000	-.047	.068
		2	-.677*	.072	<.001	-.891	-.462
		4	-.147*	.025	<.001	-.223	-.071
	4	1	.157*	.026	<.001	.081	.233
		2	-.530*	.071	<.001	-.742	-.318
		3	.147*	.025	<.001	.071	.223

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

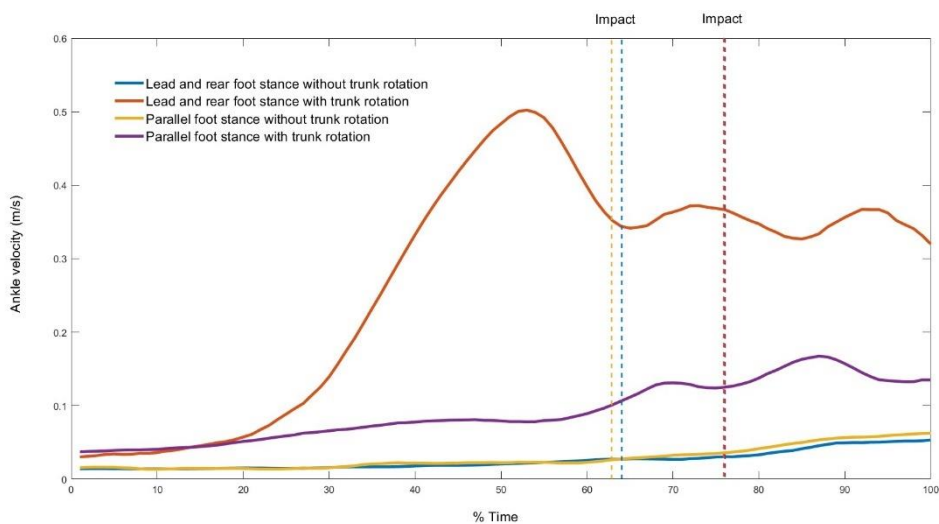
1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 25 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อเท้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 26 พบว่าความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวแตกต่างกับความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าความเร็วสูงสุดของข้อเท้าของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยด้วยท่ายืน



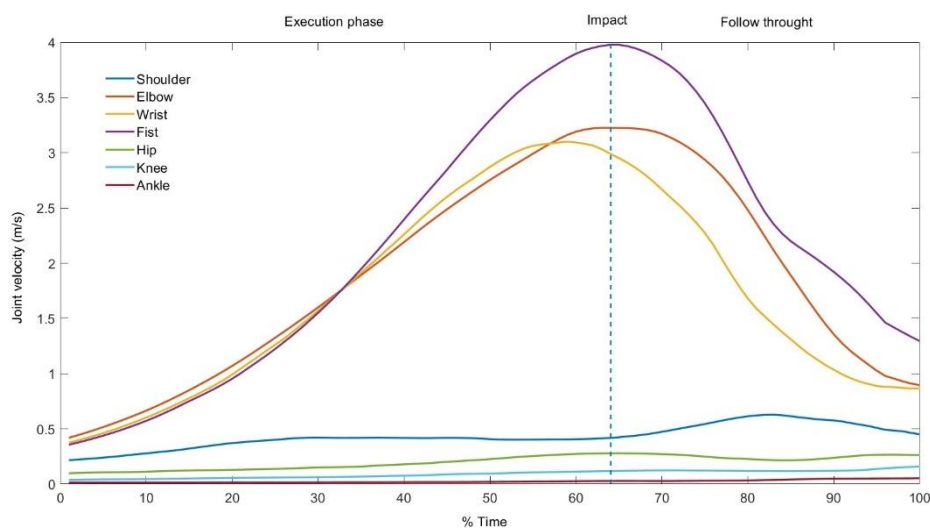
แบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีความเร็วสูงสุดของข้อเท้ามากที่สุด ซึ่งมากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ และความเร็วของข้อเท้าสูงสุดของการชกแบบบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อเท้าดังรูปที่ 37



รูปที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วสูงสุดของข้อเท้าระหว่างการชกหมัดตรง 4 รูปแบบ

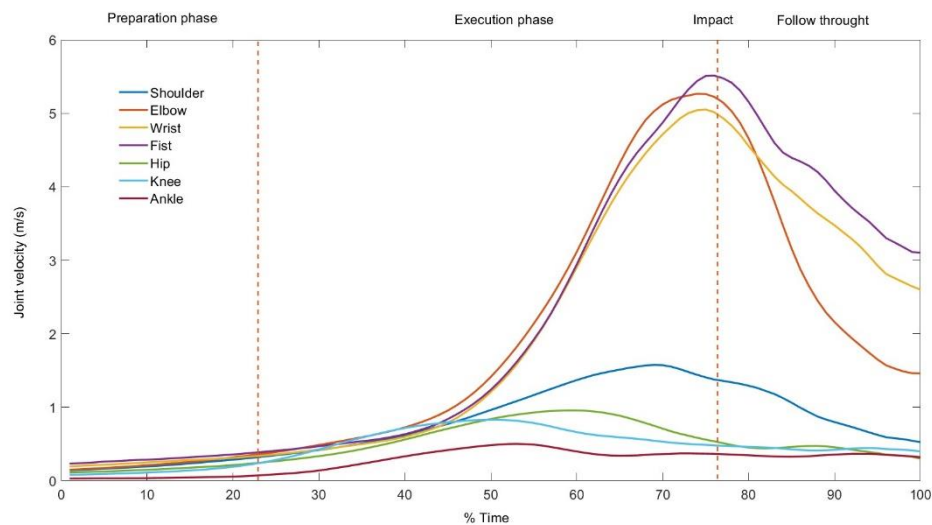
จากรูปที่ 37 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดความเร็วของข้อเท้าของการชกหมัดตรงแบบบิตลำตัวสูงกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัวอย่างเห็นได้ชัด การชกแบบไม่บิตลำตัวมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อเท้าน้อยมาก และพบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีความเร็วของข้อเท้าสูงกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ

### การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง 4 รูปแบบ



รูปที่ 38 แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง ด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามไม่ปิดลำตัว

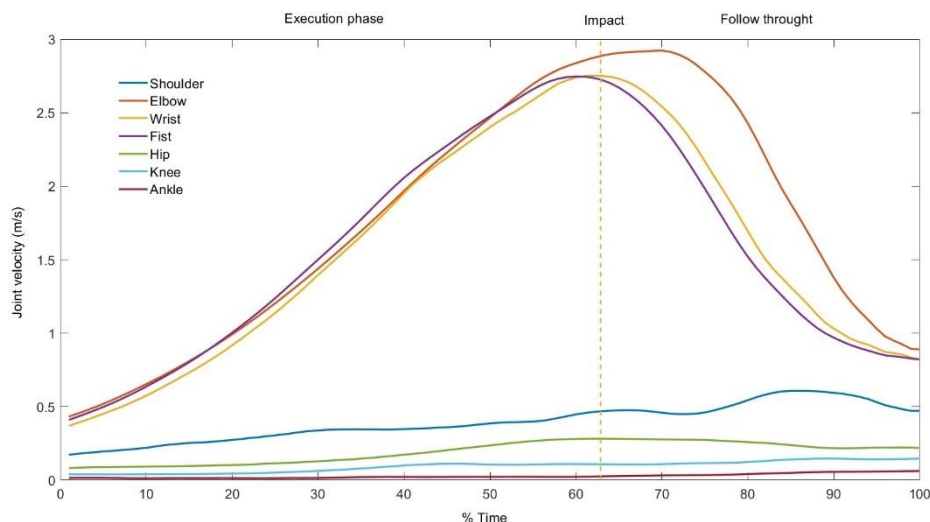
จากรูปที่ 38 แสดงความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามไม่ปิดลำตัวดังนี้ ความเร็วสูงสุดของข้อเท้ามีค่าเท่ากับ  $0.07 \pm 0.02$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อเข่ามีค่าเท่ากับ  $0.19 \pm 0.07$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของสะโพกมีค่าเท่ากับ  $0.36 \pm 0.12$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของไหล่มีค่าเท่ากับ  $0.90 \pm 0.25$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อศอกมีค่าเท่ากับ  $3.66 \pm 0.41$  เมตรต่อวินาที และความเร็วสูงสุดของหมัดตรงมีค่าเท่ากับ  $4.58 \pm 0.59$  เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่าความเร็วสูงสุดของร่างกายส่วนล่างมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ จะพบว่าความเร็วสูงสุดของข้อต่อมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับ โดยเริ่มจากความเร็วของข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก ไหล่ ข้อศอก และหมัดตรงตามลำดับ



รูปที่ 39 แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง

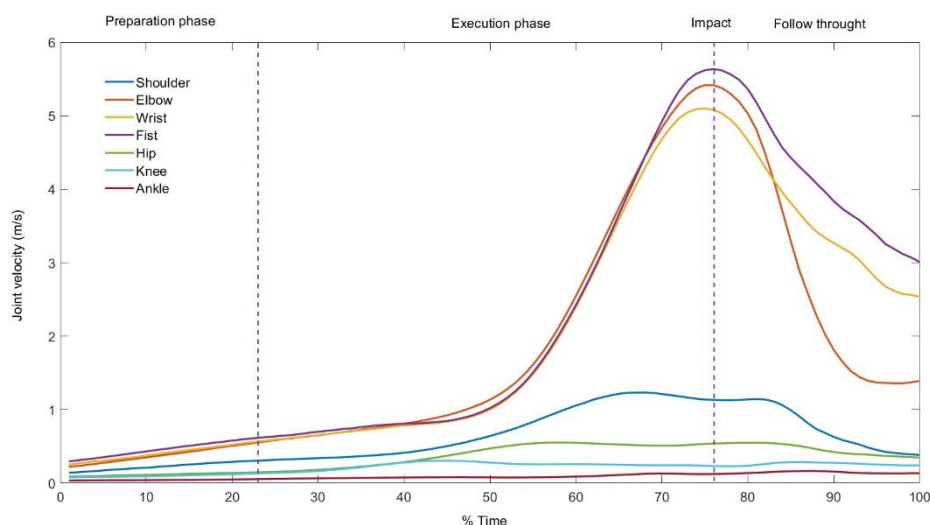
ด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิดลำตัว

จากรูปที่ 39 แสดงความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวดังนี้ ความเร็วสูงสุดของข้อเท้ามีค่าเท่ากับ  $0.75 \pm 0.32$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อเข่ามีค่าเท่ากับ  $1.01 \pm 0.36$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของสะโพกมีค่าเท่ากับ  $1.15 \pm 0.26$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของไหล่มีค่าเท่ากับ  $1.92 \pm 0.37$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อศอกมีค่าเท่ากับ  $6.42 \pm 0.98$  เมตรต่อวินาที และความเร็วสูงสุดของหมัดตรงมีค่าเท่ากับ  $6.80 \pm 1.17$  เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่าความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเริ่มจากความเร็วของข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก ไหล่ ข้อศอก และหมัดตรงตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่าความเร็วสูงสุดของหมัดตรงจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก ส่งความเร็วมายังไหล่ ข้อศอก และส่งไปยังหมัดตรง



**รูปที่ 40** แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง ด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่บิดลำตัว

จากรูปที่ 40 แสดงความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวดังนี้ ความเร็วสูงสุดของข้อเท้ามีค่าเท่ากับ  $0.08 \pm 0.08$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อเข่ามีค่าเท่ากับ  $0.18 \pm 0.13$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของสะโพกมีค่าเท่ากับ  $0.34 \pm 0.10$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของไหล่มีค่าเท่ากับ  $0.88 \pm 0.22$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อศอกมีค่าเท่ากับ  $3.52 \pm 0.69$  เมตรต่อวินาที และความเร็วสูงสุดของหมัดตรงมีค่าเท่ากับ  $4.37 \pm 0.69$  เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่าความเร็วสูงสุดของร่างกายส่วนล่างมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยแต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ จะพบว่าความเร็วสูงสุดของข้อต่อมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับ โดยเริ่มจากความเร็วของข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก ไหล่ ข้อศอก และหมัดตรงตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกับการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานเท้าตามไม่บิดลำตัว

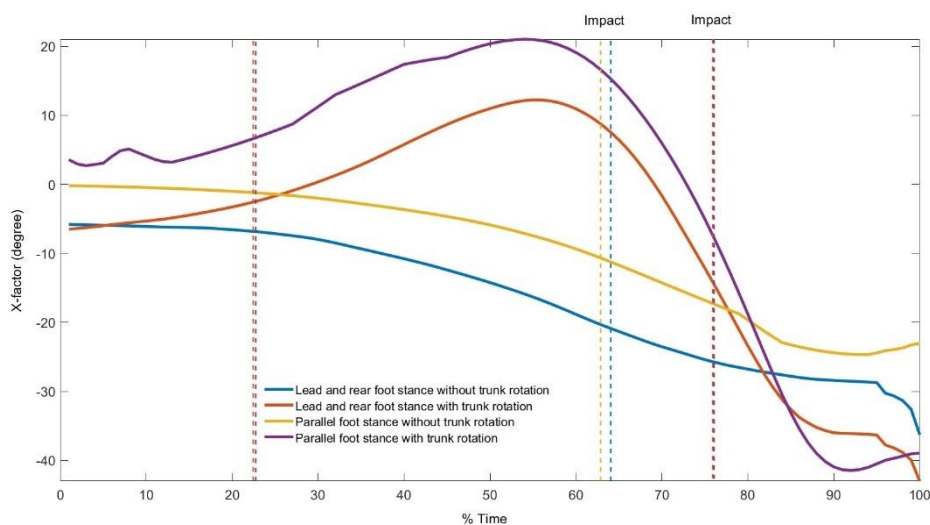


รูปที่ 41 แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง ด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิดลำตัว

จากรูปที่ 41 แสดงความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวดังนี้ ความเร็วสูงสุดของข้อเท้ามีค่าเท่ากับ  $0.22 \pm 0.12$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อเข่ามีค่าเท่ากับ  $0.42 \pm 0.12$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของสะโพกมีค่าเท่ากับ  $0.75 \pm 0.13$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของไหล่มีค่าเท่ากับ  $1.56 \pm 0.25$  เมตรต่อวินาที ความเร็วสูงสุดของข้อศอกมีค่าเท่ากับ  $6.03 \pm 0.63$  เมตรต่อวินาที และความเร็วสูงสุดของหมัดตรงมีค่าเท่ากับ  $6.68 \pm 0.79$  เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่าความเร็วสูงสุดของข้อต่อต่าง ๆ มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเริ่มจากความเร็วของข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก ไหล่ ข้อศอก และหมัดตรงตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่าความเร็วสูงสุดของหมัดตรงจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของข้อเท้า ข้อเท้า สะโพก ส่งความเร็วมายังไหล่ ข้อศอก และส่งไปยังหมัดตรง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว

จากรูปที่ 38 – 41 จะเห็นได้ว่าการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานเท้าตามไม่บิดลำตัว การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานเท้าตามบิดลำตัว การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว มีการถ่ายโยงแรงจากรยางค์ส่วนล่างไปยังรยางค์ส่วนบนและส่งไปยังหมัดตรงอย่างเป็นลำดับ ซึ่งเป็นไปตามหลักการผลรวมความเร็ว (Summation of speed principle) ที่เป็นการจัดลำดับทางคิเนติกส์ที่กล่าวถึงการสะสมความเร็วของรยางค์ส่วนต้นไปยังรยางค์ส่วนปลาย (N. Marshall & Elliott, 2000) และกลไกที่เกิดขึ้นยังเป็นไปตามหลักการห่วงโซ่คิเนติกส์ (Kinetics chain) อีกด้วย

### มุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพก (X-factor)



รูปที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบมุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพก (X-factor)

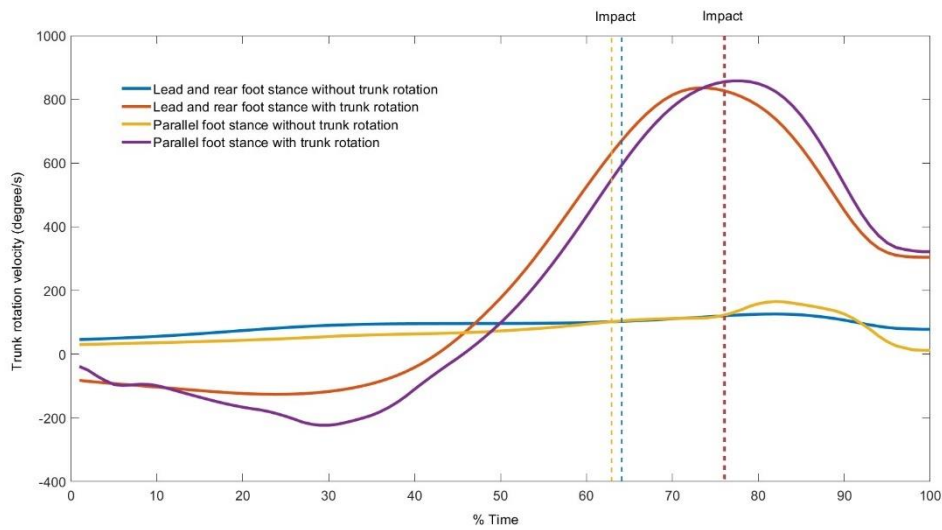
ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 42 แสดงมุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพก (X-factor) ของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ หากนิยามองศาของ X-factor ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาโดยมองจากมุมเหนือศีรษะจะมีค่าเป็นบวก จะพบว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันแบบปิดลำตัวจะมีแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน โดยนักมวยจะง้างหมัดไปทางด้านหลังพร้อมกับปิดลำตัวเพื่อเป็นการสะสมพลังงานที่ใช้ในการส่งหมัดตรง จึงทำให้ค่า X-factor มีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น จากนั้นนักมวยจะส่งหมัดตรงไปยังเป้าชกโดยมีการบิดลำตัวไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพื่อส่งแรงไปยังเป้าชกเพื่อให้ได้แรงชกสูงสุด

การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันไม่ปิดลำตัวจะมีแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน นักมวยจะส่งหมัดตรงไปยังเป้าชกโดยควบคุมไม่ให้เกิดการบิดลำตัวขณะชก แต่จากกราฟจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่ามุม X-factor ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของข้อไหล่ขณะส่งหมัดตรงไปยังเป้าชก จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว



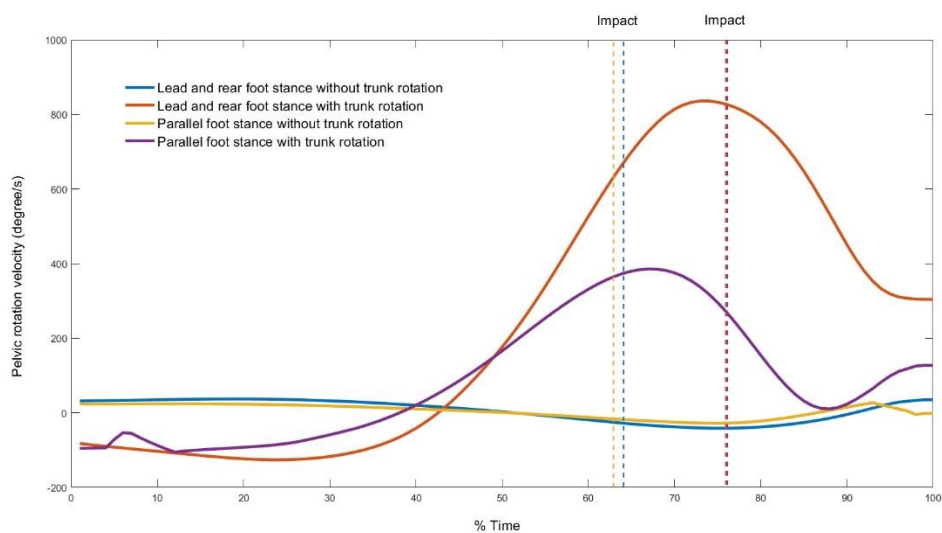
### ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัว (Trunk rotation angular velocity)



รูปที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการบิดลำตัว ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 43 แสดงให้เห็นว่าความเร็วของการบิดลำตัว ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบ เท้าหน้าเท้าตามและการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันแบบบิดลำตัวมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่การชกแบบไม่บิดลำตัวมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการบิดลำตัวน้อยมาก

### ความเร็วเชิงมุมของการหมุนกระดูกเชิงกราน (Pelvic rotation angular velocity)



รูปที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการหมุนกระดูกเชิงกราน ระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 44 แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิตลำตัวมีแนวโน้มของกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการบิตสะโพกมากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิตลำตัวอย่างเห็นได้ชัดแต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และจะเห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามกับแบบเท้าขนานกันและไม่บิตลำตัวมีแนวโน้มของกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการบิตสะโพกเพียงเล็กน้อย

### แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง (Vertical ground reaction force)

**ตารางที่ 27** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak vertical GRF right foot 1	6.2655	.62249	18
Peak vertical GRF right foot 2	7.9908	1.17616	18
Peak vertical GRF right foot 3	3.9442	.80337	18
Peak vertical GRF right foot 4	6.2302	.62958	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและไม่บิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.27 \pm 0.62$  นิวตันต่อกิโลกรัม การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $7.99 \pm 1.18$  นิวตันต่อกิโลกรัม การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่บิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $3.94 \pm 0.80$  นิวตันต่อกิโลกรัม และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิตลำตัวมีค่าเท่ากับ  $6.23 \pm 0.63$  นิวตันต่อกิโลกรัม

**ตารางที่ 28** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak vertical GRF right foot

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	2685.853	1	2685.853	2529.235	<.001	.993
Error	18.053	17	1.062			



**ตารางที่ 29** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons

(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-1.725*	.194	<.001	-2.304	-1.147
	3	2.321*	.251	<.001	1.572	3.070
	4	.035	.188	1.000	-.525	.595
2	1	1.725*	.194	<.001	1.147	2.304
	3	4.047*	.341	<.001	3.029	5.065
	4	1.761*	.286	<.001	.906	2.615
3	1	-2.321*	.251	<.001	-3.070	-1.572
	2	-4.047*	.341	<.001	-5.065	-3.029
	4	-2.286*	.234	<.001	-2.984	-1.588
4	1	-.035	.188	1.000	-.595	.525
	2	-1.761*	.286	<.001	-2.615	-.906
	3	2.286*	.234	<.001	1.588	2.984

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 28 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 29 พบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิดลำตัวแตกต่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาของการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิดลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวาของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิด

ลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันอย่างมีนัยสำคัญ และการชกหมัดตรงแบบปิดลำตัวอย่างมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างขวามากกว่าการชกแบบไม่ปิดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการถ่ายโยงแรงปฏิกิริยาขณะชกหมัดตรงดังรูปที่ 45-48

**ตารางที่ 30** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Peak vertical GRF left foot 1	5.2197	.74297	18
Peak vertical GRF left foot 2	9.0565	1.02599	18
Peak vertical GRF left foot 3	5.4034	.63667	18
Peak vertical GRF left foot 4	7.2564	.96475	18

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและไม่ปิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $5.22 \pm 0.74$  นิวตันต่อกิโลกรัม การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและปิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $9.06 \pm 1.03$  นิวตันต่อกิโลกรัม การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่ปิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $5.40 \pm 0.64$  นิวตันต่อกิโลกรัม และการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและปิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $7.26 \pm 0.97$  นิวตันต่อกิโลกรัม

**ตารางที่ 31** ผลการวิเคราะห์ One-way repeated measures ANOVA ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: Peak vertical GRF left foot

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	3264.985	1	3264.985	2338.264	<.001	.993
Error	23.738	17	1.396			

**ตารางที่ 32** ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายระหว่างการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ

Pairwise Comparisons						
(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-3.837*	.288	<.001	-4.696	-2.977
	3	-.184	.113	.734	-.521	.153
	4	-2.037*	.226	<.001	-2.712	-1.361
2	1	3.837*	.288	<.001	2.977	4.696
	3	3.653*	.259	<.001	2.881	4.425
	4	1.800*	.275	<.001	.978	2.622
3	1	.184	.113	.734	-.153	.521
	2	-3.653*	.259	<.001	-4.425	-2.881
	4	-1.853*	.231	<.001	-2.543	-1.163
4	1	2.037*	.226	<.001	1.361	2.712
	2	-1.800*	.275	<.001	-2.622	-.978
	3	1.853*	.231	<.001	1.163	2.543

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

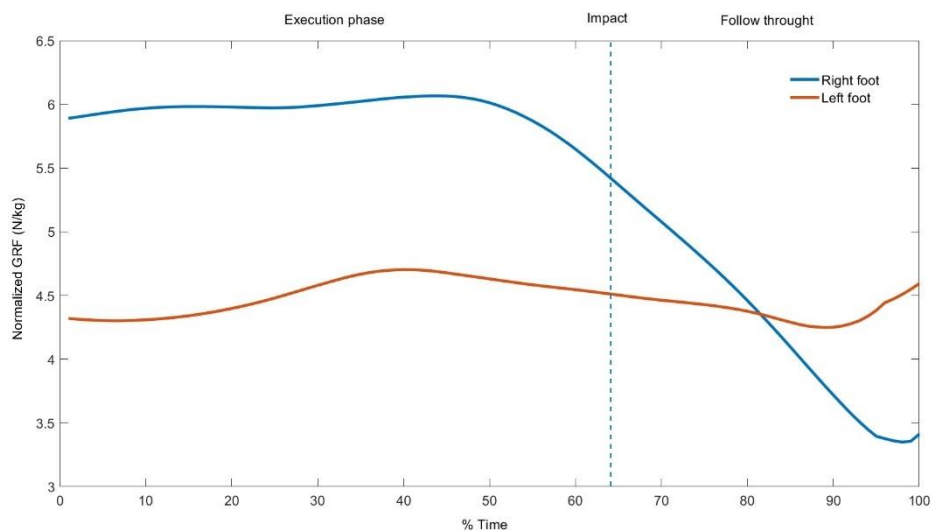
b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

1 = Lead and rear foot stance without trunk rotation, 2 = Lead and rear foot stance with trunk rotation

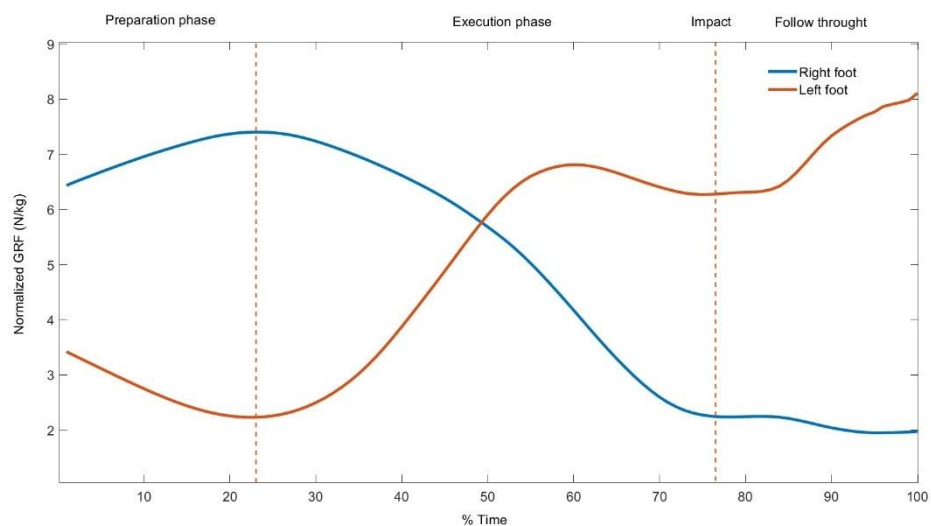
3 = Parallel foot stance without trunk rotation, 4 = Parallel foot stance with trunk rotation

จากตารางที่ 31 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni ดังตารางที่ 32 พบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวแตกต่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายของการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และพบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัวมีค่ามากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

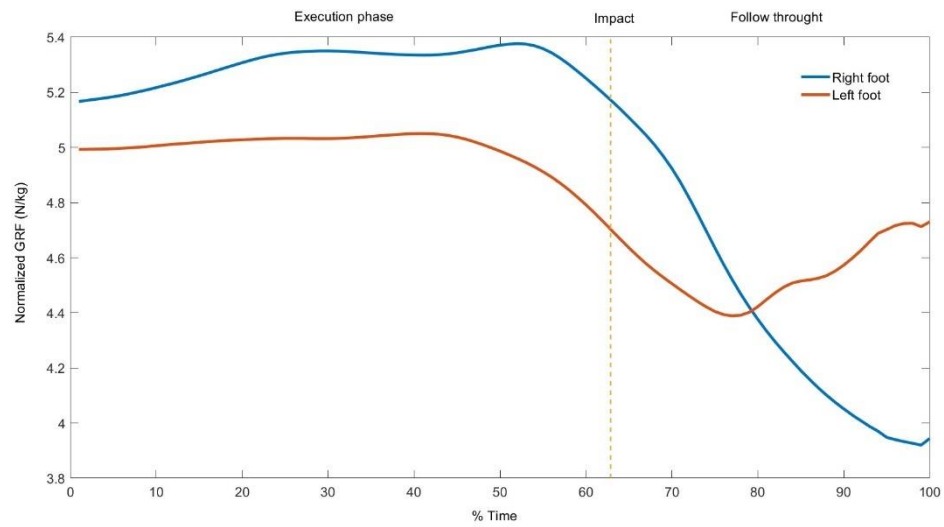
( $p < 0.001$ ) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าบิดาลำตัวมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายมากกว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน อย่างมีนัยสำคัญ และการชกหมัดตรงแบบบิดาลำตัวจะมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งสูงสุดที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายมากกว่าการชกแบบไม่บิดาลำตัวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการถ่ายโยงแรงปฏิกิริยาขณะชกหมัดตรงดังรูปที่ 45-48



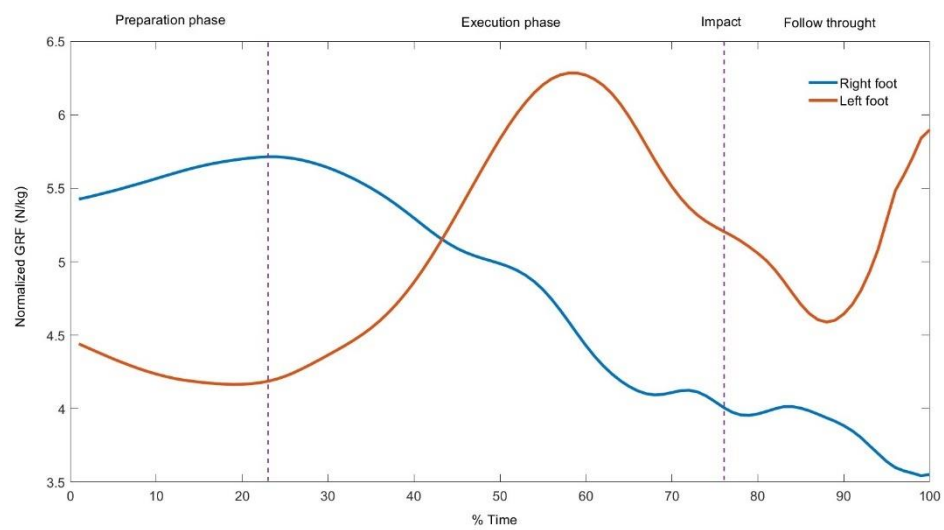
รูปที่ 45 แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาระหว่างชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและไม่บิดาลำตัว



รูปที่ 46 แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวาระหว่างชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิดาลำตัว



รูปที่ 47 แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวา ระหว่างชกหมัดตรง ด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่บิดลำตัว



รูปที่ 48 แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายและขวา ระหว่างชกหมัดตรง ด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและบิดลำตัว

จากรูปที่ 45-48 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นของการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ จากผลการวิจัย พบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันแบบปิดลำตัวมีแนวโน้มการถ่ายโยงแรงปฏิกิริยาไปในทิศทางเดียวกัน ผู้วิจัยสามารถแบ่งช่วงการชกออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ Preparation phase, Execution phase และ Follow through และพบว่าการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันไม่ปิดลำตัวมีแนวโน้มการถ่ายโยงแรงไปในทิศทางเดียวกัน สามารถแบ่งช่วงการชกออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ Execution phase และ Follow through และสามารถอธิบายการถ่ายโยงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งในแต่ละช่วงได้ดังนี้

1) Preparation phase เป็นช่วงที่นักมวยเริ่มถ่ายแรงปฏิกิริยาจากเท้าซ้ายมาที่เท้าข้างขวา พร้อมกับปิดลำตัวและง้างหมัดไปทางด้านหลังเพื่อสะสมพลังงานที่จะใช้ในการส่งหมัดตรงไปยังเป้าชก ในขณะนี้แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างขวาจะเพิ่มสูงขึ้นและแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายจะลดลง ซึ่งจะเกิดขึ้นในการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันปิดลำตัว โดยจะอยู่ในช่วง 25 % ของเวลาที่ใช้ในการชก

2) Execution phase เป็นช่วงที่นักมวยเริ่มส่งหมัดออกไปยังเป้าชกจนกระทั่งหมัดกระทบเป้าชก แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างขวาจะลดลงและแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่นักมวยจะเพิ่มความเร็วของข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก และมีการเพิ่มความเร็วของการปิดลำตัวเพื่อส่งความเร็วและแรงจากลำตัวช่วงส่วนล่างไปยังไหล่ ผ่านข้อศอก และส่งไปเป็นแรงชกหมัดตรง เพื่อให้ได้แรงชกหมัดตรงสูงสุด โดยจะอยู่ในช่วง 50-60 % ของเวลาที่ใช้ในการชกทั้งหมด

3) Follow through เป็นช่วงหลังจากที่หมัดกระทบกับเป้าชก ซึ่งเป็นช่วงที่นักมวยจะส่งหมัดออกไปจนสุดระยะการเคลื่อนไหว ใช้เวลาประมาณ 20-30 % ของเวลาที่ใช้ชก

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย โดยมีวัตถุประสงค์รองเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบบิดลำตัวและไม่บิดลำตัว

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากตำแหน่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่บันทึกด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว และนำมาคำนวณหาความเร็วของข้อต่อ มุมของการบิดลำตัวและสะโพก ความเร็วเชิงมุมของการบิดลำตัวและสะโพก และการวัดค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยแผ่นวัดแรง จากการทดสอบการชกหมัดตรงของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่

1. การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามไม่บิดลำตัว
2. การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามบิดลำตัว
3. การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว
4. การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว

#### สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามไม่บิดลำตัว มีการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างเพียงเล็กน้อย นักมวยจะส่งหมัดออกไปยังเป้าชกโดยอาศัยแรงจากช่วงไหล่ผ่านข้อศอกและส่งหมัดไปยังเป้าชก แรงชกที่ได้จึงเกิดจากการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนบนเป็นสำคัญ โดยมีลักษณะการเคลื่อนไหวเช่นเดียวกับการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว ซึ่งแรงชกที่ได้จากการชกด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามไม่บิดลำตัวและท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $225.19 \pm 40.97$  และ  $220.05 \pm 37.71$  นิวตัน ตามลำดับ

การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามบิดลำตัว พบว่ามีการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนล่างมากที่สุด นักมวยจะมีการสะสมพลังงานที่จะใช้ในการส่งหมัดตรงไปยังเป้าชกโดยการบิดลำตัวพร้อมกับง้างหมัดไปทางด้านหลังก่อนที่จะส่งไปหมัดไปยังเป้าชก เกิดการถ่ายโอนแรงปฏิกิริยาจากเท้าซ้ายมาที่เท้าขวา และเมื่อนักมวยเริ่มส่งหมัดออกไปยังเป้าชก จะเกิดการเคลื่อนไหวของข้อต่อร่างกายส่วนล่างนักมวยจะบิดลำตัวเพื่อส่งแรงจากร่างกายส่วนล่างไปยังร่างกายส่วนบนและส่งแรงไปยังเป้าชก เกิดการถ่ายโอนแรงปฏิกิริยาจากเท้าขวาไปที่เท้าซ้าย ซึ่งการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวก็มีรูปแบบการเคลื่อนไหวในลักษณะเดียวกัน แรงชกที่ได้จากการชกด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามบิดลำตัวและท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวมีค่าเท่ากับ  $425.49 \pm 60.73$  และ  $384.21 \pm 54.17$  นิวตัน ตามลำดับ

จากการผลวิจัยพบว่าการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ มีแรงชกหมัดตรงที่แตกต่างกัน โดยสามารถเรียงลำดับท่าชกจากท่าที่ได้แรงชกมากที่สุดได้แก่ การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัวตามลำดับ การวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิตลำตัวจะได้แรงชกมากที่สุด เนื่องจากการบิตลำตัวจะทำให้เกิดการถ่ายโยงแรงปฏิกิริยาจากพื้นระหว่างเท้าข้างซ้ายและขวามากกว่าการชกแบบไม่บิตลำตัว โดยการถ่ายโยงแรงปฏิกิริยานั้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ ที่ใช้ในการส่งแรงมากยิ่งขึ้น การบิตลำตัวจึงเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการส่งแรงจากรยางค์ส่วนล่างไปยังรยางค์ส่วนบนและส่งต่อไปเป็นแรงชกได้มากที่สุด

### อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวมีแรงชกมากที่สุดเท่ากับ  $425.49 \pm 60.73$  นิวตัน รองลงมาคือการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิตลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามไม่บิตลำตัวกัน และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิตลำตัว มีค่าแรงชกเฉลี่ยเท่ากับ  $384.21 \pm 54.17$ ,  $225.19 \pm 40.97$  และ  $220.05 \pm 37.71$  นิวตัน ตามลำดับ ค่าแรงชกที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้มีความใกล้เคียงมากที่สุดกับงานวิจัยของรัตน ทองเอี่ยม (2016) ที่ได้ทำการวัดแรงชกของหมัดตรงโดยอาศัยจากความเร่งของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บนลูกบอลซ้อมชกแบบเดียวกันกับการวัดแรงชกของงานวิจัยครั้งนี้ แต่มีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Atha et al. (1985) ที่ได้ศึกษาแรงชกของนักมวยรุ่น Heavyweight โดยใช้แผ่นวัดแรงชก ได้ค่าแรงชกหมัดตรงเท่ากับ 4096 นิวตัน, งานวิจัยของ Smith et al. (2000) ได้ทำการศึกษาแรงชกโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์สำหรับวัดแรงชก ได้ค่าแรงชกหมัดตรงของนักกีฬามวยสากลระดับอาชีพเท่ากับ  $4800 \pm 227$  นิวตัน, งานวิจัยของ Nakano et al. (2014) ทำการศึกษาแรงชกด้วยอุปกรณ์ที่อาศัยมวลของเป้าชกและความเร่งการเคลื่อนที่ของเป้าชก ได้ค่าแรงชกหมัดตรงสูงสุดเท่ากับ  $2146 \pm 473$  นิวตัน ซึ่งวิธีการวัดแรงชกในงานวิจัยของ Nakano et al. (2014) เป็นวิธีการที่มีหลักการใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ แต่มีการเคลื่อนที่ของเป้าชกที่แตกต่างกัน และงานวิจัยของ Walilko et al. (2005) ได้ทำการศึกษาแรงชกโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร่งที่จุดกึ่งกลางของศีรษะจำลอง ได้ค่าแรงชกหมัดตรงในนักมวยรุ่น Middleweight และ Heavyweight เท่ากับ  $2625 \pm 473$  และ  $4345 \pm 280$  นิวตัน ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามแรงชกที่ได้ในแต่ละงานวิจัยไม่อาจเปรียบเทียบกันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องด้วยวิธีการวัดแรงชกและรุ่นน้ำหนักของนักมวยที่แตกต่างกัน



การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการชกหมัดตรง ทั้ง 4 รูปแบบ เพื่อใช้อธิบายกลไกการเคลื่อนไหวของการส่งแรงชกหมัดตรงและอธิบายถึงปัจจัยที่ทำให้การชกหมัดตรงแต่ละท่ามีแรงชกที่แตกต่างกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัว หากเรียงลำดับความเร็วของข้อต่อจากรยางค์ส่วนล่างไปยังรยางค์ส่วนบนจะพบว่ามีความเร็วสูงสุดของข้อเท้าเท่ากับ  $0.75 \pm 0.32$  เมตรต่อวินาที มีความเร็วสูงสุดของข้อเข่าเท่ากับ  $1.01 \pm 0.36$  เมตรต่อวินาที มีความเร็วสูงสุดของสะโพกเท่ากับ  $1.15 \pm 0.26$  เมตรต่อวินาที มีความเร็วสูงสุดของไหล่เท่ากับ  $1.92 \pm 0.37$  เมตรต่อวินาที มีความเร็วสูงสุดของข้อศอกเท่ากับ  $6.42 \pm 0.98$  เมตรต่อวินาที และมีความเร็วของหมัดตรงเท่ากับ  $6.80 \pm 1.17$  เมตรต่อวินาที ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Stanley et al. (2018) และ Tong-lam et al. (2017) ที่ได้ทำการศึกษาดัชนีตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง มีค่าความเร็วของหมัดตรงในงานวิจัยดังกล่าวเท่ากับ  $6.97 \pm 0.86$  เมตรต่อวินาที และ  $6.36 \pm 0.45$  เมตรต่อวินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์แต่ละตัวแปรมีความแตกต่างกับการชกหมัดตรงรูปแบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ และหากพิจารณาความเร็วสูงสุดของข้อต่อจะพบว่ามีการเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ข้อเท้า ข้อเข่า สะโพก ไหล่ ศอก และหมัด ซึ่งมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อต่อดังแสดงในรูปที่ 39 ทั้งนี้ผลการวิจัยดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการผลรวมความเร็ว (Summation of speed principle) ที่เป็นการจัดลำดับทางคิเนแมติกส์ที่กล่าวถึงการสะสมความเร็วของรยางค์ส่วนต้นไปยังรยางค์ส่วนปลาย (N. Marshall & Elliott, 2000)

นอกจากความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวยังมีตัวแปรทางชีวกลศาสตร์อื่น ๆ ได้แก่ มุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพก (X-factor) ความเร็วของการบิตลำตัว และความเร็วของการหมุนกระดูกเชิงกราน ที่แตกต่างจากการชกรูปแบบอื่นอีกด้วย จากผลการวิจัยพบว่า การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวจะทำให้เกิดมุมระหว่างแนวไหล่กับสะโพกหรือ X-factor ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วของการบิตลำตัวและความเร็วของการหมุนกระดูกเชิงกรานเกิดขึ้น ดังรูปที่ 43-44 และหากพิจารณาจากรูปที่ 44 จะเห็นได้ว่าการชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามบิตลำตัวจะมีความเร็วของการหมุนกระดูกเชิงกรานมากกว่าการชกรูปแบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Filimonov et al. (1985) ได้ระบุว่าการบิตลำตัวเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรงในกีฬามวย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Turner et al. (2011) ที่ระบุการเพิ่ม Stretch-shortening cycle (SSC) ของกล้ามเนื้อส่วนลำตัว เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชกหมัดตรง และงานวิจัยของ Tong-lam et al. (2017) ที่กล่าวว่า หากนักมวยชกหมัดตรงที่มีองศาและความเร็วของการบิตลำตัวสูงสุดจะทำให้มีความเร็วหมัด ณ จุดที่กระทบเป้าและแรงชกสูงสุด เนื่องจากการบิตลำตัวเป็นกลไกสำคัญที่ส่งผ่านแรงและความเร็วจาก

รยางค์ส่วนล่างไปยังรยางค์ส่วนบนและส่งต่อไปเป็นแรงชกหมัดตรง โดยแรงและความเร็วที่ส่งมาจากข้อเท้าและข้อเข่าจะถูกส่งผ่านกล้ามเนื้อต้นขาไปยังสะโพก และการหมุนของกระดูกเชิงกรานจะมีส่วนสำคัญในการถ่ายโอนแรงจากรยางค์ส่วนล่างผ่านกล้ามเนื้อบริเวณลำตัวและกล้ามเนื้อหลังถูกส่งไปยังไหล่ ผ่านข้อศอกและส่งแรงไปยังหมัดตรงจึงจะเกิดแรงชกสูงสุด

การวิจัยครั้งนี้ยังได้ทำการศึกษาคิเนติกส์ของการชกหมัดตรง โดยทำการศึกษาแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งที่กระทำกับเท้าข้างขวาและซ้ายระหว่างการชกหมัดตรง ผลการวิจัยพบว่าการชกหมัดตรงแบบปิดลำตัวมีแนวโน้มการถ่ายโอนปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งระหว่างเท้าทั้งสองข้างมากกว่าการชกแบบไม่ปิดลำตัว ดังรูปที่ 47-48 ผู้วิจัยจึงสามารถแบ่งช่วงของการชกหมัดตรงแบบปิดลำตัวออกเป็น 3 ช่วง ได้ดังนี้ 1) Preparation phase เป็นช่วงที่นักมวยเริ่มถ่ายน้ำหนักมาที่เท้าข้างขวาพร้อมกับบิดลำตัวและง้างหมัดไปทางด้านหลัง แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างขวาจะเพิ่มสูงขึ้นและแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายจะลดลง ซึ่งช่วงนี้จะเกิดขึ้นในการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว โดยจะอยู่ในช่วง 25 % ของเวลาที่ใช้ในการชก 2) Execution phase เป็นช่วงที่นักมวยเริ่มส่งหมัดออกไปยังเป้าชกจนกระทั่งหมัดกระทบเป้า (Impact) แรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างขวาจะลดลงและแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเท้าข้างซ้ายจะเพิ่มสูงขึ้น โดยจะอยู่ในช่วง 50-60 % ของเวลาที่ใช้ในการชกทั้งหมด และ 3) Follow through เป็นช่วงหลังจากที่หมัดกระทบเป้า ซึ่งเป็นช่วงที่นักมวยจะส่งหมัดออกไปจนสุดระยะของแขน ใช้เวลาประมาณ 20-30 % ของเวลาที่ใช้ชกหลังจากจุดที่หมัดกระทบกับเป้าชก ซึ่งการแบ่งช่วงการชกมีความแตกต่างกับในงานวิจัย Tong-lam et al. (2017) เนื่องจากงานวิจัยนี้มีรูปแบบการชกที่ผู้วิจัยกำหนดเป็นเงื่อนไขของการวิจัยเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้แนวโน้มของกราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นของการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันบิดลำตัวยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า จากผลการวิจัยจึงอาจสรุปได้ว่าการบิดลำตัวจะทำให้เกิดการถ่ายโอนแรงปฏิกิริยาจากพื้นระหว่างเท้าทั้งสองข้าง ซึ่งจะส่งผลให้ข้อต่อของรยางค์ส่วนล่างมีการเคลื่อนไหวมากขึ้น และทำให้ผลรวมความเร็วของข้อต่อเพิ่มสูงขึ้น

จากผลการศึกษาสามารถอธิบายกลไกการส่งแรงชกหมัดตรงในกีฬามวย โดยอาจกล่าวได้ว่าความเร็วและแรงชกหมัดตรงจะถูกส่งมาจากความเร็วของข้อเท้าไปยังข้อเข่าส่งต่อไปยังสะโพกผ่านกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนล่าง และเมื่อนักมวยมีการบิดลำตัวและมีการหมุนกระดูกเชิงกราน ความเร็วของข้อต่อจะถูกส่งผ่านกล้ามเนื้อที่ใช้ในการบิดลำตัวไปยังรยางค์ส่วนบนทำให้เกิดการหมุนของช่วงไหล่ และส่งความเร็วผ่านข้อศอกไปยังหมัด กลไกที่เกิดขึ้นเป็นไปตามหลักการห่วงโซ่คิเนติกส์ (Kinetics chain) ซึ่งเป็นหลักการที่อธิบายกลไกการทำงานร่วมกันของข้อต่อที่ระบุว่าการเคลื่อนไหวของข้อต่อจะส่งผลให้อีกข้อต่อหนึ่งเกิดการเคลื่อนไหว และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dyson และ

คณะ ที่กล่าวว่าแรงชกหมัดตรงจะถูกสร้างจากกล้ามเนื้อขาผ่านลำตัว ไหล่ และแขนตามลำดับ โดยมีกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius), กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Bicep femoris) เป็นกล้ามเนื้อสำคัญที่ใช้ในการส่งแรงจากขา (Dyson et al., 2007) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Cabral และคณะ ที่กล่าวว่าการชกหมัดในกีฬามวยมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วของสะโพก ลำตัว และแขนตามลำดับ (Cabral et al., 2010)

จากข้อมูลการวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงอาจสรุปได้ว่าการชกหมัดตรงแบบเท้านำเท้าตาม และบิดลำตัวเป็นท่าชกที่ได้แรงชกสูงสุด เนื่องจากการชกด้วยท่าดังกล่าวมีกลไกการส่งแรงชกเป็นไปตามหลักการผลรวมความเร็วและท่วงโซ่คิเนติกส์ แรงชกจะเกิดจากการส่งแรงจากรยางค์ส่วนล่างโดยเริ่มจากข้อเท้า ส่งผ่านข้อเข่า สะโพก ไหล่ คอ และส่งไปยังหมัด ซึ่งแรงจะถูกส่งผ่านกล้ามเนื้อจากรยางค์ส่วนล่างไปยังส่วนบน โดยมีการบิดลำตัวและการหมุนของกระดูกเชิงกรานเป็นกลไกในการส่งแรงจากรยางค์ส่วนล่างไปยังหมัดตรง ดังนั้นการจะชกหมัดตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีแรงชกสูงสุด โค้ชและผู้ฝึกสอนควรออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่าง กล้ามเนื้อที่ใช้ในการบิดลำตัวและสะโพก และกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### **ข้อจำกัดในการวิจัย**

การชกด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามไม่บิดลำตัว การชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันไม่บิดลำตัว และการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันบิดลำตัว เป็นท่าชกที่ผู้วิจัยควบคุมในงานวิจัยนี้ แต่การชกด้วยท่ายืนแบบเท้านำเท้าตามบิดลำตัวเป็นท่าที่นักมวยใช้ชกอยู่เป็นประจำ จากการเก็บข้อมูลการวิจัยพบว่า นักมวยบางรายมีการเปิดส้นเท้าขณะส่งหมัดไปยังเป้าชกซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงชก ดังนั้นการเปิดส้นเท้าของนักมวยขณะชกจึงเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในงานวิจัยนี้

### **ข้อเสนอแนะการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ และการส่งผ่านความเร็วของการชกหมัดตรงเท่านั้น โดยไม่ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของการส่งแรงผ่านกล้ามเนื้อและข้อต่อส่วนต่าง ๆ ซึ่งประเด็นดังกล่าวเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่ควรทำการศึกษาในการวิจัยครั้งถัดไป

## บรรณานุกรม

- AIBA. (2019). *AIBA Technical & Competition Rules*.
- AIBA Coaches Commission. (2010). *AIBA Coach Manual*
- Atha, J., Yeadon, M., Sandover, J., & Parsons, K. (1985). The damaging punch. *Br Med J (Clin Res Ed)*, 291(6511), 1756-1757.
- Behnke, R. S. (2012). *Kinetic anatomy*. Human Kinetics.
- Brown, S. J., Nevill, A. M., Monk, S. A., Otto, S. R., Selbie, W. S., & Wallace, E. S. (2011). Determination of the swing technique characteristics and performance outcome relationship in golf driving for low handicap female golfers. *Journal of Sports Sciences*, 29(14), 1483-1491.
- Brown, S. J., Selbie, W. S., & Wallace, E. S. (2013). The X-Factor: An evaluation of common methods used to analyse major inter-segment kinematics during the golf swing. *Journal of Sports Sciences*, 31(11), 1156-1163.
- Chu, Y., Sell, T. C., & Lephart, S. M. (2010). The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of sports sciences*, 28(11), 1251-1259.
- Costa, P. B., Medeiros, H. B., & Fukuda, D. H. (2011). Warm-up, stretching, and cool-down strategies for combat sports. *Strength & Conditioning Journal*, 33(6), 71-79.
- Gregory, R. D. (2006). *Classical mechanics*. Cambridge University Press.
- Hatze, H. (1974). The meaning of the term "biomechanics". *Journal of biomechanics*, 7(2), 189-190.
- Horan, S. A., Evans, K., Morris, N. R., & Kavanagh, J. J. (2010). Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *Journal of biomechanics*, 43(8), 1456-1462.
- Kibler, B. (2012). The kinetic chain in tennis: Do you push or pull? *Aspetar Sports Medicine Journal*, 1(1), 4043.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics*. Springer Science & Business Media.
- Lenetsky, S., Harris, N., & Brughelli, M. (2013). Assessment and contributors of punching forces in combat sports athletes: Implications for strength and conditioning.

*Strength & Conditioning Journal*, 35(2), 1-7.

- Mack, J., Stojich, S., Sherman, D., Dau, N., & Bir, C. (2010). Amateur boxer biomechanics and punch force. ISBS-Conference Proceedings Archive,
- N. Marshall, R., & Elliott, B. (2000). Long-axis rotation: the missing link in proximal-to-distal segmental sequencing. *Journal of sports sciences*, 18(4), 247-254.
- Nakano, G., Iino, Y., Imura, A., & Kojima, T. (2014). Transfer of momentum from different arm segments to a light movable target during a straight punch thrown by expert boxers. *Journal of sports sciences*, 32(6), 517-523.
- QualisysAB. (2017). Qualisys tracking manager getting started
- Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research methods in biomechanics*. Human kinetics.
- Seel, T., Raisch, J., & Schauer, T. (2014). IMU-based joint angle measurement for gait analysis. *Sensors*, 14(4), 6891-6909.
- Smith, M., Dyson, R., Hale, T., & Janaway, L. (2000). Development of a boxing dynamometer and its punch force discrimination efficacy. *Journal of sports sciences*, 18(6), 445-450.
- Stanley, E., Thomson, E., Smith, G., & Lamb, K. L. (2018). An analysis of the three-dimensional kinetics and kinematics of maximal effort punches among amateur boxers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(5), 835-854.
- Tong-lam, R., Rachanavy, P., & Lawsirirat, C. (2017). Kinematic and kinetic analysis of throwing a straight punch: The role of trunk rotation in delivering a powerful straight punch. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(4), 2538-2543.
- Turner, A., Baker, E., & Miller, S. (2011). Increasing the impact force of the rear hand punch. *Strength & Conditioning Journal*, 33(6), 2-9.
- ViconMotionSystems. (2016). Plug-in Gait Reference Guide.
- Walilko, T., Viano, D. C., & Bir, C. A. (2005). Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British journal of sports medicine*, 39(10), 710-719.
- ชัยชานนท์ พูลสวัสดิ์. (2018). การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงที่ต่างกันในนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์. (2016). เอกสารคำสอนวิชาชีวกลศาสตร์การกีฬาขั้นสูง: คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัตน์ ทองเยี่ยม. (2016). แบบจำลองการชกหมัดตรงที่ทรงประสิทธิภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].



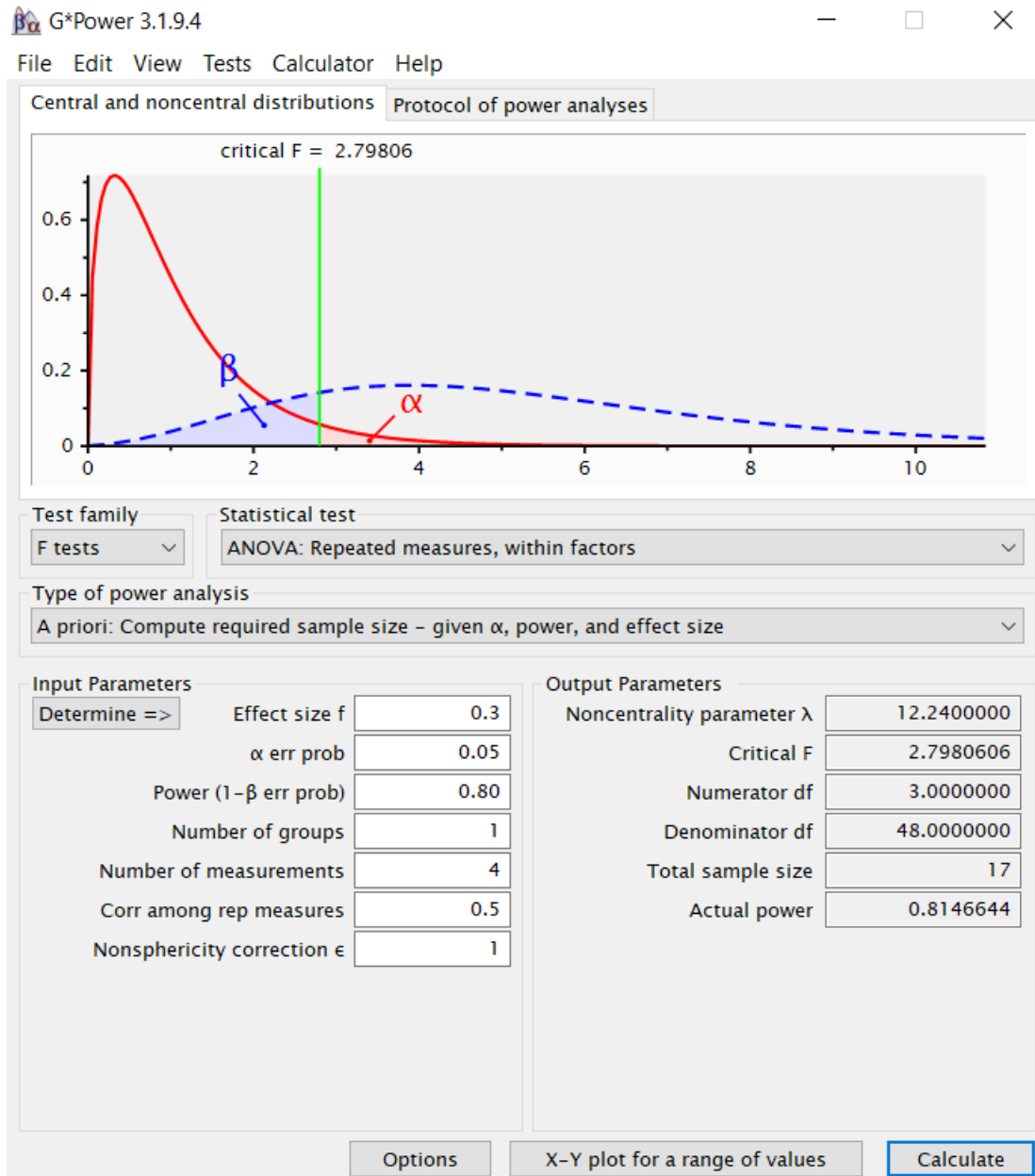


ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ภาคผนวก ก

## การคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G\*Power



รูปที่ 49 แสดงผลการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G\*Power



## ภาคผนวก ข

## ใบรับรองโครงการวิจัย แบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย

ข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและผู้ปกครองและหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

AF 02-12



คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
โทรศัพท์: 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 153/2564


## ใบรับรองโครงการวิจัย

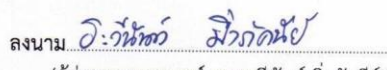
โครงการวิจัยที่ 061.1/63 (1) : การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบเท้านำเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

ผู้วิจัยหลัก : นายภูซงค์ ศรีเพียงจันทร์

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (มคจค.) 2560, นโยบายแห่งชาติและแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัย เรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม   
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปริธา ทศันประดิษฐ์)  
ประธาน

ลงนาม   
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวีรัตน์ มิ่งภักดิ์)  
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 29 มิถุนายน 2564

วันหมดอายุ : 28 มิถุนายน 2565

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

- 1) โครงการวิจัย
- 2) เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
- 3) ผู้วิจัย
- 4) แบบสอบถาม



เลขที่โครงการวิจัย 061.1 / 63  
วันที่รับรอง 29 มิ.ย. 2564  
วันหมดอายุ 28 มิ.ย. 2565

## เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย
2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย โยนยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น
5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ
7. หากยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนดต้องแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 2 สัปดาห์พร้อมคำชี้แจง
8. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 01-15) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น
9. โครงการวิจัยที่มีหลายระยะ จะรับรองโครงการเป็นระยะ เมื่อดำเนินการวิจัยในระยะแรกเสร็จสิ้นแล้ว ให้ดำเนินการส่งรายงานความก้าวหน้า พร้อมโครงการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในระยะเวลาถัดไป
10. คณะกรรมการฯ สงวนสิทธิ์ในการตรวจเยี่ยมเพื่อติดตามการดำเนินการวิจัย
11. สำหรับโครงการวิจัยจากภายนอก ผู้บริหารส่วนงาน กำกับการดำเนินการวิจัย



## บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสถาบัน ชุดที่ 1 โทร.0-2218-3202  
 ที่ จว. ...0&S... /2565 วันที่ 19 เมษายน 2565  
 เรื่อง แจ้งผลอนุมัติการแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

- สิ่งที่ส่งมาด้วย
1. บันทึกแจ้งผลการอนุมัติแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย
  2. เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอมฯ
  3. แบบคัดกรอง

ตามที่ นายภูษงค์ ศรีเพียงจันทร์ นิสิตระดับมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เสนอโครงการวิจัยที่ 061.1/63 เรื่อง การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบเท้านำเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย (A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES IN STRAIGHT PUNCH BETWEEN PUNCHING WITH LEAD AND REAR FOOT STANCE AND PARALLEL STANCE IN BOXERS) เพื่อให้กรรมการผู้ทบทวนหลักพิจารณาการแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย ความละเอียดแจ้งแล้วนั้น

ในการนี้กรรมการผู้ทบทวนหลัก ได้เห็นสมควรอนุมัติการแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัยเมื่อวันที่ 12 เมษายน 2565

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

วิวัฒน์ มิ่งภักดิ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวีพันธ์ มิ่งภักดิ์)

เลขาธิการคณะกรรมการ

พิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

กลุ่มสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

## แบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย

ข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

## แบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยเลขที่.....

การวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืน  
แบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

## สำหรับผู้เข้าร่วมวิจัยกรอกข้อมูล

## ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย

- 1.1 อายุ.....ปี  
1.2 น้ำหนัก.....กิโลกรัม  
1.3 ส่วนสูง.....เซนติเมตร

## ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

## 2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

- ไม่มี  
 มี (โปรดระบุ) .....

2.2 ท่านเคยมีประวัติการรักษาอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ ที่ต้องพบแพทย์เพื่อเข้ารับ  
การรักษาหรือเข้ารับการผ่าตัดหรือไม่

- ไม่มี  
 มี (โปรดระบุ) .....  
เข้ารับการรักษาล่าสุดเมื่อวันที่.....

## 2.3 ปัจจุบันท่านมีอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ ที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการชกมวยหรือไม่

- ไม่มี  
 มี (โปรดระบุ) .....



-2-

เลขที่โครงการวิจัย 061.1/63

วันที่รับรอง 29 มิ.ย. 2564

วันหมดอายุ 28 มิ.ย. 2565

/มีต่อหน้า 2...

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการฝึกซ้อมและแข่งขันกีฬามวยสากลสมัครเล่น

3.1 ปัจจุบันท่านเป็นนักกีฬามวยสากลสมัครเล่นที่ฝึกซ้อมกีฬามวยอยู่เป็นประจำ (อย่างน้อย 3-5 วันต่อสัปดาห์) ใช่หรือไม่

ไม่ใช่

ใช่

3.2 ท่านเป็นนักมวยสากลสมัครเล่นที่ถนัดขวา (ใช้หมัดข้างขวาเป็นหลัก) ใช่หรือไม่

ไม่ใช่

ใช่

สำหรับผู้วิจัยกรอกข้อมูล

ผู้เข้าร่วมวิจัยมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัยหรือไม่

ผ่านเกณฑ์การคัดเลือก

ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือก

ลงชื่อ.....ผู้คัดกรอง

(นายภูษงค์ ศรีเที่ยงจันทร์)



เลขที่โครงการวิจัย 061.1/63

วันที่รับรอง 29 มิ.ย. 2564

วันหมดอายุ 28 มิ.ย. 2565



ข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและผู้ปกครอง และหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

**ชื่อโครงการวิจัย** การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่าขึ้นแบบหน้า  
นำเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

**ชื่อผู้วิจัย** นายภูษงค์ ศรีเพียงจันทร์ ตำแหน่ง นิสิตระดับปริญญาโท

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย (ที่ทำการวิจัย)** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ที่บ้าน) 1/465 ซอยปลูกจิตต์ ถนนพระราม 4 แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน

กรุงเทพมหานคร 10330

**โทรศัพท์มือถือ** 092-269-4335 **E-mail:** puchong9oct@gmail.com

**เรียน** ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่าน

ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควร  
ทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้  
ละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

#### 1. งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับอะไรและทำเพื่อวัตถุประสงค์ใด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชก  
ด้วยท่าขึ้นแบบหน้านำเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

##### วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่าขึ้นแบบหน้า  
นำเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

##### วัตถุประสงค์รอง

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบบิดลำตัวและ  
แบบไม่บิดลำตัว

#### 2. รายละเอียดและคุณสมบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย

##### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง นักมวยไทยหรือมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุระหว่าง 17 - 25 ปี น้ำหนัก  
52 - 64 กิโลกรัม สังกัดค่ายมวยในกรุงเทพมหานคร จำนวน 20 คน

##### เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬามวยไทยหรือมวยสากล สัญชาติไทย เพศชาย อายุระหว่าง  
17 - 25 ปี น้ำหนัก 52 - 64 กิโลกรัม สังกัดค่ายมวยในกรุงเทพมหานคร
2. กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬามวยไทยหรือมวยสากลที่ถนัดขวา
3. กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬามวยไทยหรือมวยสากลที่มีประสบการณ์การฝึกซ้อมและแข่งขัน  
กีฬามวยไม่น้อยกว่า 1 ปี และฝึกซ้อมกีฬามวยอยู่เป็นประจำอย่างน้อย 3-5 วันต่อสัปดาห์



เลขที่โครงการวิจัย. 061. 1 / 63

วันที่รับรอง. 29 มิ.ย. 2564

วันหมดอายุ. 28 มิ.ย. 2565

4. กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลที่มีสุขภาพร่างกายดี ไม่มีอาการบาดเจ็บของกระดูก กล้ามเนื้อ และข้อต่อจนต้องเข้ารับการรักษาด้วยวิธีการผ่าตัด ในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา นับถึงวันที่เก็บข้อมูลการวิจัย

5. กลุ่มตัวอย่างสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย

#### เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างได้รับบาดเจ็บจนเป็นอุปสรรคต่อการวิจัย ทำให้ไม่สามารถทำการวิจัยต่อไปได้
2. กลุ่มตัวอย่างขอลอนตัวออกจากการวิจัย

#### วิธีการได้มาและเข้าถึงผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยติดต่อค่ายมวยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพื่อขออนุญาตทำการวิจัยกับนักกีฬามวยในสังกัด หากได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยผู้วิจัยจะติดต่อเพื่อชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัยไปยังนักกีฬามวยที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย จากนั้นจะทำการนัดหมายเข้าคัดกรองคุณสมบัติของนักกีฬาที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยว่าตรงตามเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมโครงการวิจัยหรือไม่

#### 3. การคัดกรองผู้มีส่วนร่วมการวิจัย ตามเกณฑ์การคัดเลือกและคัดออก

ผู้วิจัยจะนัดหมายผู้เข้าร่วมวิจัยเพื่อคัดกรองคุณสมบัติผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคัดกรองคุณสมบัติผู้เข้าร่วม และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยตอบแบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ใช้เวลาประมาณ 30 นาที สำหรับผู้ที่ไม่ผ่านการคัดเลือกจะได้รับกระบอกน้ำดื่มตราพระแก้วเป็นของที่ระลึก

#### 4. การเข้าร่วมงานวิจัยมีการดำเนินการกับผู้เข้าร่วมในการวิจัยอย่างไร

1. ผู้วิจัยอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย กระบวนการ และขั้นตอนการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัย การคัดเลือกเข้าร่วมการวิจัยทราบอย่างละเอียด รวมทั้งผู้วิจัยจะขอให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย
2. ผู้วิจัยจะนัดหมายวันและเวลาในการเก็บข้อมูลวิจัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะเข้ารับการทดลองจำนวน 1 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 45 นาที

#### ในวันที่ทำการทดลอง

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะเดินทางมายังห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามวัน และเวลาที่นัดหมายกับผู้วิจัย เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเดินทางมาถึง จะมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. ผู้วิจัยจะอธิบายขั้นตอนการทดลองในการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบ
2. ผู้วิจัยจะต้องเปลี่ยนชุดที่สวมใส่อยู่เป็นกางเกงรัดกล้ามเนื้อที่ผู้วิจัยเตรียมไว้ให้ ซึ่งเป็นกางเกงรัดกล้ามเนื้อที่ผ่านการทำความสะอาดทุกครั้งหลังใช้ และผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ต้องสวมรองเท้า



เลขที่โครงการวิจัย 061.1/63  
วันที่รับรอง 29 มิ.ย. 2564  
วันหมดอายุ 28 มิ.ย. 2565

3. ผู้วิจัยจะเช็ดทำความสะอาดผิวหนังของผู้เข้าร่วมวิจัยด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์ และติดเครื่องหมายสะท้อนแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว บนตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย (ภาคผนวก จ)

4. ผู้วิจัยจะทำการวัดความยาวของร่างกายของผู้เข้าร่วมวิจัย ได้แก่

- ความยาวของแขน (Total arm length)
- ความยาวของขา (Total leg length)
- ความกว้างของช่วงไหล่ (Shoulder width)
- ความกว้างของสะโพก (Hip width)

5. ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกาย (Warm up) ด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ตามรูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนด (ภาคผนวก ฉ) และอบอุ่นร่างกายตามรูปแบบที่กลุ่มตัวอย่างใช้ก่อนการฝึกซ้อมอยู่เป็นประจำ เป็นเวลา 10 นาที

6. ผู้วิจัยจะสาธิตวิธีการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยซ้อมชกกับเป้าชกจนเกิดความคุ้นชินเป็นเวลา 5 นาที

7. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสุ่มหยิบสลากที่แสดงลำดับการทำแบบทดสอบการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ จากนั้นผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างเตรียมความพร้อมสำหรับการเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงทั้ง 4 รูปแบบ ๆ ละ 5 ครั้ง โดยมีรายละเอียดของการชกหมัดตรงแต่ละรูปแบบ ดังนี้

7.1 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและไม่บิดลำตัว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม โดยเท้าทั้งสองข้างจะต้องวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าข้างเท้าหน้า (เท้าซ้าย) ต้องอยู่ห่างจากเป้าชกในระยะที่ผู้วิจัยกำหนด ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้ผู้เข้าร่วมวิจัยชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดโดยไม่บิดลำตัวไปที่เป้าชก จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพักเป็นเวลา 1 นาที ก่อนชกครั้งถัดไป ทำการชกทั้งหมด 5 ครั้ง และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

7.2 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและบิดลำตัว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตาม โดยเท้าทั้งสองข้างจะต้องวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าข้างเท้าหน้า (เท้าซ้าย) ต้องอยู่ห่างจากเป้าชกในระยะที่ผู้วิจัยกำหนด ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้ผู้เข้าร่วมวิจัยชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดโดยบิดลำตัวไปที่เป้าชก จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพักเป็นเวลา 1 นาที ก่อนชกครั้งถัดไป ทำการชกทั้งหมด 5 ครั้ง และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

7.3 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและไม่บิดลำตัว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน โดยเท้าทั้งสองข้างจะต้องวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าต้องอยู่ห่างจากเป้าชกในระยะที่ผู้วิจัยกำหนด ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างชก



เลขที่โครงการวิจัย... 061.1/63  
วันที่รับรอง... 29 มิ.ย. 2564  
วันหมดอายุ... 28 มิ.ย. 2565



หมัดตรงด้วยแรงสูงสุดโดยไม่ปิดลำตัวไปที่เป้าชก จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพักเป็นเวลา 1 นาที ก่อนชกครั้งถัดไป ทำการชกทั้งหมด 5 ครั้ง และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

7.4 การชกหมัดตรงด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกันและปิดลำตัว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องยืนอยู่บนแผ่นวัดแรงทั้งสองแผ่นด้วยท่ายืนแบบเท้าขนานกัน โดยเท้าทั้งสองข้างจะต้องวางอยู่บนแผ่นวัดแรงคนละแผ่นกัน และปลายเท้าต้องอยู่ห่างจากเป้าชกในระยะที่ผู้วิจัยกำหนด ผู้วิจัยจะส่งสัญญาณให้กลุ่มตัวอย่างชกหมัดตรงด้วยแรงสูงสุดโดยปิดลำตัวไปที่เป้าชก จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพักเป็นเวลา 1 นาที ก่อนชกครั้งถัดไป ทำการชกทั้งหมด 5 ครั้ง และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพัก 5 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบรูปแบบถัดไป

8. เสรีสิ้นกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล

9. ผู้วิจัยทำการถอดเครื่องหมายสะท้อนแสงที่ติดอยู่บนร่างกายของผู้เข้าร่วมวิจัยออก

10. ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการคลายเย็นร่างกาย (Cool down) ตามรูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนด (ภาคผนวก ฉ)

#### 5. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ โดยจะปกปิดข้อมูลในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งจะไม่มีการระบุชื่อของผู้เข้าร่วมวิจัย จะมีเพียงหมายเลขระบุลำดับการเข้าร่วมการวิจัยเท่านั้น รวมทั้งการเสนอผลการวิจัยจะทำการเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงผู้เข้าร่วมวิจัยได้จะไม่ปรากฏในรายงาน และภาพเคลื่อนไหวรวมถึงข้อมูลทั้งหมดจะถูกทำลายหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการวิจัย

#### 6. ประโยชน์ในการเข้าร่วมงานวิจัยและของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับทราบถึงความแตกต่างของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวระหว่างการชกด้วยท่ายืนและรูปแบบการชกหมัดตรงที่แตกต่างกัน รวมถึงลักษณะการเคลื่อนไหวขณะชกหมัดตรงของผู้เข้าร่วมวิจัยเอง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ

#### 7. การแสดงความขอบคุณผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยจะมอบเงินค่าชดเชยการเสียเวลาเป็นเงินจำนวน 500 บาท ให้แก่ผู้เข้าร่วมวิจัย

#### 8. การเข้าร่วมวิจัยเป็นโดยสมัครใจ

ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถถอนตัวออกจากกรวิจัยได้ทุกเมื่อ โดยไม่จำเป็นต้องชี้แจงเหตุผลให้ผู้วิจัยทราบ และการถอนตัวออกจากกรวิจัยจะไม่ผลกระทบบใด ๆ ต่อผู้เข้าร่วมวิจัย

9. หากมีข้อสงสัย สามารถสอบถามเพิ่มเติมจากผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบโดยเร็ว

10. หากได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามข้อมูลดังกล่าว สามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th



เลขที่โครงการวิจัย... 061. 1 / 63  
วันที่รับรอง... 29 มิ.ย. 2564  
วันหมดอายุ... 28 มิ.ย. 2565



ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัย และเข้าใจข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทุกประการแล้ว จึงลงนาม  
ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ และได้รับเอกสารไว้ 1 ชุดแล้ว

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้วิจัยหลัก

วันที่ ...../...../.....

ลงชื่อ.....

(.....)

พยาน

วันที่ ...../...../.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้เข้าร่วมวิจัย

วันที่ ...../...../.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ปกครอง

วันที่ ...../...../.....



เลขที่โครงการวิจัย 061.1/63

วันที่รับรอง 29 มิ.ย. 2564

วันหมดอายุ 28 มิ.ย. 2565

## ภาคผนวก ค

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินคุณภาพ IOC เครื่องมือวิจัย และแบบรายงานผลการประเมิน

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

- |   |  |
|---|--|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์       | ผู้อำนวยการโรงเรียนวิทยาศาสตร์<br>การเคลื่อนไหวและสุขภาพ<br>คณะเทคโนโลยีวิทยาศาสตร์สุขภาพ<br>วิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์<br>เจ้าฟ้าจุฬาภรณ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.วีวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ | อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาศาสตร์<br>และเทคโนโลยีการกีฬา<br>มหาวิทยาลัยมหิดล   |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ราชนาวิ         | อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา<br>สำนักวิชาวิทยาศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  |
| 4. อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช                 | อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา<br>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| 5. ดร.รัตน์ ทองเอี่ยม                           | ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านชีวกลศาสตร์<br>ทางการกีฬา  |

### แบบรายงานผลการประเมินคุณภาพ IOC ของผู้ทรงคุณวุฒิ

**ชื่อเรื่องภาษาไทย** การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

**ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ** A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES IN STRAIGHT PUNCH BETWEEN PUNCHING WITH LEAD AND REAR FOOT STANCE AND PARALLEL STANCE IN BOXERS

**ชื่อผู้วิจัย** นายภูซงค์ ศรีเพียงจันทร์

**แขนงวิชา** การเสริมสร้างสมรรถทางการกีฬา

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์

#### ข้อมูลประกอบการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือ

ข้อมูลประกอบการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย และคำชี้แจงการประเมินคุณภาพ IOC โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

##### วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

##### วัตถุประสงค์รอง

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกแบบปิดลำตัวและแบบไม่ปิดลำตัว

#### คำชี้แจงการประเมินคุณภาพ IOC

การประเมินนี้สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาถึงความเหมาะสมด้านองค์ประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วยท่ายืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย โดยมีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนน +1 เมื่อท่านเห็นว่าเนื้อหาข้อนั้น **สอดคล้อง**กับ  
วัตถุประสงค์การศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วย  
ทำยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนน 0 เมื่อท่านเห็นว่าเนื้อหาข้อนั้น **ไม่อาจตัดสินได้ว่า**  
**สอดคล้อง**กับวัตถุประสงค์การศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่าง  
การชกด้วยทำยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนน -1 เมื่อท่านเห็นว่าเนื้อหาข้อนั้น **ไม่สอดคล้อง**กับ  
วัตถุประสงค์การศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงระหว่างการชกด้วย  
ทำยืนแบบเท้าหน้าเท้าตามและแบบเท้าขนานกันในนักมวย

กรณีที่ท่านมีความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะในการปรับปรุงพัฒนาเนื้อหาแต่ละข้อ โปรดระบุ  
ความคิดเห็นนั้นลงในช่องข้อเสนอแนะ หรือให้ข้อเสนอแนะโดยตรงต่อผู้วิจัย จักเป็นขอบคุณยิ่ง



ตารางที่ 1 แบบประเมินคุณภาพ IOC ของแบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย

เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
<b>แบบคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย</b>				
<b>ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย</b>				
1.1 อายุ (ปี)	4	1	0	0.8
1.2 น้ำหนัก (กิโลกรัม)	4	1	0	0.8
1.3 ส่วนสูง (เซนติเมตร)	4	1	0	0.8
<b>ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย</b>				
2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่ <input type="checkbox"/> ไม่มี <input type="checkbox"/> มี (โปรดระบุ) .....	4	1	0	0.8
2.2 ท่านเคยมีประวัติการรักษาอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ ที่ต้องพบแพทย์เพื่อเข้ารับการรักษาหรือเข้ารับการผ่าตัดหรือไม่ <input type="checkbox"/> ไม่มี <input type="checkbox"/> มี (โปรดระบุ) .....	4	1	0	0.8
2.3 ปัจจุบันท่านมีอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ ที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการชกมวยหรือไม่ <input type="checkbox"/> ไม่มี <input type="checkbox"/> มี (โปรดระบุ) .....	4	1	0	0.8
<b>ส่วนที่ 3 ข้อมูลการฝึกซ้อมกีฬามวยสากลสมัครเล่น</b>				
3.1 ปัจจุบันท่านเป็นนักกีฬามวยสากลสมัครเล่นที่ฝึกซ้อมกีฬามวยอยู่เป็นประจำ (อย่างน้อย 3-5 วันต่อสัปดาห์) <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ <input type="checkbox"/> ใช่	4	1	0	0.8
3.2 ท่านเป็นนักมวยสากลสมัครเล่นที่ถนัดขวา (ใช้หมัดข้างขวาชกเป็นหลัก) ใช่หรือไม่ <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ <input type="checkbox"/> ใช่	4	1	0	0.8

ตารางที่ 2 แบบประเมินคุณภาพ IOC ของการวัดความยาวของร่างกาย

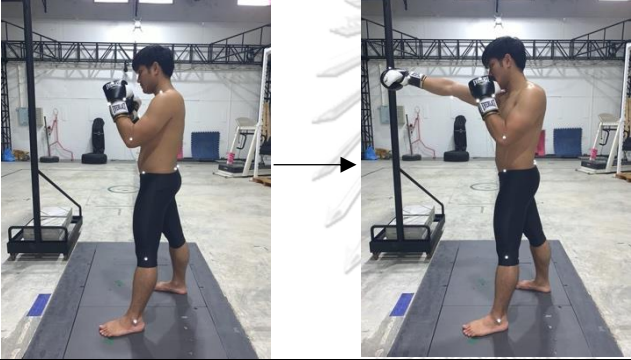
เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
1. การวัดความยาวของแขน (Total arm length) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Glenohumeral joint ไปยังตำแหน่ง Ulna styloid	4	1	0	0.8
2. การวัดความยาวของขา (Total leg length) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Greater trochanter ไปยังตำแหน่ง Medial malleolus	4	1	0	0.8
3. การวัดความกว้างของช่วงไหล่ (Shoulder width) โดยทำการวัดระยะจากตำแหน่ง Acromio-clavicular joint ข้างซ้าย ไปยัง Acromio-clavicular joint ข้างขวา	5	0	0	1.0

ตารางที่ 3 แบบประเมินคุณภาพ IOC ของการวัดค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงในนักมวย

เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
1. การวัดค่าความเร็วของหมัดตรง (Straight punch velocity; $V_p$ ) โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของนวมชกข้างขวา* ณ จุดที่หมัดกระทบเป้า บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	4	1	0	0.8
2. การวัดค่าแรงชกหมัดตรงสูงสุด (Maximal straight punch velocity; $F_p$ ) โดยใช้ค่าความเร่งที่จุดศูนย์กลางของเป้าชกสูงสุดหลังจากที่หมัดกระทบเป้า บันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์วัดความเร่งที่ฝังไว้ที่จุดศูนย์กลางของเป้าชก จากนั้นนำค่าความเร่งที่ได้มาคำนวณหาแรงชกโดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน	5	0	0	1.0

\* การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักมวยสากลสมัครเล่นที่ถนัดขวา

ตารางที่ 3 (ต่อ) แบบประเมินคุณภาพ IOC ของการวัดค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงในนักมวย

เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
<p>3. การวัดระยะการเคลื่อนที่ของไหล่ (Shoulder displacement; <math>D_s</math>) โดยคำนวณจากระยะการเคลื่อนที่ของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Acromioclavicular joint บริเวณไหล่ข้างขวา ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก ดังรูป** บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว</p> 	5	0	0	1.0
<p>4. การวัดระยะการเคลื่อนที่ของศอก (Elbow displacement; <math>D_E</math>) โดยคำนวณจากระยะการเคลื่อนที่ของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral epicondyle บริเวณศอกข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว</p>	5	0	0	1.0
<p>5. การวัดค่าความเร็วสูงสุดของข้อมือ (Maximal wrist velocity; <math>V_w</math>) โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บริเวณข้อมือทางด้านนิ้วก้อยข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว</p>	5	0	0	1.0

\* การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักมวยสากลสมัครเล่นที่ถนัดขวา

\*\* รูปภาพในข้อ 3. ใช้แสดงระยะการพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชกในข้อ 4.-10

ตารางที่ 3 (ต่อ) แบบประเมินคุณภาพ IOC ของการวัดค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรง  
ในนักมวย

เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
6. การวัดค่าความเร็วสูงสุดของศอก (Maximal elbow velocity; $V_E$ ) โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral epicondyle บริเวณศอกข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	5	0	0	1.0
7. การวัดค่าความเร็วสูงสุดของไหล่ (Maximal shoulder velocity; $V_S$ ) โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Acromio-clavicular joint บริเวณไหล่ข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	5	0	0	1.0
8. การวัดค่าความเร็วสูงสุดของสะโพก (Maximal hip velocity; $V_H$ ) โดยคำนวณจากความเร็วของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Anterior superior iliac spine (ASIS) บริเวณสะโพกข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	5	0	0	1.0
9. การวัดค่าความเร็วสูงสุดของเข่า (Maximal knee velocity; $V_K$ ) โดยคำนวณจากความเร็วสูงสุดของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่บน Flexion-extension axis ของเข่าข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	5	0	0	1.0

\* การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักมวยสากลสมัครเล่นที่ถนัดขวา







ตารางที่ 3 (ต่อ) แบบประเมินคุณภาพ IOC ของการวัดค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการชกหมัดตรงในนักมวย




เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
10. การวัดค่าความเร็วสูงสุดของข้อเท้า (Maximal ankle velocity; $V_A$ ) โดยคำนวณจากความเร็วสูงสุดของมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่ติดอยู่ตรงตำแหน่ง Lateral malleolus บริเวณข้อเท้าข้างขวา* ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่นักกีฬาเริ่มออกหมัดตรงจนกระทั่งหมัดกระทบกับเป้าชก บันทึกข้อมูลด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	5	0	0	1.0
11. การวัดค่ามุมระหว่างแนวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor; $\gamma$ ) คำนวณโดยใช้หลักการหมุนแบบ Euler ที่เป็นการหมุนตามลำดับของแกน X, Y และ Z โดยระบุพิกัดด้วยระบบ Segment Coordinate Systems (SCS) ของส่วนลำตัวและสะโพก และพิจารณาค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ระหว่าง SCS ของส่วนลำตัวและสะโพก เป็นค่า X-factor โดยจะใช้การเขียนฟังก์ชันการคำนวณในโปรแกรม MATLAB R2019a	5	0	0	1.0
12. การวัดค่าความเร็วของการบิดลำตัว (Trunk rotation velocity; $\omega_T$ ) คำนวณโดยพิจารณา SCS ของส่วนลำตัวที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยจะใช้การเขียนฟังก์ชันการคำนวณในโปรแกรม MATLAB R2019a	5	0	0	1.0
13. การวัดค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับเท้าข้างขวาและซ้าย (Left and right foots ground reaction force; $GRF_L$ and $GRF_R$ ) โดยเริ่มทำการบันทึกข้อมูลด้วยแผ่นวัดแรงตั้งแต่นักกีฬาเริ่มชกหมัดจนกระทั่งหมัดกระทบเป้า	5	0	0	1.0

\* การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลการชกหมัดตรงจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักมวยสากลสมัครเล่นที่ถนัดขวา

ตารางที่ 4 แบบประเมินคุณภาพ IOC ของท่าอบอุ่นร่างกายก่อนทำการทดสอบการชกหมัดตรง  
และท่าผ่อนคลายหลังการทดสอบการชกหมัดตรง

เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
<b>การอบอุ่นร่างกาย</b>				
1. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและขาด้วยท่า Lunges with unilateral trunk rotation ทำข้างละ 4 ครั้ง สลับซ้าย-ขวา ค้างไว้ครั้งละ 10 วินาที ดังรูป	5	0	0	1.0
				
2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและขาด้วยท่า Lunges with unilateral trunk rotation ทำทั้งหมด 4 เซต ๆ ละ 8 ครั้ง ดังรูป	5	0	0	1.0
				
3. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อบริเวณไหล่และขาด้วยท่า Static elbow extension with unilateral knee flexion ทำทั้งหมด 3 เซต ๆ ละ 10 ครั้ง ดังรูป	5	0	0	1.0
				
4. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อบริเวณสะโพกและขาด้วยท่า Hip abduction ทำทั้งหมด 3 เซต ๆ ละ 10 ครั้ง ดังรูป	5	0	0	1.0
				

ตารางที่ 4 (ต่อ) แบบประเมินคุณภาพ IOC ของท่าอบอุ่นร่างกายก่อนทำการทดสอบการชกหมัดตรง  
และท่าผ่อนคลายหลังการทดสอบการชกหมัดตรง

เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
<b>การผ่อนคลาย</b>				
5. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและสะโพกด้วยท่า Frontal scorpion ทำทั้งหมดข้างละ 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที ดังรูป 	5	0	0	1.0
6. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและสะโพกด้วยท่า Spinal extension for the abdomen and hip flexors ทำทั้งหมด 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที ดังรูป 	5	0	0	1.0
7. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังและสะโพกด้วยท่า Backward roll for the cervical and lumbar spine ทำทั้งหมด 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที ดังรูป 	5	0	0	1.0

**ตารางที่ 4 (ต่อ) แบบประเมินคุณภาพ IOC ของท่าอบอุ่นร่างกายก่อนทำการทดสอบการชกหมัดตรง และท่าผ่อนคลายหลังการทดสอบการชกหมัดตรง**

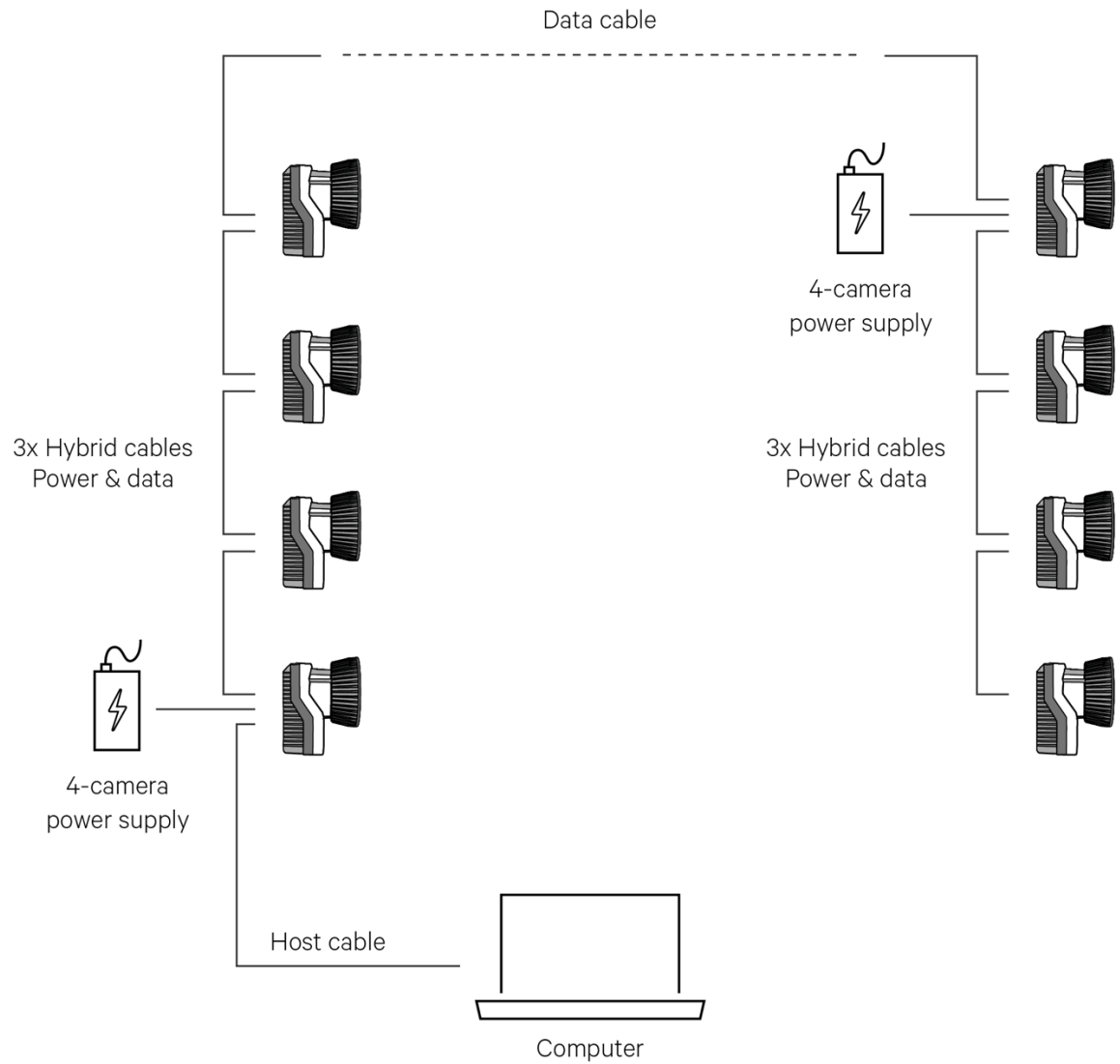
เนื้อหา	ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	+1	0	-1	
8. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังและสะโพกด้วยท่า Lateral base for the gluteus and lumbar spine ทำทั้งหมด 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที ดังรูป 	5	0	0	1.0

ค่าดัชนีรวมทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.9

**ความคิดเห็นเพิ่มเติมและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ**

1. เพิ่มเติมการวัดความกว้างของสะโพก (Hip width)
2. การวัดความยาวของขา (Total leg length) สามารถวัดระยะจากตำแหน่ง Greater trochanter ไปยังตำแหน่ง Lateral malleolus ได้เช่นเดียวกัน
3. การวัดความยาวของแขน (Total arm length) ให้ระบุตำแหน่งอ้างอิงของ Glenohumeral joint ให้ชัดเจน
4. เพิ่มเติมการติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงบนเป้าชก เพื่อจะทำให้ทราบได้ว่าหมัดกระทบกับเป้าชกเวลาใด
5. เพิ่มเติมการแบ่งช่วงของการชกให้ชัดเจน เพื่อจะทำให้สามารถระบุได้ว่าระยะการเคลื่อนที่ และความเร็วสูงสุดของชกต่อจะพิจารณาในช่วงใด
6. เพิ่มเติมท่าอบอุ่นร่างกายแบบ Dynamic warm-up

ภาคผนวก ง  
การเชื่อมต่อระบบกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว



รูปที่ 50 การเชื่อมต่อระบบกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว จำนวน 8 ตัว

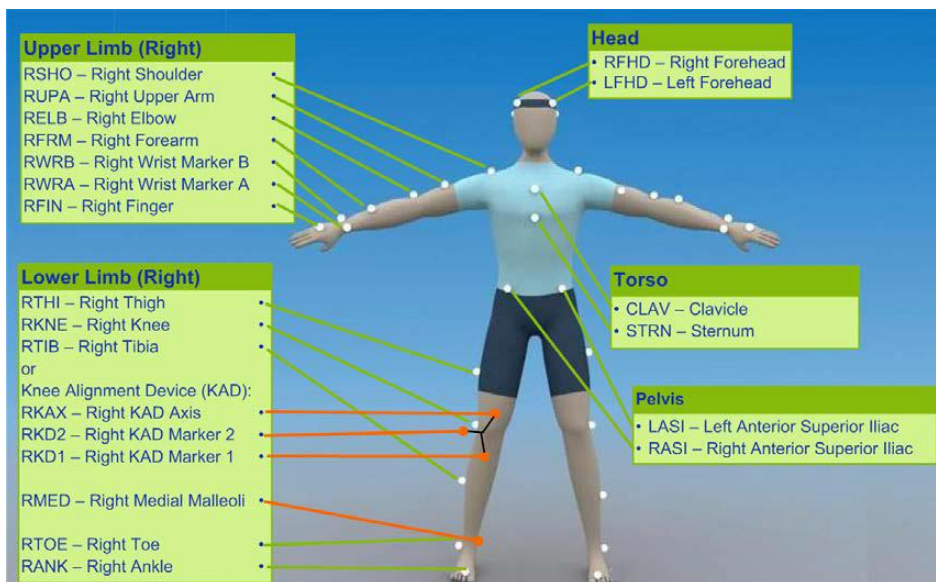
ยี่ห้อ Qualisys ผลิตจากประเทศสวีเดน

ที่มา : (QualisysAB, 2017)

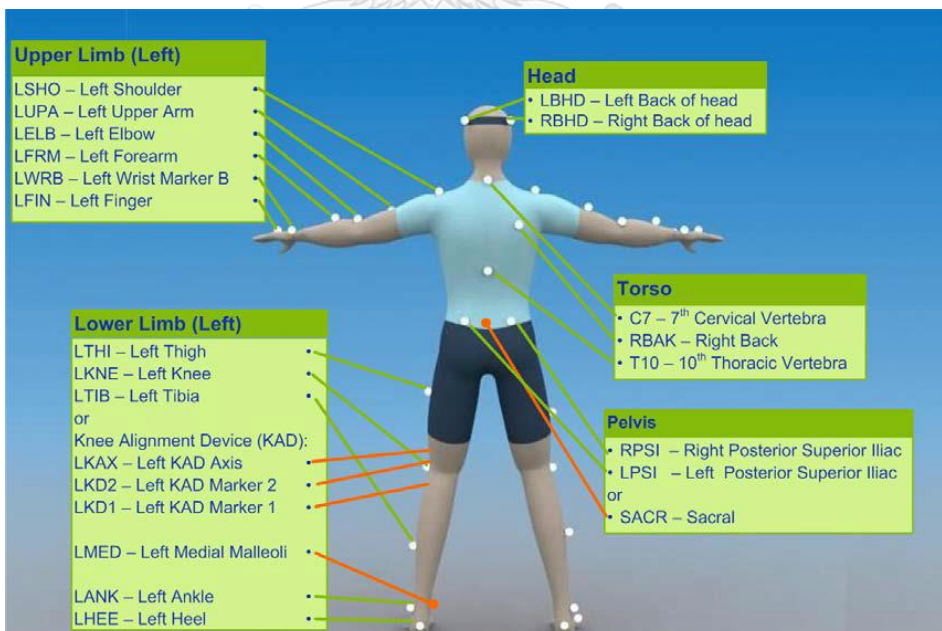
## ภาคผนวก จ

### ตำแหน่งติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงแบบ Plug-in Gait

#### Marker placement for Plug-in Gait full body model



รูปที่ 51 ตำแหน่งติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงแบบ Plug-in Gait บนร่างกายซีกขวา  
ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)



รูปที่ 52 ตำแหน่งติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงแบบ Plug-in Gait บนร่างกายซีกซ้าย  
ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)

### Marker placement for Plug-in Gait lower body model

ตารางที่ 33 Pelvis marker placement

Marker label	Definition	Position on patient
SACR	Sacral	On the skin mid-way between the posterior superior iliac spines (PSIS) and positioned to lie in the plane formed by the ASIS and PSIS points.
LASI	Left ASIS	Left anterior superior iliac spine
RASI	Right ASIS	Right anterior superior iliac spine
LPSI	Left PSIS	Left posterior superior iliac spine (immediately below the sacro-iliac joints, at the point where the spine joins the pelvis) This marker is used with the RPSI marker as an alternative to the single SACR marker.
RPSI	Right PSIS	Right posterior superior iliac spine (immediately below the sacro-iliac joints, at the point where the spine joins the pelvis) This marker is used with the LPSI marker as an alternative to the single SACR marker.

ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)(Vicon Motion Systems, 2016)

**ตารางที่ 34** Lower limb marker placement

Marker label	Definition	Position on patient
<b>Left lower limb markers</b>		
LTHI	Left thigh	Over the lower lateral 1/3 surface of the left thigh
LKNE	Left knee	On the flexion-extension axis of the left knee
LTIB	Left tibia	Over the lower 1/3 surface of the left shank
LANK	Left ankle	On the lateral malleolus along an imaginary line that passes through the transmalleolar axis
LHEE	Left heel	On the calcaneus at the same height above the plantar surface of the foot as the toe marker
LTOE	Left toe	Over the second metatarsal head, on the mid-foot side of the equinus break between fore-foot and mid-foot
<b>Right lower limb markers</b>		
RTHI	Right thigh	Over the upper lateral 1/3 surface of the right thigh
RKNE	Right knee	On the flexion-extension axis of the right knee.
RTIB	Right tibia	Over the upper 1/3 surface of the right shank
RANK	Right ankle	On the lateral malleolus along an imaginary line that passes through the transmalleolar axis



**ตารางที่ 35** Lower limb marker placement (ต่อ)

Marker label	Definition	Position on patient
RHEE	Right heel	On the calcaneous at the same height above the plantar surface of the foot as the toe marker
RTOE	Right toe	Over the second metatarsal head, on the mid-foot side of the equinus break between fore-foot and mid-foot

ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)

**Marker placement for Plug-in Gait upper body model**

**ตารางที่ 36** Head markers

Marker label	Definition	Position on patient
LFHD	Left front head	Left temple
RFHD	Right front head	Right temple
LBHD	Left back head	Left back of head (defines the transverse plane of the head, together with the frontal markers)
RBHD	Right back head	Right back of head (defines the transverse plane of the head, together with the frontal markers)

ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)

**ตารางที่ 37** Torso markers

Marker label	Definition	Position on patient
C7	7 <sup>th</sup> cervical vertebra	On the spinous process of the 7th cervical vertebra
T10	10 <sup>th</sup> thoracic vertebra	On the spinous process of the 10th thoracic vertebra
CLAV	Clavicle	On the jugular notch where the clavicles meet the sternum
STRN	Sternum	On the xiphoid process of the sternum
RBAK	Right back	Anywhere over the right scapula (This marker has no equivalent marker on the left side. This asymmetry helps the autolabeling routine determine right from left on the subject. Placement is not critical as it is not included in the Plug-in Gait model calculations.)

ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)

**ตารางที่ 38** Upper limb markers

Marker label	Definition	Position on patient
<b>Left upper limb markers</b>		
LSHO	Left shoulder	On the acromio-clavicular joint
*LUPA	Left upper arm	On the upper lateral 1/3 surface of the left arm (Place asymmetrically with RUPA)
LELB	Left elbow	On the lateral epicondyle
*LFRM	Left forearm	On the lower lateral 1/3 surface of the left forearm (Place asymmetrically with RFRM)
LWRA	Left wrist marker A	At the thumb side of a bar attached to a wristband on the posterior of the left wrist, as close to the wrist joint center as possible. Loose markers can be used but for better tracking of the axial rotations, a bar is recommended.
LWRB	Left wrist marker B	At the little finger side of a bar attached to a wristband on the posterior of the left wrist, as close to the wrist joint center as possible. Loose markers can be used but for better tracking of the axial rotations, a bar is recommended.
LFIN	Left finger	Just proximal to the middle knuckle on the left hand
<b>Right upper limb markers</b>		
RSHO	Right shoulder	On the acromio-clavicular joint

**ตารางที่ 39** Upper limb markers (ต่อ)

Marker label	Definition	Position on patient
*RUPA	Right upper arm	On the lower lateral 1/3 surface of the right arm (Place asymmetrically with LUPA)
RELB	Right elbow	On the lateral epicondyle approximating the elbow joint axis
*RFRM	Right forearm	On the lower lateral 1/3 surface of the right forearm (Place asymmetrically with LFRM)
<b>Right upper limb markers</b>		
RWRA	Right wrist marker A	At the thumb side of a bar attached symmetrically with a wristband on the posterior of the right wrist, as close to the wrist joint center as possible
RWRB	Right wrist marker B	At the little finger side of a bar attached symmetrically with a wristband on the posterior of the right wrist, as close to the wrist joint center as possible
RFIN	Right finger	Just below the middle knuckle on the right hand

ที่มา : (ViconMotionSystems, 2016)



รูปที่ 53 ตำแหน่งติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงบนนวมชก

## ภาคผนวก ฉ

## การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และการผ่อนคลาย (Cool down)

การอบอุ่นร่างกาย

กลุ่มตัวอย่างอบอุ่นร่างกายก่อนทำการทดสอบ ด้วยวิธียืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเกร็งค้าง (Static stretching) และแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) (Costa, Medeiros, & Fukuda, 2011)

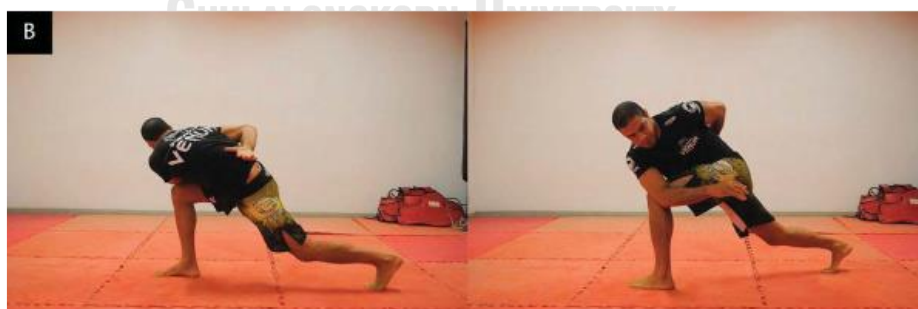
1. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและขาด้วยท่า Lunges with unilateral trunk rotation โดยทำข้างละ 4 ครั้ง สลับซ้าย-ขวา ค้างไว้ครั้งละ 10 วินาที (ดังรูปที่ 36)



รูปที่ 54 ท่า Lunges with unilateral trunk rotation

ที่มา : (Costa et al., 2011)

2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและขาด้วยท่า Lunges with unilateral trunk rotation โดยทำทั้งหมด 4 เซต ๆ ละ 8 ครั้ง (ดังรูปที่ 37)



รูปที่ 55 ท่า Lunges with unilateral trunk rotation

ที่มา : (Costa et al., 2011)

3. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อข้อศอกด้วยท่า Static elbow extension with unilateral knee flexion โดยทำทั้งหมด 3 เซต ๆ ละ 10 ครั้ง (ดังรูปที่ 38)



รูปที่ 56 ท่า Static elbow extension with unilateral knee flexion  
ที่มา : (Costa et al., 2011)

4. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อบริเวณสะโพกและขาด้วยท่า Hip abduction โดยทำทั้งหมด 3 เซต ๆ ละ 10 ครั้ง (ดังรูปที่ 39)



รูปที่ 57 ท่า Hip abduction  
ที่มา : (Costa et al., 2011)

### การผ่อนคลาย

กลุ่มตัวอย่างผ่อนคลายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเก็บข้อมูล ด้วยวิธียืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเกร็งค้าง (Static stretching) (Costa et al., 2011)

1. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและสะโพกด้วยท่า Frontal scorpion โดยทำทั้งหมดข้างละ 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที (ดังรูปที่ 40)



รูปที่ 58 ท่า Hip abduction

ที่มา : (Costa et al., 2011)

2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและสะโพกด้วยท่า Spinal extension for the abdomen and hip flexors โดยทำทั้งหมด 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที (ดังรูปที่ 41)



รูปที่ 59 ท่า Spinal extension for the abdomen and hip flexors

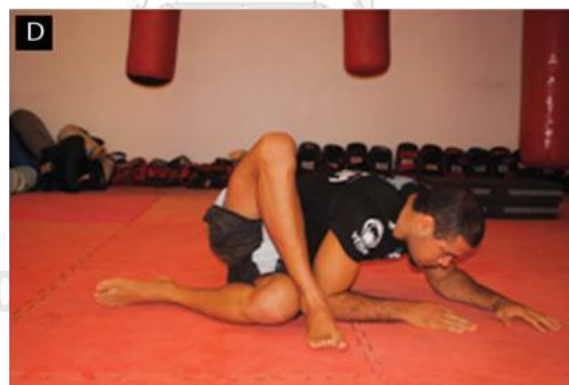
ที่มา : (Costa et al., 2011)

3. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังและสะโพกด้วยท่า Backward roll for the cervical and lumbar spine โดยทำทั้งหมด 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที (ดังรูปที่ 42)



รูปที่ 60 ท่า Backward roll for the cervical and lumbar spine  
ที่มา : (Costa et al., 2011)

4. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังและสะโพกด้วยท่า Lateral base for the gluteus and lumbar spine โดยทำทั้งหมด 2 ครั้ง ค้างไว้ครั้งละ 30 วินาที (ดังรูปที่ 43)



รูปที่ 61 ท่า Lateral base for the gluteus and lumbar spine  
ที่มา : (Costa et al., 2011)



## ภาคผนวก ข

## ชุดคำสั่งโปรแกรม MATLAB

## ชุดคำสั่งที่ 1 การปรับโครงสร้างของข้อมูล (Normalization) ด้วยวิธี Ensemble average

```

% Normalization Data
for f=1:100
F1=((f)*SIZE)/100;
VF1=interp1(1:SIZE,acrRV,F1);
ARV(f,:)=VF1;
VF2=interp1(1:SIZE,elRV,F1);
ELV(f,:)=VF2;
VF3=interp1(1:SIZE,wrRV,F1);
WRV(f,:)=VF3;
VF4=interp1(1:SIZE,fhRV,F1);
FHRV(f,:)=VF4;
VF5=interp1(1:SIZE,asisRV,F1);
ASRV(f,:)=VF5;
VF9=interp1(1:SIZE,kneeRV,F1);
KNRV(f,:)=VF9;
VF10=interp1(1:SIZE,ankleRV,F1);
ANRV(f,:)=VF10;
VF11=interp1(1:SIZE,forceR,F1);
FR(f,:)=VF11;
VF12=interp1(1:SIZE,forceL,F1);
FL(f,:)=VF12;
VF13=interp1(1:SIZE,acrRP,F1);
ARPX(f,:)=VF13;
VF14=interp1(1:SIZE,acryRP,F1);
ARPY(f,:)=VF14;
VF15=interp1(1:SIZE,acrRP,F1);
ARPZ(f,:)=VF15;
VF16=interp1(1:SIZE,acrLP,F1);
ALPX(f,:)=VF16;
VF17=interp1(1:SIZE,acryLP,F1);
ALPY(f,:)=VF17;
VF18=interp1(1:SIZE,acrLP,F1);
ALPZ(f,:)=VF18;
VF19=interp1(1:SIZE,asisRP,F1);
ASISRPX(f,:)=VF19;
VF20=interp1(1:SIZE,asisRP,F1);
ASISRPY(f,:)=VF20;
VF21=interp1(1:SIZE,asisRP,F1);
ASISRPZ(f,:)=VF21;
VF22=interp1(1:SIZE,asisLP,F1);
ASISLPX(f,:)=VF22;
VF23=interp1(1:SIZE,asisLP,F1);
ASISLPY(f,:)=VF23;
VF24=interp1(1:SIZE,asisLP,F1);
ASISLPZ(f,:)=VF24;
VF25=interp1(1:SIZE,psisRP,F1);
PSISRPX(f,:)=VF25;
VF26=interp1(1:SIZE,psisRP,F1);
PSISRPY(f,:)=VF26;
VF27=interp1(1:SIZE,psisRP,F1);
PSISRPZ(f,:)=VF27;
VF28=interp1(1:SIZE,psisLP,F1);

```

```

PSISLPX(f,:) = VF28;
VF29 = interp1(1:SIZE, psisyLP, F1);
PSISLPY(f,:) = VF29;
VF30 = interp1(1:SIZE, psiszLP, F1);
PSISLPZ(f,:) = VF30;

```

### ชุดคำสั่งที่ 2 คำนวณค่ามุม X-factor (ชื่อไฟล์: XF)

```

function [xf] = XF(asisL, asisR, psisL, psisR, acmL, acmR)
format short g
    % Create vector components for SCS Thorax
    acmC = 0.5 * (acmR + acmL);
    asisC = 0.5 * (asisR + asisL);
    amasL = acmL - asisC;
    amasR = acmR - asisC;
    [m, n] = size(asisL);
    for a = 1:m
        amasL = [(acmL(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(acmL(a,:) - asisC(a,:)))]';
        amasR = [(acmR(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(acmR(a,:) - asisC(a,:)))]';
        tZz = [(acmC(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(acmC(a,:) - asisC(a,:)))]';
        tYy = cross(amasL, amasR, 2);
        tXx = cross(tYy, tZz);
        tX(a,:) = tXx;
        tY(a,:) = tYy;
        tZ(a,:) = tZz;
    end
    % Create vector components for SCS Thorax
    asisC = 0.5 * (asisR + asisL);
    psisC = 0.5 * (psisR + psisL);
    % Create SCS Pelvis
    for a = 1:m
        pXx = [(asisR(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(asisR(a,:) - asisC(a,:)))]';
        pYy = [(asisC(a,:) - psisC(a,:)) / (norm(asisC(a,:) - psisC(a,:)))]';
        pZz = cross(pXx(1,:), pYy(1,:), 2);
        pX(a,:) = pXx;
        pY(a,:) = pYy;
        pZ(a,:) = pZz;
    end
    % X-factor calculation
    for i = 1:m
        P = [pX(i,:), pY(i,:), pZ(i,:)]';
        T = [tX(i,:), tY(i,:), tZ(i,:)]';
        R = P \ T;
        Z = atan2(R(1,2), R(1,1)) * 180 / pi;
        xf(i,:) = Z;
    end
end

```

### ชุดคำสั่งที่ 3 คำนวณความเร็วการหมุนสะโพก (ชื่อไฟล์: hipV)

```

function [Vh] = hipV(asisL, asisR, psisL, psisR, acmL, acmR)
    % Create vector components for SCS Pelvis
    asisC = 0.5 * (asisR + asisL);
    psisC = 0.5 * (psisR + psisL);
    % Create SCS Pelvis
    [m, n] = size(asisL);
    for a = 1:m
        pXx = [(asisR(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(asisR(a,:) - asisC(a,:)))]';
        pYy = [(asisC(a,:) - psisC(a,:)) / (norm(asisC(a,:) - psisC(a,:)))]';
        pZz = cross(pXx(1,:), pYy(1,:), 2);
    end

```

```

    pX(a,:) = pXx;
    pY(a,:) = pYy;
    pZ(a,:) = pZz;
end
                                % global coordinate
Pg = [1 0 0
      0 1 0
      0 0 1];

                                % Create Rotation matrix Pelvis
[m,n] = size(asisL);
for i = 1:m
    P = [pX(1,:); pY(1,:); pZ(1,:)]';
    P2 = [pX(i,:); pY(i,:); pZ(i,:)]';
    R = P \ P2;
    Z = atan2(R(1,2), R(1,1)) * 180 / pi;
    ZZ(i,:) = Z;
end
                                % Pelvis rotation velocity calculation
[Q,q] = size(ZZ);
for ii = 1:Q-1
    tt = ZZ(ii+1,1) - ZZ(ii,1);
    ZVt = tt * 300;
    Vhi(ii,:) = ZVt * -1;
end
type = 'linear';
windowSize = 20;
Vh = movavg(Vhi, type, windowSize);

```

#### ชุดคำสั่งที่ 4 คำนวณความเร็วการหมุนลำตัว (ชื่อไฟล์: trunkV)

```

function [Vt] = trunkV(asisL, asisR, psisL, psisR, acmL, acmR)
                                % Create vector components for SCS Thorax
acmC = 0.5 * (acmR + acmL);
asisC = 0.5 * (asisR + asisL);
amasL = acmL - asisC;
amasR = acmR - asisC;

                                % Create SCS Pelvis
[m,n] = size(acmL);
for a = 1:m
    amasL = [(acmL(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(acmL(a,:) - asisC(a,:)))]';
    amasR = [(acmR(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(acmR(a,:) - asisC(a,:)))]';
    tZz = [(acmC(a,:) - asisC(a,:)) / (norm(acmC(a,:) - asisC(a,:)))]';
    tYy = cross(amasL, amasR, 2);
    tXx = cross(tYy, tZz);
    tX(a,:) = tXx;
    tY(a,:) = tYy;
    tZ(a,:) = tZz;
end
                                % global coordinate
Tg = [1 0 0
      0 1 0
      0 0 1];

                                % Create Rotation matrix Thorax
[m,n] = size(asisL);
for i = 1:m
    T = [tX(1,:); tY(1,:); tZ(1,:)]';
    T2 = [tX(i,:); tY(i,:); tZ(i,:)]';

```

```
R=T\T2;  
Z=atan2(R(1,2),R(1,1))*180/pi; %Zangle  
ZZ(i,:)=Z;  
end  
% Thorax rotation velocity calculation  
[Q,q]=size(ZZ);  
for ii=1:Q-1  
tt=ZZ(ii+1,1)-ZZ(ii,1);  
ZTt=tt*300;  
VTi(ii,:)=ZTt*-1;  
end  
type = 'linear';  
windowSize = 20;  
Vt = movavg(VTi,type>windowSize);
```



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายภูซงค์ ศรีเพียงจันทร์
วัน เดือน ปี เกิด	9 ตุลาคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและ การออกกำลังกาย
ที่อยู่ปัจจุบัน	1/465 ซอยปลุกจิตต์ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
ผลงานตีพิมพ์	ไม่มี
รางวัลที่ได้รับ	ไม่มี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY