

การศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิตในนักกีฬาโยมนาสติกส์ลีลา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF KINEMATIC VARIABLES OF SIDE SCALE WITH SPLIT POSE IN RHYTHMIC
GYMNASTS

Miss Manatsanan Chaiteerapattarapong



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

Common Course

FACULTY OF SPORTS SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต ในนักกีฬาโยนิมาตติกลีลา
โดย	น.ส.มนัสนันท์ ชัยธีระภัทรพงศ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.นงนภัส เจริญพานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.เบญจพล เบญจพลากร

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.นงนภัส เจริญพานิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

..... กรรมการ
(ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์)

มนัสนันท์ ชัยธีระภัทรพงศ์ : การศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิตในนักกีฬายิมนาสติกลีลา. (A STUDY OF KINEMATIC VARIABLES OF SIDE SCALE WITH SPLIT POSE IN RHYTHMIC GYMNASTS) อ.ที่
 ปริญญาหลัก : ดร.นงนภัส เจริญพานิช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.เบญจพล เบญจพลาการ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิตที่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬายิมนาสติกลีลา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬายิมนาสติกลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี จำนวน 12 คน ทำการเก็บข้อมูลทางคิเนมาติกส์โดยใช้กล้องอินฟราเรดและกล้องวิดีโอความเร็วสูงจำนวน 8 ตัว และ 1 ตัวตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนร่างกาย จำนวน 8 จุด เพื่อวัดความเร็วและความเร่งเชิงมุมลำตัวเทียบกับแกน XY มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และมุมข้อสะโพก และความเร็วและความเร่งเชิงเส้นของลำตัว ต้นขา และขาส่วนปลาย ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยท่าไซด์สเกลวิธสปลิตจำนวน 10 ครั้ง ค้างท่าละ 1 วินาที โดยพักระหว่างครั้ง 1 นาที จากนั้นทำการคัดเลือกข้อมูลครั้งที่ผ่านเกณฑ์ คือสามารถยกขาขึ้นขนานกับแกน YZ ในช่วง 0 ± 5 องศา และสามารถเอนตัวลงขนานกับแกน XY ในช่วง 0 ± 5 องศา จำนวน 20 ข้อมูล ส่วนข้อมูลครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คือไม่สามารถยกขาและเอนตัวไปถึงแกน YZ และ XY โดยคัดเลือกข้อมูลครั้งที่ยกขาไม่ถึงแกน YZ โดยทำมุมห่างจากแกน YZ มากที่สุด จำนวน 20 ข้อมูล ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างกลุ่ม ด้วย การวิเคราะห์ค่าที (Dependent t-test) โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ผลการวิจัยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการเปรียบเทียบระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ของความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของมุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และความเร็วเชิงมุมสูงสุดของมุมข้อสะโพก ความแตกต่างของความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยและความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของต้นขาและขาส่วนปลาย นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของต้นขา เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุดของลำตัว และพบความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในช่วงที่ 1 ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วและความเร่งเชิงมุมและเชิงเส้นของลำตัว รวมทั้งเวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุด

สรุปผลการวิจัย การท่าไซด์สเกลวิธสปลิตที่ผ่านเกณฑ์ทำการเคลื่อนไหว โดยมีความเร่งช่วงแรกของการเคลื่อนไหว เพื่อเพิ่มความเร่งในการยกขา หลังจากนั้นจะชะลอความเร็วของการยกขาลงร่วมกับการเอียงตัวไปทางด้านข้างเพื่อสร้างสมดุลในการทรงท่า ดังนั้นเพื่อให้สามารถท่าไซด์สเกลวิธสปลิตให้ผ่านเกณฑ์ได้นั้น นักกีฬาควรมีความแข็งแรง และกำลังของกล้ามเนื้อขาเพื่อสามารถยกขาได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วงต้นของการยกขา ประกอบกับความยืดหยุ่นและการทำงานประสานสัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อส่วนอื่นเพื่อให้สามารถทรงท่าได้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความเร็วเชิงมุมและเชิงเส้นของข้อสะโพกเป็นตัวแปรสำคัญในการท่าไซด์สเกลวิธสปลิต ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการฝึกสำหรับนักกีฬายิมนาสติกลีลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6178312539 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE

KEYWORD: Rhythmic gymnastics, Side scale with split pose, Kinematic

Manatsanan Chaiteerapattarapong : A STUDY OF KINEMATIC VARIABLES OF SIDE SCALE WITH SPLIT POSE IN RHYTHMIC GYMNASTS. Advisor: Nongnapas Charoenpanich, Ph.D. Co-advisor: BENJAPOL BENJAPALAKORN, Ph.D.

The purpose of this study was to examine the kinematic variables of perfect side scale with split in rhythmic gymnasts. Twelve female rhythmic gymnasts, aged between 15-25 years as the participants. Eight high-speed infrared-based and video based cameras were used to collect the kinematics variables. Eight retro reflective markers were placed on body of each participant to find angular velocity and acceleration of trunk angle with XY axis, leg angle with YZ axis and hip angle and linear velocity and acceleration of trunk, thigh, shank. Each participant was allowed 10 times of side scale with split, hold on 1 second and rest between repetition 1 minute. Twenty complete motions, which could raise the leg to be parallel to the YZ axis in 0 ± 5 degree and side bended the trunk to be parallel to the XY axis in 0 ± 5 degree. On the other hand, the incomplete motions, which could not raise leg and side bended the trunk down to XY and YZ axis respectively. Twenty incomplete motions, which raised the leg in maximum angle with YZ axis were analyzed. Compared mean and standard deviation between groups with dependent t-test, with a significant different at p-value < .05.

The results showed significant different between complete and incomplete motions of average angular velocity of leg angle compared with YZ axis and maximum angular velocity of hip angle, average and maximum linear velocity of thigh and leg. Moreover, there were significant different of average linear acceleration of thigh, time to peak of trunk acceleration and movement time of the preparation phase. In addition, there was no significant different in linear velocity, linear acceleration, angular velocity and angular acceleration of trunk and time to peak velocity between complete and incomplete motions.

In conclusion, these findings demonstrated that the complete of side scale with split pose should raise the leg with acceleration to increase the velocity in initial phase of movement, after that the velocity of leg movement should decrease along with side bending of trunk to keep the posture balance. Therefore, the gymnasts should have strength and power of leg muscle, especially in initial movement of leg raising. Accompany with muscle flexibility and coordination with muscles in other parts for posing in side scale with split. Thus, it can be said that the angular and linear velocity of hip was the important factors to do side scale with split pose, and the coaches and athletes should apply to develop the training program for rhythmic gymnasts.

Field of Study: Sports and Exercise Science

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอบรมสั่งสอน และการแนะนำทางด้านการเรียน ผู้วิจัยตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้เมตตาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ และให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อน ๆ พี่ ๆ แขนงวิชาการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬาและแขนงอื่น ๆ สำหรับการสนับสนุนช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่าง ๆ และกำลังใจ รวมทั้งขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่าน ที่ได้สละเวลาและให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ตลอดจนญาติพี่น้อง ที่ได้อบรมสั่งสอน ชี้นำแนวทางการดำเนินชีวิต รวมทั้งให้คำปรึกษา และกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มนัสนันท์ ชัยธีระภัทรพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
คำถามในการวิจัย	4
สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
คำจำกัดความของการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
1. กีฬายิมนาสติกลีลา.....	8
2. ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics).....	12
3. การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Human Postural Analysis).....	21
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ	32
กรอบแนวคิดในการวิจัย	42

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	44
กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	44
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	45
ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	46
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	51
ตอนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทาง สถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง	52
ตอนที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล ทางด้านสัดส่วนของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง	53
ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวและขาในไซด์ สเกลวิธสปลิต	54
ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางคิเนมาติกส์ เชิงมุมของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต	55
ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางคิเนมาติกส์ เชิงเส้นตรงของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต	57
ตอนที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในเคลื่อนไหว	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	64
ผลการวิจัย.....	65
อภิปรายผลการวิจัย.....	66
สรุปผลการวิจัย.....	70
ข้อจำกัดของการวิจัย	71
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	76

ภาคผนวก ก	การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง	77
ภาคผนวก ข	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	78
ภาคผนวก ค	ตำแหน่งการวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว.....	79
ภาคผนวก ง	ตำแหน่งสำหรับติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนข้อต่อของร่างกาย	80
ภาคผนวก จ	แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย	82
ภาคผนวก ฉ	ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split).....	83
ภาคผนวก ช	เกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต.....	85
ภาคผนวก ซ	การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Warm up).....	87
ภาคผนวก ฌ	การคลายอุ่นร่างกาย (Cool down).....	98
ภาคผนวก ฎ	ขั้นตอนการทำ Calibration โปรแกรม Qualisys Track Manager.....	101
ภาคผนวก ฏ	ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ.....	104
ภาคผนวก ฐ	สูตรคำนวณ	107
ภาคผนวก ฑ	วัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry).....	108
ภาคผนวก ท	แบบฟอร์มข้อมูลสัดส่วนร่างกาย.....	113
ภาคผนวก ฒ	แบบฟอร์มเกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต.....	114
ภาคผนวก ณ	ใบรับรองโครงการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน	115
ประวัติผู้เขียน.....		117

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง (n=12).....	52
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเส้นรอบวงของรยางค์ (เช่นติเมตร) (n=12)	53
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรยางค์ของกลุ่มตัวอย่าง (เช่นติเมตร) (n=12)	53
ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมของการเคลื่อนไหวของ ลำตัวและขาในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตรหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (องศา) (n=20)	54
ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเชิงมุมและเวลาใน การเคลื่อนไหว (n=20).....	55
ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งเชิงมุมและเวลาใน การเคลื่อนไหว (n=20).....	56
ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเชิงเส้นและเวลาใน การเคลื่อนไหว (n=20).....	57
ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งเชิงเส้นและเวลาใน การเคลื่อนไหว (n=20).....	58
ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในเคลื่อนไหว ระหว่าง ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (วินาที) (n=20).....	59

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split)	9
รูปที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนท่าไซด์สเกลวิธสปลิต	9
รูปที่ 3 ตัวอย่างระยะทางการกระจัด (เส้นทึบ) และระยะทาง (เส้นบาง)	17
รูปที่ 4 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหว	19
รูปที่ 5 Simple Marker Set	23
รูปที่ 6 การติดมาร์กเกอร์แบบ Vaughan Marker Set	24
รูปที่ 7 ชุดมาร์กเกอร์แบบ Helen Hayes Marker Set	25
รูปที่ 8 การติดมาร์กเกอร์แบบ uOttawa Marker Set	25
รูปที่ 9 กรอบแนวคิดในการวิจัย	43
รูปที่ 10 ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง	47
รูปที่ 11 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	50
รูปที่ 12 การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง	77
รูปที่ 13 กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys motion capture system)	78
รูปที่ 14 เครื่องหมายสะท้อนแสง (Retro reflective marker)	78
รูปที่ 15 โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Track Manager	78
รูปที่ 16 ตำแหน่งการวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว	79
รูปที่ 17 ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง	81
รูปที่ 18 แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย	82
รูปที่ 19 เกณฑ์การให้คะแนนท่าไซด์สเกลวิธสปลิต	83
รูปที่ 20 ช่วงขึ้นท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Preparation phase)	83
รูปที่ 21 ช่วงค้ำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Balance phase)	84

รูปที่ 22 ช่วงสิ้นสุดท่าไจด์สเกลวิรสปลิต (Landing phase)	84
รูปที่ 23 การเปรียบเทียบมุมของขากับแกน YZ ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B)...	85
รูปที่ 24 การเปรียบเทียบมุมของลำตัวกับแกน XY ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B)	86
รูปที่ 25 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มสะโพก.....	87
รูปที่ 26 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก	87
รูปที่ 27 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มสะโพกด้านใน	88
รูปที่ 28 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอขา	88
รูปที่ 29 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดขา.....	89
รูปที่ 30 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง	89
รูปที่ 31 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน	90
รูปที่ 32 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก	90
รูปที่ 33 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง	91
รูปที่ 34 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง	91
รูปที่ 35 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าขา.....	92
รูปที่ 36 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าขา.....	92
รูปที่ 37 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านในและกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก.....	93
รูปที่ 38 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านในและกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก.....	93
รูปที่ 39 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน	94
รูปที่ 40 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง	94
รูปที่ 41 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง	95
รูปที่ 42 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง	95
รูปที่ 43 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง	96
รูปที่ 44 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง	96

รูปที่ 45 ยึดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก	97
รูปที่ 46 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้าง	98
รูปที่ 47 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า.....	98
รูปที่ 48 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า.....	99
รูปที่ 49 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง	99
รูปที่ 50 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง	100
รูปที่ 51 การยึดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง	100
รูปที่ 52 ขั้นตอนการ Calibration	101
รูปที่ 53 ขั้นตอนการ Calibration	102
รูปที่ 54 ขั้นตอนการ Calibration	103
รูปที่ 55 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาลำตัว	104
รูปที่ 56 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาสะโพก.....	105
รูปที่ 57 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาเข่า.....	105
รูปที่ 58 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาความเร็วและความเร่งเชิงเส้น	106
รูปที่ 59 การวัดรอบต้นแขน	108
รูปที่ 60 การวัดรอบปลายแขน.....	108
รูปที่ 61 การวัดรอบข้อมือ.....	109
รูปที่ 62 การวัดรอบต้นขา.....	109
รูปที่ 63 การวัดรอบน่อง	110
รูปที่ 64 การวัดรอบเอว	110
รูปที่ 65 การวัดความยาวของขา	111
รูปที่ 66 การวัดความยาวของแขน	111
รูปที่ 67 การวัดความยาวของแขนทั้ง 2 ข้าง	112
รูปที่ 68 แบบฟอร์มข้อมูลสัดส่วนร่างกาย	113

รูปที่ 69 เกณฑ์การตัดสินทำไซด์สเกลวิธสปลิต 114



สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 กราฟเส้นแสดงความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน XY ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน XY ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน YZ ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (C) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน YZ ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (D) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน YZ ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (E) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน YZ ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (F) ของการเคลื่อนไหวในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตขณะเริ่มยกขาขึ้นพร้อมเอียงตัวจนกระทั่งยกขาขึ้นสูงสุด (100% ของช่วงการเคลื่อนไหว).....	60
แผนภูมิที่ 2 กราฟเส้นแสดงความเร็วเชิงเส้นของลำตัวครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) ความเร็วเชิงเส้นของลำตัวครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B) แสดงความเร็วเชิงเส้นของต้นขาครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (C) ความเร็วเชิงเส้นของต้นขาครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (D) ความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลายครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (E) ความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลายครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (F) ของการเคลื่อนไหวในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตขณะเริ่มยกขาขึ้นพร้อมเอียงตัวจนกระทั่งยกขาขึ้นสูงสุด (100% ของช่วงการเคลื่อนไหว).....	61
แผนภูมิที่ 3 กราฟเส้นแสดงความแตกต่างของตัวแปรความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน XY (A) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน YZ (B) ความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน YZ (C) ระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ที่ดีที่สุดและไม่ผ่านเกณฑ์ที่มีมุมการเคลื่อนไหวที่น้อยที่สุด.....	62
แผนภูมิที่ 4 กราฟเส้นแสดงความแตกต่างของตัวแปรความเร็วเชิงเส้นของลำตัว (A) ความเร็วเชิงเส้นของต้นขา (B) ความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลาย (C) ระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ที่ดีที่สุดและไม่ผ่านเกณฑ์ที่มีมุมการเคลื่อนไหวที่น้อยที่สุด.....	63

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬายิมนาสติกลีลา (Rhythmic Gymnastics) จัดเป็นกีฬาสาขากลหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในหลายประเทศทั่วโลก ดังจะเห็นได้จากการที่กีฬายิมนาสติกลีลาได้ถูกบรรจุให้มีการแข่งขันในมหกรรมกีฬาต่าง ๆ ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ อาทิ เช่น ซีเกมส์ เอเชียนเกมส์ โอลิมปิก และชิงแชมป์โลก สำหรับในประเทศไทยได้มีการบรรจุกีฬายิมนาสติกลีลาเป็นหนึ่งในชนิดกีฬาที่ทำการแข่งขันในกีฬาแห่งชาติ รวมทั้งเยาวชนแห่งชาติ เป็นต้น โดยกีฬายิมนาสติกลีลาเป็นกีฬาที่อาศัยความอ่อนตัว ใช้ทักษะการเคลื่อนไหวร่างกายด้วยเทคนิคขั้นสูงและการแสดงท่าทางในรูปแบบต่าง ๆ ประกอบดนตรีและอุปกรณ์ 5 ชนิด คือ เชือก (Rope) ห่วง (Hoop) บอล (Ball) คทา (Club) และริบบิ้น (Ribbon) (ทักษิณันท์ แก้วทิพยเนตร, 2555) ซึ่งในการแสดงท่าชุดอุปกรณ์แต่ละครั้งในประเภทบุคคล (Individual Exercise) นักกีฬาจะแสดงท่าชุดอุปกรณ์ 1 ชุด ประกอบดนตรีตั้งแต่เวลา 1.15-1.30 นาที และประเภททีม (Group Exercise) มีนักกีฬาจำนวน 5 คน แสดงท่าชุดอุปกรณ์ 1 หรือ 2 ชุด ประกอบดนตรีภายในระยะเวลา 2.15-2.30 นาที ตามระเบียบที่สหพันธ์ยิมนาสติกนานาชาติหรือ The International Gymnastics Federation (FIG) ได้กำหนดไว้ การเลือกท่าทักษะจะต้องคำนึงถึงคะแนนของท่าชุด โดยประกอบด้วย 3 กลุ่มท่า ได้แก่ กลุ่มท่าการกระโดด (Jump) กลุ่มท่าการหมุนตัว (Pivot) และกลุ่มท่าการทรงตัว (Balance) มีคะแนนท่าทักษะสูงสุดตั้งแต่ 0.5 เป็นต้นไป (FIG, 2018) การเลือกกลุ่มท่าที่มีคะแนนสูงเหล่านี้มาประกอบในท่าชุดของการแสดงจะส่งผลต่อคะแนนรวม ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ความสมบูรณ์ และความผิดพลาดจากการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก ปี 2012 พบว่าท่าแบ็คสเกลวิธสปลิต (Back scale with split) เป็นท่าที่นักกีฬายิมนาสติกลีลานิยมเลือกนำมาใช้มากที่สุด และยังเป็นท่าที่มีคะแนนสูงสุดในกลุ่มท่าการทรงตัวอยู่ที่ 0.8 คะแนน ตามด้วยท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) และท่าฟรอนท์สเกลวิธแบ็คสปลิต (Front scale with back split) มีคะแนนอยู่ที่ 0.6 คะแนน (Agopyan, 2014) โดยปัจจุบันสหพันธ์ยิมนาสติกนานาชาติได้ปรับคะแนนทั้ง 3 ท่า ให้มีคะแนนอยู่ที่ 0.5 คะแนน ซึ่งท่าเหล่านี้ยังคงเป็นท่าที่มีคะแนนสูงสุดในกลุ่มท่าการทรงตัว (FIG, 2018) แต่ในการเลือกท่ามีข้อจำกัดคือ ท่าที่จะนำมาใช้ในการแสดง นักกีฬายิมนาสติกจะสามารถนำมาประกอบการแสดงได้เพียงหนึ่งครั้งต่อรอบการแข่งขันเท่านั้น

สำหรับนักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทยพบว่าในช่วงที่ผ่านมา นักกีฬาจะเลือกท่าทักษะที่มีคะแนนค่อนข้างต่ำมาประกอบเป็นท่าชุดในการแสดง เช่น การแข่งขันกีฬาเอเชียนเกมส์ ปี 2018 ณ

ประเทศอินโดนีเซีย นักกีฬายิมนาสติกลีลาจากประเทศคาซัคสถาน ทำคะแนนเป็นอันดับ 1 โดยมีคะแนนท่ายากร่างกายเฉลี่ยรวมสี่อุปกรณ์ (ห่วง บอล คทา และริบบิ้น) อยู่ที่ 4.7 คะแนน ในขณะที่นักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทย ทำคะแนนเป็นอันดับที่ 19 มีคะแนนท่ายากร่างกายเฉลี่ยรวมสี่อุปกรณ์อยู่ที่ 3.0 คะแนน เช่นเดียวกับการแข่งขันกีฬายิมนาสติกลีลาชิงแชมป์เอเชีย ปี 2019 ณ ประเทศไทย นักกีฬายิมนาสติกลีลาจากประเทศอุซเบกิสถาน ทำคะแนนเป็นอันดับที่ 1 โดยมีคะแนนท่ายากร่างกายและท่ายากอุปกรณ์เฉลี่ยรวมสี่อุปกรณ์อยู่ที่ 10.425 คะแนน ในขณะที่นักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทย ซึ่งทำคะแนนเป็นอันดับที่ 22 มีคะแนนท่ายากร่างกายและท่ายากอุปกรณ์เฉลี่ยรวมสี่อุปกรณ์อยู่ที่ 6.950 คะแนน ซึ่งจากผลการแข่งขันในรายการต่าง ๆ ที่ผ่านมาจึงสามารถสรุปได้ว่านักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทยเลือกใช้ท่าที่มีคะแนนของท่ายากร่างกายและท่ายากอุปกรณ์น้อย ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยรวมสี่อุปกรณ์น้อยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้หนึ่งในท่าทักษะที่นักกีฬายิมนาสติกทีมชาติไทยไม่นิยมนำเข้ามาประกอบเป็นท่าชุดในการแสดงคือท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) ซึ่งท่าดังกล่าวเป็นหนึ่งในกลุ่มท่าการทรงตัวที่มีคะแนนสูงสุดในปัจจุบันอยู่ที่ 0.5 คะแนน (FIG, 2018) เนื่องจากเป็นท่าที่มีความยาก มีเทคนิค และรายละเอียดค่อนข้างมาก รวมทั้งผู้ฝึกสอนขาดข้อมูลความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต จึงส่งผลให้นักกีฬายิมนาสติกทีมชาติไทยเลือกแสดงท้านั้นน้อยกว่าทำอื่น (สมาคมยิมนาสติกแห่งประเทศไทย, 2563) ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเลือกแสดงแล้ว นักกีฬาส่วนใหญ่ไม่สามารถแสดงท่าได้สมบูรณ์ตามเกณฑ์กติกาของสหพันธ์ยิมนาสติกนานาชาติ จึงเป็นสาเหตุให้นักกีฬายิมนาสติกทีมชาติไทยหลีกเลี่ยงที่จะนำท่าทักษะไซด์สเกลวิธสปลิตเข้ามาเป็นท่าชุดในการแสดง ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) ที่ผ่านเกณฑ์ขาจะต้องเปิดกว้าง 180 ± 5 องศา อยู่ในท่าเข่าเหยียด ปลายเท้าเหยียด ลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างอยู่ที่ 90 ± 5 องศา และต้องทรงตัวค้างไว้ในท่าแขยงปลายเท้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วินาที (FIG, 2018) อย่างไรก็ตามการแสดงท่าดังกล่าวนั้นแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงขึ้นท่า (Preparation phase) ช่วงค้างท่า (Balance phase) และช่วงสิ้นสุดท่า (Landing phase) (Sousa & Lebre, 1996) แม้ช่วงการให้คะแนนจะอยู่ในช่วงค้างท่าซึ่งต้องอาศัยความสามารถในการทรงตรงตัวเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม จะพบว่าช่วงขึ้นท่าเป็นช่วงที่ส่งแรงเพื่อให้ร่างกายอยู่ในท่าที่สมดุลได้ จึงจะสามารถค้างท่าเพื่อแสดงได้อย่างสมบูรณ์แบบตามเกณฑ์ ดังนั้นการศึกษาถึงรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมต่อการขึ้นท่าเพื่อจัดทำทางให้สวยงามและเข้าสู่สมดุลในช่วงค้างท่าได้ดี จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อคะแนนการแสดงท่าทักษะเป็นอย่างมาก นักกีฬายิมนาสติกจึงต้องมีสมรรถภาพทางกายที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนไหวเพื่อส่งแรงในการขึ้นท่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความคล่องแคล่ว การทรงตัว และการทำงานประสานกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Agostini et al., 2017)

จากการศึกษาของโคลแล็กซ์โควสกีและซาญา (Kolaczowski & Sayah, 2015) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของทักษะแบ็คเวิร์ดแฮนด์สปริง (Backward handspring) ในนักกีฬายิมนาสติกศิลป์จำนวน 5 คน และอโครบาติกจำนวน 5 คน โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำท่าแบ็คเวิร์ดแฮนด์สปริง (Backward handspring) 3 ครั้ง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงร่างกาย และมีการเหยียดข้อไหล่ ข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้าในจังหวะต้นพื้น จึงส่งผลให้ความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกเพิ่มมากขึ้นเพื่อเปลี่ยนจากพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ ส่วนการศึกษาของซิคเคลลา (Cicchella, 2009) ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่ากระโดดรูปแบบต่าง ๆ ในนักกีฬายิมนาสติกศิลป์ โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำการกระโดด 4 รูปแบบ คือ แกรนด์เจตเต้ (Grand jete), คอแซ็กจัมพ์ (Kosak jump), คอแซ็กจัมพ์วิธ ฮาฟเทิร์น (Kosak jump with half turn) และ เทรินสคิสเซอร์จัมพ์ (Turn scissor jump) พบว่าการกระโดดในแต่ละรูปแบบมีลักษณะการเคลื่อนไหว การควบคุมร่างกายที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อการสร้างแรงเฉื่อยของร่างกายส่วนล่างในจังหวะการลอยตัว ท่ากระโดดที่มีแรงเฉื่อยของมวลและความเร็วของระยะการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์ถ่วงร่างกายที่ส่งผลให้มีเวลาในการลอยตัวได้นานมากที่สุด คือ ท่าคอแซ็กจัมพ์ (Kosak jump) นอกจากนี้ในการศึกษาของซุซาร์และเลเบล (Sousa & Lebre, 1996) ทำการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย (COM) ในท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) และท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) ในนักกีฬายิมนาสติกศิลป์ โดยทำการวิเคราะห์ช่วงการเคลื่อนไหว 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงส่งตัว, ค้างท่า และช่วงลงสู่พื้น พบว่าท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ดีกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) เพราะท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) มีเทคนิคและรายละเอียดที่ค่อนข้างมาก และจากการศึกษาของเซงและคณะ (Cheng et al., 2011) ทำการวิเคราะห์มุมขณะทำท่าริงเชปลีป (Ring-shape leap) และท่าแบ็คเวิร์ดบาลานซ์ (Backward balance) ในนักกีฬายิมนาสติกศิลป์ โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำท่าริงเชปลีป (Ring-shape leap) และท่าแบ็คเวิร์ดบาลานซ์ (Backward balance) ท่าละ 2 ครั้ง พบว่าการทำมุมของข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพกของนักกีฬา B ที่น้อยกว่านักกีฬา A ทำให้การเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างช้าและไม่ถูกต้องส่งผลต่อความสูงและระยะเวลาในการลอยตัวที่ไม่สมบูรณ์ และท่าแบ็คเวิร์ดบาลานซ์ (Backward balance) นักกีฬา B มีเวลาในการทรงตัว 0.18 วินาที ส่วนนักกีฬา A มีเวลาในการทรงตัว 0.28 วินาที ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวของมุมร่างกายส่วนล่างที่ไม่ถึงระดับมาตรฐานทำให้การจัดระเบียบร่างกายไม่อยู่ในแนวเส้นตรงที่สมบูรณ์ จึงแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเคลื่อนไหวหรือข้อมูลทางคิเนมาติกส์เป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงรูปแบบการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ มีการแสดงให้เห็นภาพชัดเจน ใช้ในการพัฒนารูปแบบการเคลื่อนไหวได้

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าได้มีการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของท่าทางต่าง ๆ ในนักกีฬาโยมนาสติก เพื่อพัฒนาการแสดงท่าต่าง ๆ ให้สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ และมีท่าทางที่สวยงาม ซึ่งผลการวิเคราะห์ท่าแสดงทักษะในนักกีฬาโยมนาสติกลีลาสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนารูปแบบการเคลื่อนไหวให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบการศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตในนักกีฬาโยมนาสติกลีลาแม้ว่าจะเป็นการแสดงทักษะที่มีระดับคะแนนสูงเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ ได้แก่ ความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่เชิงมุมและเชิงเส้นของท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬาโยมนาสติกลีลา รุ่นประชาชน ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานทำให้ทราบถึงองค์ประกอบทางด้านชีวกลศาสตร์ เพื่ออธิบายให้กับผู้ฝึกสอนและนักกีฬาได้เข้าใจพื้นฐานและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกฝนและแสดงท่าทักษะไฮด์สเกลวิธสปลิตให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬาโยมนาสติกลีลา

คำถามในการวิจัย

ตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของการท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ของนักกีฬาโยมนาสติกลีลา มีความแตกต่างกันอย่างไร

สมมุติฐานของการวิจัย

การทำท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ของนักกีฬาโยมนาสติกลีลา มีค่าตัวแปรทางคิเนมาติกส์แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักกีฬาโยมนาสติกลีลา

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬาโยมนาสติกลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี จำนวน 12 คน

ขอบเขตด้านเนื้อหา

ตัวแปรต้น คือ การท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์

ตัวแปรตาม คือ ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของลำตัวและขา ได้แก่ ความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่เชิงมุมและเชิงเส้น

ขอบเขตด้านสถานที่

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูลคือ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 1 เดือน

คำจำกัดความของการวิจัย

กีฬายิมนาสติกลีลา (Rhythmic Gymnastics) หมายถึง กีฬายิมนาสติกลีลาเป็นกีฬาที่เกี่ยวข้องกับการแสดงท่าทางความสวยงาม อาศัยปัจจัยสำคัญทางด้านสมรรถภาพทางกายของนักกีฬายิมนาสติก ได้แก่ ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความคล่องแคล่ว การทรงตัว ความสง่างาม ตลอดจนการทำงานที่เหมาะสมของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬายิมนาสติกลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี จำนวน 12 คน

ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) หมายถึง ท่าที่อยู่ในกลุ่มการทรงตัว ซึ่งเป็นกลุ่มท่าที่มีคะแนนมากที่สุดคือ 0.5 คะแนน โดยท่าไซด์สเกลวิธสปลิตมีลักษณะของขาจะต้องอยู่ในท่าเข้าและปลายเท้าเหยียด

- ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ หมายถึง ขาเปิดกว้างมากกว่า 180 องศา (180 ± 5 องศา) ลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างอยู่ที่ 90 องศา (90 ± 5 องศา) และต้องทรงตัวค้างไว้ในท่าเขย่งปลายเท้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วินาที

- ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หมายถึง ขาเปิดกว้างน้อยกว่า 175 องศา ลำตัวไม่ขนานพื้นในท่าตะแคงข้างหรือไม่ถึง 85 องศา และไม่สามารถทรงตัวค้างไว้ในท่าเขย่งปลายเท้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วินาที

ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ (Kinematics data) หมายถึง ข้อมูลของท่าทางการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยไม่คำนึงถึงแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวนั้น ๆ ในการศึกษาครั้งนี้จะอธิบายถึงตำแหน่งของร่างกายในการเคลื่อนที่เชิงเส้นและเชิงมุม

- การเคลื่อนที่เชิงเส้น หมายถึง การเคลื่อนที่โดยทุกส่วนของวัตถุหรือร่างกาย เดินทางไปเป็นระยะที่เท่ากัน และในเส้นทางเดียวกัน ซึ่งมีระยะเวลาที่เท่ากัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาความเร็วและความเร่งเชิงเส้นของลำตัว ต้นขา และขาส่ว่นปลาย

- การเคลื่อนที่เชิงมุม หมายถึง การเคลื่อนที่โดยวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนหรือเปลี่ยนตำแหน่งรอบ ๆ เส้นสมมุติในอากาศ ซึ่งวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนไปด้วยมุมที่เท่ากัน ทิศทางเดียวกัน และเวลาเท่ากัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาความเร็วและความเร่งเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน XY มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และมุมข้อสะโพก (มุมต้นขาเทียบกับลำตัว)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อได้ทราบผลวิเคราะห์ เปรียบเทียบ ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวีรพลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬาโยมนาสติกลีลา
2. ได้งานวิจัยที่เป็นฐานข้อมูลในการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวีรพลิตในนักกีฬาโยมนาสติกลีลา รวมทั้งเพื่อนำไปศึกษาต่อยอดและพัฒนาประสิทธิภาพของนักกีฬา
3. เป็นแนวทางให้ผู้สนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยและทดลองเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของไซด์สเกลวีรพลิตควบคู่ไปกับการฝึกเพื่อให้นักกีฬามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ โดยนำเสนอตามหัวข้อ

1. กีฬายิมนาสติกลีลา

- 1.1 กีฬายิมนาสติกลีลา (Rhythmic Gymnastics)
- 1.2 การทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split)
- 1.3 สมรรถภาพในกีฬายิมนาสติกลีลา (Physical Fitness in Rhythmic Gymnastics)

2. ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)

- 2.1 ความหมายของชีวกลศาสตร์
- 2.2 หลักการกลศาสตร์เบื้องต้น
- 2.3 การเคลื่อนที่ในทางชีวกลศาสตร์
- 2.4 การเคลื่อนที่เชิงเส้น เชิงมุม และวิถีโค้ง
- 2.5 ระนาบของร่างกาย
- 2.6 แกนของร่างกาย
- 2.7 รูปแบบการเคลื่อนไหว
- 2.8 การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์

3. การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Human Postural Analysis)

- 3.1 เทคนิคการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว
- 3.2 หลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว
- 3.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ

- 4.1 งานวิจัยในประเทศ
- 4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

1. กีฬายิมนาสติกลีลา

1.1 กีฬายิมนาสติกลีลา (Rhythmic Gymnastics)

กีฬายิมนาสติกลีลาเป็นกีฬาที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภททีม (Group Exercise) และประเภทบุคคล (Individual Exercise) โดยทั้ง 2 ประเภทนี้จะมีการเล่นที่เหมือนกัน ซึ่งนักกีฬาจะต้องมีท่าชุดทั้งหมด 4 ท่าชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการแข่งขันจะเปลี่ยนไปตามที่กติกาที่กำหนดในแต่ละปี อุปกรณ์ทั้งหมด ประกอบด้วย เชือก, ห่วง, บอล, คทา และริบบิ้น ในแต่ละท่าชุดนักกีฬามีเวลาในการแสดงท่าชุดประกอบเพลงท่าชุดในประเภทบุคคล (Individual Exercise) ใช้เวลา 1.30 นาที และในประเภททีม (Group Exercise) ใช้เวลา 2.30 นาที โดยในท่าชุดแข่งขันทั้ง 2 ประเภท จะต้องประกอบด้วยท่ายาก (Difficulties components) ได้แก่ ท่าทักษะหรือท่ายากร่างกาย (Body difficulty; D), การเต้นประกอบเพลง (Dance step; S), ท่าทักษะอุปกรณ์พร้อมหมุนตัว (Dynamic element with rotation; R) และท่ายากอุปกรณ์ (Apparatus difficulty; AD) ทั้งหมดนี้ผู้ฝึกสอนสามารถเลือกทำที่นักกีฬาสามารถแสดงได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้คะแนนอย่างสมบูรณ์

กีฬายิมนาสติกลีลาจะมีเกณฑ์การให้คะแนนโดยแบ่งเป็น 2 ฐาน ได้แก่ ท่าทักษะหรือท่ายากต่าง ๆ (Difficulty; D) และการหักคะแนนความผิดพลาด (Execution; E) ซึ่งท่าทักษะหรือท่ายากต่าง ๆ จะมีคะแนนที่กำหนดตามกติกาของสหพันธ์ยิมนาสติกโลก แต่การที่จะได้คะแนนนั้นนักกีฬาจะต้องมีท่าที่สมบูรณ์หรือใกล้เคียงที่กติกากำหนดมากที่สุด เพราะถ้าหากนักกีฬาทำท่าทำได้ไม่สมบูรณ์หรือใกล้เคียงที่กติกากำหนด ก็จะส่งผลให้กรรมการในฐานะท่าทักษะหรือท่ายากต่าง ๆ ไม่พิจารณาค่าท่า และกรรมการฐานการหักคะแนนความผิดพลาด มีการหักคะแนนในส่วนของความไม่สมบูรณ์ของท่า เช่น ขาไม่ถึงตามที่กติกากำหนด ขางอ ลำตัวไม่ถึงเกณฑ์ ใช้ระยะเวลาในการเตรียมตัวในท่านั้นเป็นเวลานาน เป็นต้น ซึ่งการหักคะแนนเหล่านี้สามารถส่งผลถึงคะแนนรวมและผลการแข่งขัน (FIG, 2018)

1.2 การทำท่าไซด์สเกลวิสปลิต (Side scale with split)

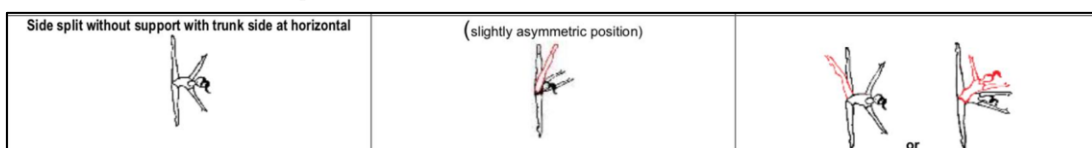
ท่าไซด์สเกลวิสปลิต (Side scale with split) เป็นหนึ่งในกลุ่มท่าทักษะการทรงตัว และเป็นท่าการทรงตัวที่มีคะแนนสูงที่สุดในกติกาของสหพันธ์ยิมนาสติกโลก โดยคะแนนของท่าไซด์สเกลวิสปลิต (Side scale with split) จะอยู่ที่ 0.5 ท่าไซด์สเกลวิสปลิต (Side scale with split) นั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระดับนานาชาติ (รูปที่ 1) ซึ่งท่าไซด์สเกลวิสปลิต (Side scale with split) ต้องอาศัยการทำงานส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย อาทิเช่น การทรงตัว การรักษาสมดุล มุมความเร็วความเร่ง ความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม วิธีของการเคลื่อนไหวความเร็วเชิงมุม ลำดับการใช้ร่างกายของร่างกายในการทำท่า เป็นต้น



รูปที่ 1 ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split)
ที่มา : (European Games in Baku on June 21, 2015)

หมายเหตุ: ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) มีลักษณะประกอบด้วย ขาจะต้องเปิดกว้าง มากกว่า 180 องศา อยู่ในท่าเข้าเหยียด ปลายเท้าเหยียด ลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างอยู่ที่ 90 องศา และต้องทรงตัวค้างไว้ในท่าเขย่งปลายเท้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนท่าไซด์สเกลวิธสปลิต
ที่มา: (The International Gymnastics Federation; (FIG, 2018))

1.3 สมรรถภาพในกีฬายิมนาสติกลีลา (Physical Fitness in Rhythmic Gymnastics)

การเล่นยิมนาสติกลีลาจะต้องอาศัยประสิทธิภาพทางกลไกการเคลื่อนไหว (Biomotor abilities) ประกอบด้วย ความอ่อนตัว ความแข็งแรง การประสานสัมพันธ์ในการเคลื่อนไหว ความคล่องแคล่ว ความอดทน และการทรงตัว (Douda et al., 2008) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.3.1 ความอ่อนตัว (Flexibility)

คือ ความสามารถในการทำงานของข้อต่อในร่างกายในทุก ๆ การเคลื่อนไหวด้วยระยะทางหรือมุมที่มากกว่าปกติโดยสามารถแบ่งความอ่อนตัวออกเป็น 3 ประเภท (ถาวร กมุทศรี, 2560) คือ

- ความอ่อนตัวแบบมีการเคลื่อนไหว (Dynamic Flexibility) เป็นความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของแขนหรือขาได้สุดมุม หรือระยะการเคลื่อนไหวที่เป็นธรรมชาติของข้อต่อส่วนนั้น

- ความอ่อนตัวแบบคงสภาพการเคลื่อนไหวด้วยแรงหดตัวของกล้ามเนื้อ (Static Active Flexibility) เป็นความอ่อนตัวที่เคลื่อนไหวด้วยตัวเองสู่ตำแหน่งที่ต้องการแล้วคงสภาพท่านั้นไว้ โดยการทำงานของกล้ามเนื้อที่หดตัวออกแรง (Agonist) ร่วมกับกล้ามเนื้อสนับสนุนการเคลื่อนไหว (Synergist) หดตัวออกแรงเกร็ง ณ ตำแหน่งนั้นแล้วกล้ามเนื้อตรงข้าม (Antagonist) จะคลายตัวหรือเหยียดออก

- ความอ่อนตัวแบบคงสภาพการเคลื่อนไหวด้วยเครื่องมือหรืออุปกรณ์ (Static Passive Flexibility) เป็นความอ่อนตัวที่เริ่มจากการเคลื่อนไหวไปสู่ตำแหน่ง หรือท่าทางที่ต้องการแล้วคงท่านั้นไว้โดยใช้อุปกรณ์รองรับ ณ ตำแหน่งนั้นเช่น รั้ว เก้าอี้ โต๊ะ โดยให้น้ำหนักตัวทิ้งแรงลงที่ข้อต่อที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อเป็นแรงกระทำให้เกิดการยืดเหยียดที่ข้อต่อนั้น ๆ

1.3.2 ความแข็งแรง (Strength)

คือความสามารถของกล้ามเนื้อที่หดตัวออกแรงด้วยความพยายามเอาชนะแรงต้านหรือความต้านทานที่มากกระทำต่อร่างกายโดยความแข็งแรงแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (ถาวร กมุทศรี, 2560) คือ

- ความแข็งแรงสูงสุด (Maximum Strength) คือความสามารถของกล้ามเนื้อที่หดตัวออกแรงแต่ละครั้งได้แรงมากที่สุด

- ความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น (Elastic Strength) คือความสามารถของกล้ามเนื้อหดตัวออกแรงเคลื่อนไหวกระทำกับแรงต้านได้อย่างรวดเร็วทำให้เกิดกำลัง (Power) ของกล้ามเนื้อ

- ความแข็งแรงอดทน (Strength Endurance) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่หดตัวออกแรงเพื่อเคลื่อนไหวร่างกายอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ในสภาวะที่มีความล้าโดยต้องออกแรงเกือบสูงสุดและต่อเนื่องเป็นเวลานานเพื่อปฏิบัติกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ

1.3.3 การประสานงานการเคลื่อนไหว (Coordination)

คือ ความสามารถในการปฏิบัติการเคลื่อนไหวที่ใช้ร่างกายหลายส่วนประกอบกันให้การปฏิบัติทักษะได้ผลตามต้องการด้วยจังหวะการเคลื่อนไหวที่เป็นไปตามลำดับแต่ละขั้นตอนของทักษะและในแต่ละส่วนของร่างกายอย่างสัมพันธ์กัน ทำให้การควบคุมร่างกายในการทำงาน

ตอบสนองการสั่งการของระบบประสาทอย่างมีประสิทธิภาพและสัมพันธ์กับการหดตัวของกล้ามเนื้อตลอดการเคลื่อนไหว (ถาวร กมุทศรี, 2560)

1.3.4 ความคล่องแคล่วว่องไว (Agility)

เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของร่างกายในระยะทางสั้น ๆ และมีการเปลี่ยนทิศทางด้วยความรวดเร็วโดยการเปลี่ยนทิศทางจะมีความสัมพันธ์กับความเร็ว (Speed) โดยตรง

การฝึกที่เน้นให้เกิดความเร็วส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนที่ในเชิงเส้นตรงด้วยระยะทางต่าง ๆ ตามเป้าหมาย แต่เมื่อใช้ความเร็วแล้วมีการปรับเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็วจะมีความคล่องแคล่วว่องไวเข้ามาเกี่ยวข้องในทันที ซึ่งในจังหวะเปลี่ยนทิศทางนั้นร่างกายจะไม่มีความเร็ว (ความเร็วเป็น 0) แต่อาศัยกำลังความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพื่อให้ร่างกายสามารถเปลี่ยนทิศทางแล้วเร่งความเร็วขึ้นมาเพื่อเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการอย่างรวดเร็วต่อไป (ถาวร กมุทศรี, 2560)

1.3.5 ความอดทน (Endurance)

คือ ความสามารถในการเคลื่อนไหวหรือปฏิบัติงานของร่างกายอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยอาศัยการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบกล้ามเนื้อที่ทำงานภายใต้อุปสรรคคือ เกิดอาการเมื่อยล้า (Fatigue) จากกล้ามเนื้อที่ออกแรงเกือบสูงสุดเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง หรือปฏิบัติซ้ำเป็นเวลานานโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (ถาวร กมุทศรี, 2560) คือ

- ความอดทนแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Endurance) เป็นการทำงานของกล้ามเนื้อหรือการเคลื่อนไหวที่ใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานขณะที่ร่างกายทำงานไม่หนักแต่ใช้ระยะเวลาต่อเนื่องเพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวขณะเล่นกีฬาได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการฝึกซ้อมหรือแข่งขัน

- ความอดทนแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Endurance) คือระบบพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อที่ร่างกายดึงออกมาใช้ได้อย่างรวดเร็วเมื่อต้องการใช้เป็นพลังงานในการออกแรงในเวลาสั้น ๆ และปฏิบัติซ้ำบ่อยครั้งในกิจกรรมเคลื่อนไหวของแต่ละชนิดกีฬา

1.3.6 การทรงตัว (Balance)

คือความสามารถในการควบคุมการทรงตัวของร่างกายทั้งในสภาวะอยู่นิ่งและในขณะที่มีการเคลื่อนไหว (ถาวร กมุทศรี, 2560) โดยการเริ่มต้นปฏิบัติทักษะนักกีฬาต้องจัดทำทางการเคลื่อนไหวร่างกายให้อยู่ในท่าที่มีความสมดุล เพื่อให้มีการทรงตัวที่ดีจึงจะทำให้จังหวะแรกในการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวร่างกายเข้าหาเป้าหมายทำได้อย่างรวดเร็ว ถ้าจังหวะแรกผิดพลาดจะทำให้การเคลื่อนไหวจังหวะต่อไปเกิดปัญหาตามมาทันทีและในขณะที่มีเคลื่อนไหวร่างกายต้องจัดทำท่าให้มีความสมดุลตลอดเวลา เพื่อให้การออกแรงขณะนั้นมีประสิทธิภาพดังนั้นการที่ร่างกายจะทรงตัวได้ทั้งในจังหวะอยู่กับที่และเคลื่อนไหว ต้องมีพื้นฐานความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสัมพันธ์ของ

การประสานงานความสัมพันธ์การเคลื่อนไหวที่จะทำให้ร่างกายเกิดการทรงตัวที่ดีมีความสมดุลตลอดเวลาโดยอยู่ภายใต้ความพร้อมของอวัยวะระบบโครงร่างคือกระดูกกล้ามเนื้อและระบบประสาทที่ทำงานตอบสนองอย่างสัมพันธ์กัน ทำให้การเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวในขณะปฏิบัติทักษะของแต่ละชนิดกีฬามีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)

2.1 ความหมายของชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)

วิทยาการที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและพัฒนาเทคนิคของนักกีฬา คือ ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต โดยการผสมผสานระหว่างการศึกษา ระบบร่างกาย ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาเรื่องอวัยวะต่าง ๆ (กายวิภาค) การทำงานที่สอดคล้องกันของอวัยวะ (สรีรวิทยา) และระบบการเคลื่อนไหวของวัตถุภายใต้แรง (กลศาสตร์) โดยมีจุดประสงค์เพื่อนักชีวกลศาสตร์มีความรู้และเข้าใจถึงหลักของแรงกับระบบการทำงานต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อนำความรู้ไปใช้ในการพัฒนาทักษะการกีฬา ป้องกันการบาดเจ็บ และพัฒนาอุปกรณ์ทางการกีฬาที่เหมาะสมได้ (ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2559) (นงนภัส เจริญพานิช, 2561) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1.1 การศึกษาในด้านของการเคลื่อนที่ แบ่งออกได้สองรูปแบบคือ

2.1.1.1 สถิตยศาสตร์ (Statics) คือ การศึกษาวัตถุที่ปราศจากความเร่งซึ่งมี 2 กรณีคือ เมื่อวัตถุอยู่นิ่งอยู่กับที่ หรือเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

2.1.1.2 จลนศาสตร์ (Dynamics) คือ การศึกษาวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งสามารถแยกย่อยได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

- คิเนเมติกส์ (Kinematics) คือ การศึกษาถึงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- คิเนติกส์ (Kinetics) คือ การศึกษาถึงแรงและสาเหตุการเคลื่อนที่

2.1.2 การศึกษาในด้านของวัตถุ เช่น ของแข็ง (Solid) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

2.1.2.1 วัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) คือ การศึกษาถึงวัตถุที่ยังไม่เปลี่ยนรูปทรงหรือรูปร่างภายใต้แรงที่มากระทำ

2.1.2.2 วัตถุที่เสีรูปร่างหรือรูปทรง (Deformable body) คือ การศึกษาเมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนรูปทรง รูปร่าง การเสีรูปร่างภายใต้แรงที่มากระทำ หรือของไหล (Fluid) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงการเคลื่อนที่สาเหตุและผลของการเคลื่อนที่ของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) เป็นต้น

2.2 หลักการกลศาสตร์เบื้องต้น 9 ประการในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์

คนูดสัน (Knudson, 2007) ได้สรุปหลักทางกลศาสตร์เบื้องต้นที่สัมพันธ์กับการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในการกีฬา 9 ประการ ได้ดังนี้

2.2.1 หลักการของแรงและการเคลื่อนที่ (Force-motion principle) เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุใด ๆ จะเปลี่ยนไปเมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์เกิดขึ้น เช่น ถ้าวัตถุกำลังอยู่นิ่งเมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์มากกระทำก็จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือเมื่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์มากกระทำก็จะทำให้การเคลื่อนที่เปลี่ยนไป เช่น ช้าลงหรือเร็วขึ้น

2.2.2 หลักการของแรงและเวลา (Force-time principle) กล่าวว่าระยะเวลาที่แรงกระทำต่อวัตถุใด ๆ จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น ๆ ในการวิเคราะห์ถึงหลักการของแรงและเวลา จะสัมพันธ์กับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันอย่างมาก เช่น การส่งผ่านแรงของนักโบว์ลิ่งต่อความเร็วของลูกโบว์ลิ่ง เมื่อนักโบว์ลิ่งใช้เวลาในการวาดวงโยนโบว์ลิ่งมากขึ้นความเร็วของลูกโบว์ลิ่งก็เพิ่มขึ้น

2.2.3 หลักการของระยะทางการเคลื่อนที่ (Range of motion principle) ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของวัตถุกับระยะทางการเคลื่อนที่ของร่างกายของมนุษย์ ซึ่งในการเคลื่อนที่ของร่างกายมีทั้งการเคลื่อนที่แบบการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular movement) การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear movement) หรือการเคลื่อนที่แบบผสมผสานซึ่งมีทั้งการเคลื่อนที่เชิงมุมและการเคลื่อนที่เชิงเส้นพร้อมกัน ซึ่งการเคลื่อนที่ของร่างกายแบบต่าง ๆ มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2.2.4 หลักการของความเฉื่อย (Inertia principle) คือการต่อต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน โดยปริมาณที่สำคัญในการวัดความเฉื่อย ได้แก่ มวล (Mass) ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงถึงการต่อต้านการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่เชิงเส้น วัตถุที่มีมวลมากจะต้องใช้แรงในการทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่มากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อยกว่า ในขณะที่โมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia) ก็เป็นปริมาณที่แสดงถึงความสามารถในการต่อต้านการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่เชิงมุมหรือการหมุน

2.2.5 หลักการของการรักษาสมดุล (Balance principle) คือ ความสามารถในการควบคุมการทรงตัวของมนุษย์ ผ่านการควบคุมตำแหน่งของร่างกาย วัตถุประสงค์ของการรักษาสมดุลของนักกีฬาจะแตกต่างกันไปตามชนิดกีฬา เช่น นักยิมนาสติกต้องการแสดงความสามารถในการรักษาสมดุล (จัดระเบียบร่างกาย) ในการแข่งขันคานทรงตัว ในขณะที่นักกีฬาว่ายน้ำที่ยืนอยู่บนแท่นออกตัวจะจัดระเบียบร่างกายที่มีเสถียรภาพน้อย เพื่อที่จะใช้เวลาน้อยที่สุดในการออกตัว เพื่อให้เพิ่มแรงส่งตัวและออกตัวได้เร็ว

2.2.6 หลักการของความต่อเนื่องในการประสานงาน (Coordination continue) ศึกษาถึงเวลาที่เหมาะสม (Optimal timing) ของการทำงานของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนที่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายให้มีความสัมพันธ์และต่อเนื่องกัน เช่น การเคลื่อนไหวที่ต้องการให้เกิดแรงสูงสุด เกิดจากกล้ามเนื้อหดตัวพร้อมกัน ในขณะที่การเคลื่อนที่ที่ต้องการความเร็วจะต้อง

อาศัยการเคลื่อนที่ของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเป็นลำดับก่อนหลัง (Sequential movement) ทั้งนี้ อาจพิจารณาถึงการตีลูกกอล์ฟด้วยหัวไม้ (Drive) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ความเร็วขณะไม้กระทบลูกที่สูงที่สุด จะเห็นได้ว่านักกอล์ฟจะมีการถ่ายแรงจากสะโพกก่อนที่จะมาถึงหัวไหล่ ข้อศอกและหัวไม้ตามลำดับ หากลำดับในการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป นักกอล์ฟก็จะไม่สามารถสร้างความเร็วที่สูงที่สุดได้ (Kenny et al., 2008)

2.2.7 หลักการส่งและถ่ายแรง (Segmental interaction) เกี่ยวกับการส่งผ่านและถ่ายแรงในวัตถุผ่านข้อต่อ เช่น บ่าถ่ายแรงผ่านเสาและคาน หลักการดังกล่าวสามารถเทียบได้กับการส่งผ่านและถ่ายแรงของกล้ามเนื้อและข้อต่อในการออกแรงของร่างกาย

2.2.8 หลักการการเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Optional projection) เป็นการศึกษาถึงมุมที่เหมาะสมที่สุดในการเคลื่อนที่วิถีโค้งต่อจุดมุ่งหมายที่ต้องการ เช่น มุมที่เหมาะสมในการพัตต์ลูกกอล์ฟให้ลงหลุมของนักกอล์ฟเป็นเท่าไร อีกทั้งเป็นการศึกษาถึงการเคลื่อนที่วิถีโค้งทั้งด้านระยะทางและเวลาอีกด้วย

2.2.9 หลักการของการหมุน (Spin) ศึกษาถึงการหมุนของวัตถุ เช่น การหมุนของลูกบอลทำให้ลูกบอลมีเสถียรภาพ (Stability) ที่ดีขึ้น เช่น การหมุนของลูกอเมริกันฟุตบอลเมื่อควอเตอร์แบ็กขว้างลูก หรือการยิงลูกโค้งของนักฟุตบอลคู่ต่อสู้จับทางลำบาก

2.3 การเคลื่อนที่ในทางชีวกลศาสตร์

การเคลื่อนที่ไหวสามารถอธิบายได้ 3 ลักษณะ (ภานุพงศ์ กาญจนกุล, 2554) ดังนี้

2.3.1 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Translation)

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเกิดขึ้นเมื่อวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนที่ โดยทุกส่วนของวัตถุหรือร่างกาย เคลื่อนที่ด้วยระยะทางเท่ากัน และในเส้นทางเดียวกันโดยมีระยะเวลาที่เท่ากัน การพิจารณาการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง พิจารณาจากการเคลื่อนที่ของเส้นตรงที่ลากผ่านวัตถุหรือร่างกายนั้น โดยถ้าในขณะที่เคลื่อนที่ เส้นตรงนี้คงระยะความยาวเท่าเดิม และขนานกับตำแหน่งแรกอยู่ การเคลื่อนที่นั้นก็ถือว่าเป็นแบบ Translation หรือแบบเส้นตรง

2.3.2 การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotation motion)

เป็นการที่วัตถุหรือร่างกายเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งรอบ ๆ เส้นสมมุติในอากาศ โดยวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนไปด้วยมุมที่เท่ากัน ทิศทางเดียวกัน และเวลาเท่ากัน เส้นสมมุติในอากาศนี้ อาจพาดผ่านวัตถุหรือร่างกาย เรียกว่า แกนหมุน (Axis of rotation) ซึ่งแกนของการหมุนจะตั้งฉากบนระนาบของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2.3.3 การเคลื่อนที่แบบผสมผสาน (General motion)

ในด้านเทคนิคเชิงกีฬาจะพบการเคลื่อนที่แบบผสมผสานมากที่สุด โดยประกอบด้วย การเคลื่อนที่แบบหมุนและการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง เช่น นักกีฬาปั่นจักรยาน ส่วนบนของร่างกายจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่แบบหมุนของส่วนขา

การผสมผสานการเคลื่อนที่แบบหมุนและเส้นตรง มักจะมีการผสมผสานอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น การเคลื่อนที่แบบหมุนหลาย ๆ อันเข้าด้วยกันในเวลาเดียวกัน เช่น การหมุนของส่วนขาของนักปั่นจักรยาน มีการหมุนอย่างน้อย 3 ส่วนพร้อมกัน ส่วนแรกคือการหมุนของต้นขาไปรอบ ๆ แกนที่ลากผ่านกระดูกข้อต่อสะโพก ส่วนที่สองคือขาหมุนรอบแกนที่ลากผ่านข้อเข่า และส่วนสุดท้ายคือการหมุนของเท้ารอบ ๆ แกนที่ลากผ่านข้อเท้า ดังนั้นจะเห็นว่าการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบผสมผสานของหลาย ๆ ส่วนอาจมีความซับซ้อนได้

2.4 การเคลื่อนที่เชิงเส้น เชิงมุม และวิถีโค้ง

การเคลื่อนที่เชิงเส้น เชิงมุม และวิถีโค้ง สามารถอธิบายรายละเอียดได้ (ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2559) ดังนี้

2.4.1 การเคลื่อนที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ คือ

2.4.1.1 การเคลื่อนที่แบบเส้นตรงเป็นการเคลื่อนที่ในแนวราบ

2.4.1.2 การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์เป็นการเคลื่อนที่ในแนวราบและแนวตั้ง

2.4.1.3 การเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งของการเคลื่อนที่เป็นลักษณะวงกลม

การเคลื่อนที่ทั้ง 3 ชนิดเป็นการเคลื่อนที่ที่พบกันอยู่โดยทั่วไปทั้งในลักษณะการเคลื่อนที่ประจำวันการออกกำลังกายรวมถึงการแข่งขัน

วัตถุประสงค์หลักในการศึกษาการเคลื่อนที่ เพื่อเข้าใจในหลักเกณฑ์การเคลื่อนที่และสามารถนำไปประยุกต์ ออกแบบ และวางแผนการแข่งขันที่ต้องใช้ความเร็ว รวมไปถึงเข้าใจในหลักการของการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ได้อย่างถูกต้อง เพื่อการพัฒนาผลการแข่งขันอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เมื่อนักกีฬาได้เรียนรู้เทคนิคใหม่ ๆ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะและรูปแบบการเคลื่อนที่ไหวจะสะท้อนให้เห็นถึงการเรียนรู้เทคนิคต่าง ๆ ของนักกีฬา

การศึกษการเคลื่อนที่สามารถทำได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ในการศึกษาเชิงคุณภาพผู้ทำการศึกษาจะสนใจเกี่ยวกับลักษณะท่าทางในการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกาย เช่น ในการเตะลูกฟุตบอลผู้ศึกษาอาจจะสนใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ไหวของข้อต่อต่าง ๆ เช่น การงอ (Flexion) ของสะโพก รวมไปถึงการยืดเหยียด (Extension) ของหัวเข่า ถ้าจะให้ละเอียดขึ้น ผู้ศึกษาอาจจะวิเคราะห์ถึงลำดับการเคลื่อนที่ไหว รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไหวโดยใช้กล้อง

ถ่ายภาพความเร็วสูง (High speed camera) ในการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาด หรือเพื่อปรับปรุงเทคนิคให้ดียิ่งขึ้น สำหรับการศึกษาเชิงปริมาณเป็นการศึกษาโดยมีตัวเลขมารองรับ เช่น ช่วงของการเคลื่อนที่ (Range of motion) หรือผลการแข่งขันกีฬา เช่น ระยะเวลาวิ่ง ระยะทางที่ขว้างในกรีฑาประเภทลาน เป็นต้น ซึ่งผลการแข่งขันหรือสถิติของนักกีฬาที่เป็นการศึกษาเชิงปริมาณย่อมสะท้อนถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่นักกีฬาได้พัฒนาขึ้นจากการฝึกซ้อมที่ได้มาจากการศึกษาเชิงคุณภาพ ดังนั้นโค้ชกีฬาจำเป็นต้องใช้การศึกษาทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณในการวิเคราะห์การฝึกซ้อมและการแข่งขันของนักกีฬาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬาและให้ได้ผลการแข่งขันที่ดียิ่งขึ้น

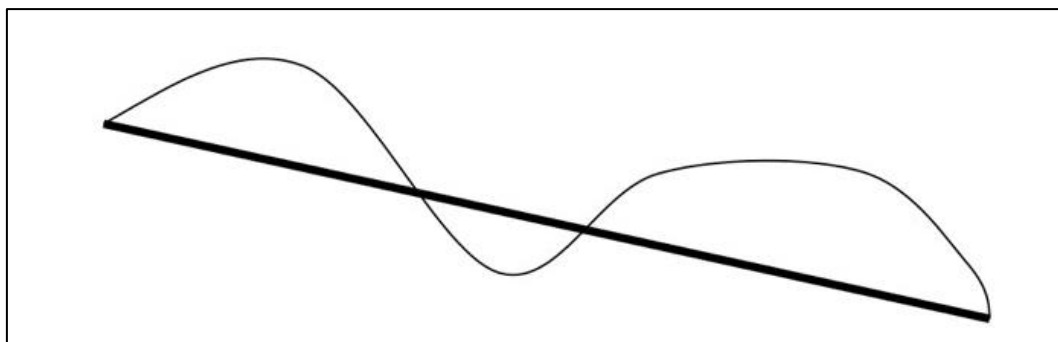
นักชีวกลศาสตร์ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะหาปัจจัยที่ทำให้ให้นักกีฬาได้รับชัยชนะหรือปัจจัยที่มีผลเสียนต่อนักกีฬา ในบางกีฬาโค้ชอาจจะต้องวางแผนการเคลื่อนที่ของนักกีฬาให้สัมพันธ์กับพลังงานของนักกีฬาที่จะใช้ในการแข่งขัน เช่น ในการแข่งขันว่ายน้ำระยะทาง 1,500 เมตร โค้ชอาจจะต้องออกแบบการแข่งขันว่า ช่วงไหนนักกีฬาว่ายน้ำสมควรว่ายน้ำด้วยความเร็วเท่าไร เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้ หรือช่วงไหนต้องว่ายน้ำด้วยความเร็วเต็มที่ เป็นต้น

2.4.2 ตัวแปรที่สำคัญในการเคลื่อนที่

ในตัวแปรทั้งหมด ทุกตัวเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นการกำหนดทิศทางของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการเคลื่อนที่เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการเคลื่อนที่มีอยู่ 4 ตัว คือ

2.4.2.1 ระยะทาง (Distance) และระยะทางการกระจัด (Displacement)

ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งวัดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย โดยวัดจากระยะทางจริงที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และระยะทางการกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยระยะทางการกระจัดวัดตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้ายที่เคลื่อนที่ เช่น ถ้าแข่งว่ายน้ำฟรีสไตล์ 50 เมตรในสระ 50 เมตร นักกีฬาว่ายน้ำจะได้ระยะทาง 50 เมตร ในขณะเดียวกันก็จะได้ระยะทางการกระจัด 50 เมตร ถ้านักกีฬาว่ายน้ำว่ายแข่งว่ายน้ำระยะทาง 50 เมตรแต่แข่งในสระว่ายน้ำความยาว 25 เมตร นักกีฬาว่ายน้ำจะว่ายน้ำได้ระยะทาง 50 เมตรเท่ากันแต่จะได้ระยะทางการกระจัดเป็นศูนย์ (เนื่องจากนักกีฬาว่ายน้ำว่ายไปกลับจุดสุดท้ายและจุดเริ่มต้นจึงเป็นจุดเดียวกันดังนั้นระยะทางการกระจัดจึงมีค่าเท่ากับศูนย์) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างระยะทางการกระจัด (เส้นทึบ) และระยะทาง (เส้นบาง)

ที่มา : (ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2559)

ดังนั้นในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงระยะทางการกระจัดอาจจะไม่ค่อยมีผลมากนัก เนื่องจากการแข่งขันหลาย ๆ ชนิดกีฬาจะนำนักกีฬากลับมาที่จุดเริ่มต้น เช่น วิ่งระยะทาง 400 เมตร (วิ่ง 1 รอบสนาม) เป็นต้น ระยะทางการกระจัดจะใช้บ่อยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Projectile)

2.4.2.2 อัตราเร็ว (Speed) และความเร็ว (Velocity)

การศึกษาหาอัตราเร็วก็มีทั้งปริมาณเวกเตอร์และสเกลาร์ เมื่อความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ ในขณะที่อัตราเร็วเป็นปริมาณสเกลาร์

เมื่อก้าวถึงความเร็วหรืออัตราเร็ว การที่จะทราบถึงวัตถุนั้นเคลื่อนที่ได้เร็วขนาดไหน จะต้องมีจุดอ้างอิงอย่างน้อย 2 จุด เพื่อที่จะหาว่าจุดทั้งสองจุดนั้น อยู่ห่างกันเท่าไร และวัตถุดังกล่าวใช้ระยะเวลาเท่าไรในการเคลื่อนที่

2.4.2.3 อัตราเร่งและความเร่ง

อัตราเร่งและความเร่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ความเร่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ เพื่อบ่งบอกถึงวัตถุที่เคลื่อนที่จะมีความเร็วที่เพิ่มขึ้น ถ้าความเร่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุมีทิศทางเดียวกัน เช่น การปล่อยวัตถุตกลงมาจากที่สูง แต่วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง ถ้าความเร่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุมีทิศทางตรงกันข้าม เช่น การขว้างวัตถุขึ้นข้างบน เป็นต้น

2.4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางความเร็วและความเร่ง

การเคลื่อนที่มีตัวแปรที่สนใจหลายตัว เช่น เวลา ระยะทาง ความเร็ว ความเร่ง ซึ่งตัวแปรทั้งหมดนี้นั้นล้วนสัมพันธ์กันหมด นักชีวกลศาสตร์จึงต้องสามารถอ่านค่าตัวแปรต่าง ๆ จากกราฟและสามารถแปลงกราฟที่กำหนดเป็นกราฟที่สนใจได้

2.4.3 การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงและแนววิถีโค้ง

การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงส่วนมากจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวราบ ในขณะที่การเคลื่อนที่ในแนววิถีโค้งจะเป็นการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและในแนวตั้ง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น การเคลื่อนที่ทั้งในแนวเส้นตรงและในแนววิถีโค้งจะใช้สูตรเดียวกัน เพียงแต่ลักษณะการใช้สูตรอาจจะแตกต่างกันไปบ้างตามสมควร นอกจากนี้ในการเคลื่อนที่ทั้งในแนวเส้นตรงและแนววิถีโค้ง มักจะตั้งสมมติฐานว่าวัตถุที่เคลื่อนที่มีความเร่งสม่ำเสมอ (Uniformly accelerated motion) ภายในช่วงระยะทางหรือภายใต้ระยะเวลาที่สนใจ

2.4.4 การเคลื่อนที่เชิงมุม

การเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่ที่สำคัญมากทางชีวกลศาสตร์ เนื่องจากการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะสัมพันธ์กับการหมุนของข้อต่อ ซึ่งการหมุนรอบจุดหมุนก็คือการเคลื่อนที่เชิงมุม การเคลื่อนที่เชิงมุมจึงเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุใด ๆ ที่มีตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุนั้นมีมุมที่เท่ากันแต่ระยะการกระจัดไม่เท่ากัน

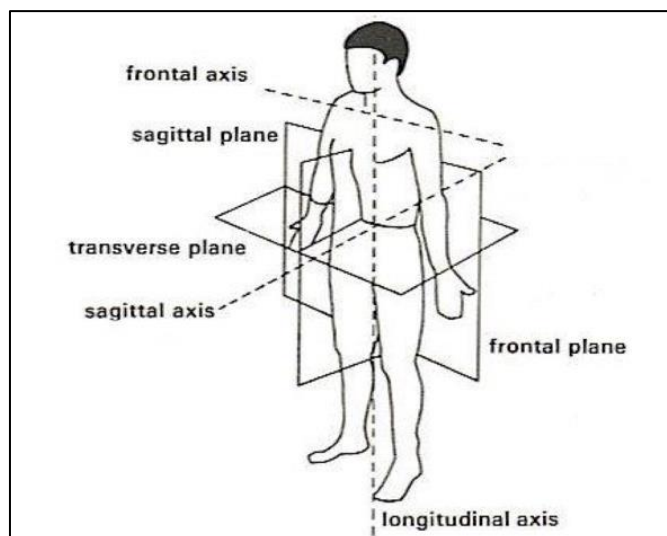
2.5 ระนาบของร่างกาย (Anatomical Plane)

ในร่างกายมนุษย์สามารถแบ่งระนาบการเคลื่อนไหวของร่างกายออกได้ 3 แบบใหญ่ ๆ (รูปที่ 4) ดังนี้

2.5.1 Sagittal plane คือ ระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็นซีกซ้าย-ซีกขวา เช่น งอแขน-เหยียดแขน งอขา-เหยียดขา

2.5.2 Frontal plane คือ ระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็นซีกหน้า-ซีกหลัง เช่น การตีกอล์ฟ การกางแขน การกระโดดตบ

2.5.3 Transverse plane คือ ระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ส่วนบน-ส่วนล่าง เช่น การหมุนลำตัว ส่วนบน-ส่วนล่าง การหมุนข้อเท้า เข่า



รูปที่ 4 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหว

ที่มา : (http://www.squidoo.com/Med_term)

ประโยชน์ของการแบ่งการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ออกเป็นระนาบต่าง ๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาการทำงานของข้อต่อ รยางค์ และอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายว่าสามารถเคลื่อนไหวได้ในมุมใดบ้าง รวมทั้งยังทำให้ทราบได้อีกว่าในขณะที่ร่างกายกำลังเกิดการเคลื่อนไหวอยู่นั้นร่างกายของเรากำลังเคลื่อนไหวขนานอยู่กับระนาบที่ต้องการหรือไม่

คำศัพท์เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (ภานุพงศ์ กาญจนกุล, 2554)

Flexion	การงอ
Extension	การเหยียด
Abduction	การกาง
Adduction	หุบ
Pronation	คว่ำ นอนคว่ำ
Supination	หงาย นอนหงาย
Rotation	หมุนขิดตัว
Circumduction	การหมุนแขนข้างลำตัว (รูปกรวย)
Inversion	การงุ้มปลายเท้าบิดเข้าหาลำตัวด้านใน
Eversion	การงุ้มปลายเท้าบิดออกนอกลำตัวด้านนอก
Elevation	ขากรรไกร ดันขึ้นข้างบน
Depression	การกดของขากรรไกรล่าง

Retraction	ขากรรไกรล่างกลับเข้าด้านหลัง
Hyperextension	การงุ่มปลายเท้า การเหยียดข้อเท้า
Dorsiflexion	การงอข้อเท้า งอปลายเท้า

2.6 แกนของร่างกาย (Anatomical Axis)

แกนร่างกายเป็นแนวแกนที่กำหนดขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการกำหนดจุดหมุนของการเคลื่อนไหวของร่างกาย สามารถกำหนดแกนร่างกายออกเป็น 3 แกนคือ

2.6.1 แกนหน้าหลัง (Anterior axis หรือ posterior axis) เป็นแนวแกนที่ทอดผ่านจากส่วนหน้าของสัตว์ไปส่วนหลังของสัตว์ตามแนว

2.6.2 แกนขวาง (Transverse axis หรือ Horizontal axis) เป็นแนวแกนที่ทอดผ่านร่างกายจากด้านซ้ายไปด้านขวาของร่างกายสัตว์หรือมนุษย์ตามแนวนอน

2.6.3 แกนตั้ง (Vertical axis) เป็นแนวแกนในแนวตั้งที่ตั้งฉากกับสองแกนแรก

2.7 รูปแบบการเคลื่อนไหว (Forms of motion)

2.7.1 Rectilinear: การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

2.7.2 Curvilinear: การเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโค้ง

2.7.3 Rotation: การเคลื่อนที่แบบหมุน

2.8 การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Analysis)

การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือ

2.8.1 สภาวะนิ่ง (Static) เป็นการศึกษาวัตถุหรือร่างกายที่อยู่ในสภาวะนิ่ง ๆ หรืออยู่ในสภาวะสมดุล (Non-moving system)

2.8.2 สภาวะเคลื่อนที่ (Dynamic) เป็นภาวะที่วัตถุเคลื่อนที่แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

2.8.2.1 คิเนมาติกส์ (Kinematics) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว และการทดสอบการเคลื่อนที่ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งและเวลาโดยปราศจากการอ้างอิงถึงแรงซึ่งเป็นสาเหตุของการเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะหาว่า วัตถุเคลื่อนที่ได้ไกลเท่าไร สูงเท่าไร ดังนั้นตำแหน่งความเร็วและความเร่ง เป็นส่วนประกอบของการวิเคราะห์คิเนมาติกส์

2.8.2.2 คิเนติกส์ (Kinetics) เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเชิงคิเนติกส์ จะระบุถึงสาเหตุของการเคลื่อนที่นั่นคือแรงต่าง ๆ ไม่สมดุลกัน เป็นการระบุส่วนสำคัญของทักษะในลักษณะของการสร้างการเคลื่อนไหว คิเนติกส์เป็นข้อมูลที่มีค่าเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามหรือการรักษาท่าทางเกิดขึ้นได้อย่างไร ข้อมูลเหล่านี้สามารถชี้ถึงสภาวะและการฝึกสำหรับนักกีฬาหรือการเคลื่อนไหว

3. การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Human Postural Analysis)

การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ (Human Postural Analysis) เป็นการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ในอิริยาบถต่าง ๆ เพื่อทำการตีความแต่ละท่าทางซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากท่าทางของอวัยวะในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น แขน ขา หรือหัวเข่า เป็นต้น (ธรรมศาสตร์ วิสุทธารมณ, 2557)

3.1 เทคนิคของการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Motion capture system)

เทคนิคของการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Motion capture system) โมชันแคปเจอร์เป็นเทคโนโลยีที่ต่อยอดมาจากการสร้างแอนิเมชัน ในสมัยแรกนั้นแอนิเมชันจะเป็นภาพวาดทีละฉาก แล้วจึงนำไปสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะมีสีสันไม่สมจริงคล้ายภาพวาด ต่อมาได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้กับการสร้างแอนิเมชันเพื่อสร้างหรือตกแต่งภาพให้เป็นไปตามต้องการ ภาพที่ได้เหล่านี้ถูกเรียกว่า คอมพิวเตอร์กราฟิก (Computer graphic; CG) สิ่งที่คอมพิวเตอร์กราฟิกสามารถทำได้คือ สามารถสร้างแสงและเงาให้กับภาพได้อย่างสมจริง ทำให้ภาพดูมีมิติมากขึ้น แต่ยังไม่ถึงขั้นทำให้ลักษณะของภาพหรือวัตถุนั้นมีลักษณะคล้ายกับของจริงได้ แต่ก็ไม่แบนราบเป็นสองมิติเหมือนแต่ก่อน และถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์กราฟิกจะทำให้แอนิเมชันสมจริงมากขึ้น แต่ภาพที่เราเห็นก็เกิดจากการประดิษฐ์ขึ้น ไม่ว่าจะป็นรูปร่าง ลักษณะตัวละคร สีหน้าท่าทางไปจนถึงการเคลื่อนไหว จะมีรายละเอียดที่ไม่เหมือนกับตัวละครที่เป็นมนุษย์จริง ๆ เมื่อมนุษย์มองเห็นข้อดีของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กราฟิก พวกเขาจึงได้พยายามค้นหาและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่จะใส่รายละเอียดของความเป็นคนลงไป เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กราฟิก ซึ่งเรียกว่าโมชันแคปเจอร์ การจะทำโมชันแคปเจอร์นั้นต้องอาศัยคนเขามามีส่วนร่วมด้วยโดยตัวละคร คอมพิวเตอร์กราฟิกจะถูกสร้างจากคอมพิวเตอร์เช่นเดิม แต่รายละเอียดการเคลื่อนไหวต่าง ๆ นั้นจะถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยการเคลื่อนไหวลักษณะท่าทางจริงของคน วิธีการคือ นำมาร์กเกอร์ที่เคลือบด้วยสารสะท้อนแสงไปติดตามตัวของนักแสดง เพื่อให้กล้องเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวเฉพาะจุดเหล่านั้น โดยไม่สนใจที่จะเก็บภาพของผิวหนังหรือส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ได้ติดมาร์กเกอร์ โดยข้อมูลเหล่านั้นจะถูกนำมาแปลงค่าเพื่อนำมาใช้กับโมเดลดิจิทัล

การบันทึกค่าการเคลื่อนไหวของร่างกายในรูปแบบของโมชันแคปเจอร์ จะใช้ตัวส่งสัญญาณกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาการติดจุดตัวส่งสัญญาณจึงสามารถเว้นระยะห่างจากกันได้พอสมควร ถึงแม้ว่าการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นเพียงนิดเดียวแต่กล้องที่คอยจับการเคลื่อนไหวจะสามารถสังเกตการเคลื่อนไหวนั้นได้อย่างชัดเจน ในปัจจุบันเทคโนโลยีโมชันแคปเจอร์ได้ถูกนำมาใช้ทางด้านการกีฬา การแพทย์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ในลักษณะท่าทางต่าง ๆ อาทิเช่น ใช้ทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวร่างกายของนักกีฬาที่เหมาะสมและถูกวิธี (ภาณุพงศ์ กาญจนกุล, 2554)

3.2 หลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางการกีฬา เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวขณะเล่นกีฬา เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาประสิทธิภาพในการเล่นกีฬา รวมถึงการป้องกันอาการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬา โดยสามารถวิเคราะห์ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

1. คินเนมาติกส์ (Kinematics) เป็นการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว จะแสดงผลในรูปแบบของความเร็ว ความเร่งในการเคลื่อนไหว
2. คินเนติกส์ (Kinetics) เป็นการวิเคราะห์แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เพื่อคำนวณหาแรงลัพธ์ที่ส่งผลให้การเคลื่อนไหวนั้น ๆ มีประสิทธิภาพ หรือ แรงที่เข้ามากระทำต่อร่างกายในทิศทางต่าง ๆ
3. อิเล็กโตรไมโอกราฟี (Electromyography: EMG) เป็นการวิเคราะห์กระแสประสาทสั่งการ (Motor Unit Action Potential: MUAP) ที่ส่งไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อแสดงถึงกล้ามเนื้อหลัก หรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงานให้เกิดการเคลื่อนไหวนั้น ๆ

แต่ละรูปแบบมีความจำเพาะเจาะจงแตกต่างกัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์รูปแบบใด รูปแบบหนึ่ง หรือวิเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบพร้อมกันได้ (นงนภัส เจริญพานิช, 2561) ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว หรือเป็นการวิเคราะห์แบบคินเนมาติกส์ โดยอาศัยชุดกล้องความเร็วสูงและชุดตัวสะท้อนแสง (Marker) โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

3.2.1 Marker Motion Capture

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดยการทำสัญลักษณ์บนจุดต่าง ๆ ของร่างกาย (Canton-Ferrer et al., 2009) (Marker Motion Capture) เป็นการตรวจจับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายโดยผู้ตรวจจะต้องสวมใส่ชุด หรือเครื่องแต่งกายที่มีการทำเครื่องหมายในส่วนต่าง ๆ เอาไว้ โดยเครื่องหมายที่ถูกกำหนดไว้บนร่างกายจะเป็นตัวบ่งบอกถึงอวัยวะส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแบ่งแยกอวัยวะแต่ละส่วนที่ต้องการตรวจจับ โดยวิธีสกัดจุดต่าง ๆ บนร่างกายนั้นสามารถทำได้ทั้งจากการบันทึกภาพผ่านกล้องแล้วนำข้อมูลที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์หาสัญลักษณ์ที่ทำไว้บนร่างกาย หรือในอีกกรณีคือการใช้อุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์บอกพิกัดซึ่งสามารถช่วยให้รู้พิกัดของส่วนต่าง ๆ บนร่างกายได้ทันทีในระหว่างที่ทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหว โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว โดยการทำสัญลักษณ์บนจุดต่าง ๆ ของร่างกายสามารถแบ่งย่อยเป็นอีกสองประเภทตามประเภทของตัวบอกตำแหน่ง ได้แก่

3.2.1.1 มาร์กเกอร์แบบหลอดแอลอีดี (Pulsed-LED or Active Marker) เป็นการบันทึกภาพท่าทางของผู้แสดงโดยใช้วิธีวัดจากมาร์กเกอร์ที่เป็นหลอดแอลอีดี โดยใช้การวัดความเข้มของแสงสำหรับการบันทึกข้อมูล

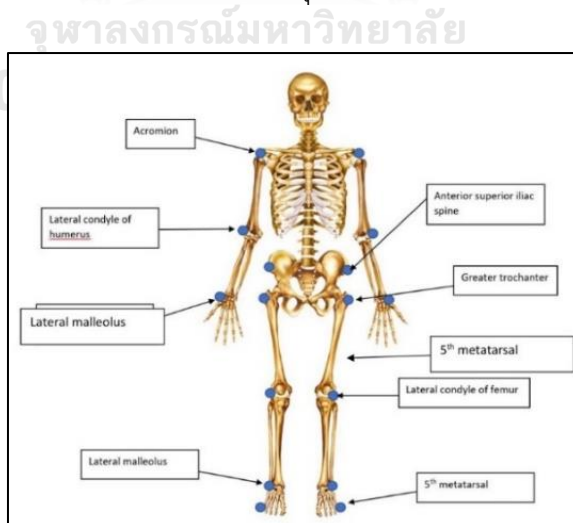
3.2.1.2 มาร์กเกอร์แบบสะท้อนแสงอินฟราเรด (Reflective Marker or Passive Marker) ซึ่งเป็นการใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอชนิดพิเศษในการติดตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่

อยู่ตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่ตามส่วนต่าง ๆ โดยกล้องวิดีโอจะใช้เลนส์รับแสงอินฟราเรด แล้วใช้แสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ติดไว้รอบ ๆ กล้องถ่ายภาพ แสงจะสะท้อนที่มาร์กเกอร์ทำให้เห็นเป็นจุดที่มีความเข้มแสงมากกว่าบริเวณอื่น ๆ (นราธิป ทับศรี และคณะ, 2552) ภาพที่บันทึกจากระบบกล้องบันทึกการสะท้อนแสงจะแตกต่างจากระบบกล้องถ่ายภาพวิดีโอ คือ ภาพที่บันทึกจะเห็นเฉพาะตัวติดบอกตำแหน่งหรือโครงร่างกายตามตัวติดบอกตำแหน่ง (stick figure) หรือโครงร่างกาย 3 มิติไม่เห็นเป็นภาพตัวคนหรืออุปกรณ์กีฬาโดยใช้โปรแกรมเฉพาะกับระบบกล้องในการวิเคราะห์ข้อมูล หรือทำเป็นโครงร่างกาย เช่น โปรแกรม visual 3D เป็นต้น (สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬารวมพลศึกษา, 2557)

3.2.2 Marker set

ในการศึกษาทางชีวกลศาสตร์กระบวนการเลือกชุดมาร์กเกอร์ (Marker set) เป็นกระบวนการที่สำคัญซึ่งจะต้องพิจารณาจากตำแหน่งข้อต่อหรือ Anatomical landmark ที่ต้องการพิจารณาชุดมาร์กเกอร์มีอยู่เป็นจำนวนมาก และแต่ละชุดมาร์กเกอร์มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างชุดมาร์กเกอร์ที่เป็นที่นิยมใช้กันและเป็นตัวเลือกของโปรแกรมการวิเคราะห์ในท้องตลาดทั่วไป (ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2559) ได้แก่

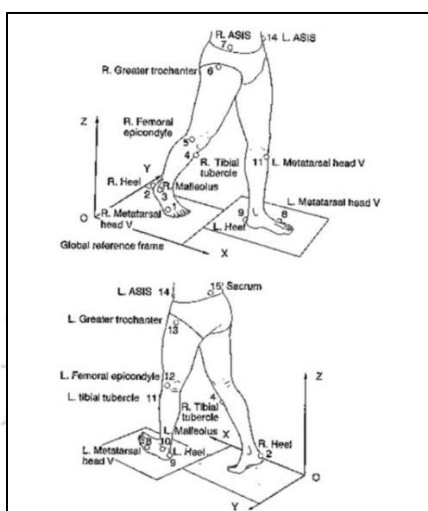
3.2.2.1 Simple Marker Set เป็นชุดมาร์กเกอร์ที่ติดบนผิวหนังเหนือข้อต่อหรือติดให้ใกล้กับข้อต่อมากที่สุด โดยตำแหน่งของ Limb segment จะกำหนดจากเส้นตรงที่เชื่อมต่อข้อต่อ (หรือมาร์กเกอร์) 2 จุด ข้อดีของ Simple Marker Set คือมีจำนวนมาร์กเกอร์ไม่มากทำให้มาร์กเกอร์ไม่ไปกวนการเคลื่อนที่ของกลุ่มตัวอย่าง แต่ข้อเสียที่สำคัญของชุดมาร์กเกอร์ชนิดนี้คือชุดมาร์กเกอร์นี้ไม่สามารถใช้กับการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบแกน (Axial rotation) ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 Simple Marker Set

ที่มา : (ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2559)

3.2.2.2 Vaughan Marker Set เน้นการเคลื่อนที่ของลำตัวส่วนล่าง ประกอบไปด้วย 15 มาร์กเกอร์ ข้อดีของ Vaughan Marker Set คือการวิเคราะห์ข้อเท้าเนื่องจากมีการติดมาร์กเกอร์ในระนาบด้านหน้า (Coronal plane) ของ Tibial tuberosity รวมไปถึงการติดมาร์กเกอร์ที่เพิ่มขึ้นบนข้อเท้าและเชิงกราน ทำให้มีแก้อ้างอิงของข้อเท้าและสะโพกที่ชัดเจนมาก ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การติดมาร์กเกอร์แบบ Vaughan Marker Set
ที่มา : (<http://www.clinicalgaitanalysis.com/faq/sets/>)

3.2.2.3 Helen Hayes Marker Set เป็นชุดมาร์กเกอร์ที่ได้รับการปรับปรุงมาจาก Paughan Marker Set โดยตำแหน่งมาร์กเกอร์ใน Helen Hayes Marker Set จะคล้ายกับตำแหน่งของ Vaughan แต่จุดเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดคือ Helen Hayes Marker Set มีการติดมาร์กเกอร์ที่ตำแหน่ง Tibial และ Femoris ที่ติดอยู่บน Wand ไม่ใช่การติดอยู่บนผิวหนังโดยตรง การใช้ Wand ทำให้นักชีวกลศาสตร์สามารถคำนวณหาการหมุนของ Tibial และ Femoris ได้ดังรูปที่ 7

freedom) การเคลื่อนไหวทั้ง 6 ทิศทางทำได้เนื่องจากมาร์กเกอร์ในระบบ CAST (Calibrated Anatomical System Technique) มีการ Calibrate เทียบค่ามาร์กเกอร์ทั้งแบบคงที่ (Static anatomical calibration) และแบบเคลื่อนไหว (Dynamic tracking)

3.2.3 Markerless Motion Capture

การทำเครื่องหมายบนร่างกาย (Markerless Motion Capture) เป็นหนึ่งหลักการของการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยหลักการนี้จะบันทึกภาพการเคลื่อนไหวมาวิเคราะห์เพื่อทำการแยกแยะส่วนที่คาดการณ์ว่าจะเป็นร่างกายของมนุษย์จากพื้นหลัง จากนั้นจึงนำข้อมูลส่วนที่เป็นร่างกายของมนุษย์มาวิเคราะห์ท่าทาง ในหลักการนี้สามารถแยกย่อยวิธีการในการวิเคราะห์ท่าทางได้ 2 แบบ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสองมิติ (2 Dimension Image Processing) และการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสามมิติ (3 Dimension Image Processing) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสองมิตินั้น เป็นหลักการที่ได้รับความนิยมอย่างยาวนาน โดยจะใช้รายละเอียดจุดสี (Pixel Color) ของภาพมาทำการวิเคราะห์ท่าทางแต่อย่างไรก็ตามพบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสองมิตินั้นมักมีปัญหาในเรื่องการแยกแยะส่วนของร่างกายของมนุษย์ออกจากพื้นหลังที่มีความซับซ้อน ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ท่าทางตามไปด้วย นอกจากนี้แสงยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลท่าทาง ในทางกลับกันการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสามมิติสามารถลดปัญหาดังกล่าวของวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสองมิติลงได้ด้วยสาเหตุที่ชุดข้อมูลในภาพสามมิตินั้นมีส่วนของข้อมูลเชิงลึก (Depth Data) ซึ่งช่วยในการแบ่งระหว่างวัตถุแต่ละชิ้นให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพเชิงลึกนั้นเป็นอุปกรณ์ประเภทเซ็นเซอร์ (Sensor) จึงทำให้แสงไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพสามมิติจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่งานวิจัยในปัจจุบันให้ความสนใจและเลือกใช้ในการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์

3.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ (3-D motion analysis)

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติคือการใช้กล้องวิดีโอจำนวนอย่างน้อย 2 ตัวในการเก็บภาพการเคลื่อนไหวของมนุษย์ และบันทึกไว้เป็นไฟล์วิดีโอ จากนั้นนำไฟล์วิดีโอทั้งหมดมาประมวลผลหาค่าตำแหน่งของข้อต่อเหล่านั้นโดยใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพ จากนั้นนำตำแหน่งบนภาพวิดีโอทั้งหมดมาคำนวณเพื่อหาตำแหน่งจริงในสามมิติ โดยตำแหน่งเหล่านี้จะถูกบันทึกลงไฟล์การเคลื่อนไหวแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ (दनัยชาติ แจ่มจิตรตรง และต่อศักดิ์ รักอารมณ, 2559)

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

กระบวนการในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตำแหน่งหรือเทคนิคในการติดมาร์กเกอร์ และกระบวนการในการตัดแยกมาร์กเกอร์ จากภาพเพื่อนำไปคำนวณค่าทางจลศาสตร์ ในเรื่องตำแหน่งหรือเทคนิคในการติดมาร์กเกอร์ซึ่งส่วนใหญ่มีตำแหน่งตามทฤษฎีต่าง ๆ ของตำแหน่ง แต่อาจมี

การเพิ่มตำแหน่งในการติดตามมากขึ้นเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ในส่วนของการตัดแยกภาพ กระบวนการต่าง ๆ เป็นทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการ ภาพต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการใดที่เหมาะสมกับชนิด หรือตำแหน่งมาร์กเกอร์แบบใด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวมีหลายวิธี เช่น การใช้มาร์กเกอร์แบบ Passive marker, Active marker, Angle sensor, Accelerative sensor, Marker less ซึ่งแต่ละวิธีจะมีหลักการแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน

3.3.2 ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Movement analysis System)

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดยใช้กล้องแบบเดี่ยวและกล้องแบบกลุ่ม เพื่อสร้างข้อมูล การเคลื่อนที่สองหรือสามมิติ ซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์และคำนวณค่าทางคิเนแมติกส์ในการเคลื่อนที่ แบบต่าง ๆ เพื่อให้การวิเคราะห์ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ วิธีการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลทางคิเน มาติกส์ในรูปแบบ 2 หรือ 3 มิติและท้ายสุดคือวิธีการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองข้อมูลซึ่งสิ่งเหล่านี้ อาจถูกแยกออกเป็นประเด็นต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาเมื่อทำการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใด ๆ ดังต่อไปนี้ (Richards et al., 2008)

1. ตำแหน่งของกล้อง (Camera Positioning)
2. ความเร็วของกล้อง ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและความเร็วชัตเตอร์ (Camera speed, sampling frequency and shutter speed)
3. การซิงค์กล้องให้ใช้พร้อมกัน (Synchronizing the cameras)
4. การคาลิเบรทพื้นที่ของภาพ (Calibrating image space)
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data capture)
6. กระบวนการทำให้เป็นดิจิทัลและการแปลงข้อมูล (Digitizing and transformation)
7. การกรองข้อมูล (Data filtering)
8. แบบจำลองทางกายวิภาคและชุดมาร์คเกอร์ (Anatomical models and marker sets)

3.3.2.1 ตำแหน่งของกล้อง (Camera positioning)

การเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวต่าง ๆ โดยใช้กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ซึ่งจำนวนและตำแหน่งของกล้องจะบอกได้ว่าการศึกษานั้นเป็น 2 หรือ 3 มิติ สำหรับการศึกษแบบ 2 มิติจะใช้กล้องเพียง 1 ตัวเท่านั้น โดยตำแหน่งของกล้องจะอยู่ในระนาบที่สนใจ สำหรับการศึกษแบบ 3 มิติจะเป็นจะต้องใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัว โดยตำแหน่งของกล้องเทียบกับการเคลื่อนที่สนใจเป็นมุมฉาก (90 องศา) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ความแปรปรวนของการวิเคราะห์อาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้องในการศึกษาแบบ 3 มิติ และโดยทั่วไป อาจตั้งกล้องในมุมระหว่าง 60-120 องศา แม้ว่าการตั้งกล้องในมุมฉากจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ตาม

(Woltring, 1980) เมื่อใช้กล้อง 2 ตัวในการศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหว เครื่องหมายหรือมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่บนร่างกายบางครั้งอาจไม่ได้อยู่ในมุมที่กล้องสามารถจะจับภาพได้ ในกรณีนี้ไม่สามารถระบุตำแหน่งและติดตามมาร์กเกอร์เหล่านี้ได้ เนื่องจากกล้องทั้ง 2 ตัวจะต้องมองเห็นเครื่องหมายแต่ละตัวอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้กล้อง 4 ตัวขึ้นไป ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ เนื่องจากจะเพิ่มโอกาสในการระบุตำแหน่งและการติดตามเครื่องหมายหรือมาร์กเกอร์ขณะเคลื่อนไหวได้ทั้งหมด

จำนวนและตำแหน่งของกล้องไม่เพียงส่งผลต่อการระบุตำแหน่งและการติดตามเครื่องหมาย แต่เพิ่มความแม่นยำในการคำนวณพิกัดของเครื่องหมายหรือมาร์กเกอร์ได้อีกด้วย โดยโวลตริง (Woltring, 1980) ได้ทำการศึกษากล้องหลายรูปแบบและวิธีในการเคลื่อนที่ของเครื่องหมายที่ติดอยู่บนร่างกาย ในการศึกษาแบบ 3 มิติพบว่าเมื่อจำนวนกล้องเพิ่มขึ้นข้อผิดพลาดในการคำนวณจะลดลง

อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงจำนวนและตำแหน่งของกล้องในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เช่น ถ้ากล้องมีเพียง 3 ตัว จะส่งผลให้มองไม่เห็นเครื่องหมายทั้งหมด การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางกายวิภาคศาสตร์ และการใช้ชุดเครื่องหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องขึ้นอยู่กับจำนวนกล้องที่ใช้ เช่น ข้อมูลคิเนมาติกส์ที่ได้อาจได้มาจากชุดมาร์กเกอร์ธรรมดาที่ถ่ายโดยกล้องทั้งหมด อย่างไรก็ตาม หากใช้มาร์กเกอร์เดียวกันแต่เพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น จะส่งผลให้ข้อมูลที่ออกมามีคุณภาพลดลง ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ห้องปฏิบัติการวิจัยโดยทั่วไปจึงต้องมีระบบกล้องที่มีกล้องตั้งแต่ 10 ตัวขึ้นไป ซึ่งการพิจารณาองค์ประกอบเหล่านี้จึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้ระบบกล้องที่มีความเหมาะสมที่สุด ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่าย ความพร้อมของพื้นที่ในการศึกษา และคุณภาพของสิ่งที่นำมาศึกษา

3.3.2.2 ความเร็วของกล้อง ความถี่ในการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง และความเร็วชัตเตอร์

(Camera speed, sampling frequency and shutter speed)

อุปกรณ์มาตรฐานที่ประกอบด้วยกล้องวิดีโอแบบมีชัตเตอร์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์เนื่องจากมีราคาที่ย่อมเยา มีความไว และสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนไหวได้ดี (Savelsbergh et al., 1992) ซึ่งอัตราเฟรมจากกล้องวิดีโอมาตรฐานมักเป็นปัจจัยที่จำกัด เนื่องจากการทำงานที่ 25 ถึง 30 เฟรมต่อวินาทีโดยให้อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับระบบพื้นฐาน PAL (Phase Alternate Line) และ 60 เฮิร์ตซ์ สำหรับ NTSC (National Television Standards Committee) ซึ่งเป็นระบบพื้นฐาน ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีวิดีโอใหม่ ๆ ให้มีการใช้งานง่าย ลดต้นทุน และพัฒนาเป็นกล้องความเร็วสูงในปัจจุบัน

ระบบกล้องความเร็วสูงสามารถบันทึกรูปแบบการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น เช่น การวิ่งระยะสั้น ถ้าความเร็วของตัวอย่างเร็วขึ้น ความเร็วของกล้องก็จะเร็วขึ้นด้วยเช่นกัน ในปัจจุบันมีกล้องที่สามารถให้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างได้ถึง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์เป็นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในหลาย ๆ ด้านของมนุษย์มากกว่า โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างของ นีควิสต์ (Nyquist's sampling) ต้องมีอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ แม้ว่าจะทำให้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างลดลงต่ำสุดก็ตาม (Antonsson & Mann, 1985)

ความเร็วชัตเตอร์หรือองค์ประกอบของชัตเตอร์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เนื่องจากทำให้ได้ภาพที่ชัดเจน ความเร็วของชัตเตอร์คือระยะเวลาที่ชัตเตอร์เปิดอยู่ หากชัตเตอร์เปิดค้างเป็นระยะเวลานาน ภาพจะกลายเป็นสีมัวหรือจะเห็นคล้ายมีรอยเบื่อน ซึ่งการศึกษาโดยทั่วไปต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์ 1/250 วินาทีหรือสูงกว่า แต่หากมีการบันทึกการเคลื่อนไหวที่มีความเร็วมาก เช่น การวิ่งระยะสั้นจำเป็นต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์อย่างน้อย 1/1000 วินาที

3.3.2.3 การซิงค์กล้องให้ใช้พร้อมกัน (Synchronizing the cameras)

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวด้วยกล้องมากกว่า 1 ตัว จำเป็นจะต้องมีการบันทึกการเคลื่อนไหวทั้งหมดพร้อมกันและรวบรวมให้เป็นข้อมูลข้อมูลเดียวกัน จากนั้นจะสามารถรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็นภาพสามมิติของการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งการรวมมุมมองของกล้อง (Camera view) แต่ละตัว ให้ได้ทั้งหมดพร้อมกันมีข้อกำหนดอยู่ว่า กล้องแต่ละตัวจะบันทึกการเคลื่อนไหวที่ต่างกันว่าเรียกว่าการซิงโครไนซ์ ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละระบบ เช่น ระบบแสงแฟลชระบบเสียงเตือนอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ เพื่อเริ่มทำการบันทึกการเคลื่อนไหวจากกล้องทั้งหมดที่ได้ทำการติดตั้ง นอกจากนี้ระบบบางส่วนยังทำการเชื่อมต่อการเปิด-ปิดชัตเตอร์ในกล้องแต่ละตัวเพื่อให้แน่ใจว่ากล้องแต่ละตัวจะจับภาพได้อย่างแม่นยำและไม่ใช้แค่ภาพในเฟรมเดียวกันเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะทำโดยใช้อุปกรณ์คู่ (CCD) บนกล้อง

3.3.2.4 การคาลิเบรทพื้นที่ของภาพ (Calibrating image space)

เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ข้อมูลจากทั้งภายในกล้องและนอกกล้อง มักถูกเรียกว่าคุณสมบัติภายในและภายนอกของกล้องพารามิเตอร์ภายใน เช่น ความยาวโฟกัส ศูนย์กลางของภาพที่สัมพันธ์กับเลนส์ และการบิดเบือนของเลนส์ พารามิเตอร์ภายนอกหมายถึงข้อมูล เช่น ตำแหน่งทิศทางของกล้อง และภาพในระบบพิกัดของการวัด ซึ่งโดยทั่วไปคือระบบพิกัดในห้องปฏิบัติการ หรือระบบพิกัดสากล (GCS) พารามิเตอร์ภายในและภายนอกโดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการคาลิเบรท โดยใช้สำหรับพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การคาลิเบรทแบบมาตรฐานเหล่านี้คือ การคาลิเบรทเชิงเส้นของเลนส์กล้อง และการคาลิเบรทระบบของกล้อง

- Static calibration

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจำเป็นต้องคาลิเบรทพื้นที่ภาพและพื้นที่ที่จะทำการบันทึกการเคลื่อนไหว เพื่อให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งของการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งในการคาลิเบรทพื้นที่ภาพควรรู้จักตำแหน่งของจุดคงที่ (Fixed points) ภายในพื้นที่ที่ต้องการบันทึกโดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกและนำออกจากเฟรมโดยข้อมูลจะถูกเก็บรวบรวมเอาไว้

ความถูกต้องของข้อมูลจากระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับความถูกต้องของขั้นตอนการคาลิเบรท สิ่งสำคัญคือการคาลิเบรทเฟรมของสัดส่วนพื้นที่ภาพแต่ละมุมของกล้องและพิกัดในการคาลิเบรทต้องมีความถูกต้องเช่นกัน โดยระยะที่ ± 0.1 มิลลิเมตรสามารถใช้ได้กับทั้งสามระนาบ ข้อผิดพลาดใด ๆ ในตำแหน่งพิกัดที่คาลิเบรทจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการเคลื่อนไหวที่ทำการศึกษา

จำนวนตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับการศึกษาว่าเป็นการศึกษาแบบ 2 มิติหรือการศึกษาแบบ 3 มิติ ในการศึกษาแบบ 2 มิติต้องมีตำแหน่งอย่างน้อยสี่จุดใน co-planar เพื่อกำหนดการวัดให้อยู่ในระนาบเดียวกัน เมื่อทำการศึกษาแบบ 2 มิติ ต้องมีการคาลิเบรทที่ถูกต้อง ซึ่งความผิดพลาดในระบบ 2 มิติ อาจเกิดจากข้อผิดพลาดในเรื่องของมุมกล้อง ซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อมาร์คเกอร์เลื่อนเข้าใกล้หรือไกลออกจากกล้องที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งข้อจำกัดนี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องคาลิเบรทเฟรมให้อยู่ในระนาบเดียวกันกับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวที่ทำการบันทึกไว้

สำหรับการคาลิเบรท ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ จำเป็นต้องใช้จุดควบคุมที่ไม่ใช่ co-planar อย่างน้อยหกจุด (Woltring, 1980) ซึ่งหมายความว่าต้องมีมาร์คเกอร์ในทั้งสามระนาบการคาลิเบรทสำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติต้องมีจุดคาลิเบรทมากกว่า 6 จุดเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลและเพื่อให้เกิดความถูกต้องยิ่งขึ้น

เมื่อตั้งค่าการคาลิเบรทแล้ว จุดควบคุมจะต้องมองเห็นได้ชัดเจนจากกล้องทั้งหมดแต่ขั้นตอนการคาลิเบรทอาจเกิดความผิดพลาดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าจุดที่สามารถมองเห็นมีจำนวนน้อยกว่า 6 จุด พื้นที่จุดควบคุมควรมีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่จริงที่ใช้จับภาพการเคลื่อนไหว เนื่องจากส่วนที่อยู่นอกเหนือจากพื้นที่ที่ใช้คาลิเบรทจะถูกตัดออก (Woltring, 1980)

แด็บนิชกีและคณะ (Dabnichki et al., 1997) ได้ศึกษาความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการเก็บข้อมูลโดยการเปลี่ยนการตั้งค่าการคาลิเบรท ซึ่งดำเนินการโดยใช้ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสูงสุดโดยแด็บนิชกีและคณะ ได้ระบุว่ามียุคสมัยที่แตกต่างกัน 4 ยุคสมัย ได้แก่ ระยะทางของวัตถุถึงกล้อง ระยะห่างของพื้นที่เมื่อเทียบกับขนาดของขอบเขตการคาลิเบรท ตำแหน่งขอบเขตการคาลิเบรท และความเร็วของการหมุนในแต่ละส่วน ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นตอบสนองได้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสี่ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น

- Dynamic calibration

การคาลิเบรทแบบไดนามิกสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมและน่าเชื่อถือ คือการใช้เฟรมคองที่ เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นและทิศทางของแกน X และแกน y นอกเหนือจากเฟรมคองที่แล้ว wand จะเคลื่อนที่แบบไดนามิกผ่าน volume ของกล้องโดยมีพิกัด 2 มิติที่ถูกสร้างขึ้นจากการเคลื่อนที่ของ wand เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เรียกว่า bundle adjustment จากขั้นตอนนี้ตำแหน่งและทิศทางของกล้องและระบบพิกัดแบบสามมิติของ wand จะถูกคำนวณ

- Norm of residuals

การกำหนดพิกัดของมาร์คเกอร์แต่ละจุดคือการประมาณจากข้อผิดพลาด ซึ่งข้อผิดพลาดของมาร์คเกอร์แต่ละจุดอาจเรียกว่าเป็น ‘Norm of residuals’ การแสดงผลเกี่ยวกับข้อผิดพลาดที่เกี่ยวข้องในการคาลิเบรทช่วยให้ผู้ศึกษาสามารถระบุได้ว่ามีข้อผิดพลาดใด ๆ หรือไม่ โดยปกติแล้ว ‘Norm of residuals’ จะพบได้ในการคาลิเบรทในการทดลองในรูปแบบดิจิทัลแต่ละครั้ง

ส่วนที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะทำให้บอกได้ว่าการแก้ไขระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวควรทำอย่างไร โดยการคาลิเบรทอาจมีการแสดงผลเพื่อให้ทราบถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการคำนวณหาตำแหน่งของมาร์คเกอร์

- Lens Correction

เลนส์ของกล้องสามารถบิดเบือนได้ ถ้าสิ่งเหล่านี้เกิดจากวัสดุและความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยข้อผิดพลาดนี้อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดเล็ก ๆ น้อย ๆ ในระบบซึ่งอาจนำไปสู่ข้อผิดพลาดที่ร้ายแรงมากขึ้นในการสร้างภาพ 2 มิติ Tasi ได้พัฒนาวิธีการ โดยใช้จุดคาลิเบรท 60 จุด แอนตันสันและแมน (Antonsson & Mann, 1985) ใช้มากกว่า 12,000 จุด เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ละเอียดขึ้น นอกจากนี้ Ladin ยังได้ทำการศึกษาความบิดเบือนของเลนส์ในแบบ 2 มิติ ด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ที่รู้ตำแหน่งในจุดที่เว้นระยะเท่า ๆ กัน Ladin เอาค่าการวัดจากฟิล์มมาคาลิเบรทกับค่าที่เขาู้ ด้วยวิธีนี้ Ladin แสดงให้เห็นว่า ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งจากการบิดเบือนของเลนส์เนื่องจากวัตถุที่วิเคราะห์จะเคลื่อนที่ห่างจากจุดที่ทำกรวิเคราะห์ การคาลิเบรทสามารถใช้เพื่อแก้ไขความบิดเบือนของเลนส์ได้แม้ว่าจะไม่ถูกต้องมากนักก็ตาม

3.3.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data capture)

เมื่อกำลังได้ทำการตั้งค่าโดยการคาลิเบรท และกลุ่มตัวอย่างได้รับการติดมาร์คเกอร์แล้ว จะสามารถทำการบันทึกการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งหลังจากบันทึกเสร็จสมบูรณ์ข้อมูลที่บันทึกจะถูกส่งไปยังฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ กระบวนการนี้เรียกว่าการเก็บหรือการบันทึกวิดีโอ ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวมีมากมาย เช่น VICON (Jarrett et al., 1974), Elite (Ferrigno & Pedotti, 1985) และ Qualisys ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลในวิดีโอแล้วส่งไปยังฮาร์ดดิสก์ เช่นเดียวกับ

ระบบกล้องหรือระบบโทรทัศน์ ประเภทที่สองเรียกว่าระบบวิดีโอ ระบบนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลวิดีโอลงในวิดีโอเทปก่อน จากนั้นจะถ่ายโอนไปยังฮาร์ดดิสก์ซึ่งการใช้เทปวิดีโออาจลดความละเอียดลงเล็กน้อยเนื่องจากภาพจะถูกบันทึกลงบนเทปแบบอะนาล็อกก่อน แล้วจึงแปลงเป็นรูปแบบดิจิทัลแต่วิดีโอดิจิทัลนี้จะไม่มีการจำกัดแม้ว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อประมวลผลข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ระบบที่ใช้กล้องเช่น Qualisys และ VICON จะบันทึกข้อมูลที่ส่งออกมาโดยตรงจากกล้องเพื่อรักษาความละเอียดไว้ ระบบวิดีโอมีประโยชน์ในการบันทึกการเคลื่อนไหวลงในเทป แต่การถ่ายโอนจะไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม การติดตามมาร์กเกอร์มีแนวโน้มจะใช้เวลามากขึ้น และขนาดไฟล์จะใหญ่กว่าการถ่ายด้วยระบบกล้อง เมื่อข้อมูลวิดีโอถูกจัดเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์แล้ว สามารถเรียกดูข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ตลอดเวลาและสามารถแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลได้

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ

4.1 งานวิจัยในประเทศ

อาริตา ปลื้มถนอม และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์การควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาแบบ 3 มิติ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาแบบการหมุนตัวทำเดี่ยว (Single pivot) และการหมุนตัวทำผสม (Multiple pivots) โดยพิจารณาจากมุมการเคลื่อนที่จากจุดศูนย์กลางของร่างกายกับจุดศูนย์กลางความดันของร่างกายกระทำกับแนวตั้ง (COM-COP inclination angle) งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการหมุนตัวทำเดี่ยวจากท่า R1 และ R2 เปรียบเทียบกับการหมุนตัวทำผสม R1+2 ของนักยิมนาสติกลีลาทีมชาติไทยจำนวน 7 คนโดยใช้กล้อง 10 ตัวตั้งค่าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ให้นักกีฬาติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนร่างกายจำนวน 22 จุดและทำการหมุนตัวบนแผ่นวัดแรงตั้งค่าความถี่ 800 เฮิร์ตซ์ จากการทดสอบสถิติด้วย Wilcoxon matched-pairs signed rank test ซึ่งพบว่าเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงในการทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาการหมุนตัวทำเดี่ยว (Single pivot) และการหมุนตัวทำผสม (Multiple pivots) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเมื่อมีการเพิ่มรอบในการหมุนตัว COM-COP inclination angle จะมีค่ามุมมองที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการใช้ลำตัวเพื่อสร้างแรงบิดในการหมุนและลำตัวยังมีบทบาทสำคัญในการตั้งแกนร่างกายให้ตั้งตรงขณะหมุนตัว ดังนั้นหากนักยิมนาสติกลีลาต้องการฝึกการหมุนตัวทำผสม (Multiple pivots) หรือเพิ่มรอบการหมุนตัว ควรเพิ่มการสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัวเพื่อให้สามารถควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างการหมุนตัวได้ดียิ่งขึ้นและเพิ่มการฝึกบัลเล่ต์ให้มากขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมสมดุลในการเคลื่อนที่ (Dynamic Balance) ขณะหมุนตัว

อนุวัต เยาว์พันธ์ (2554) ทำการศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวของทักษะการกระโดดคู้เข้าหมุนตัว 1 รอบ ในกีฬาแอโรบิกยิมนาสติกของนักกีฬาแอโรบิกยิมนาสติกหญิง โดยศึกษา 3 ช่วงของการการกระโดดคู้เข้าหมุนตัว 1 รอบคือ (1) ช่วงเตรียม (2) ช่วงลอยตัวและ (3) ช่วงลงสู่พื้น กลุ่มตัวอย่างคือนักกีฬาแอโรบิกยิมนาสติกหญิง จำนวน 40 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มนักกีฬาที่มีความสามารถสูง 20 คนและกลุ่มนักกีฬาที่มีความสามารถต่ำ 20 คน ทำการบันทึกภาพการกระโดดคู้เข้าหมุนตัว 1 รอบด้วยกล้องวิดีโอ (Video Camera) แล้วนำมาวิเคราะห์โดยการแจกแจงความถี่ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มนักกีฬาที่มีความสามารถสูง ช่วงเตรียม ระยะการก้าวเท้า 73-84 เซนติเมตร ระยะของการกระโดดรวบเท้า 12-21 เซนติเมตร ตำแหน่งแขนอยู่ที่ตำแหน่งต่ำกว่าระดับไหล่ มุมของข้อเท้า 72-79 องศา มุมของเข่า 90-100 องศา และมุมของสะโพก 96-104 องศา ช่วงลอยตัว ตำแหน่งของแขนอยู่ที่ตำแหน่งระดับไหล่ขึ้นไป ตำแหน่งของเข่าอยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่าระดับขานานกับพื้น และช่วงลงสู่พื้น ตำแหน่งของแขนอยู่ที่ตำแหน่งต่ำกว่าระดับไหล่ มุมของเข่า 107-123 องศา มุมของสะโพก 132-144 องศา และระยะของการกระโดดคู้เข้าหมุนตัว 1 รอบ 10-18 เซนติเมตร ส่วนกลุ่มนักกีฬาที่มีความสามารถต่ำ ช่วงเตรียม ตำแหน่งของแขนอยู่ที่ตำแหน่งกว่าระดับไหล่ มุมของข้อเท้า 80-85 องศา ช่วงลอยตัว ตำแหน่งของแขนอยู่ที่ตำแหน่งระดับไหล่ขึ้นไป ตำแหน่งของเข่าอยู่ที่ตำแหน่งระดับขานานกับพื้นลงมา และช่วงลงสู่พื้น ตำแหน่งของแขนอยู่ที่ตำแหน่งต่ำกว่าระดับไหล่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในช่วงเตรียมการกระโดด การก้าวเท้าแรกพุ่งไปข้างหน้า และกระโดดรวบเท้าเพื่อเพิ่มและเปลี่ยนแรงกดกระทำกับพื้นให้เป็นแนวตั้งซึ่งช่วยเพิ่มแรงปฏิกิริยาในการกระโดดขึ้น แขนทั้งสองข้างลดต่ำลงตามแรงดึงดูดของโลก มีการเอนลำตัวและขาท่อนล่างไปข้างหน้าเพียงเล็กน้อยเพื่อรักษาจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายขณะย่อเข่าให้อยู่ในพื้นที่ฐานรองรับไม่ล้มไปข้างหน้า ช่วงลอยตัว จะอาศัยแรงเหวี่ยงของแขนยกตัวสูงขึ้นข้างบนเพื่อช่วยเพิ่มแรงและควบคุมทิศทางในการกระโดด รวมทั้งการกระโดดยกเข่าสูงเข้าหาอกเพื่อจัดร่างกายให้เป็นแนวเดียวกับลำตัว ซึ่งจะทำให้ควบคุมการหมุนตัวในแนวตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว ช่วงลงสู่พื้น มีการย่อเข่าซึ่งช่วยลดแรงกระแทกและเป็นการลดจุดศูนย์ถ่วงให้ต่ำซึ่งมีผลต่อความมั่นคงมากยิ่งขึ้น และแขนเหยียดออกเพื่อความสมดุล ดังนั้นนักกีฬาที่มีความสามารถสูงสามารถปฏิบัติทักษะการกระโดดคู้เข้าหมุนตัว 1 รอบ ได้ดีกว่านักกีฬาที่มีความสามารถต่ำ เนื่องจากนักกีฬาที่มีความสามารถต่ำยังขาดรูปแบบและความเข้าใจในการทำทักษะการกระโดดคู้เข้าหมุนตัว 1 รอบ

4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

การศึกษาของซุซาร์และเลเบล (Sousa & Lebre, 1996) ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของการกระโดดท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) และท่าเดอะลีปจัมพ์วิธริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) ในนักกีฬายิมนาสติกลีลา กลุ่มตัวอย่างคือนักกีฬายิมนาสติกลีลาที่มีความสามารถระดับสูง จำนวน 12 คน อายุ 15-19 ปี โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำการกระโดดท่า

เดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) และท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Peak5 – Motion Measurements System และการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงทั้งหมด 16 ตำแหน่ง (Spatial model) ซึ่งแบ่งการศึกษาเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงส่งตัว ค้างท่า และช่วงลงสู่พื้น โดยพบว่า ความเร็วของจุดศูนย์กลางร่างกายในช่วงส่งตัวและช่วงลงสู่พื้นของท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) มากกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) ส่วนช่วงจังหวะลอยตัวท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) สามารถลอยตัวได้นานกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) รวมทั้งตำแหน่งจุดศูนย์กลางร่างกายในช่วงส่งตัวและช่วงลงสู่พื้น ท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) จะมีตำแหน่งที่สูงกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) ยกเว้นในช่วงลอยตัวพบว่าจุดศูนย์กลางร่างกายของท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) จะอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) ง่ายกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) เพราะท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) มีเทคนิคและรายละเอียดที่ค่อนข้างมาก ส่งผลให้นักกีฬาสนใจในการเก็บรายละเอียดในท่าเดอะลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชัน (The leap jump with trunk extension) มากกว่าท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) ทำให้นักกีฬาปฏิบัติท่าเดอะลีปจัมพ์ (The leap jump) ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งเป็นจุดที่ผู้ฝึกสอนต้องให้ความสนใจมากขึ้น

การศึกษาของซุซาร์และเลเบล (Sousa & Lebre, 1998) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคิเนมาติกส์ที่ใช้ในการกระโดดในกีฬายิมนาสติกลีลา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬายิมนาสติกลีลา (Junior) อายุ 12-14 ปี จำนวน 29 คน และนักกีฬายิมนาสติกลีลา (Senior) อายุ 15-17 ปี จำนวน 17 คน กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำการกระโดด 4 รูปแบบ คือ ลีปจัมพ์ (Leap jump; A), ลีปจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชันแอนด์ฟุตแอทเฮด (Leap jump with trunk extension and foot at head; B), คอร์โซจัมพ์วิธทริงค์เอ็กเทนชันแอนด์ฟุตแอทเฮด (Curso jump with trunk extension and foot at head; C), เลทเทอร์รอล รีมูฟวอลจัมพ์ (Lateral removal jump; D) โดยแต่ละรูปแบบการกระโดดให้กระโดด 3 ครั้ง และใช้กรรมการในการตัดสินครั้งที่ดีที่สุด จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Peak 5 System (Peak Performance Technologies Inc. – Video and Analog Motion Measurement Systems) พบว่า ระยะเวลาของช่วงจังหวะการส่งตัวมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งของจุดศูนย์กลางร่างกาย (Center of Mass) โดยในกลุ่มนักกีฬายิมนาสติกลีลา (Junior) อายุ 12-14 ปี ตัวแปรทางคิเนมาติกส์ที่เป็นปัจจัยหลักต่อประสิทธิภาพในการกระโดดรูปแบบ A, B และ C คือ มุมของรยางค์ส่วนล่างในจังหวะการส่งตัว (Angle of outlet

on take-off; AngTakeoff) ส่วนการกระโดดรูปแบบ D คือ ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของรยางค์ส่วนล่าง (Angle of maximal removal of inferior members during the flight phase; Maxim) ในกลุ่มนักกีฬายิมนาสติกลีลา (Senior) อายุ 15-17 ปี ตัวแปรทางคิเนมาติกส์ที่เป็นปัจจัยหลักต่อประสิทธิภาพในการกระโดดรูปแบบ A คือ ความเร็วเชิงเส้นตรงของจุดศูนย์ถ่วงร่างกายระหว่างจังหวะการส่งตัว (Linear velocity of CM during take-off) และระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบ (Horizontal distance traveled) การกระโดดรูปแบบ B คือ ระยะเวลาในจังหวะการส่งตัว (Duration of take-off) การกระโดดรูปแบบ C คือ ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของรยางค์ส่วนล่าง (Angle of maximal removal of inferior members during the flight phase; Maxim) และ การกระโดดรูปแบบ D ความเร็วเชิงเส้นตรงของจุดศูนย์ถ่วงร่างกายระหว่างจังหวะการส่งตัว (Linear velocity of CM during take-off) จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่าตัวแปรทางคิเนมาติกส์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกระโดดของนักกีฬายิมนาสติก คือ มุมของรยางค์ส่วนล่าง

การศึกษาของดุดาและคณะ (Douda et al. 2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของนักกีฬายิมนาสติกลีลา ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักกีฬายิมนาสติกลีลา จำนวน 34 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ นักกีฬาชั้นนำ 15 คน นักกีฬาทั่วไป 19 คน โดยการวิเคราะห์จะวิเคราะห์จากการวัดสัดส่วน ความอ่อนตัว กำลังระเบิด(กล้ามเนื้อ) ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน ขนาดร่างกาย และระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งจากงานวิจัยปัจจัยที่ส่งผลนักกีฬายิมนาสติกลีลา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พบว่าการวัดสัดส่วนคิดเป็น 45%, ความอ่อนตัว 12.1%, กำลังระเบิด(กล้ามเนื้อ) 9.2% ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน 7.4%, ขนาดร่างกาย 6.8%, และระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน 4.6% โดยสรุปได้ว่า สัดส่วนร่างกาย ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน ความอ่อนตัว และกำลังระเบิด(กล้ามเนื้อ) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของนักกีฬายิมนาสติกลีลา

การศึกษาของซิคเคลล่า (Cicchella, 2009) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่ากระโดดในนักกีฬายิมนาสติกลีลา เพื่ออธิบายลักษณะของการเคลื่อนไหว และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลในการกระโดดแต่ละรูปแบบ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬายิมนาสติกลีลาที่มีประสบการณ์ระดับสูง โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนทำการกระโดด 4 รูปแบบ คือ แกรนด์เจตเต้ (Grand jete), คอแซ็กจัมพ์ (Kosak jump), คอแซ็กจัมพ์วิธฮาฟเทิร์น (Kosak jump with half turn) และเทรินสซิสเซอร์จัมพ์ (Turn scissor jump) กระโดดรูปแบบละ 10 ครั้ง ใช้กล่องจำนวน 6 ตัว กำหนดความถี่ 100 เฮิรตซ์ และติดเครื่องหมายสะท้อนแสง จำนวน 37 ตำแหน่ง ทำการวิเคราะห์ 4 ช่วง ได้แก่ ความยาวก้าว ระยะห่างระหว่างปลายนิ้วเท้าและการสัมผัสส้นเท้าของก้าวสุดท้าย มุมของหัวเข่าและข้อเท้าในจังหวะส่งตัวขึ้นกระโดด และเวลาที่ใช้ในการลอยตัว พบว่า ระยะเวลาในการลอยตัวของท่าคอแซ็กจัมพ์ (Kosak jump) จะมีเวลามากกว่าท่าแกรนด์เจตเต้ (Grand jete) และท่าเท

รินสคิสเซอร์จัมพ์ (Turn scissor jump) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ถึงแรงเฉื่อยที่เกิดจากการงอของข้อสะโพกในจังหวะการลอยตัว ทำให้มีการเพิ่มแรงที่จุดศูนย์ถ่วงร่างกาย ส่งผลให้มีระยะเวลาในการลอยตัวเพิ่มขึ้น ส่วนการงอของรยางค์ส่วนล่างในท่าคอแซ็กจัมพ์วิธฮาฟเทิร์น (Kosak jump with half turn) จะมีน้อย เนื่องจากการรวมกันของการเคลื่อนไหว 2 แบบ คือ ท่าคอแซ็กจัมพ์ (Kosak jump) และการหมุน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การกระโดดในแต่ละรูปแบบมีลักษณะการเคลื่อนไหว การควบคุมร่างกายที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ถึงการสร้างแรงเฉื่อยของรยางค์ส่วนล่างในจังหวะการลอยตัว เนื่องจากมีแรงเฉื่อยของมวลและความเร็วของระยะการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย จึงทำให้มีเวลาในการลอยตัวได้นานมากที่สุด คือ ท่าคอแซ็กจัมพ์ (Kosak jump)

การศึกษาของอิมูระและคณะ (Imura et al., 2010) ทำการศึกษาตัวแปรข้อมูลทางคิเนมาติกส์และคิเนติกส์ของท่าฟอตเต้เทิร์น (Fouette turn) และความแตกต่างของระดับความหนักของขาในขณะทำ ท่าฟอตเต้เทิร์น (Fouette turn) โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักบอลลีต จำนวน 7 คน อายุระหว่าง 26-29 ปี มีความสูงเฉลี่ย 1.58 เมตร น้ำหนักเฉลี่ย 47.8 กิโลกรัม รวมทั้งมีประสบการณ์ในการเต้นบอลลีต 17-24 ปี กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำท่าฟอตเต้เทิร์น (Fouette turn) โดยให้หมุนตามเข็มนาฬิกา มีขาซ้ายยืนเป็นฐาน นอกจากนี้ทำการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงแบบ Spherical markers รวมทั้งมีการวัดแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งของขาที่ใช้เป็นฐาน โดยกำหนดความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ และใช้กล้องจำนวน 3 ตัว ในการบันทึกภาพการเคลื่อนไหว โดยในการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ ซึ่งเลือกข้อมูลในครั้งที่ทำการหมุนท่าฟอตเต้เทิร์น (Fouette turn) ได้ดีที่สุด ใช้สถิติ Two-tailed paired t test และกำหนดระดับนัยสำคัญอยู่ที่ 0.05 พบว่า ความหนักในการเคลื่อนไหวของขาทั้งสองข้าง ซึ่งกลุ่มกล้ามเนื้อ Hip abductor กล้ามเนื้อ Hip extensor กล้ามเนื้อ Knee extensor และกล้ามเนื้อ Plantar flexor เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีค่า Torques มาก เพื่อใช้ในการทรงท่าทางการยืนในขณะที่อยู่ใน Swing phase ส่วนค่าคิเนมาติกส์และคิเนติกส์ ข้อสะโพกจะเริ่มจากการกางออกพร้อมกับงอ โดยกลุ่มกล้ามเนื้อ Abductor จะมีค่าทอร์กมากที่สุดในช่วงที่ส้นเท้าสัมผัสพื้น ส่วนข้อเข่าในการทำท่ายืนมีการเหยียดออกจากรูปนั้นจึงงอ แต่กลุ่มกล้ามเนื้อที่ช่วยในการสนับสนุนการยืน พบว่า จะเริ่มจากการงอและเหยียดออกจึงทำให้เกิดเป็นค่าทอร์กของการเหยียดออกสูงสุดและข้อเท้า พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลการศึกษาในนักเต้นผู้หญิง มีการใช้กล้ามเนื้อ Hip abductor ในจังหวะที่มีการตัวตุงและหยุด รวมทั้งกลุ่มกล้ามเนื้อ Hip adductor และ Hip flexor ในการทำท่าฟอตเต้เทิร์น (Fouette turn) ซึ่งการหมุนต้องอาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกลุ่ม Hip abductor, Knee extensor, และ Plantar flexor เพื่อให้นักเต้นสามารถแสดงท่าฟอตเต้เทิร์น (Fouette turn) ได้อย่างต่อเนื่อง

การศึกษาของ Cheng และคณะ (Cheng et al., 2011) ทำการศึกษาข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่าริงเชปลีป (Ring-shape leap) และท่าแบ็คเวิร์ดบาลานซ์ (Backward balance) ในนักกีฬายิมนาสติกศิลป์ จำนวน 2 คน เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวร่างกาย ระดับความยาก และท่ายากของร่างกายที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกท่ายากของนักกีฬา โดยทำการบันทึกการเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอ (BASLER A6) กำหนดความถี่ 100 เฮิรตซ์ ทำการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงจำนวน 19 ตำแหน่งบนข้อต่อต่าง ๆ ของร่างกาย โดยให้นักกีฬาทำท่าริงเชปลีป (Ring-shape leap) และท่าแบ็คเวิร์ดบาลานซ์ (Backward balance) ท่าละ 2 ครั้ง พบว่าท่าริงเชปลีป (Ring-shape leap) ในจังหวะการส่งตัว (Take-off phase) นักกีฬา B มีมุมของต้นขา 197.78 องศา ส่วนนักกีฬา A มีมุมของต้นขา 213.79 องศา นอกจากนี้มุมของข้อเข่าและข้อเท้าในนักกีฬา B น้อยกว่านักกีฬา A ส่งผลให้เวลาในการลอยตัวของนักกีฬา B อยู่ที่ 0.38 วินาที ซึ่งน้อยกว่านักกีฬา A ที่ 0.54 วินาที ดังนั้นการทำมุมของข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพกของนักกีฬา B ที่น้อยกว่านักกีฬา A ทำให้การเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างช้าและไม่ถูกต้องส่งผลต่อความสูงและระยะเวลาในการลอยตัวที่ไม่สมบูรณ์ และท่าแบ็คเวิร์ดบาลานซ์ (Backward balance) นักกีฬา B มีเวลาในการทรงตัว 0.18 วินาที ส่วนนักกีฬา A มีเวลาในการทรงตัว 0.28 วินาที ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวของมุมร่างกายส่วนล่างที่ไม่ถึงระดับมาตรฐานทำให้การจัดระเบียบร่างกายไม่อยู่ในแนวเส้นตรงที่สมบูรณ์ จึงสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า สิ่งที่ถูกฝึกสอนและนักกีฬาควรให้ความสำคัญ คือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและลำตัวที่จะเป็นองค์ประกอบทำให้นักกีฬาสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การศึกษาของ วาซิก (Wasik, 2011) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่าเตะด้านข้างในนักกีฬาเทควันโด โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทควันโดจำนวน 6 คน จากสหพันธ์เทควันโดนานาชาติ แบ่งเป็น เพศหญิง 1 คน และเพศชาย 5 คน รวมทั้งมีประสบการณ์ในการเล่นกีฬาเทควันโด มากกว่า 4 ปี และมีการฝึกซ้อม 3-5 ครั้งต่อสัปดาห์ กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำท่าเตะด้านข้างคนละ 3 ครั้ง ใช้ระบบ Smart-D ในการวิเคราะห์ท่าที่มีความซับซ้อน และใช้กล้องจำนวน 6 ตัว เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางคิเนติกส์และคิเนมาติกส์ ทำการอธิบายตัวแปรโดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และกำหนดระดับ นัยสำคัญที่ 0.05 ผลการทดลองพบว่า ในท่าเริ่มต้นนักกีฬาจะทิ้งน้ำหนักตัวไปที่ขาด้านหน้า 70% และขาด้านหลัง 30% ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงร่างกายมีการยกสูงขึ้น ตำแหน่งของมือยังคงตั้งการ์ด เมื่อเท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น ข้อต่อของข้อเท้าจะรับรู้และมีการส่งแรงเพื่อผลักเท้าข้างขวาออกจากพื้น ในช่วงยกเท้าขวาจะส่งผลให้เกิดแรง โดยมีกล้ามเนื้อของร่างกายส่วนล่างเป็นตัวควบคุมท่าทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อสะโพกและข้อเท้าเหยียดออก นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วสูงสุดในช่วงที่เท้ายกขึ้นในแกน Y อยู่ที่ 5.10 m/s และในช่วงความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 82% ของการเหยียดขา ความเร็วของแกน Z อยู่ที่ 5.65 m/s ระยะเวลาที่ใช้ขณะทำท่าอยู่ที่ 0.39 วินาที และในช่วงสุดท้ายข้อเท้าของขาที่ใช้เตะยังคงเหยียดออก นักกีฬาสามารถทรงตัวได้โดยที่เท้ายัง

อยู่จุดเดิมเหมือนกับท่าเริ่มต้น ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงช่วงสุดท้าย 0.71 วินาที ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นักกีฬาควรที่จะให้ความสนใจและโฟกัสในการลดระยะเวลาในการเตะ และเพิ่มความเร็วในการเตะให้มากขึ้น

การศึกษาของชิงากิและคณะ (Shigaki et al., 2013) กีฬายิมนาสติกลีลาต้องการสมรรถภาพทางกายที่สูง นักกีฬาที่แสดงประสิทธิภาพได้ดีจะขึ้นอยู่กับ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทาน การทำงานประสานกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ รวมถึงการควบคุมสมดุลของร่างกาย งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการควบคุมสมดุลของร่างกายในนักกีฬายิมนาสติกลีลา โดยกลุ่มตัวอย่างจะประกอบด้วยนักกีฬายิมนาสติกลีลา เพศหญิง จำนวน 10 คน ถูกประเมินโดยการยืนบนแผ่นวัดแรงด้วยขาหนึ่งข้าง และทดสอบการควบคุมสมดุลของร่างกาย (Side Hop Test and Figure of Eight Hop Test) วัดตำแหน่งของ COP ขณะที่ทำการทดสอบการควบคุมสมดุลของร่างกาย (Side Hop Test and Figure of Eight Hop Test) จากการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างรอยางค์ส่วนล่าง ในค่าความถี่ถึงที่ของ Mediolateral direction โดยรอยางค์ส่วนล่างของขาข้างไม่ถนัดแสดงผลว่าการควบคุมสมดุลของร่างกายสูงกว่าขาข้างถนัด สำหรับ Functional Test (Side Hop Test and Figure of Eight Hop Test) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างรอยางค์

การศึกษาของอโกเปียน (Agopyan, 2014) ทำการวิเคราะห์ท่ายากร่างกาย (Body movement difficulties) ของนักกีฬายิมนาสติกลีลาในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกปี 2012 รอบชิงชนะเลิศ มีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาที่เข้าร่วมการแข่งขันรอบชิงชนะเลิศ จำนวน 10 คน ซึ่งนักกีฬาแต่ละคนจะทำการแสดงด้วยอุปกรณ์ห่วง บอล คทา และริบบิ้น รวมทั้งหมด 40 ท่าชุด ซึ่งการเก็บข้อมูลมาจากการบันทึกวิดีโอในขณะที่ทำการแข่งขัน รวมทั้งให้คณะกรรมการระดับนานาชาติทำการตัดสินผ่านการบันทึกวิดีโอ โดยแบ่งเป็นการตรวจสอบภายใน (ทำการตรวจสอบซ้ำ) และตรวจสอบภายนอก (มีผู้สังเกต 3 คน) ทั้งนี้กลุ่มท่ายากแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก คือ กลุ่มท่าการกระโดด กลุ่มท่าการทรงตัว กลุ่มท่าการหมุนตัว และกลุ่มท่าความอ่อนตัว ซึ่งนักกีฬายิมนาสติกลีลามีความจำเป็นที่จะต้องเลือกท่าบังคับในการเล่นอุปกรณ์ห่วงอย่างน้อย 2 ท่า ส่วนอุปกรณ์ห่วง บอล คทา และริบบิ้นต้องเลือกท่าบังคับอย่างน้อย 2 ท่าและท่าไม่บังคับไม่เกิน 4 ท่า คะแนนของการเล่นท่ายากร่างกายจะมีตั้งแต่ 0.10 เป็นต้นไป แต่ในบางท่าที่มีการผสมผสานการเคลื่อนไหวร่างกายสองท่าขึ้นไปหรือมีการเพิ่มรอบในการหมุน จะมีคะแนนมากถึง 1.00 คะแนน พบว่า กลุ่มท่าการหมุนตัวและการทรงตัวเป็นกลุ่มที่ถูกเลือกนำมาใช้ประกอบการแข่งขันมากที่สุด ในขณะที่กลุ่มท่าความอ่อนตัวถูกเลือกนำมาใช้ประกอบการแข่งขันน้อยที่สุด นอกจากนี้ท่าเจตเต้วิธอะเทิร์น (Jete with a turn), ท่าบาลานซ์แบ็คสเกลเลกไฮอัป (Balance in back scale leg high up), ท่าอะติจูดไพวอท (Attitude pivot) และท่าโรเตชันอินเพนเช่ (Rotation in Penche) เป็นท่าที่นิยมนำมาใช้ในการแสดงมากที่สุดในการ

แข่งขันครั้งนี้ จึงสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า นักกีฬาโยนิมาสติกลีลาระดับโอลิมปิกมีแนวโน้มที่จะใช้การแสดงท่าอากาศยานในแต่ละท่าที่เป็นประจำเพื่อให้เห็นถึงจุดบกพร่องของการแสดงท่าอากาศยานให้น้อยที่สุด ดังนั้นการศึกษานี้จะเป็นฐานสำหรับการศึกษาในอนาคตเพื่อมุ่งเน้นที่คะแนนที่มีการปรับแก้ไข และการเลือกท่าให้มีความหลากหลาย

การศึกษาของคิมและคณะ (Kim et al., 2014) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาโมเมนตัมเชิงมุมในแนวตั้งของนักบัลเล่ต์ในการหมุน 1 รอบ 2 รอบ และ 3 รอบ ของท่าเทิร์นไพรอตเต้เอนเดฮอร์ (Turn pirouette en dehors) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักบัลเล่ต์ 9 คน เป็นเพศหญิง 8 คน และเพศชาย 1 คน มีอายุระหว่าง 20-26 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 60.4 กิโลกรัม ความสูงเฉลี่ย 161.3 เซนติเมตร และมีประสบการณ์ด้านการเต้นบัลเล่ต์เฉลี่ยอยู่ที่ 13.9 ปี กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำท่าเทิร์นไพรอตเต้เอนเดฮอร์ (Turn pirouette en dehors) หมุน 1 รอบ 2 รอบ และ 3 รอบ ตามลำดับ โดยแต่ละแบบของการหมุน จะทำ 3 ครั้ง และหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ทั้งนี้การทดสอบจะใช้กล้องความถี่ 250 เฮิร์ตซ์ จำนวน 10 ตัว และใช้เครื่องหมายสะท้อนแสง (ขนาด 10 มิลลิเมตร) ติดบนร่างกายผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 48 จุด รวมทั้งผู้เข้าร่วมวิจัยสวมใส่ชุดว่ายน้ำสีดำและรองเท้าบัลเล่ต์ ยีนบนแผ่นวัดแรงจำนวน 2 แผ่น ที่ถูกปกคลุมด้วยพื้นห้องเต้นหรือพื้นเวทีที่ ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Kwon3D motion analysis software ใช้สถิติ One-way repeated-measure multivariate analysis of variance (MANOVA) และสถิติ Two-way (3 x 5) repeated-measure analysis of variance (ANOVA) โดยมีค่าระดับนัยสำคัญอยู่ที่ 0.05 ผลการทดลองพบว่า ค่า Vertical angular momentum ทั้งร่างกายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย รวมทั้งแขนมีการยกขึ้นในระหว่าง Angular momentum generation phase แต่ในส่วนอื่นของร่างกายจะยกสูงสุดขณะทำ single-stance phase นอกจากนี้ ศีรษะ ลำตัว และขา จะมีค่า Vertical angular momentum ในขณะที่ทำ maximum longitudinal angular momentum สรุปผลการวิจัยได้ว่า นักเต้นที่มีประสบการณ์สูงจะสร้างโมเมนตัมเชิงมุมในแนวตั้งให้มากขึ้นเมื่อจำนวนรอบในการหมุนเพิ่มขึ้น โดยอาศัยการหมุนของลำตัว ส่วนบนและแขนเป็นตัวส่งแรง ทั้งนี้จะใช้เวลาในการหมุนเท่าเดิม ลำดับในการหมุนเริ่มจากการเคลื่อนไหวโดยการบิดลำตัวซึ่งสัมพันธ์กับกระดูกเชิงกราน ตามด้วยการใช้แขนถือเป็นสิ่งสำคัญ โดยแขนซ้ายจะมีความสำคัญต่อการสร้างโมเมนตัมเชิงมุมมากที่สุด ดังนั้นการเคลื่อนไหวของแขนและข้อไหล่จะส่งผลต่อโมเมนตัมเชิงมุมในแนวตั้งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

การศึกษาของโคลแล็กซ์โควสกีและซาญา (Kolaczowski & Sayah, 2015) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าแบ็คเวิร์ดแฮนด์สปริง (Backward handspring) ในนักกีฬาโยนิมาสติกลีลาระดับโอลิมปิกและโยนิมาสติกโครบาติก มีกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 คน โดยเป็นนักกีฬาโยนิมาสติกลีลาระดับโอลิมปิก จำนวน 5 คน และนักกีฬาโยนิมาสติกโครบาติกจำนวน 5 คน อายุระหว่าง 17-24 ปี กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำท่าแบ็คเวิร์ดแฮนด์สปริง (Backward handspring) 3

ครั้ง ศึกษาทั้งหมด 2 ช่วง ได้แก่ จังหวะต้นพื้นและช่วงสิ้นสุดการทำท่า ซึ่งเก็บข้อมูลโดยการถ่ายภาพวิเคราะห์ด้วยกล้อง Sony กำหนดความเร็วของกล้องไว้ที่ 60 เฟรมต่อวินาที และใช้โปรแกรม Kinovea ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด ช่วงการลอยตัวครั้งที่ 1 ช่วงต้นพื้น และตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงร่างกายระหว่างนักกีฬายิมนาสติกศิลป์และนักกีฬายิมนาสติกอโครบาติก โดยนักกีฬายิมนาสติกศิลป์มีระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมดน้อยกว่านักกีฬายิมนาสติกอโครบาติก แต่มีระยะเวลาการลอยตัวครั้งที่ 1 มาก ซึ่งบ่งชี้ว่านักกีฬาใช้เท้าทั้งสองข้างในการถีบตัวออกจากพื้นทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงร่างกายอยู่สูงกว่านักกีฬายิมนาสติกอโครบาติก จะช่วยให้นักกีฬายิมนาสติกแสดงทักษะการหมุนและการตีลังกาคลับหลังได้ดี รวมทั้งนักกีฬายิมนาสติกศิลป์มีระยะเวลาในช่วงต้นพื้นที่น้อยกว่านักกีฬายิมนาสติกอโครบาติก โดยมีมือสัมผัสพื้นในช่วงต้นพื้นน้อยส่งผลต่อการเหวี่ยงและการลงสู่พื้นของร่างกาย นอกจากนี้ลักษณะของการวิ่งสลับเท้าจะพบว่ามือและเท้าจะสัมผัสพื้นพร้อมกันในจังหวะการสัมผัสพื้น ส่วนความเร็วในการวิ่งถูกควบคุมด้วยความยาวก้าวและความถี่ของก้าว ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในช่วงการหดตัวที่ความยาวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Eccentric phase) และในช่วงการหดตัวที่ความยาวของกล้ามเนื้อลดลง (Concentric phase) ในช่วงจังหวะการลอยตัวครั้งที่ 2 ของทั้ง 2 กลุ่ม ส่วนความเร็วของจุดศูนย์ถ่วงร่างกาย พบว่า นักกีฬายิมนาสติกศิลป์มีความเร็วของจุดศูนย์ถ่วงทั้งในแนวราบและแนวตั้งมากกว่านักกีฬายิมนาสติกอโครบาติกในจังหวะการส่งแรง ซึ่งการที่นักกีฬายิมนาสติกศิลป์มีตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงร่างกายสูงในจังหวะการส่งแรงทำให้มีระยะเวลาในการแสดงท่าตีลังกาคลับหลังที่นาน รวมทั้งนักกีฬายิมนาสติกศิลป์มีความเร็วของจุดศูนย์ถ่วงในแนวราบสูงในจังหวะการใช้มือผลักพื้นซึ่งเป็นส่วนสำคัญในจังหวะการลงสู่พื้น ทั้งนี้การที่ความเร็วของจุดศูนย์ถ่วงน้อยในจังหวะการส่งแรงและจังหวะการใช้มือผลักพื้นจะทำให้ประสิทธิภาพการตีลังกาคลับหลังของนักกีฬายิมนาสติกอโครบาติกลดลง ดังนั้นการวิ่งต้องมีความสัมพันธ์กันทั้งระยะทางและความเร็วที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถแสดงทักษะการตีลังกาคลับหลังได้ดี ในบางครั้งนักกีฬายิมนาสติกจะแสดงทักษะการตีลังกาคลับหลังด้วยความเร็วสูงในขณะที่ความเร็วและระยะทางการวิ่งไม่สัมพันธ์กันจะทำให้ประสิทธิภาพในลดลง ในส่วนของมุมมองและความเร็วของข้อไหล่ ข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า พบว่า นักกีฬายิมนาสติกศิลป์ (จังหวะการส่งแรง) จะมีความเร็วเชิงมุมและมุมมองการเคลื่อนไหวของข้อไหล่ ข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้ามากกว่านักกีฬายิมนาสติกอโครบาติก (จังหวะการส่งแรงของเท้า) ซึ่งการเหยียดของข้อเข่าและมีความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกและข้อเข่าสูงในจังหวะการส่งแรงเป็นสิ่งสำคัญต่อการแสดงทักษะการตีลังกาคลับหลัง ส่งผลให้มีการเพิ่มโมเมนตัมแนวราบของร่างกายในจังหวะที่ร่างกายตกลงและเปลี่ยนจากโมเมนตัมแนวราบเป็นโมเมนตัมแนวตั้ง ในขณะที่ทำการส่งแรงจากส้นเท้า นอกจากนี้ยังพบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยการเหยียดข้อมือ ข้อไหล่และข้อเข่าระหว่างนักกีฬายิมนาสติก

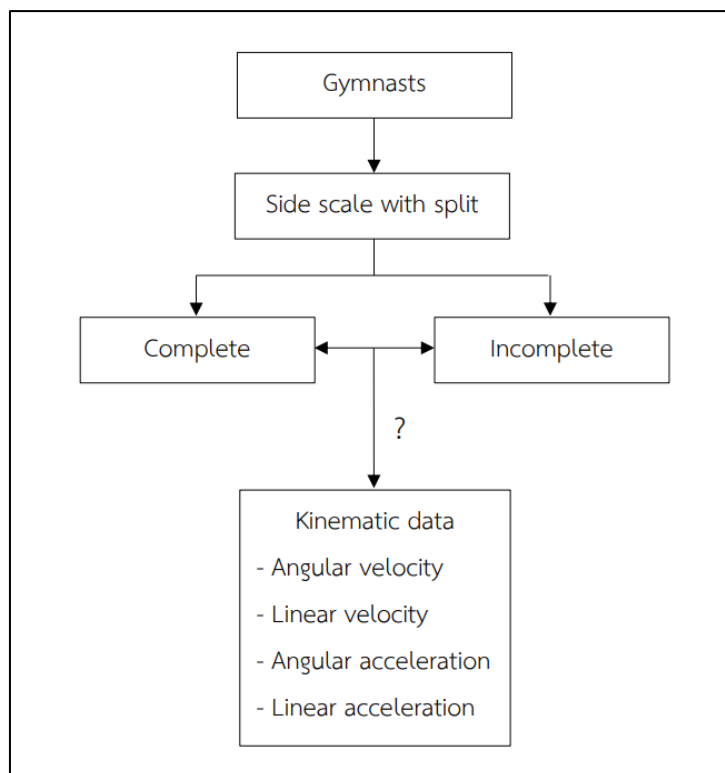
ทั้ง 2 กลุ่มในจังหวะมือสัมผัสพื้น โดยนักกีฬาโยนิมาสติกอโครบาติกจะมีการเหยียดของข้อไหล่มาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียการทรงตัวในขณะที่ทำท่าหกสูง รวมทั้งมีการเหยียดของข้อเข่าเล็กน้อยในจังหวะมือสัมผัสพื้นเนื่องจากในจังหวะการส่งแรงมีการทำมุมของเข่าน้อย ส่วนการควบคุมมุมและความเร็วของข้อไหล่และข้อเข่ามากแสดงว่าการทำท่าหกสูงสามารถควบคุมได้ดีในจังหวะที่ตีลังกา กลับหลัง ทั้งนี้ นักกีฬาโยนิมาสติกศิลป์จะมีความเร็วเชิงมุมของข้อเข่ามากกว่านักกีฬาโยนิมาสติกอโครบาติก แสดงว่านักกีฬาโยนิมาสติกศิลป์สามารถที่จะเหยียดข้อเข่าออกได้เร็วในจังหวะที่มือสัมผัส และยังพบว่า นักกีฬาโยนิมาสติกศิลป์มีมุมและความเร็วของสะโพกที่มากกว่านักกีฬาโยนิมาสติกอโครบาติกในจังหวะที่ใช้มือส่งแรงเพื่อผลักออกจากพื้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเหยียดข้อสะโพกได้มากและส่งแรงไปยังมือ เพื่อเพิ่มการหมุนลำตัวและการควบคุมในจังหวะการลงสู่พื้น รวมทั้งร่างกายส่วนบนต้องสามารถรองรับน้ำหนักตัวและมีการส่งแรงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแนวแขนจึงเป็นอีกปัจจัยเสี่ยงในการรับน้ำหนักมากเกินไปและจะส่งผลต่อการเคลื่อนไหว จากที่กล่าวไปทั้งหมด จึงสามารถสรุปผลการศึกษานี้ได้ว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของนักกีฬาโยนิมาสติก ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนไหวในจังหวะการส่งแรงทั้งความเร็วเชิงมุมและมุมของข้อต่อจัดเป็นตัวแปรสำคัญ เพื่อเพิ่มความเร็วในแนวราบและแนวตั้งในจังหวะการส่งแรงส่งผลให้มีการเปลี่ยนโมเมนตัมแนวราบเป็นแนวตั้ง และการเหยียดออกของข้อต่อจะส่งผลต่อทักษะในจังหวะการลงสู่พื้นที่ดี รวมทั้งในจังหวะการใช้มือผลักออกจากพื้นจะเพิ่มความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพก เพื่อเปลี่ยนจากพลังงานศักย์เป็นพลังงานกล ดังนั้นข้อมูลทางคิเนมาติกส์ดังกล่าวจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญให้แก่ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาในการวางแผนการฝึกซ้อม การปรับท่าทาง และเทคนิคต่าง ๆ เพื่อให้การเคลื่อนไหวมีการได้เปรียบเชิงกลมากที่สุด

การศึกษาของแบล็คกีวีชและคณะ (Błażkiewicz et al., 2019) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนติกส์ของการลงสู่พื้น 2 แบบ หลังจากการทำท่าฟรอนท์สปลิตลีป (Front split leaps) มีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาโยนิมาสติกอโครบาติก จำนวน 15 คน อายุ 19-25 ปี และมีประสบการณ์ในการเล่นกีฬาโยนิมาสติก 9-15 ปี ทำการวัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry) มีการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง แบบ Spherical markers จำนวน 34 ตำแหน่ง ใช้โปรแกรม Motion capture ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว รวมทั้งแผ่นวัดแรงจำนวน 2 แผ่น กำหนด Sampling frequency 1,000 เฮิร์ตซ์ กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำการกระโดดท่าฟรอนท์สปลิตลีป (Front split leaps) จังหวะการลงสู่พื้น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ในจังหวะการลงสู่พื้น ใช้ร่างกายส่วนล่าง 1 ข้าง ในการหยุด โดยอยู่ในท่าอาราเบส (Arabesque position) ส่วนแบบที่ 2 ในจังหวะการลงสู่พื้น ร่างกายส่วนล่างลงบนแผ่นวัดแรง 1 แผ่น ส่วนร่างกายอีกข้างอยู่บนแผ่นวัดแรงอีกแผ่น หลังจากนั้นก้าวต่อเนื่องอีก 2-3 ก้าว โดยกำหนดให้ทำการกระโดดอย่างละ 3 ครั้ง สถิติที่ใช้ คือ Shapiro-Wilk test และกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการทดลอง พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง

การลงสู่พื้น 2 แบบ คือ Balanced landing และ Moving landing ได้แก่ ค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดระหว่างการลงสู่พื้นแบบ Balanced landing อยู่ที่ 29.5% ซึ่งมากกว่าแบบ Moving landing ระดับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในการลงสู่พื้นแบบ Balanced landing จะมีค่าสูงกว่าแบบ Moving landing และระดับความสูงของเข่าในแนวตั้ง พบว่า การลงสู่พื้นแบบ Balanced landing จะมีระดับที่ต่ำกว่า Moving landing รวมทั้งไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลของค่าทอร์กของกล้ามเนื้อของข้อเท้าและข้อเข่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการลงสู่พื้น 2 แบบ แต่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าทอร์กของข้อสะโพกที่สูงกว่าระหว่างการลงสู่พื้นแบบ Balanced landing นอกจากนี้ยังพบว่า การลงสู่พื้นแบบ Balanced landing จะมีแรงมากระทำต่อข้อสะโพกมากที่สุด ตามด้วยข้อเท้า และข้อเข่าตามลำดับ ส่วนการลงสู่พื้นแบบ Moving จะมีแรงมากระทำต่อข้อเท้ามากที่สุด ตามด้วยข้อสะโพก และข้อเข่า จากการทดลองนี้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนารูปแบบ หรือเทคนิค เพื่อหาวิธีป้องกันการบาดเจ็บให้กับนักกีฬายิมนาสติก

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กีฬายิมนาสติกลีลา เป็นกีฬาที่เกี่ยวกับการแสดงท่าทางต่าง ๆ ประกอบบทเพลง โดยการตัดสินของคณะกรรมการจะขึ้นอยู่กับระดับคะแนนของท่าที่นักกีฬาเลือกมาใช้ ซึ่งจากกฎกติกาของสหพันธ์ยิมนาสติกโลก (The International Gymnastics Federation; FIG) ได้กำหนดให้กลุ่มท่าการทรงตัวเป็นกลุ่มท่าที่มีคะแนนมากที่สุดอยู่ที่ 0.5 คะแนน ประกอบด้วยท่าแบ็คสเกลวิธสปลิต (Back scale with split) ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) และท่าฟรอนท์สเกลวิธแบ็คสปลิต (Front scale with back split) โดยในประเทศไทยไม่นิยมเลือกท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) มาประกอบการแสดง เนื่องจากเป็นท่าที่ต้องอาศัยทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัวรวมทั้งเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งยังมีนักกีฬาจำนวนมากไม่สามารถแสดงท่าทักษะนี้ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจวิเคราะห์การเคลื่อนไหวในท่างานนี้ โดยศึกษาข้อมูลทางคิเนมาติกส์ ได้แก่ ความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่เชิงมุมและเชิงเส้นในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตเปรียบเทียบระหว่างครั้งที่ทำได้ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬายิมนาสติกลีลา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับผู้ฝึกสอนและนักกีฬา รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมและการแข่งขันให้นักกีฬามีความสมบูรณ์ ในการแสดงท่าไซด์สเกลวิธสปลิตมากยิ่งขึ้น (ดังรูปที่ 9)



รูปที่ 9 กรอบแนวคิดในการวิจัย

หมายเหตุ: การแสดงท่าไซด์สเกลวิธสปลิตแบ่งเป็น 3 ช่วง (Sousa & Lebre, 1996) คือ

ช่วงที่ 1 ช่วงขึ้นท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Preparation phase) คือ เริ่มตั้งแต่ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนเตรียมในท่าขาชิด โดยฝ่าเท้าทั้งสองข้างแนบชิดติดกับพื้น จากนั้นเตะขาเหยียดพร้อมเอนลำตัวไปด้านข้างให้อยู่ในท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

ช่วงที่ 2 ช่วงค้ำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Balance phase) คือ ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องค้ำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตในรูปแบบการเขย่งเท้าเป็นระยะเวลา 1 วินาที

ช่วงที่ 3 ช่วงสิ้นสุดท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Landing phase) คือ ผู้เข้าร่วมวิจัยดึงลำตัวและขากลับสู่ท่าเตรียม ในท่าขาชิดพร้อมกับเขย่งปลายเท้า

โดยในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาในช่วงที่ 1 และ 2 เนื่องจากช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ส่งให้สามารถเคลื่อนไหวในท่าไซด์สเกลวิธสปลิต และหากมีการเคลื่อนไหวที่ดีย่อมสามารถค้ำท่าในช่วงที่ 2 ได้สมบูรณ์ โดยคณะกรรมการจะพิจารณาการให้ผ่านและให้คะแนนในช่วงที่ 2 คือช่วงการค้ำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต โดยในส่วนของช่วงที่ 3 คณะกรรมการไม่นำการเคลื่อนไหวในช่วงนี้มาคิดเป็นองค์ประกอบของคะแนน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬาโยนิมาสติกส์ลีลา ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่างและวิธีเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. รูปแบบของการวิจัย
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักกีฬาโยนิมาสติกส์ลีลา เพศหญิง

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาโยนิมาสติกส์ลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี จำนวน 12 คน ที่ได้มาจากการสุ่มแบบจำเพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Mkaouer และคณะ (Mkaouer et al., 2013) กำหนดให้อำนาจการทดสอบ $(1-\beta) = 0.9$ ระดับความมีนัยสำคัญ $(\alpha) = .05$ ขนาดอิทธิพล $(d) = 1.95$ ดังนั้นจะได้กลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power ทั้งหมด 5 คน แต่เนื่องจากมีนักกีฬาที่สามารถเข้าเกณฑ์คัดเข้าได้ทั้งหมด 12 คน จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้จำนวนทั้งสิ้น 12 คน (ภาคผนวก ก)

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมงานวิจัย (Inclusion Criteria)

1. เป็นนักกีฬาโยนิมาสติกส์ลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี
2. ผ่านการแข่งขันระดับนานาชาติอย่างน้อย 2 รายการ ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563
3. มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอ (3 วัน/สัปดาห์) ในช่วง 6 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัยนี้
4. ไม่มีประวัติการบาดเจ็บเรื้อรังจากโรคทางกระดูกกล้ามเนื้อ ในระดับปานกลางถึงรุนแรง โดยได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าต้องเข้ารับการรักษา ในช่วงระยะเวลา 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย
5. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย และยินดียินยอมในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย (Exclusion Criteria)

1. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อไปได้ เช่น ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดการบาดเจ็บจนเป็นอุปสรรคต่อการวิจัย
2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่สมัครใจทำการวิจัยต่อ

วิธีการได้มาและการเข้าถึงผู้เข้าร่วมวิจัย

ติดต่อและขออนุญาตประชาสัมพันธ์โดยการติดแผ่นประชาสัมพันธ์ที่สโมสรต่าง ๆ เพื่อรับสมัครนักกีฬาอิมานาสติกลีลาที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย จากนั้นทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์การคัดเลือก

วิธีการพิทักษ์สิทธิของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและการจัดการกับความเสี่ยง

ผู้วิจัยจะแนะนำตัวแก่ผู้ร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย กระบวนการขั้นตอนการวิจัยและชี้แจงให้ทราบว่าผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถขอปรับหรือปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะโดยไม่ต้องให้เหตุผล ไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ และไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผู้เข้าร่วมวิจัย ข้อมูลทุกอย่างจะถูกเก็บเป็นความลับและนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะขอให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยลงชื่อในใบยินยอมเข้ารับการศึกษา ทั้งนี้ผู้วิจัยจะเป็นผู้ควบคุมการทดลองด้วยตนเองและดำเนินการทดลองในห้องที่เป็นสัดส่วน โดยดำเนินการเป็นรายบุคคล หากผู้เข้าร่วมการวิจัยเกิดการบาดเจ็บ ผู้วิจัยจะหยุดการทดลองทันทีและสังเกตอาการพร้อมนำส่งโรงพยาบาลทันที

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys motion capture system) ประกอบด้วย กล้องจับภาพการเคลื่อนไหว รุ่น Qqus 7 + Series จำนวน 8 ตัว และกล้องวิดีโอความเร็วสูง รุ่น Qqus 210c จำนวน 1 ตัว ยี่ห้อ Qualisys บริษัท Qualisys Medical AB ประเทศสวีเดน
2. เครื่องหมายสะท้อนแสง (Retro reflective marker) จำนวน 8 อัน
3. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) รุ่น ioi 353 ยี่ห้ออินบอดี (In body) ประเทศเกาหลีใต้
4. โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys Track Manager)
5. นาฬิกาจับเวลา
6. แอลกอฮอล์และสำลี
7. แบบบันทึกข้อมูลการทดลอง

ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมการก่อนการทดลอง

1. ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี บทความ เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้ง รายละเอียดการใช้เครื่องมือและรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องมือทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

2. สร้างรูปแบบในการทดลองและการเก็บข้อมูล

3. ทำการศึกษานำร่องก่อนการวิจัย (Pilot study) เพื่อทดสอบรูปแบบการทดลอง และทดสอบวิธีการใช้เครื่องมือวัดตัวแปรต่าง ๆ กับกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่จะดำเนินการวิจัย

4. นำเสนอโครงการวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาทางจริยธรรมจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภาคผนวก ฉ)

5. ดำเนินการติดต่อทำหนังสือจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อขออนุญาตประชาสัมพันธ์ตามสโมสรต่าง ๆ

6. ติดต่อและขออนุญาตประชาสัมพันธ์โดยการติดแผ่นประชาสัมพันธ์ที่สโมสรต่าง ๆ เพื่อรับสมัครนักกีฬายิมนาสติกลีลาที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ปี 2563

7. คัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยตามเกณฑ์คัดเลือกและคัดออกจากการวิจัย โดยผู้เข้าร่วมวิจัยต้องตอบแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป แบบคัดกรองสำหรับการเข้าร่วมวิจัยด้วยตนเอง (ภาคผนวก จ)

8. ดำเนินการติดต่อเพื่อขอใช้สถานที่และยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยใช้ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นสถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล

9. ผู้วิจัยทำการอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติ อย่างละเอียดกับผู้ช่วยวิจัย เพศหญิง จำนวน 2 คน เพื่อให้รับทราบและเข้าใจตรงกัน

10. การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬายิมนาสติกลีลา เพศหญิง ทั้งหมด 12 คน จะเข้ารับการวิเคราะห์ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ขณะทำท่าไฮด์สเกลวิธสปลิต โดยตัวแปรตามที่ทำการศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาในช่วงที่ 1 (Preparation phase) (ภาคผนวก ฉ) ประกอบด้วยตัวแปรความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่เชิงมุมและเชิงเส้น (ภาคผนวก ก) ของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) และความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration)

1.1 มุมลำตัวเทียบกับแกน XY เป็นมุมที่เกิดจากเส้นสมมุติของแนวลำตัว ทำมุมกับแกน XY โดย เส้นสมมุติของแนวลำตัวเป็นเส้นที่ลากจากกระดูกสันหลังส่วนอก ขึ้นที่ 3 (3rd

Thoracic vertebra: T3) ไปยังจุดกึ่งกลางระหว่างปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกเชิงกรานด้านซ้าย และด้านขวา (Middle of Right and Left PSIS)

1.2 มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ เป็นมุมที่เกิดจากเส้นสมมุติของแนวต้นขา (Thigh) ทำมุมกับแกน YZ โดย เส้นสมมุติของแนวต้นขาเป็นเส้นที่ลากจากปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS) ไปยังปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)

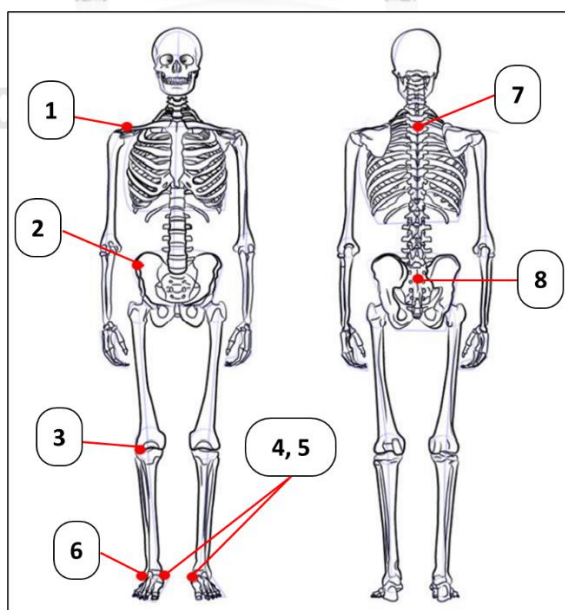
1.3 มุมข้อสะโพก เป็นมุมที่เกิดจากเส้นสมมุติของแนวลำตัว ที่ลากจากปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Acromion process) ไปยังปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS) ไปยังปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)

2. ความเร็วเชิงเส้น (Linear Velocity) และความเร่งเชิงเส้น (Linear acceleration) เป็นการวัดความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนไหว ส่วนของร่างกาย โดยกำหนด Marker ของแต่ละส่วนของร่างกาย เป็นตัวแทนในการแสดงความเร็วและความเร่งเชิงเส้นของส่วนของร่างกายนั้น ได้แก่

2.1 ส่วนลำตัว (Trunk): แสดงได้จากการเคลื่อนไหวของ Marker บริเวณปุ่มกระดูกด้านหลัง (Spinous Process) ของกระดูกสันหลังส่วนอก ชั้นที่ 3 (3rd Thoracic vertebra: T3)

2.2 ส่วนต้นขา (Thigh): แสดงได้จากการเคลื่อนไหวของ Marker บริเวณปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)

2.3 ขาสั้นปลาย (Leg): แสดงได้จากการเคลื่อนไหวของ Marker บริเวณปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านนอก (Lateral malleolus)



รูปที่ 10 ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บข้อมูลการทดลอง

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะเข้าร่วมการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เก็บข้อมูลพื้นฐานทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกายและมวลไขมันของร่างกาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) รุ่น ioi 353
2. วัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry) ได้แก่ เส้นรอบวงของรยางค์ และความยาวของรยางค์ (ภาคผนวก ฐ และ ซ)
3. ผู้วิจัยติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์การเคลื่อนไหว ประกอบด้วยกล้องจับภาพการเคลื่อนไหวจำนวน 8 ตัว ตั้งความถี่ 100 ภาพต่อวินาที และกล้องวิดีโอความเร็วสูง จำนวน 1 ตัว ตั้งความถี่ 25 ภาพต่อวินาที (ภาคผนวก ค) รวมทั้งทำการคาลิเบรท ความแม่นยำของกล้องโดยใช้ T-wand (ภาคผนวก ฉ) ซึ่งเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager (QTM)
4. ผู้วิจัยทำการอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ การดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติก่อนการทดลองจริงแก่กลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งลงนามยินยอมในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
5. ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเนื้อแขน ขา และลำตัวเป็นเวลา 30 นาที (ภาคผนวก ซ)
6. ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย (เพศหญิง) ทำความสะอาดผิวหนังของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ดผิวหนัง และติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Retro reflective marker) ทั้งหมด 8 จุด (ภาคผนวก ง)
7. ผู้เข้าร่วมการวิจัยฝึกซ้อมท่าท่าไซด์สเกลวิธสปลิต เป็นเวลา 5 นาทีก่อนเริ่มการวิจัย เพื่อให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยคุ้นเคยกับการท่าท่าไซด์สเกลวิธสปลิต
8. ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนบนจุดที่ผู้วิจัยกำหนด จากนั้นผู้เข้าร่วมวิจัยท่าท่าไซด์สเกลวิธสปลิต จำนวน 10 ครั้ง ค้างท่าละ 1 วินาที และพักระหว่างครั้ง 1 นาที โดยผู้วิจัยจะทำการให้สัญญาณแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยในช่วง 10 วินาทีสุดท้ายก่อนเริ่มท่าท่าในแต่ละครั้ง
9. ผู้วิจัยทำการเช็คข้อมูล หากผู้เข้าร่วมวิจัยมีข้อมูลครั้งที่ผ่านเกณฑ์ น้อยกว่า 2 ครั้ง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องทำการพักเป็นเวลา 30 นาที และเริ่มการวิจัยใหม่อีกครั้ง
10. คลายอุ่น โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเนื้อแขน ขา และลำตัว เป็นเวลา 10 นาที (ภาคผนวก ฉ)

11. ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Track Manager

การเก็บรวบรวมข้อมูล

- สถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 1 เดือน
- ผู้ช่วยวิจัย เพศหญิง จำนวน 2 คน ได้แก่ นิสิตระดับปริญญาโทบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ช่วยจัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10

การเลือกข้อมูล

นักกีฬายิมนาสติกลีลาจำนวน 12 คน ทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต จำนวน 10 ครั้ง รวมเป็น 120 ข้อมูล โดยผู้วิจัยจะทำการเรียงลำดับข้อมูลมุมของขาขวากับแกน YZ และมุมของลำตัวขวากับแกน XY ขณะท่าไซด์สเกลวิธสปลิตจากข้อมูลครั้งที่ผ่านเกณฑ์ไปยังครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าข้อมูลครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 35 ข้อมูล และข้อมูลครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 85 ข้อมูล โดยคิดเป็น 29.17% และ 70.83% ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยทำการเลือกข้อมูลครั้งที่ผ่านเกณฑ์ 20 ข้อมูล และข้อมูลครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ 20 ข้อมูล จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Track Manager

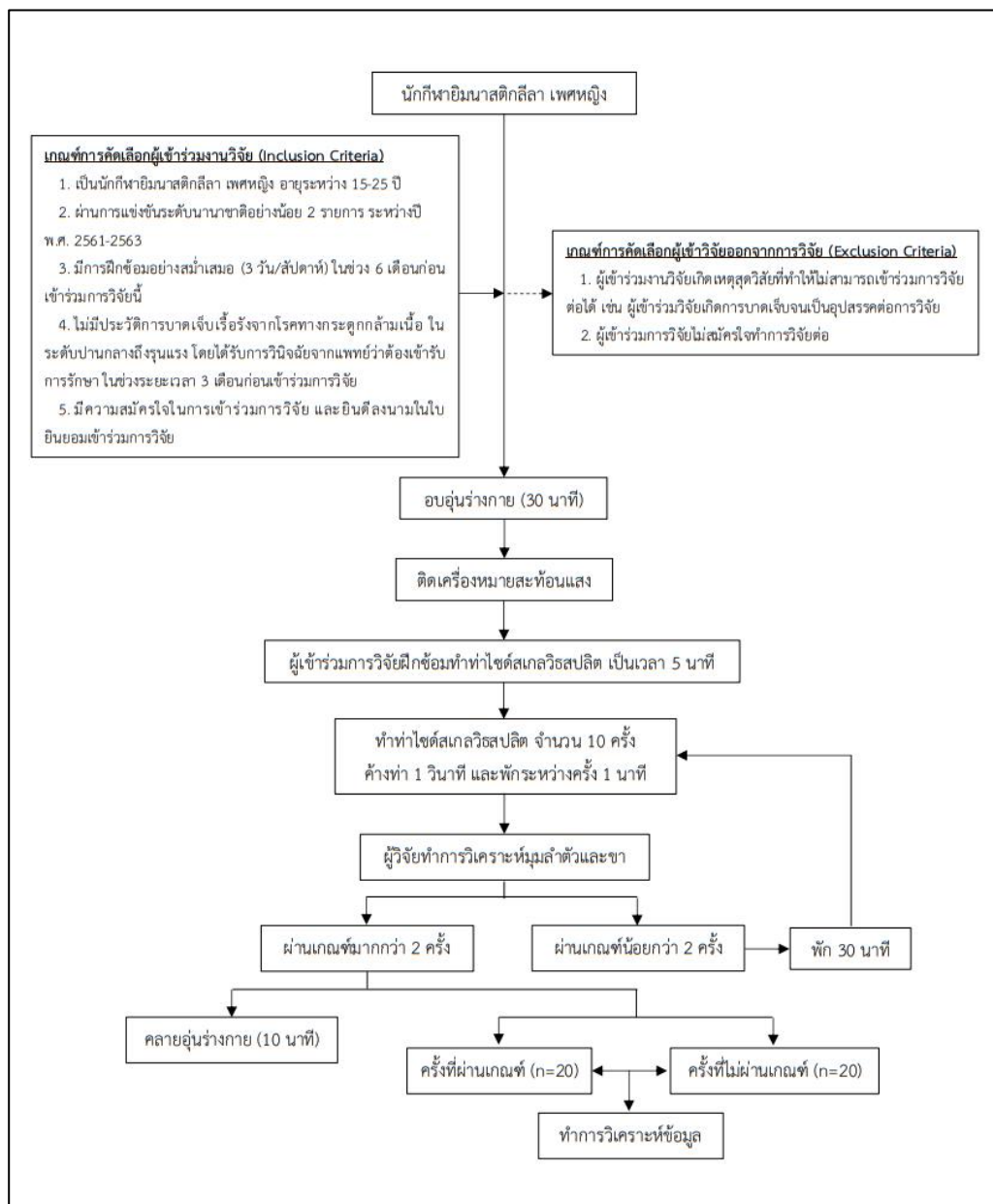
หมายเหตุ: เกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (ภาคผนวก ข)

- (1) ขาจะต้องอยู่ในตำแหน่งขวากับแกน YZ อยู่ที่ช่วง 180 ± 5 องศา (ขาจะต้องเปิดกว้างมากกว่า 175 องศา) โดยเส้นแกนของขาจะลากจากปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านใน ด้านขวา (Right - Medial malleolus) ไปยังปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านใน ด้านซ้าย (Left - Medial malleolus)
- (2) ลำตัวขวานอนพื้นในท่าตะแคงข้างและอยู่ในตำแหน่งขวากับแกน XY อยู่ที่ช่วง 90 ± 5 องศา ($85-95$ องศา) โดยเส้นแกนของลำตัวจะลากจากกระดูกสันหลังส่วนอก ชั้นที่ 3 (Spinous process of 3rd Thoracic vertebra: T3) ไปยังจุดกึ่งกลางระหว่างปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกเชิงกรานด้านซ้ายและด้านขวา (Middle of Right and Left PSIS)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของตัวแปรทางด้าน.สรีรวิทยาพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย และมวลไขมัน

2. ทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้สถิติ Komogorov Smirnov Goodness of Fit Test พบว่า ตัวแปรความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ทุกตัวแปรมีผลการทดสอบเป็นการกระจายตัวแบบปกติ
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่เชิงมุมและเชิงเส้น โดยใช้สถิติ Dependent t-test
4. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05



รูปที่ 11 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental design) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬายิมนาสติกลีลา กลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬายิมนาสติกลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี จำนวน 12 คน โดยกลุ่มตัวอย่างจะเข้ารับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติขณะท่าไซด์สเกลวิธสปลิต เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางคิเนมาติกส์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IBM SPSS Statistics 22 และนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง โดยการนำเสนอแบ่งออกเป็น 4 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางด้านสัดส่วนของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวและขาในท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางคิเนมาติกส์เชิงมุมของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางคิเนมาติกส์เชิงเส้นตรงของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

ตอนที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการเคลื่อนไหว

ตอนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง (n=12)

ข้อมูลพื้นฐาน	$\bar{X} \pm SD$
อายุ (ปี)	19.00 \pm 3.16
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	161.83 \pm 3.86
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	50.43 \pm 5.55
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	19.28 \pm 2.30
มวลไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	21.33 \pm 5.36

จากตารางที่ 1 พบว่ากลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน มีค่าเฉลี่ยของอายุ 19.00 \pm 3.16 ปี ส่วนสูง 161.83 \pm 3.86 เซนติเมตร น้ำหนัก 50.43 \pm 5.55 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย 19.28 \pm 2.30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมวลไขมัน 21.33 \pm 5.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตอนที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางด้านสัดส่วนของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเส้นรอบวงของรยางค์ (เซนติเมตร) (n=12)

ตำแหน่ง	ด้านขวา	ด้านซ้าย
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$
ต้นแขน (Upper arm)	24.58 ± 1.81	24.63 ± 1.84
ปลายแขน (Forearm)	19.42 ± 1.08	19.08 ± 0.85
ข้อมือ (Wrist)	14.21 ± 0.58	14.13 ± 0.53
ต้นขา (Thigh)	48.68 ± 3.10	48.67 ± 3.09
น่อง (Calf)	33.79 ± 2.50	33.96 ± 2.32
เอว (Waist)	66 ± 4.97	

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของรยางค์ด้านขวาของต้นแขน 24.58 ± 1.81 เซนติเมตร ปลายแขน 19.42 ± 1.08 เซนติเมตร ข้อมือ 14.21 ± 0.58 เซนติเมตร ต้นขา 48.68 ± 3.10 เซนติเมตร และน่อง 33.79 ± 2.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของรยางค์ด้านซ้าย ประกอบด้วย ต้นแขน 24.63 ± 1.84 เซนติเมตร ปลายแขน 19.08 ± 0.85 เซนติเมตร ข้อมือ 14.13 ± 0.53 เซนติเมตร ต้นขา 48.67 ± 3.09 เซนติเมตร และน่อง 33.96 ± 2.32 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของเอว 66 ± 4.97 เซนติเมตร

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรยางค์ของกลุ่มตัวอย่าง (เซนติเมตร) (n=12)

ตำแหน่ง	ด้านขวา	ด้านซ้าย
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$
ขา	91.00 ± 3.16	90.75 ± 3.01
แขน	73.71 ± 1.62	73.67 ± 1.67
ความกว้างในท่ากางแขนทั้ง 2 ข้าง	164.17 ± 4.83	

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความยาวรยางค์ด้านขวา ของขา 91.00 ± 3.16 เซนติเมตร และแขน 73.71 ± 1.62 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของความยาวรยางค์ด้านซ้าย ของขา 90.75 ± 3.01 เซนติเมตร และแขน 73.67 ± 1.67 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของความกว้างในท่ากางแขนทั้ง 2 ข้าง 164.17 ± 4.83 เซนติเมตร

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวและขาในไซด์สเกลวิธสปลิต

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมของการเคลื่อนไหวของลำตัวและขาในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (องศา) (n=20)

ตัวแปร		$\bar{X} \pm SD$	t	p-value
ลำตัว	ผ่านเกณฑ์	-1.63 ± 2.52	9.21	0.00*
	ไม่ผ่านเกณฑ์	-11.00 ± 4.64		
ขา	ผ่านเกณฑ์	2.86 ± 1.54	13.02	0.00*
	ไม่ผ่านเกณฑ์	-4.64 ± 1.83		

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ:

เครื่องหมาย + / - ของลำตัว

- + หมายถึง องศาของลำตัว เทียบกับแกน XY (แนวนอน) มากกว่า 90 องศา
- หมายถึง องศาของลำตัว เทียบกับแกน XY (แนวนอน) น้อยกว่า 90 องศา

เครื่องหมาย + / - ของขา

- + หมายถึง องศาของขา เทียบกับแกน YZ (แนวตั้ง) มากกว่า 180 องศา
- หมายถึง องศาของขา เทียบกับแกน YZ (แนวตั้ง) น้อยกว่า 180 องศา

จากตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของมุมการเคลื่อนไหวในไซด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 20 ครั้ง และไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 20 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของทั้งขาและลำตัวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางจิตมาติกส์เชิงมุมของท่าไชต์สเกลอิธิธบลิติ
ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเชิงมุมและเวลาในการเคลื่อนไหว (n=20)

ตัวแปร	ผ่านเกณฑ์		t	p-value	
	$\bar{X} \pm SD$	ไม่ผ่านเกณฑ์ $\bar{X} \pm SD$			
มุมลำตัวเทียบกับ แกน XY	ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย (องศา/วินาที)	24.34 ± 10.82	28.37 ± 4.66	-1.56	0.14
	ความเร็วเชิงมุมสูงสุด (องศา/วินาที)	70.13 ± 21.94	65.97 ± 13.05	0.73	0.47
	เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.60 ± 0.56	0.56 ± 0.45	0.19	0.85
มุมต้นขาเทียบกับ แกน YZ	ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย (องศา/วินาที)	44.81 ± 18.83	66.17 ± 9.20	-4.07	0.00*
	ความเร็วเชิงมุมสูงสุด (องศา/วินาที)	179.21 ± 31.42	169.77 ± 16.15	1.16	0.26
	เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.80 ± 0.42	0.62 ± 0.22	1.64	0.12
มุมข้อศอกโพก	ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย (องศา/วินาที)	39.64 ± 19.17	44.52 ± 6.49	-1.05	0.31
	ความเร็วเชิงมุมสูงสุด (องศา/วินาที)	202.61 ± 58.22	170.86 ± 28.73	2.37	0.03*
	เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.83 ± 0.39	0.84 ± 0.14	-0.11	0.91

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางจิตมาติกส์ของการเคลื่อนไหวเชิงมุมของท่าไชต์สเกลอิธิธบลิติระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของตัวแปร ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของมุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และความเร็วจึงมุมสูงสุดของมุมข้อศอกโพก แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของมุมลำตัวเทียบกับแกน XY และของมุมสูงสุดของมุมลำตัวเทียบกับแกน XY และมุมข้อศอกโพก เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุดของทั้งมุมลำตัวเทียบกับแกน XY มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และ มุมข้อศอกโพก

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแรงเชิงมุมและเวลาในการเคลื่อนไหว (n=20)

ตัวแปร	ผ่านเกณฑ์		ไม่ผ่านเกณฑ์		t	p-value
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$		
มุมลำตัว	ความแรงเชิงมุมเฉลี่ย (องศา/วินาที ²)	1202.03±426.42	1242.66±521.74	-1.68	0.11	
เทียบกับ	ความแรงเชิงมุมสูงสุด (องศา/วินาที ²)	20604.60±16612.74	19318.58±16064.04	0.27	0.80	
แกน XY	เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุด (วินาที)	1.07±1.58	0.78±0.47	0.80	0.43	
มุมต้นขา	ความแรงเชิงมุมเฉลี่ย (องศา/วินาที ²)	1628.22±1600.62	1609.14±523.08	0.05	0.96	
เทียบกับ	ความแรงเชิงมุมสูงสุด (องศา/วินาที ²)	31908.79±21533.20	31564.66±21151.55	0.04	0.97	
แกน YZ	เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุด (วินาที)	1.12±0.50	0.97±0.55	1.04	0.31	
มุมข้อสะโพก	ความแรงเชิงมุมเฉลี่ย (องศา/วินาที ²)	2152.34±867.57	2269.12±858.31	-0.36	0.72	
	ความแรงเชิงมุมสูงสุด (องศา/วินาที ²)	52284.26±27247.91	41517.09±25759.48	1.04	0.31	
	เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.86±0.78	0.86±0.62	0.02	0.99	

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางคิดเอนมาติกส์ของการเคลื่อนไหวของความเร่งเชิงมุมของท่าไซด์สเกลอิซิปลิตรระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร่งเชิงมุมเฉลี่ย ความเร่งเชิงมุมสูงสุด และเวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุดของท่าแงมลำตัวเทียบกับแกน XY มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และ มุมข้อสะโพก

**ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางคินมาติกส์เชิงเส้นตรงของท่าไฮด์สเทลริสผลิต
ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเชิงเส้นและเวลาในการเคลื่อนไหว (n=20)**

ตัวแปร	ผ่านเกณฑ์		ไม่ผ่านเกณฑ์		t	p-value
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$		
ลำตัว (T3)	ความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.19±0.09	0.21±0.03	-1.41	0.18	
	ความเร็วเชิงเส้นสูงสุด (เมตร/วินาที)	0.45±0.12	0.43±0.04	0.89	0.39	
	เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.55±0.36	0.51±0.34	0.39	0.70	
ต้นขา (Lateral femoral condyle)	ความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.45±0.24	0.57±0.07	-2.17	0.04*	
	ความเร็วเชิงเส้นสูงสุด (เมตร/วินาที)	1.69±0.35	1.53±0.14	2.40	0.03*	
	เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.71±0.33	0.63±0.21	0.80	0.43	
ขาส่วนปลาย (Lateral malleolus)	ความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	0.88±0.40	1.12±0.14	-2.34	0.03*	
	ความเร็วเชิงเส้นสูงสุด (เมตร/วินาที)	3.17±0.56	2.80±0.25	3.39	0.00*	
	เวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.71±0.34	0.65±0.18	0.66	0.51	

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเชิงเส้นและเวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุดระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของตัวแปรความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ย และความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของต้นขา และ ขาส่วนปลาย แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวแปรความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ย และความเร็วสูงสุดของลำตัว และตัวแปรเวลาในการเพิ่มความเร็วจึงจุดสูงสุด ของทั้ง ลำตัว ต้นขา และ ขาส่วนปลาย

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งเชิงเส้นและเวลาในการเคลื่อนไหว (n=20)

ตัวแปร	ผ่านเกณฑ์		ไม่ผ่านเกณฑ์		t	p-value
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$		
ลำตัว (T3)	ความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ย (เมตร/วินาที ²)	9.87±2.69	11.16±2.83	-1.44	0.16	
	ความเร่งเชิงเส้นสูงสุด (เมตร/วินาที ²)	112.13±97.92	110.14±73.53	0.55	0.59	
	เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุด (วินาที)	1.75±1.16	0.99±0.29	2.85	0.01*	
ต้นขา (Lateral femoral condyle)	ความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ย (เมตร/วินาที ²)	9.50±3.02	14.32±5.87	-3.53	0.00*	
	ความเร่งเชิงเส้นสูงสุด (เมตร/วินาที ²)	123.13±56.48	175.13±128.10	-1.50	0.15	
	เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.84±0.66	0.62±0.60	1.00	0.33	
ขาส่วนปลาย (Lateral malleolus)	ความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ย (เมตร/วินาที ²)	14.86±7.78	19.89±8.49	-2.02	0.06	
	ความเร่งเชิงเส้นสูงสุด (เมตร/วินาที ²)	230.13±215.98	324.76±262.78	-1.26	0.22	
	เวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุด (วินาที)	0.75±0.43	0.59±0.45	1.24	0.23	

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งเชิงเส้นและเวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุดระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของตัวแปรเวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุดของลำตัว และความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของต้นขา แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวแปรความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของลำตัวและความเร่งถึงจุดสูงสุดของลำตัว ต้นขา และขาส่วนปลาย และตัวแปรเวลาในการเพิ่มความเร่งถึงจุดสูงสุดของต้นขาและขาส่วนปลาย

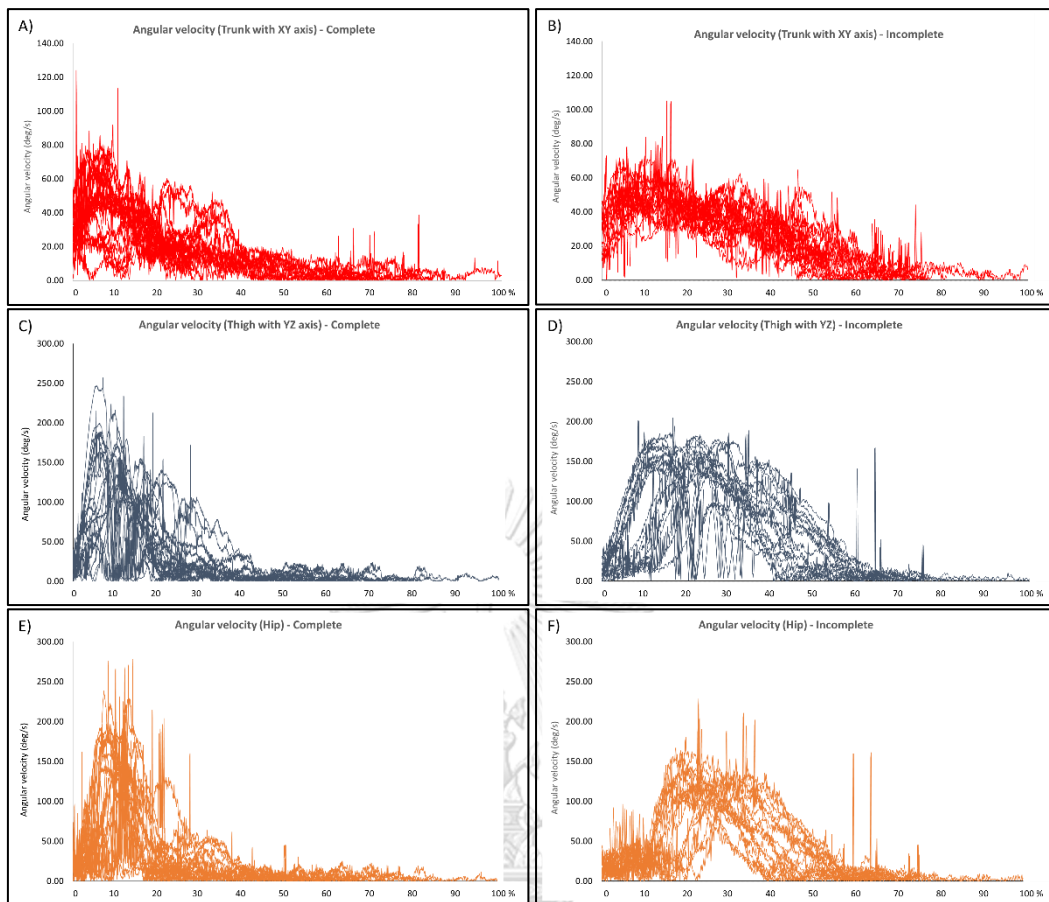
ตอนที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในเคลื่อนไหว
 ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในเคลื่อนไหว ระหว่าง
 ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (วินาที) (n=20)

		$\bar{X} \pm SD$	t	p-value
เวลาในการเคลื่อนไหว	ผ่านเกณฑ์	3.57±0.35	3.54	0.00*
	ไม่ผ่านเกณฑ์	2.32±0.85		

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

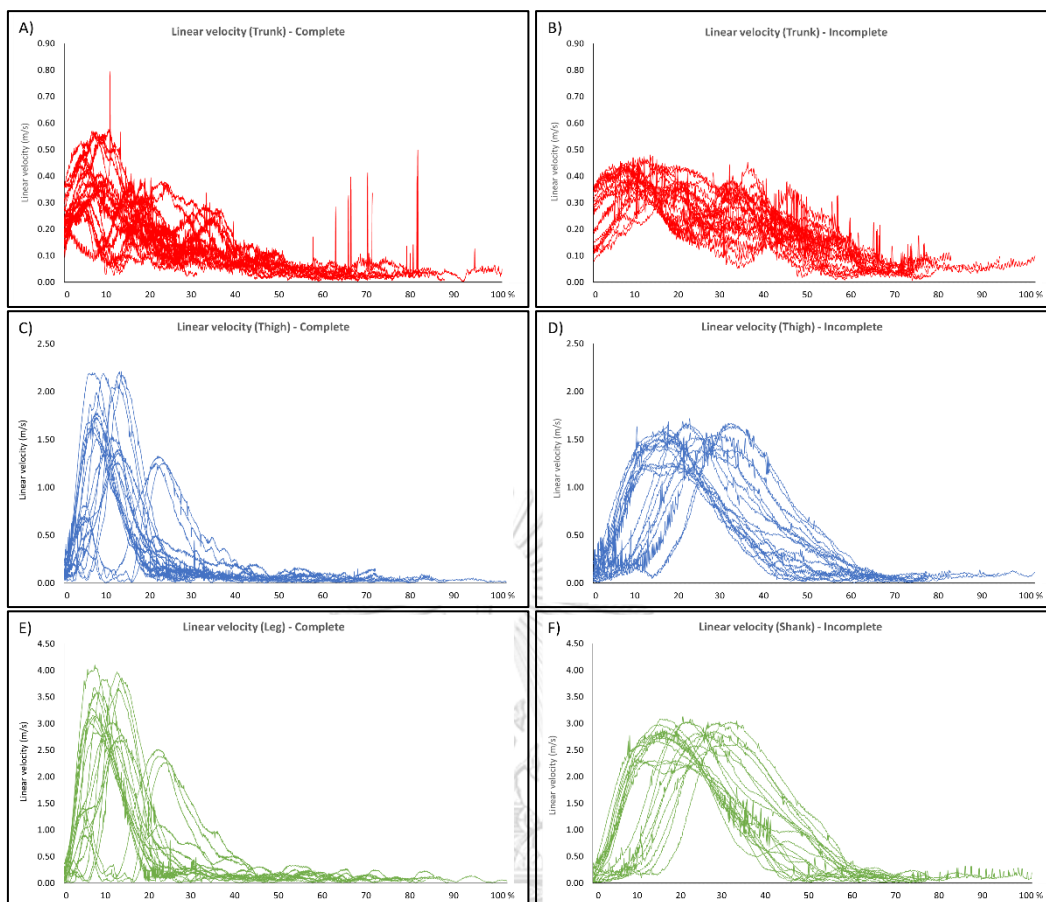
จากตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการ
 เคลื่อนไหวระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ
 0.05





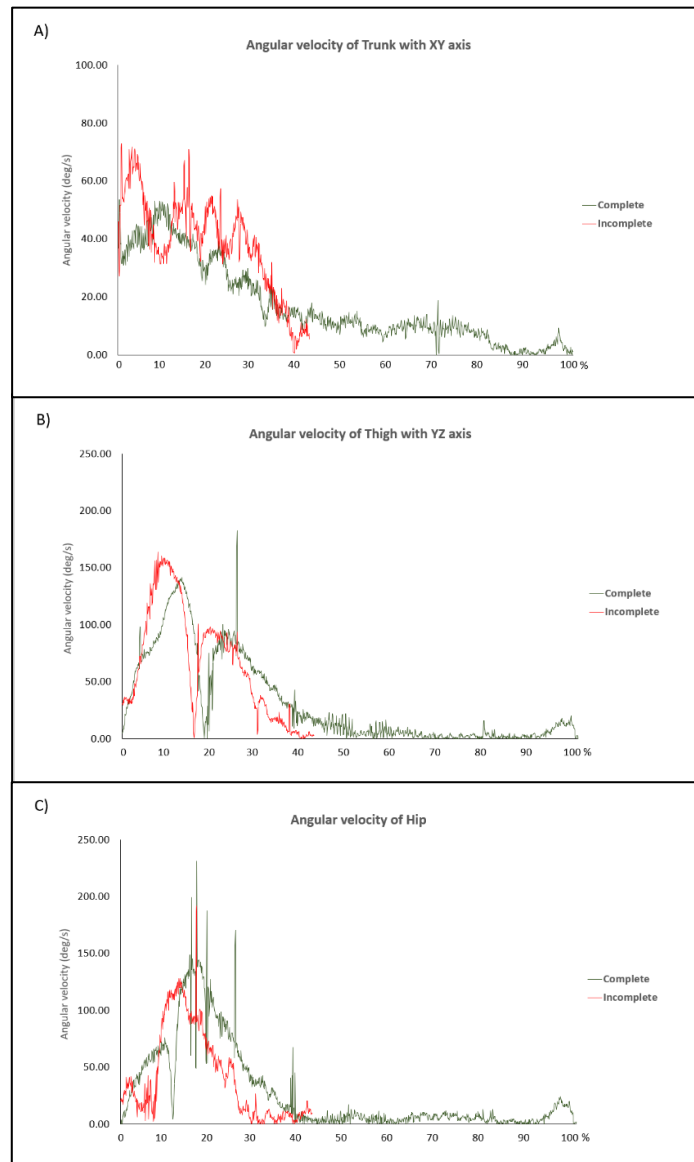
แผนภูมิที่ 1 กราฟเส้นแสดงความเร็วเชิงมุมของมูมลำตัวเทียบกับแกน XY ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) ความเร็วเชิงมุมของมูมลำตัวเทียบกับแกน XY ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B) ความเร็วเชิงมุมของมูมต้นขาเทียบกับแกน YZ ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (C) ความเร็วเชิงมุมของมูมต้นขาเทียบกับแกน YZ ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (D) ความเร็วเชิงมุมของมูมข้อสะโพกครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (E) ความเร็วเชิงมุมของมูมข้อสะโพกครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (F) ของการเคลื่อนไหวในท่าไซด์สเกลวิธสปลิทขณะเริ่มยกขาขึ้นพร้อมเอียงตัวจนกระทั่งยกขาขึ้นสูงสุด (100% ของช่วงการเคลื่อนไหว)

จากแผนภูมิที่ 1 พบว่า ความเร็วเชิงมุมของมูมต้นขาเทียบกับแกน YZ และ ความเร็วเชิงมุมของมูมข้อสะโพกครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A และ C) แสดงการเพิ่มขึ้นของความเร็วเชิงมุมของมูมต้นขาเทียบกับแกน YZ และ ความเร็วเชิงมุมของมูมข้อสะโพกในช่วงต้นของการเคลื่อนไหวมากกว่า ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B และ D)



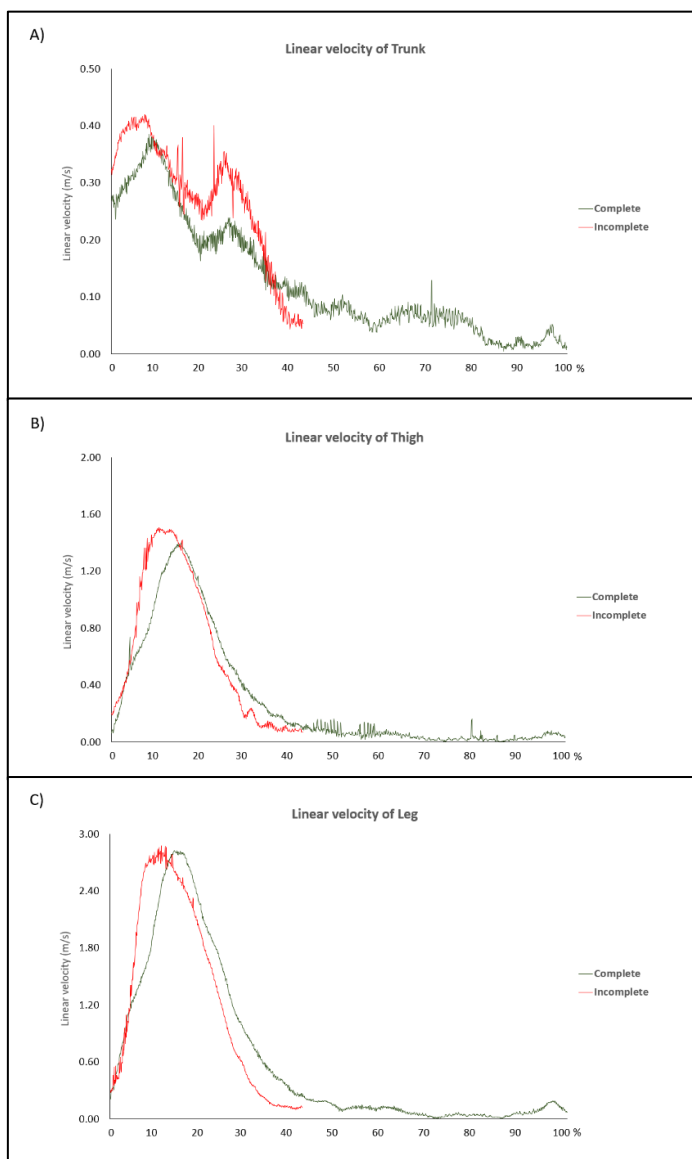
แผนภูมิที่ 2 กราฟเส้นแสดงความเร็วเชิงเส้นของลำตัวครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) ความเร็วเชิงเส้นของลำตัวครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B) แสดงความเร็วเชิงเส้นของต้นขาครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (C) ความเร็วเชิงเส้นของต้นขาครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (D) ความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลายครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (E) ความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลายครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (F) ของการเคลื่อนไหวในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตขณะเริ่มยกขาขึ้นพร้อมเอียงตัวจนกระทั่งยกขาขึ้นสูงสุด (100% ของช่วงการเคลื่อนไหว)

จากแผนภูมิที่ 2 พบว่า ความเร็วเชิงเส้นของต้นขาและขาส่วนปลาย ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A และ C) แสดงการเพิ่มขึ้นของความเร็วเชิงเส้น ในช่วงต้นของการเคลื่อนไหวมากกว่า ครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B และ D)



แผนภูมิที่ 3 กราฟเส้นแสดงความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน XY (A) ความเร็วเชิงมุมของมุลำต้นขาเทียบกับแกน YZ (B) ความเร็วเชิงมุมของมุลำข้อสะโพก (C) ระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ที่ดีที่สุดและไม่ผ่านเกณฑ์ที่มีมุมการเคลื่อนไหวที่น้อยที่สุด

จากแผนภูมิที่ 3 แสดงว่าความเร็วเชิงมุมของมุลำตัวเทียบกับแกน XY (A) ครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีการความเร็วเชิงมุมสูงในช่วงแรก แล้วค่อย ๆ ลดลง ในขณะที่ครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วขึ้น-ลง ในช่วงแรกของการเคลื่อนไหว ส่วนความเร็วเชิงมุมของมุลำต้นขาเทียบกับแกน YZ (B) พบว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีการเพิ่มความเร็วเชิงมุมเร็วกว่า และมากกว่าครั้งที่ผ่านเกณฑ์ ส่วนความเร็วเชิงมุมของมุลำข้อสะโพก (C) ครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีการเพิ่มความเร็วช้ากว่าแต่สูงกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์



แผนภูมิที่ 4 กราฟเส้นแสดงความเร็วเชิงเส้นของลำตัว (A) ความเร็วเชิงเส้นของต้นขา (B) ความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลาย (C) ระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์ที่ดีที่สุดและไม่ผ่านเกณฑ์ที่มีมุมการเคลื่อนไหวที่น้อยที่สุด

จากแผนภูมิที่ 4 พบความเร็วเชิงเส้นของลำตัว (A) ของครั้งที่ผ่านเกณฑ์ เพิ่มขึ้นช้ากว่าและสูงสุดน้อยกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เช่นเดียวกับกับความเร็วเชิงเส้นของต้นขา (B) ส่วนความเร็วเชิงเส้นของขาส่วนปลาย (C) ครั้งที่ผ่านเกณฑ์แสดงความเร็วสูงสุดช้ากว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ในขณะที่มีความเร็วสูงสุดใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางคิเนมาติกส์ ได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่เชิงเส้นและเชิงมุม ของท่าไฮด์สเกลวิสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในนักกีฬาฮายมินาสติกลีลา โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฮายมินาสติกลีลา เพศหญิง อายุระหว่าง 15-25 ปี จำนวน 12 คน ได้มาด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องผ่านการแข่งขันระดับนานาชาติอย่างน้อย 2 รายการ ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563 ไม่มีประวัติการบาดเจ็บหรือรังจากโรคทางกระดูกกล้ามเนื้อ ตั้งแต่ระดับปานกลางถึงรุนแรง โดยได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าต้องเข้ารับการรักษาในช่วงระยะเวลา 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะได้รับการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนร่างกายจำนวน 18 จุด และท่าไฮด์สเกลวิสปลิตจำนวน 10 ครั้ง ค้างท่าละ 1 วินาที โดยพักระหว่างครั้ง 1 นาที

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง 12 คน (รวมข้อมูลจำนวน 120 ครั้ง) แบ่งข้อมูลโดยคัดเลือกข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ (มุมของขาต้องอยู่ในตำแหน่งขนานกับแกน YZ ช่วง 180 ± 5 องศา และมุมของลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างและอยู่ในตำแหน่งขนานกับแกน XY ช่วง 90 ± 5 องศา) จำนวน 20 ข้อมูล (ครั้งที่สามารถทำได้ดีที่สุด คือ มุมของขาจะต้องเปิดกว้างมากกว่า 175 องศา ลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างอยู่ที่ $85-95$ องศา และต้องทรงตัวค้างไว้ในท่าแขยงปลายเท้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วินาที) และข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (แนวของขาไม่ถึงแกน YZ และแนวของลำตัวในท่าตะแคงข้างไม่ขนานกับแกน XY - ในระยะห่างมากที่สุด) จำนวน 20 ข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วและความเร่งเชิงมุมเฉลี่ย ความเร็วและความเร่งเชิงมุมสูงสุด และเวลาในการเพิ่มความเร็วและความเร่งถึงจุดสูงสุด ของตัวแปรความเร็วเชิงมุมของมุมลำตัวเทียบกับแกน XY ความเร็วเชิงมุมของมุมต้นขาเทียบกับแกน YZ ความเร็วเชิงมุมของมุมข้อสะโพก และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วและความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ย ความเร็วและความเร่งเชิงเส้นสูงสุด และเวลาในการเพิ่มความเร็วและความเร่งถึงจุดสูงสุด ของลำตัว ต้นขา และขาส่วนปลาย รวมทั้งเวลาในการเคลื่อนไหวในช่วงที่ 1 (Preparation phase) โดยใช้สถิติ Dependent t-test โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน มีค่าเฉลี่ยของอายุ 19.00 ± 3.16 ปี ส่วนสูง 161.83 ± 3.86 เซนติเมตร น้ำหนัก 50.43 ± 5.55 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย 19.28 ± 2.30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมวลไขมัน 21.33 ± 5.36 เปอร์เซ็นต์

2. ค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของรยางค์ด้านขวา ประกอบด้วย ต้นแขน 24.58 ± 1.81 เซนติเมตร ปลายแขน 19.42 ± 1.08 เซนติเมตร ข้อมือ 14.21 ± 0.58 เซนติเมตร ต้นขา 48.68 ± 3.10 เซนติเมตร และน่อง 33.79 ± 2.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของรยางค์ด้านซ้าย ประกอบด้วย ต้นแขน 24.63 ± 1.84 เซนติเมตร ปลายแขน 19.08 ± 0.85 เซนติเมตร ข้อมือ 14.13 ± 0.53 เซนติเมตร ต้นขา 48.67 ± 3.09 เซนติเมตร และน่อง 33.96 ± 2.32 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของเอว 66 ± 4.97 เซนติเมตร

3. ค่าเฉลี่ยของความยาวรยางค์ด้านขวา ประกอบด้วย ขา 91.00 ± 3.16 เซนติเมตร และแขน 73.71 ± 1.62 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของความยาวรยางค์ด้านซ้าย ขา 90.75 ± 3.01 เซนติเมตร และแขน 73.67 ± 1.67 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของความกว้างในท่ากางแขน ทั้ง 2 ข้าง 164.17 ± 4.83 เซนติเมตร

4. ค่าเฉลี่ยของมุมการเคลื่อนไหวในไซด์สเกลวิธสปลิทระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ พบว่าค่าเฉลี่ยของขาและลำตัวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5. ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ความเร็วเชิงมุม

- ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของต้นขาที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของลำตัวและมุมข้อสะโพกไม่พบความแตกต่าง
- ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของมุมข้อสะโพกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความเร็วเชิงมุมสูงสุดของลำตัวและต้นขาไม่พบความแตกต่าง

- ไม่พบความแตกต่างของเวลาในการเพิ่มความเร็วสูงสุด

6. ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ความเร่งเชิงมุม

7. ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ความเร็วเชิงเส้น

- ความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของต้นขาและขาส่วนปลายมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของลำตัวไม่พบความแตกต่าง
- ความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของต้นขาและขาส่วนปลายมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของลำตัวไม่พบความแตกต่าง
- ไม่พบความแตกต่างของเวลาในการเพิ่มความเร็วสูงสุด

8. ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ความเร่งเชิงเส้น

- ความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของต้นขามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของลำตัวและขาส่วนปลายไม่พบความแตกต่าง
- ไม่พบความแตกต่างของความเร่งเชิงเส้นสูงสุดของลำตัว ต้นขา และขาส่วนปลาย
- เวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุดของลำตัวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่เวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุดต้นขาและขาส่วนปลายไม่พบความแตกต่าง

9. ค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนไหวในไซด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ พบว่าเวลาของเวลาในการเคลื่อนไหวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาทางชีวกลศาสตร์เป็นศาสตร์ในการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งประกอบด้วยข้อมูลทั้งคิเนมาติกส์ และคิเนติกส์ (Ruina & Pratap, 2009) รวมทั้งความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของวัตถุกับระยะทางการเคลื่อนที่ของร่างกายของมนุษย์ ซึ่งในการเคลื่อนที่ของร่างกายมีทั้งการเคลื่อนที่แบบการเคลื่อนที่เชิงมุม การเคลื่อนที่เชิงเส้น และการเคลื่อนที่แบบผสมผสาน (Knudson, 2007) ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต โดยจากกติกาสหพันธ์ยิมนาสติกนานาชาติหรือ The International Gymnastics Federation (FIG, 2018) ได้กำหนดไว้ว่าท่าไซด์สเกลวิธสปลิต โดยจากกติกา มีลักษณะประกอบด้วย ขาจะต้องเปิดกว้าง มากกว่า 180 องศา อยู่ในท่าเข้าเหยียด ปลายเท้าเหยียด ลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างอยู่ที่ 90 องศา และต้องทรงตัวค้างไว้ในท่าเขย่งปลายเท้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วินาที โดยจากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์มุมการเคลื่อนไหวของขาและลำตัว พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ และการศึกษาครั้งนี้พบว่าความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของมุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และความเร็วเชิงมุมสูงสุดของต้นขา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยและความเร่งเชิงเส้นสูงสุดของต้นขาและขาส่วนปลาย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวแปรของข้อต่ออื่น ๆ รวมทั้งไม่พบความแตกต่างของเวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ จึงอภิปรายผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

สัดส่วนของร่างกาย

องค์ประกอบสำคัญของการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตที่นอกจากการวิเคราะห์ตัวแปรทางด้านชีวกลศาสตร์แล้วยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของนักกีฬาโยมินาสติกลีลา (Douda et al., 2008) อันได้แก่ การวัดสัดส่วนร่างกาย 45% ความอ่อนตัว 12.1% พลังระเบิด (กล้ามเนื้อ) 9.2% ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน 7.4% ขนาดร่างกาย 6.8% และระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน 4.6% โดยกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ขณะทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต ได้แก่ กล้ามเนื้อ Hip abductor กล้ามเนื้อ Hip extensor กล้ามเนื้อ Knee extensor และกล้ามเนื้อ Plantar flexor (Imura et al., 2010) ขณะที่พิสัยการเคลื่อนไหวก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญ โดยคงและคณะ (Kong et al., 2000) กล่าวว่า การเตะขาในรูปแบบต่าง ๆ ควรมีพิสัยการเคลื่อนไหวและการทำงานของกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ความอ่อนตัวก็เป็นอีกองค์ประกอบ โดยโจเซฟ (Joseph, 1975) ได้กล่าวถึงความอ่อนตัวของนักบัลเล่ต์มีมากกว่าคนปกติ ซึ่งพบว่านักบัลเล่ต์สามารถกางขาได้มากกว่า 45 องศา การกางขาจะต้องอาศัยกล้ามเนื้อที่สำคัญ ได้แก่ Gluteus maximus, Gluteus medius และ Tensor fasciae latae และในส่วนของ การหมุนข้อสะโพกจะต้องอาศัยกล้ามเนื้อที่สำคัญ ได้แก่ Lateral rotators นอกจากนี้การรักษาความสมดุลในการทรงตัวก็เป็นสิ่งสำคัญ โดยเซงและคณะ (Cheng et al., 2011) พบว่าการที่นักกีฬาไม่สามารถควบคุมสมดุลของร่างกายได้ ทำให้เวลาในการทรงตัวลดลง ดังนั้นการเพิ่มการฝึกในส่วนของการทรงตัวจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับนักกีฬาโยมินาสติกลีลา ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงศึกษาในผู้เข้าร่วมงานวิจัยคนเดียวกันแต่แยกศึกษาการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตครั้งที่ผ่านเกณฑ์และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เพื่อลดปัจจัยด้านองค์ประกอบของร่างกาย ซึ่งเมื่อทำการวัดองค์ประกอบของร่างกาย จะพบว่าผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนมีดัชนีมวลกายอยู่ในช่วง 18.5-22.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และปริมาณไขมันอยู่ในเกณฑ์ 20-34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์ปกติขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2000) นอกจากนี้มีสัดส่วนสมดุลกันระหว่างข้างซ้ายและข้างขวา ดังนั้นผลการเปรียบเทียบการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์นี้จึงน่าจะเกิดจากรูปแบบการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน

ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity)

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยและความเร็วเชิงมุมสูงสุด รวมทั้งเวลาในการเพิ่มความเร็วสูงสุด ของมุมลำตัวเทียบกับแกน XY มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และมุมข้อสะโพก โดยพบว่าความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของมุมต้นขาเทียบกับแกน YZ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของต้นขาเทียบกับแกน YZ ในครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีแนวโน้มมากกว่าครั้งที่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น 47.66% และความเร็วเชิงมุมสูงสุดของข้อสะโพก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความเร็วเชิงมุมสูงสุดของข้อสะโพกใน

ครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีแนวโน้มมากกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น 15.67% นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วเชิงมุมสูงสุดของมุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และมุมข้อสะโพกในครั้งที่ผ่านเกณฑ์เกิดขึ้นเร็วครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโคลแล็กซีควอสกีและซาญ่า (Kolaczowski & Sayah, 2015) พบว่านักกีฬาโยนิมาสติกศิลป์มีมุมและความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกที่มากกว่านักกีฬายิมนาสติกอโรครบาติกในจังหวะการส่งแรงของเท้าและจังหวะการส่งแรงของมือ ซึ่งการเพิ่มมุมและความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกจะส่งผลให้มีการหมุนของลำตัวมากขึ้นและสามารถควบคุมร่างกายในจังหวะการลงสู่พื้นได้ดี ในทางกลับกันหากมีมุมและความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกที่ไม่เพียงพอก็จะส่งผลต่อการเหยียดออกของข้อสะโพกลดน้อยลงและไม่สามารถควบคุมสมดุลได้ในจังหวะการลงสู่พื้น ดังนั้นมุมและความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำท่าแบ็คเวิร์ดแฮนด์สปริง และจากผลการวิจัยในครั้งนี้ ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพก ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วเชิงมุมของลำตัว จึงน่าจะกล่าวได้ว่าความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกเป็นตัวแปรสำคัญในการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต และจากผลการวิจัยที่พบว่าความเร็วเฉลี่ยของครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีค่าน้อยกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ แต่มีความเร็วสูงสุดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ จึงอาจกล่าวได้ว่าการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตให้ผ่านเกณฑ์มีการยกขาที่ความเร็วไม่สูงมากแต่มีการเพิ่มความเร็วในช่วงการเคลื่อนไหวหนึ่งเพื่อดึงขาให้ขนานกับแกน YZ ซึ่งเมื่อแสดงความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกในรูปกราฟเส้นจะพบว่าความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกครั้งที่ผ่านเกณฑ์ จะมีการเพิ่มความเร็วอย่างรวดเร็วและเพิ่มเป็นความเร็วสูงในช่วงต้นของการยกขา เพื่อดึงขาให้ยกสูงขึ้น หลังจากนั้นจะมีความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกลดลงจนกระทั่งแนวขาขนานกับแกน YZ จึงน่าจะกล่าวได้ว่า การทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตให้ผ่านเกณฑ์ควรเร่งความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกให้สูงที่สุดในช่วงเริ่มต้นของการยกขา และหลังจากนั้นจะมีการเคลื่อนไหวของขาที่ความเร็วเชิงมุมลดลงจนกระทั่งแนวขาขนานกับแกน YZ โดยส่วนของลำตัวจะเคลื่อนไหวตามแนวของขาเพื่อทรงท่าไซด์สเกลวิธสปลิตที่ผ่านเกณฑ์ได้

ความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration)

จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร่งเชิงมุมเฉลี่ย ความเร่งเชิงมุมสูงสุด และเวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุดของทั้งมุมลำตัวเทียบกับแกน XY มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ และมุมข้อสะโพก ในท่าไซด์สเกลวิธสปลิตระหว่างครั้งที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ จึงน่าจะกล่าวได้ว่าการเร่งความเร็วในการเคลื่อนไหว ไม่มีผลต่อการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต ซึ่งอาจจะเกิดผลเนื่องมาจากท่าไซด์สเกลวิธสปลิตเป็นท่าในกลุ่มการทรงตัว ดังนั้นการเคลื่อนไหวจึงไม่ควรมีการเร่งความเร็วที่มากเกินไปซึ่งจะมีผลต่อการทรงท่าในท่าไซด์สเกลวิธสปลิต รวมถึงอาจเกิดจากเทคนิคในการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตที่ต่างกันไป ซึ่งพบว่าในกลุ่มตัวอย่างบางคนจะมีการเตะขาขึ้นไปด้วย

ความเร็วสม่ำเสมอจนถึงช่วงขาเปิดกว้างเกือบ 180 องศา แล้วจึงลดความเร็วลงเพื่อทรงท่า ในขณะที่พบกลุ่มตัวอย่างบางคนมีการชะลอหรือมีการเตะขาออกด้านข้างเป็น 2 จังหวะในช่วงต้นของการยกขา ทั้งนี้ไม่พบว่ามีแรงความเร็วเพื่อยกขาขณะทำท่าไฮด์สเกลวิธสปลิตเลย จึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร่งเชิงมุมของการเคลื่อนไหว

ความเร็วเชิงเส้น (Linear velocity)

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยและความเร็วเชิงเส้นสูงสุดรวมทั้งเวลาในการเพิ่มความเร็วสูงสุด ของลำตัว ต้นขา และขาส่วนปลาย โดยพบว่าความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของมุมต้นขาและขาส่วนปลาย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของมุมต้นขาและขาส่วนปลายในครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีแนวโน้มมากกว่าครั้งที่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น 26.67% และ 27.27% ตามลำดับ และความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของต้นขาและขาส่วนปลาย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของมุมต้นขาและขาส่วนปลายในครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีแนวโน้มมากกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น 9.47% และ 11.67% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของในครั้งที่ผ่านเกณฑ์เกิดขึ้นเร็วกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (WASIK, 2011) พบว่าข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของท่าเตะด้านข้างในนักกีฬาเทควันโด โดยข้อต่อของข้อเท้าจะรับรู้และมีการส่งแรงเพื่อผลักดันขาออกจากพื้น ในช่วงยกเท้าขาจะส่งผลให้เกิดแรง โดยมีกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนล่างเป็นตัวควบคุมท่าทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อสะโพกและข้อเท้าเหยียดออก นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วสูงสุดในช่วงที่เท้ายกขึ้นในแกน Y อยู่ที่ 82% ของการเหยียดขา ในช่วงสุดท้ายข้อเท้าของขาที่ใช้เตะยังคงเหยียดออก นักกีฬาสามารถทรงตัวได้โดยที่เท้ายังอยู่จุดเดิมเหมือนกับท่าเริ่มต้น โดยท่าเตะทางด้านข้างจะอาศัยความเร็วของเข่าและข้อเท้า ซึ่งการเพิ่มความเร็วของเท้าส่งผลต่อความเร็วของเข่าที่เพิ่มขึ้น และใช้ระยะเวลาอันสั้นในการเตะทางด้านข้าง และพบว่าเวลาไม่ได้เป็นตัวแปรสำคัญในการทำท่าเตะทางด้านข้าง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นักกีฬาควรที่จะให้ความสนใจและโฟกัสในการลดระยะเวลาในการเตะและเพิ่มความเร็วในการเตะให้มากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของคองและคณะ (Kong et al., 2000) ทำการศึกษาการเตะทางด้านหน้าและด้านหลังของนักกีฬาเทควันโด พบว่าความเร็วเชิงเส้นสูงสุดของขาส่วนปลายและต้นขาระหว่างการเตะทั้งสองรูปแบบ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้ ที่พบเฉพาะความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะความเร็วเชิงเส้นของส่วนต้นขาและส่วนปลายขา ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของส่วนลำตัว จึงน่าจะกล่าวได้ว่าความเร็วเชิงเส้นของต้นขาและขาส่วนปลายเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำท่าไฮด์สเกลวิธสปลิต โดยจากผลการศึกษาที่พบว่าความเร็วเฉลี่ยของทั้งต้นขาและปลายขาของครั้งที่ผ่านเกณฑ์น้อยกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ตรงกันข้ามกับความเร็วสูงสุดของทั้งต้นขาและปลายขา

ของครั้งที่ผ่านผ่านเกณฑ์ที่มากกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์นั้น สอดคล้องกับผลการวิจัยของความเร็วเชิงมุมข้อสะโพก รวมถึงผลการแสดงกราฟเส้นของความเร็วเชิงเส้นของต้นขาและปลายขาที่พบว่าความเร็วเชิงเส้นของครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงที่สุดในช่วงแรกของการเคลื่อนไหวแล้วลดลงต่ำในช่วงท้ายของการเคลื่อนไหว จึงน่าจะยืนยันได้ว่า ความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกสอดคล้องกับความเร็วเชิงเส้นของต้นขาและขาส่วนปลาย ดังนั้นการทำท่าไฮด์สเกลวิสปลิตให้ผ่านเกณฑ์จึงควรยกขาให้มีความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพก ความเร็วเชิงเส้นของต้นขาและขาส่วนปลายสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการยกขาและลดความเร็วลงในช่วงท้ายของการยกขาจนกระทั่งแนวขาขนานกับแกน YZ และสามารถทรงท่าในท่าไฮด์สเกลวิสปลิตได้

ความเร่งเชิงเส้น (Linear acceleration)

การศึกษาตัวแปรความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยและความเร่งเชิงเส้นสูงสุด รวมทั้งเวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุด ของลำตัว ต้นขา และขาส่วนปลาย โดยพบว่าความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของมุมต้นขาและเวลาในการเพิ่มความเร่งจนถึงจุดสูงสุดลำตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของมุมต้นขาในครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์สูงกว่าครั้งที่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น 50.73% และเวลาในการเพิ่มความเร่งจนถึงจุดสูงสุดลำตัวในครั้งที่ผ่านเกณฑ์ใช้เวลาในการเพิ่มความเร่งสูงสุดมากกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น 43.43% โดยค่าความเร่งเชิงเส้นเฉลี่ยของต้นขาในครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีค่าน้อยกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ จึงน่าจะกล่าวได้ว่า การทำท่าไฮด์สเกลวิสปลิตให้ผ่านเกณฑ์ไม่ควรเร่งความเร็วมากเกินไป เนื่องจากการเพิ่มเร่งความเร็วในการยกขาที่มากเกินไปอาจส่งผลให้มีการเคลื่อนไหวที่กระชาก ส่งผลต่อความสมดุลในการทรงตัว ซึ่งน่าจะส่งผลให้ทรงตัวในท่าไฮด์สเกลวิสปลิตได้ยาก จึงไม่สามารถยกขาและเอนลำตัวได้จนผ่านเกณฑ์ ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าครั้งที่ผ่านเกณฑ์มีเวลาในการเพิ่มความเร่งที่นานกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งหมายถึงการทำท่าไฮด์สเกลวิสปลิตที่ผ่านเกณฑ์มีการเคลื่อนไหวที่ราบเรียบกว่าครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เพื่อเป็นการรักษามวลของร่างกายให้คงท่าไฮด์สเกลวิสปลิตได้

สรุปผลการวิจัย

การทำท่าไฮด์สเกลวิสปลิตที่ผ่านเกณฑ์ทำการเคลื่อนไหว โดยมีความเร่งช่วงแรกของการเคลื่อนไหวเพื่อเพิ่มความเร่งในการยกขา หลังจากนั้นจะชะลอความเร็วของการยกขาลงร่วมกับการเอียงตัวไปทางด้านข้างเพื่อสร้างสมดุลในการทรงท่า ดังนั้นเพื่อให้สามารถทำท่าไฮด์สเกลวิสปลิตให้ผ่านเกณฑ์ได้นั้น นักกีฬาควรมีความแข็งแรง และกำลังของกล้ามเนื้อขาเพื่อให้ออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วงต้นของการยกขา ประกอบกับความยืดหยุ่นและการทำงานประสานสัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อส่วนอื่นเพื่อให้สามารถทรงท่าได้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า

ความเร็วเชิงมุมและเชิงเส้นของข้อสะโพกเป็นตัวแปรสำคัญในการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการฝึกสำหรับนักกีฬาโยนิมาสตีกีฬา

ข้อจำกัดของการวิจัย

โดยทั่วไปในการแข่งขันกีฬายูนิมาสตีกีฬาจะทำการแสดงท่าชุดต่อเนื่องและประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้รูปแบบการเก็บข้อมูลกำหนดให้นักกีฬาทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตเพียงอย่างเดียว ไม่ได้มีการนำอุปกรณ์หรือการแสดงท่าชุดต่อเนื่อง ดังนั้นการผิดพลาดของการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตของนักกีฬาขณะแข่งขัน อาจเกิดจากอุปกรณ์หรือการแสดงท่าชุดก่อนการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิตซึ่งส่งผลต่อการทรงท่าได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ควรทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพื่อเป็นตัวแปรพื้นฐานทางด้านสรีรวิทยาเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการอธิบายประสิทธิภาพในการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต
2. ควรทำการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) และทำการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Retro reflective marker) ทุกข้อต่อของร่างกาย เพื่อศึกษาจุดศูนย์ถ่วงร่างกาย (Center of mass) ขณะทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต
3. ทำการศึกษาเป็นผลระยะยาว เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและความสามารถในการทำท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์. (2559). ชีวกลศาสตร์การกีฬาขั้นสูง. คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- दनัยชาติ แจ่มจิตรตรง และต่อศักดิ์ รักอารมณ. (2559). การนำเสนอเทคนิคการประมวลภาพเพื่อการจำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ถาวร กมทศรี. (2560). การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย Physical fitness conditioning. กรุงเทพฯ หจก.มีเดีย เพรส.
- ทักษิณันท์ แก้วทิพยเนตร. (2555). ผลการจัดกิจกรรมนันทนาการที่มีต่อการผ่อนคลายความเครียดของนักกีฬายิมนาสติกลีลารุ่นเยาวชน สโมสรนันทศิลป์ จังหวัดชลบุรี. ปรินญาานิพนธ์ วท.ม. (การจัดการนันทนาการ) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธรรมศาสตร์ วิสุทธารมณ. (2557). การแยกแยะท่าทางของมนุษย์โดยใช้กล้อง Kinect. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นงนภัส เจริญพานิช. (2561). เอกสารประกอบการสอน วิชาชีวกลศาสตร์การกีฬา. คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นราธิป ทับศรี, ปฎิภาณ วงศ์ชมภู และพีระพงษ์ คงถาวรกุล. (2552). การบันทึกความเคลื่อนไหว Motion capture ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภานุพงศ์ กาญจนกุล. (2554). การศึกษาทางชีวกลศาสตร์ของแรงในกล้ามเนื้อขาของผู้ป่วยโรคอัมพาตครึ่งซีก. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์. (2551). ชีวกลศาสตร์การกีฬา Sport Biomechanics. กรุงเทพฯ หจก.มีเดีย เพรส.
- สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬากรมพลศึกษา. (2557). การประยุกต์วิทยาศาสตร์การกีฬาสำหรับฝึกนักกีฬาว่ายน้ำ. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์วิวัฒนากร พรินติ้ง แอนด์ แพ็คเก็จจิ้ง.
- อนุวัฒน์ เยาวชนธ์. (2555). การศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวของทักษะการกระโดดคู้เข้าหุมนตัว 1 รอบในกีฬาเอโรบิกยิมนาสติก. ปรินญาานิพนธ์ กศ.ม. (พลศึกษา), กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อาริตา ปลื้มถนอม, ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ และวีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2558). การวิเคราะห์การควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างท่าทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาแบบ 3 มิติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา, 15(1), 27-34.

ภาษาอังกฤษ

- Agopyan, A. (2014). Analysis of body movement difficulties of individual elite rhythmic gymnasts at London 2012 Olympic games finals. *Journal of Scientific Research*, 19(12), 1554-1565.
- Agostini, B. R., Palomares, E. M. d. G., Andrade, R. d. A., Uchôa, F. N. M., & Alves, N. (2017). Analysis of the influence of plyometric training in improving the performance of athletes in rhythmic gymnastics. *Motricidade*, 13(2), 71-80.
- Antonsson, E. K., & Mann, R. W. (1985). The frequency content of gait. *Journal of biomechanics*, 18(1), 39-47.
- Błażkiewicz, M., Kępczyński, A., & Wit, A. (2019). Comparative Analysis of Kinetics Parameters During Different Landing After Split Front Leaps. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 26(2), 3-6.
- Canton-Ferrer, C., Casas, J. R., & Pardàs, M. (2009). Towards a low cost multi-camera marker based human motion capture system. *Paper presented at the 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*.
- Cheng, L., Li, X., & Zhou, J. (2011). KINEMATIC ANALYSIS OF RING-SHAPE LEAP AFTER STEPPED UP THE LEGS AND BACKWARD BALANCE IN ARTISTIC GYMNASTICS. *Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Cicchella, A. (2009). Kinematics analysis of selected rhythmic gymnastic leaps.
- Dabnichki, P., Lauder, M., Aritan, S., & Tsirakos, D. (1997). Accuracy evaluation of an on-line kinematic system via dynamic tests. *Journal of medical engineering & technology*, 21(2), 53-66.
- Douda, H. T., Toubekis, A. G., Avloniti, A. A., & Tokmakidis, S. P. (2008). Physiological and anthropometric determinants of rhythmic gymnastics performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 41-54.
- Federation International De Gymnastique-FIG. (2018). 2017-2020 Code of points

rhythmic gymnastics.

- Ferrigno, G., & Pedotti, A. (1985). ELITE: a digital dedicated hardware system for movement analysis via real-time TV signal processing. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*(11), 943-950.
- Imura, A., Iino, Y., & Kojima, T. (2010). Kinematic and kinetic analysis of the fouette turn in classical ballet. *Journal of applied biomechanics*, 26(4), 484-492.
- Jarrett, M., Andrews, B., & Paul, J. (1974). Quantitative analysis of locomotion using television. *Paper presented at the ISPO World Congress*, Montreaux, Switzerland.
- Joseph, J. (1975). Movements at the hip joint. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 56(4), 192.
- Kenny, I. C., McCloy, A. J., Wallace, E. S., & Otto, S. R. (2008). Segmental sequencing of kinetic energy in a computer-simulated golf swing. *Sports Engineering*, 11(1), 37-45.
- Kim, J., Wilson, M. A., Singhal, K., Gamblin, S., Suh, C.-Y., & Kwon, Y.-H. (2014). Generation of vertical angular momentum in single, double, and triple-turn pirouette en dehors in ballet. *Sports biomechanics*, 13(3), 215-229.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics: Springer Science & Business Media*.
- Kong, P.-W., Luk, T.-C., & Hong, Y. (2000). Difference between Taekwondo roundhouse kick executed by the front and back leg—a biomechanical study. *Paper presented at the Scientific Proceedings of XVIII International symposium on biomechanics in sports*.
- Mkaouer, B., Jemni, M., Amara, S., Chaabène, H., & Tabka, Z. (2013). Kinematic and kinetic analysis of two gymnastics acrobatic series to performing the backward stretched somersault. *Journal of Human Kinetics*, 37(1), 17-26.
- Organization, W. H. (2000). International Association for the Study of Obesity, International Obesity Taskforce. *The Asia-Pacific perspective: redefining obesity and its treatment*, 15-21.
- Richards, J. (2008). *Biomechanics in Clinic and Research*. Philadelphia, PA: Churchill Livingstone. In: Elsevier.
- Ruina, A. L., & Pratap, R. (2009). Introduction to statics and dynamics. *Pre-print for*

Oxford University Press. In.

- Savelsbergh, G., Whiting, H., Burden, A., & Bartlett, R. M. (1992). The role of predictive visual temporal information in the coordination of muscle activity in catching. *Experimental brain research*, 89(1), 223-228.
- Sayah, Q. M. (2015). A comparative study between the players the artistic gymnastics and acrobatic in most important of the kinematics to skill back handspring on floor exercise. *Misan Journal for Physical Education Sciences*, 12(12), 9-20.
- Shigaki, L., Rabello, L. M., Camargo, M. Z., da Costa-Santos, V. B., de Oliveira Gil, A. W., de Oliveira, M. R., . . . Macedo, C. d. S. G. (2013). Comparative analysis of one-foot balance in rhythmic gymnastics athletes= Análise comparativa do equilíbrio unipodal de atletas de ginástica rítmica. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19(2), 104-107.
- Sousa, F., & Lebre, E. (1996a). Biomechanical analysis of two different jumps in rhythmic sports gymnastic (RSG). *Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Sousa, F., & Lebre, E. (1996b). Biomechanical analysis of two different jumps in rhythmic sports gymnastic (RSG). *Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Sousa, F., & Lebre, E. (1998). Biomechanics of jumps in rhythmic sport gymnastics (RSG) kinematic analysis of the principal jumps in RSG. *Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- WĄSIK, J. (2011). Kinematic analysis of the side kick in Taekwon-do. *Acta Bioeng. Biomech*, 13(4), 71-75.
- Wąsik, J. (2011). Kinematics and kinetics of taekwon-do side kick. *Journal of human kinetics*, 30, 13-20.
- Woltring, H. J. (1980). Planar control in multi-camera calibration for 3-D gait studies. *Journal of Biomechanics*, 13(1), 39-48.

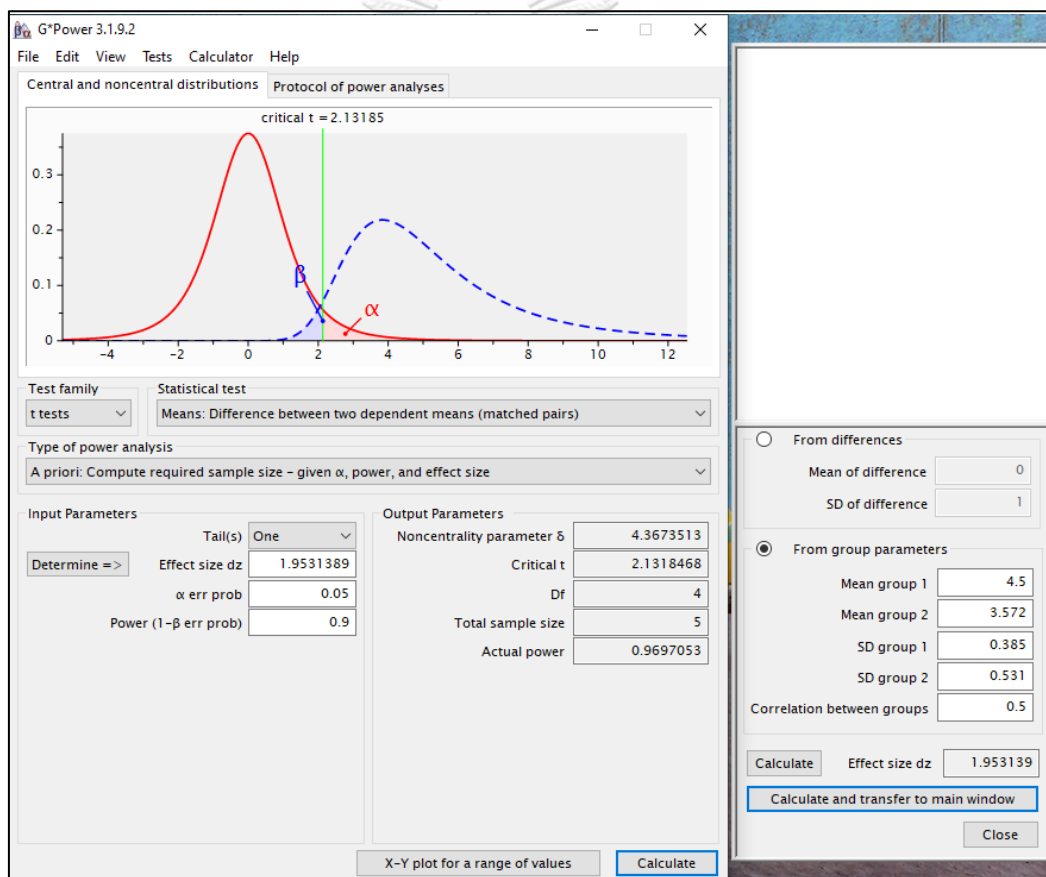


ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬายิมนาสติกลีลา เพศหญิง ที่ได้มาจากการสุ่มแบบจำเพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Mkaouer และคณะ (Mkaouer et al., 2013) กำหนดให้อำนาจการทดสอบ $(1-\beta) = 0.9$ ระดับความมีนัยสำคัญ $(\alpha) = 0.05$ ขนาดอิทธิพล $(d) = 1.95$ ดังนั้นจะได้กลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power ทั้งหมด 5 คน แต่เนื่องจากมีนักกีฬาที่สามารถเข้าเกณฑ์คัดเลือกได้ทั้งหมด 12 คน จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้จำนวนทั้งสิ้น 12 คน



รูปที่ 12 การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว โอคัส ควอลิซิส (Oqus Qualisys) ของบริษัท Qualisys Medical AB ประเทศสวีเดน



รูปที่ 13 กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys motion capture system)

2. เครื่องหมายสะท้อนแสง (Retro reflective marker)



รูปที่ 14 เครื่องหมายสะท้อนแสง (Retro reflective marker)

3. โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Track Manager

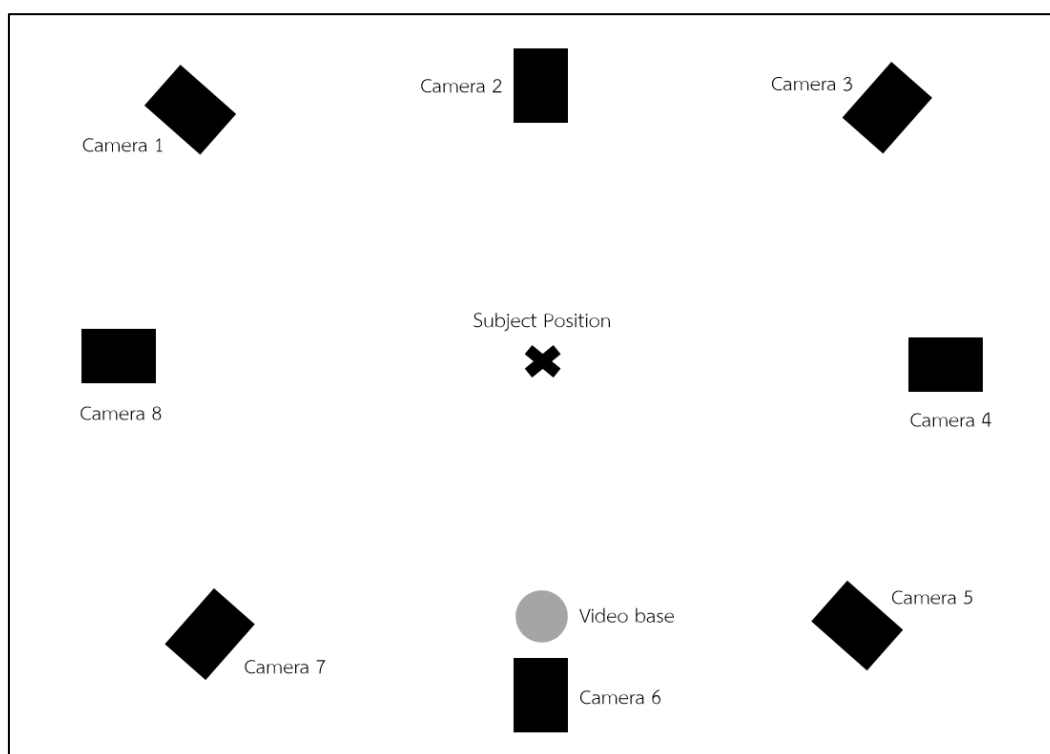


รูปที่ 15 โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Track Manager

ภาคผนวก ค

ตำแหน่งการวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys motion capture system) ประกอบด้วยกล้องจับภาพการเคลื่อนไหว รุ่น Oqus 7 + Series จำนวน 8 ตัว และกล้องวิดีโอความเร็วสูง รุ่น Oqus 210c จำนวน 1 ตัว ยี่ห้อ Qualisys บริษัท Qualisys Medical AB ประเทศสวีเดน



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 16 ตำแหน่งการวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

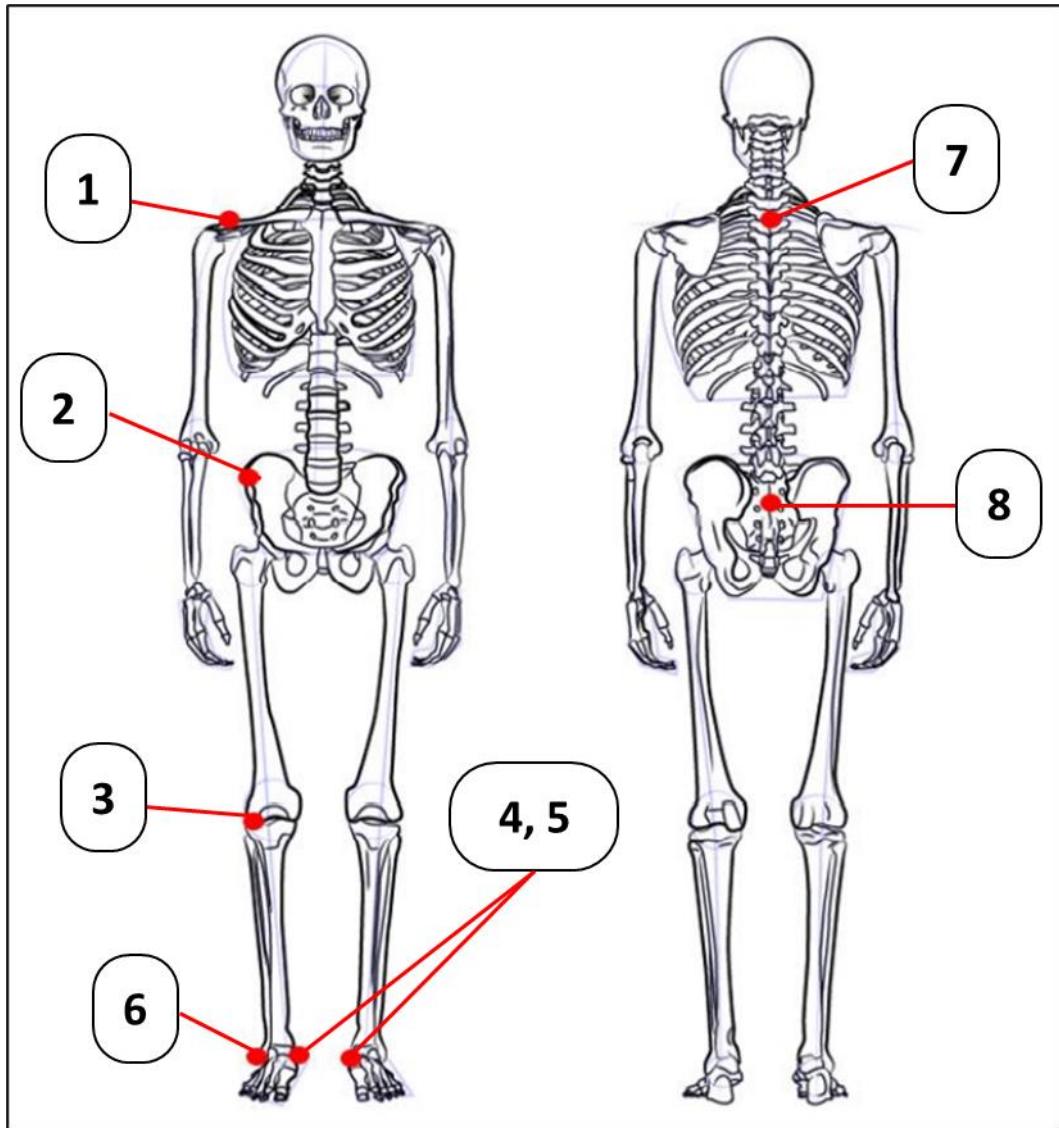
ภาคผนวก ง

ตำแหน่งสำหรับติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนข้อต่อของร่างกาย

ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง ประกอบด้วย (ดังรูปที่ 17)

1. ปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Acromion process)
2. ปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS)
3. ปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)
4. ปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านใน ด้านขวา (Right - Medial malleolus)
5. ปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านใน ด้านซ้าย (Left - Medial malleolus)
6. ปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านนอก (Lateral malleolus)
7. กระดูกสันหลังส่วนอก ชั้นที่ 3 (3rd Thoracic vertebra: T3)
8. จุดกึ่งกลางระหว่างปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกเชิงกรานด้านซ้ายและด้านขวา (Middle of Right and Left PSIS)

หมายเหตุ: ผู้วิจัยได้ทำการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงดังกล่าว เพื่อให้สอดคล้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 17 ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง

ภาคผนวก จ
แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การศึกษาตัวแปรทางคลินิกของฟ้าโชนเภสัชวรสพลในนักกีฬาทีมชาติลีลา

วันที่...../...../..... รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

โปรดกรอกข้อมูลและตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง ข้อมูลทั้งหมดในแบบสอบถามจะถูกเก็บเป็นความลับและใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

อายุ.....ปี.....เดือน.....วัน

น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

ดัชนีมวลกาย (BMI) น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.).....

ผ่านการแจ้งชั้ระดับนานาชาติ ไม่เคย 1 ครั้ง 2 ครั้ง ขึ้นไป

ในช่วง 6 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย มีชั้ทีมชาติลีลา..... ครั้ง/สัปดาห์

ตอนที่ 2 ข้อมูลทางคานสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

ไม่มี มี (โปรดระบุ).....

2.2 ท่านเคยมีประวัติการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ในช่วง 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัยหรือไม่

ไม่เคย เคย (โปรดระบุ).....

เมื่อใด (วัน/เดือน/ปี).....

สรุปคุณสมบัติ

ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

หมายเหตุ : ในกรณีผู้วิจัยพบว่าผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเลือก และอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ทางผู้วิจัยจะมีของที่ระลึกมอบให้

ผู้ดำเนินการคัดเลือก.....
(นางสาวณัสนันท์ จัยธีระภัทรพงศ์)



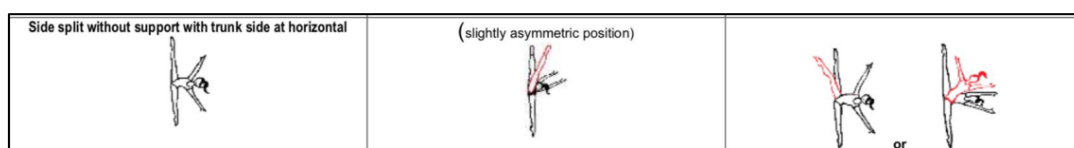
เลขที่โครงการวิจัย 110.1/63
วันที่รับรอง - 5 ส.ค. 2563
วันหมดอายุ - 4 ส.ค. 2564

รูปที่ 18 แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ภาคผนวก ฉ

ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split)

ท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Side scale with split) หมายถึง ท่าที่อยู่ในกลุ่มการทรงตัว ซึ่งเป็นกลุ่มท่าที่มีคะแนนมากที่สุดคือ 0.5 คะแนน โดยท่าไซด์สเกลวิธสปลิตมีลักษณะของขาจะต้องอยู่ในท่าเข้าและปลายเท้าเหยียด



รูปที่ 19 เกณฑ์การให้คะแนนท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

ที่มา: (FIG, 2018)

ช่วงที่ 1 ช่วงขึ้นท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Preparation phase)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนเตรียมในท่ากางแขน ขาชิด โดยฝ่าเท้าทั้งสองข้างแนบชิดติดกับพื้น
2. เตะขาและเหยียดปลายเท้าพร้อมกับเอนลำตัวไปด้านข้างให้อยู่ในท่าไซด์สเกลวิธสปลิต



รูปที่ 20 ช่วงขึ้นท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Preparation phase)

ช่วงที่ 2 ช่วงค้างท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Balance phase)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องค้างท่าไซด์สเกลวิธสปลิตในรูปแบบเขย่งเท้าเป็นระยะเวลา 1 วินาที



รูปที่ 21 ช่วงค้างท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Balance phase)

ช่วงที่ 3 ช่วงสิ้นสุดท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Landing phase)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยดึงลำตัวและขากลับสู่ท่าเตรียม ในท่ากางแขน ขาชิดพร้อมกับเขย่งปลายเท้า

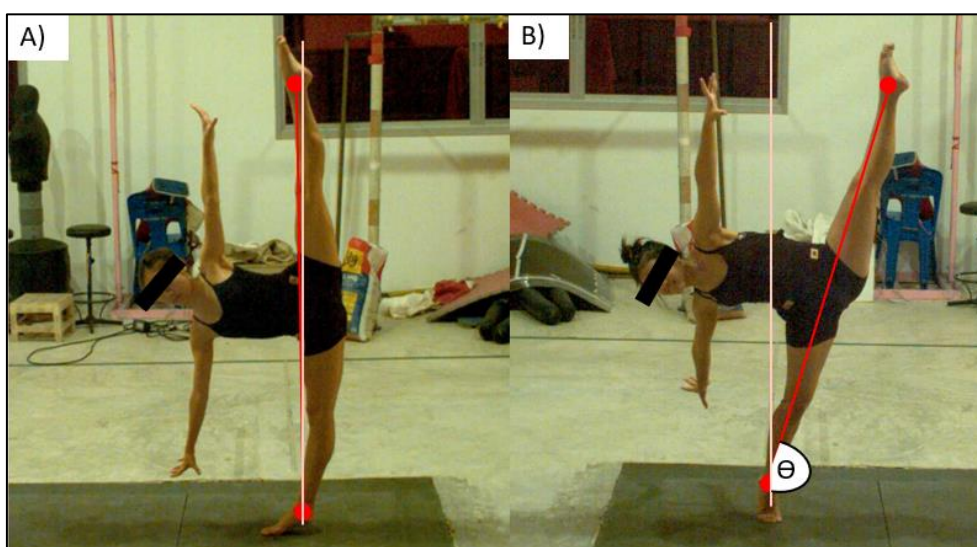


รูปที่ 22 ช่วงสิ้นสุดท่าไซด์สเกลวิธสปลิต (Landing phase)

ภาคผนวก ข
เกณฑ์การตัดสินท่าไฮด์สเกลวิธสปลิต

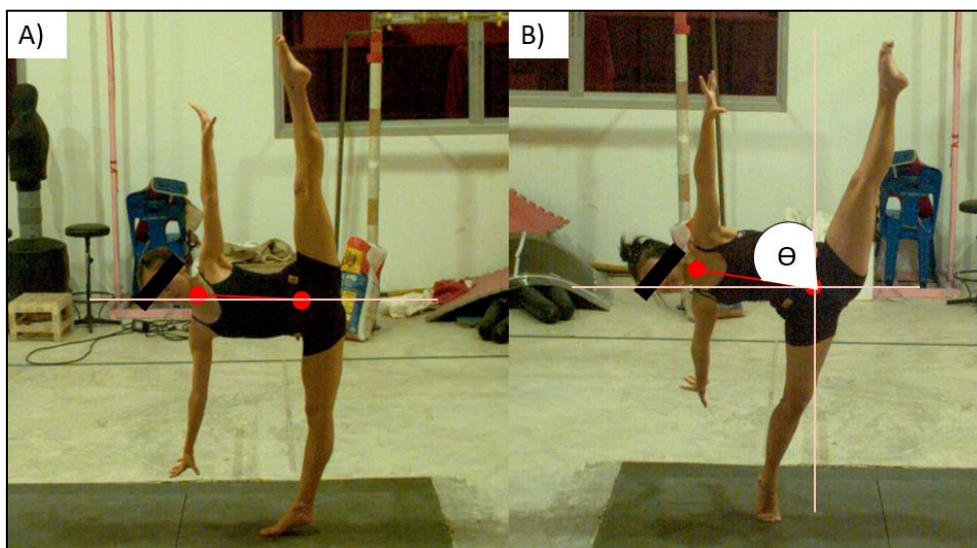
เกณฑ์การตัดสินท่าไฮด์สเกลวิธสปลิต

1. จะต้องอยู่ในตำแหน่งขนานกับแกน YZ อยู่ที่ช่วง 180 ± 5 องศา (จะต้องเปิดกว้างมากกว่า 175 องศา) โดยเส้นแกนของขาจะลากจากปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านใน ด้านขวา (Right - Medial malleolus) ถึงปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านใน ด้านซ้าย (Left - Medial malleolus)



รูปที่ 23 การเปรียบเทียบมุมของขา กับแกน YZ ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B)

2. ลำตัวขนานพื้นในท่าตะแคงข้างและอยู่ในตำแหน่งขนานกับแกน XY อยู่ที่ช่วง 90 ± 5 องศา (85-95 องศา) โดยเส้นแกนของลำตัวจะลากจากกระดูกสันหลังส่วนอก ชั้นที่ 3 (3rd Thoracic vertebra: T3) ถึงจุดกึ่งกลางระหว่างปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกเชิงกรานด้านซ้ายและด้านขวา (Middle of Right and Left PSIS)



รูปที่ 24 การเปรียบเทียบมุมของลำตัวกับแกน XY ครั้งที่ผ่านเกณฑ์ (A) และครั้งที่ไม่ผ่านเกณฑ์ (B)

ภาคผนวก ซ

การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Warm up)

ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแขน ขา และลำตัว เป็นเวลา 30 นาที

ท่าที่ 1 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก (Iliopsoas muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 25)



รูปที่ 25 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก

ท่าที่ 2 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก (Hip extensor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 26)



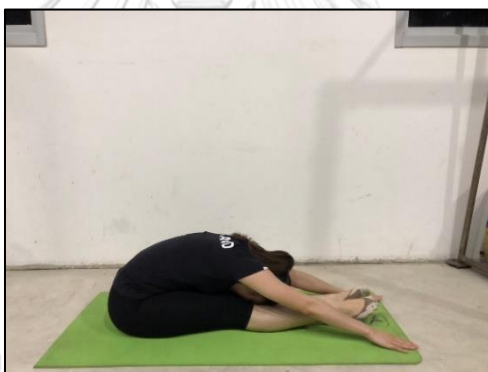
รูปที่ 26 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก

ท่าที่ 3 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอากลุ่มสะโพกด้านใน (Hip adductor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 27)



รูปที่ 27 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอากลุ่มสะโพกด้านใน

ท่าที่ 4 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอากลุ่มงอเข่า (Knee flexor muscle) ทำค้างไว้ 20 วินาที (รูปที่ 28)



รูปที่ 28 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอากลุ่มงอเข่า

ท่าที่ 5 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่องกลุ่มเหยียดเข่า (Knee extensor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 29)



รูปที่ 29 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่องกลุ่มเหยียดเข่า

ท่าที่ 6 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 30)



รูปที่ 30 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง

ท่าที่ 7 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน (Adductor muscle) ทำค้างไว้ 10 วินาที (รูปที่ 31)



รูปที่ 31 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน

ท่าที่ 8 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก (External obliques muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 32)



รูปที่ 32 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก

ท่าที่ 9 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (Latissimus dorsi muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 33)



รูปที่ 33 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง

ท่าที่ 10 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง (Hamstrings muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 34)



รูปที่ 34 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง

ท่าที่ 11 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าขา (Quadriceps muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 35)



รูปที่ 35 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าขา

ท่าที่ 12 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าขา (Quadriceps muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 36)



รูปที่ 36 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าขา

ท่าที่ 13 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน (Adductor muscle) และกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก (External obliques muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 37)



รูปที่ 37 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านในและกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก

ท่าที่ 14 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน (Adductor muscle) และกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก (External obliques muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 38)



รูปที่ 38 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านในและกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก

ท่าที่ 15 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน (Adductor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 39)



รูปที่ 39 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพกด้านใน

ท่าที่ 16 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง (Hamstring muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 40)



รูปที่ 40 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง

ท่าที่ 17 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง (Rectus abdominis muscle) ทำค้างไว้ 10 วินาที
(รูปที่ 41)



รูปที่ 41 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง

ท่าที่ 18 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง (Rectus abdominis muscle) ทำค้างไว้ 10 วินาที
(รูปที่ 42)



รูปที่ 42 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง

ท่าที่ 19 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง (Rectus abdominis muscle) ทำค้างไว้ 10 วินาที
(รูปที่ 43)



รูปที่ 43 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าท้อง

ท่าที่ 20 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง (Hamstrings muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที
(รูปที่ 44)



รูปที่ 44 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง

ท่าที่ 21 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก (External obliques muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 10 วินาที (รูปที่ 45)



รูปที่ 45 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก



ภาคผนวก ฅ
การคลายอุ่นร่างกาย (Cool down)

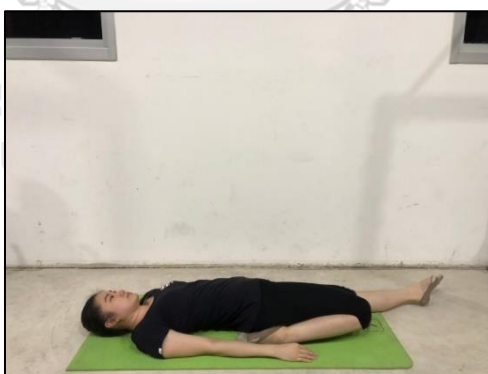
คลายอุ่น โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแขน ขา และลำตัว เป็นเวลา 10 นาที

ท่าที่ 1 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอกรู่มลำตัวด้านข้าง (External oblique muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 46)



รูปที่ 46 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอกรู่มลำตัวด้านข้าง

ท่าที่ 2 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอกรู่มต้นขาด้านหน้า (Quadriceps muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 47)



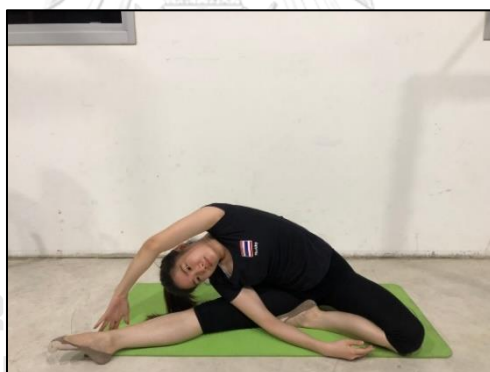
รูปที่ 47 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อเอกรู่มต้นขาด้านหน้า

ท่าที่ 3 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มต้นขาด้านหน้า (Quadriceps muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 48)



รูปที่ 48 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

ท่าที่ 4 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านนอก (External obliques muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 49)



รูปที่ 49 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง

ท่าที่ 5 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (Lower back muscle) ทำค้างไว้ 20 วินาที (รูปที่ 50)



รูปที่ 50 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง

ท่าที่ 6 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 51)




รูปที่ 51 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง

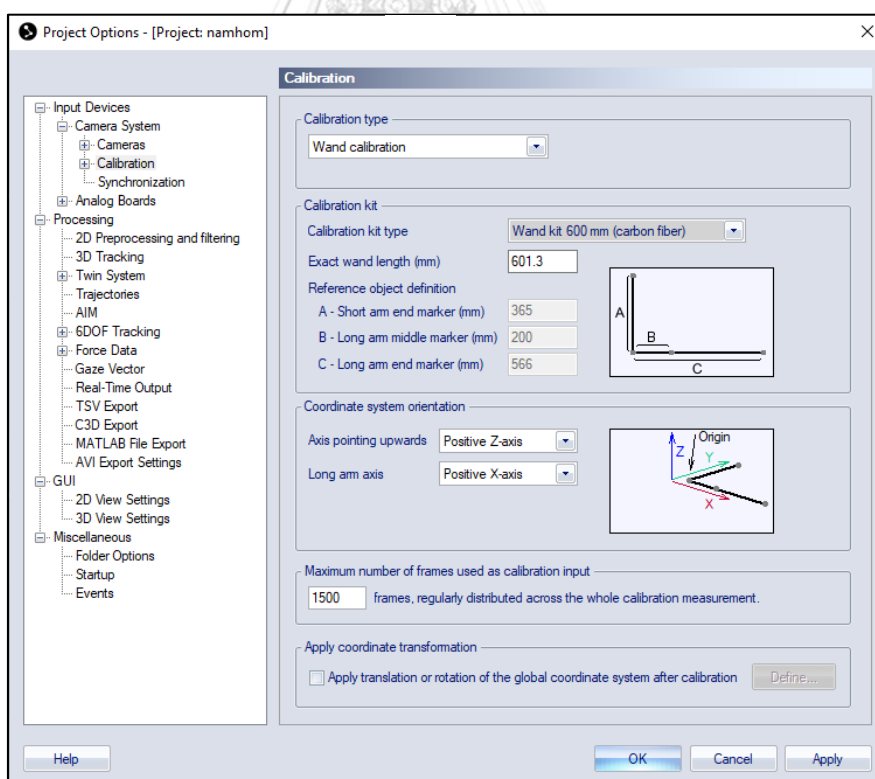
ภาคผนวก ญ

ขั้นตอนการทำ Calibration โปรแกรม Qualisys Track Manager

Calibration of the system

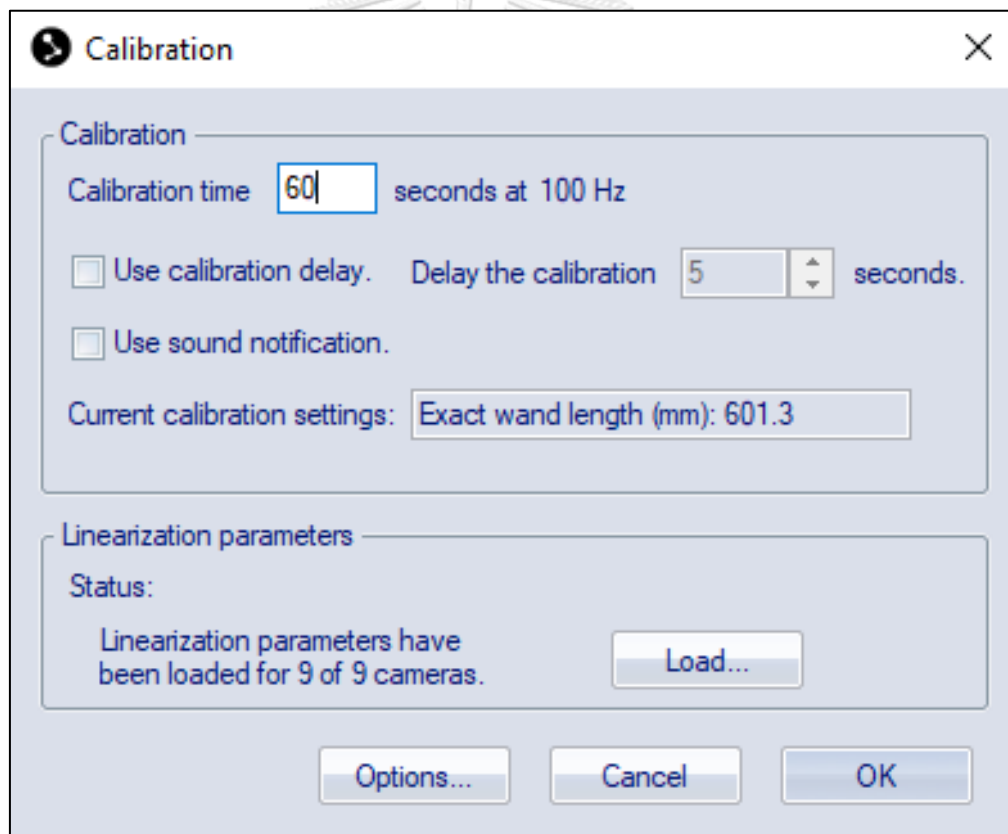
1. เปิดโปรแกรม Qualisys Track Manager จากนั้นคลิกเลือก File ตามด้วย New
2. คลิกเลือกสัญลักษณ์  (Calibrate)
3. วางโครงสร้างการ Calibration ใน measurement volume เพื่อให้กล้องทั้งหมดสามารถมองเห็น marker ทั้งหมด 4 ตัว บนโครงสร้างการ Calibration
4. ตรวจสอบการตั้งค่าการ Calibration ในปุ่ม Project options โดยคลิก Project options ในเมนู จากนั้นคลิก Calibration ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ตั้งค่าทั้งหมดไว้ตามภาพดังต่อไปนี้แล้ว จากนั้นคลิก OK เพื่อกลับไปยังหน้าต่างแสดงตัวอย่าง

หมายเหตุ: ความยาวที่แน่นอนของ wand เป็นของแต่ละโครงสร้างการ Calibration โดยการตรวจสอบแผ่นบน wand นั้น ก็เพื่อให้ได้ความยาวที่แน่นอนของ wand และเพื่อให้ป้อนค่าได้อย่างถูกต้อง



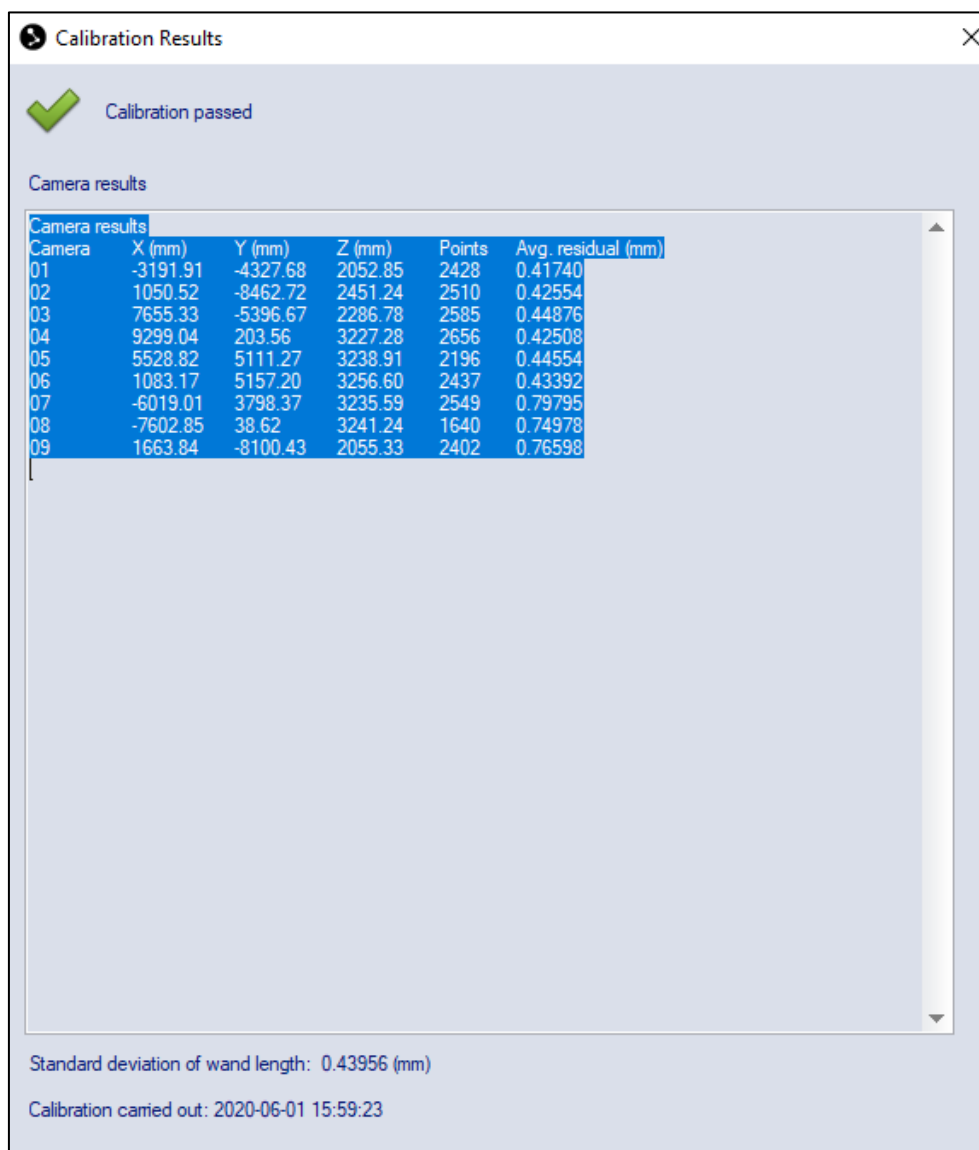
รูปที่ 52 ขั้นตอนการ Calibration

- Calibration type: Wand calibration
 - Calibration kit
 - Calibration kit type: Wand kit 600 mm (carbon fiber)
 - Exact wand length (mm): 601.3
 - Coordinate system orientation
 - Axis pointing upward: Positive Z-axis
 - Long arm axis: Positive X-axis
 - Maximum number of frames used as calibration input: 1500 frames
5. คลิกไอคอน Calibration หรือคลิก Calibrate ในเมนู Capture เพื่อเปิดไดอะล็อก Calibration
6. ใส่ค่า Calibration time 60 seconds at 100 Hz



รูปที่ 53 ขั้นตอนการ Calibration

7. เมื่อการ Calibration เสร็จสิ้น จะแสดงหน้าต่างที่มีผลการ calibration จากนั้นคลิก OK



Calibration Results

✓ Calibration passed

Camera results

Camera	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Points	Avg. residual (mm)
01	-3191.91	-4327.68	2052.85	2428	0.41740
02	1050.52	-8462.72	2451.24	2510	0.42554
03	7655.33	-5396.67	2286.78	2585	0.44876
04	9299.04	203.56	3227.28	2656	0.42508
05	5528.82	5111.27	3238.91	2196	0.44554
06	1083.17	5157.20	3256.60	2437	0.43392
07	-6019.01	3798.37	3235.59	2549	0.79795
08	-7602.85	38.62	3241.24	1640	0.74978
09	1663.84	-8100.43	2055.33	2402	0.76598

Standard deviation of wand length: 0.43956 (mm)

Calibration carried out: 2020-06-01 15:59:23

รูปที่ 54 ขั้นตอนการ Calibration

ภาคผนวก ก
ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ

ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration)

1. มุมลำตัวเทียบกับแกน XY ประกอบด้วย
 - 1.1 กระดูกสันหลังส่วนอก ชั้นที่ 3 (3rd Thoracic vertebra: T3)
 - 1.2 จุดกึ่งกลางระหว่างปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกเชิงกรานด้านซ้ายและด้านขวา (Middle of Right and Left PSIS)



รูปที่ 55 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาลำตัว

2. มุมต้นขาเทียบกับแกน YZ ประกอบด้วย

2.1 ปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS)

2.2 ปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)



รูปที่ 56 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาสะโพก

3. มุมข้อสะโพก ประกอบด้วย

3.1 ปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Acromion process)

3.2 ปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS)

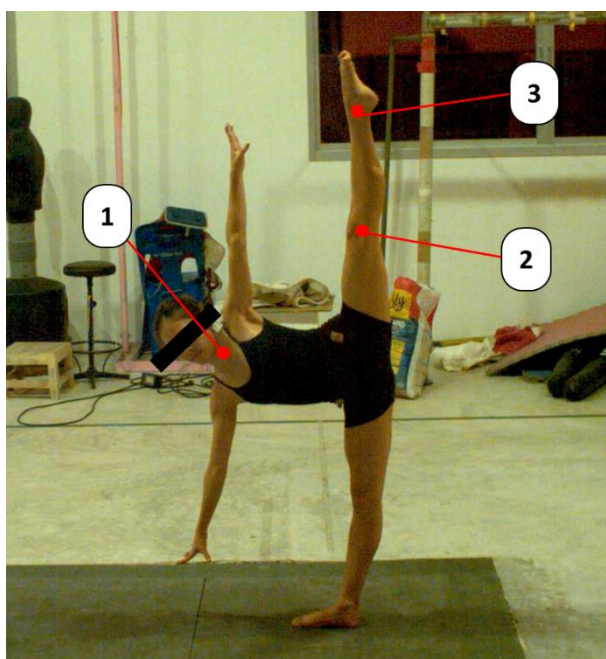
3.3 ปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)



รูปที่ 57 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาเข่า

ความเร็วเชิงเส้น (Linear Velocity) และความเร่งเชิงเส้น (Linear acceleration)

1. ส่วนลำตัว (Trunk): แสดงได้จากการเคลื่อนไหวของ Marker บริเวณปุ่มกระดูกด้านหลัง (Spinous Process) ของกระดูกสันหลังส่วนอก ชั้นที่ 3 (3rd Thoracic vertebra: T3)
2. ส่วนต้นขา (Thigh): แสดงได้จากการเคลื่อนไหวของ Marker บริเวณปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)
3. ขาส่วนปลาย (Leg): แสดงได้จากการเคลื่อนไหวของ Marker บริเวณปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านนอก (Lateral malleolus)



รูปที่ 58 ตำแหน่งที่ใช้ในการศึกษาความเร็วและความเร่งเชิงเส้น

ภาคผนวก ก

สูตรคำนวณ

ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) (หิรัญรัตน์, 2551)(ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์, 2551)

ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยได้จากการหารระยะทางเชิงมุม (Angular distance) ด้วยเวลาที่เคลื่อนไป

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

โดย ω = ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย

θ = ระยะทางเชิงมุม

อัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย ได้จากการหารระยะขจัดเชิงมุม (Angular displacement) ด้วยเวลาที่เคลื่อนที่ไป

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

โดย ω = อัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย

θ = ระยะทางเชิงมุม

สูตรคำนวณความเร็วสัมบูรณ์

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

โดย V = ความเร็วสัมบูรณ์

V_x = ความเร็วในแนวแกน x

V_y = ความเร็วในแนวแกน y

V_z = ความเร็วในแนวแกน z

ภาคผนวก ฐ

วัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry)

การวัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry)

1. เส้นรอบวงของรยางค์

1.1 ต้นแขน (Upper arm) ทั้งข้างซ้ายและขวา

วัดรอบต้นแขนระหว่างจุดกึ่งกลางของปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Acromion process) และปุ่มกระดูกข้อศอกด้านนอก (Lateral epicondyle)



รูปที่ 59 การวัดรอบต้นแขน

1.2 ปลายแขน (Forearm) ทั้งข้างซ้ายและขวา

วัดรอบปลายแขนระหว่างจุดกึ่งกลางของปุ่มกระดูกข้อศอกด้านนอก (Lateral epicondyle) และปุ่มกระดูกข้อมือด้านนอก (Head of ulna)



รูปที่ 60 การวัดรอบปลายแขน

1.3 ข้อมือ (Wrist) ทั้งข้างซ้ายและขวา



รูปที่ 61 การวัดรอบข้อมือ

1.4 ต้นขา (Thigh) ทั้งข้างซ้ายและขวา

วัดรอบต้นขา ระหว่างจุดกึ่งกลางของปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS) และปุ่มกระดูกหัวเข่าด้านนอก (Lateral femoral condyle)



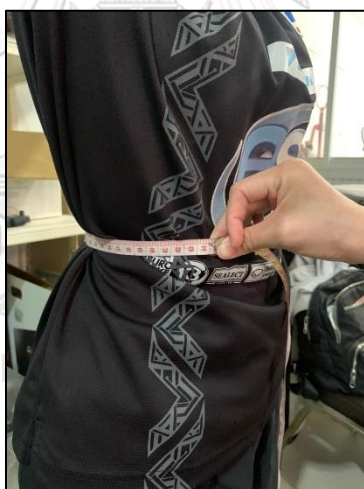
รูปที่ 62 การวัดรอบต้นขา

1.5 น่อง (Calf) ทั้งข้างซ้ายและขวา



รูปที่ 63 การวัดรอบน่อง

1.6 เอว (Waist)



รูปที่ 64 การวัดรอบเอว

2. ความยาวของร่างกาย

2.1 ความยาวของขา ทั้งข้างซ้ายและขวา

วัดจากปุ่มกระดูกด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน (Anterior superior iliac spine: ASIS) ถึงพื้น



รูปที่ 65 การวัดความยาวของขา

2.2 ความยาวของแขน

วัดจากปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Acromion process) ถึงปลายนิ้วกลาง



รูปที่ 66 การวัดความยาวของแขน

2.3 ความยาวของแขนทั้ง 2 ข้าง

วัดจากปลายนิ้วกลางข้างซ้ายถึงปลายนิ้วกลางข้างขวา



รูปที่ 67 การวัดความยาวของแขนทั้ง 2 ข้าง

ภาคผนวก ๗
แบบฟอร์มข้อมูลสัดส่วนร่างกาย

แบบฟอร์มข้อมูลสัดส่วนร่างกาย

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....วันที่.....

ส่วนสูง (cm.)น้ำหนัก (kg.)

ดัชนีมวลกาย (kg./m²)มวลไขมัน (kg.)

1. ความยาวรอบรยางค์

ตำแหน่ง	เส้นรอบวงของรยางค์ (cm.)	
	ด้านขวา	ด้านซ้าย
ต้นแขน (Upper arm)		
ปลายแขน (Forearm)		
ข้อมือ (Wrist)		
ต้นขา (Thigh)		
น่อง (Calf)		
เอว (Waist)		

2. ความยาวของรยางค์

ตำแหน่ง	ความยาวของรยางค์ (cm.)	
	ด้านขวา	ด้านซ้าย
ขา		
แขน		
แขนทั้ง 2 ข้าง		

รูปที่ 68 แบบฟอร์มข้อมูลสัดส่วนร่างกาย

ภาคผนวก ฅ
แบบฟอร์มเกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต

เกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต										
รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....วันที่...../...../.....										
เกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต	องศา (°)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. เส้นแนบจากปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านในด้านขวา (Right - Medial malleolus) ถึงปุ่มกระดูกตาตุ่มด้านในด้านซ้าย (Left - Medial malleolus)เทียบกับแกน YZ (อยู่ที่ช่วง 0±5 องศา)										
2. เส้นแนบจาก กระดูกคอซี่ที่ 7 (C7) ถึง จุดกึ่งกลางระหว่างปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกเชิงกรานด้านซ้ายและด้านขวา (Middle of Right and Left PSIS) เทียบกับแกน XY (อยู่ที่ช่วง 0±5 องศา)										
รวม										

รูปที่ 69 เกณฑ์การตัดสินท่าไซด์สเกลวิธสปลิต



ภาคผนวก ณ

ใบรับรองโครงการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน



บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 โทร.0-2218-3202

ที่ จว 199 /2563

วันที่ 11 สิงหาคม 2563

เรื่อง แจ้งผลผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์กีฬา

สิ่งที่ส่งมาด้วย เอกสารแจ้งผ่านการรับรองผลการพิจารณา

ตามที่นิสิต/บุคลากรในสังกัดของท่านได้เสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นั้น ในการนี้ กรรมการผู้ทบทวนหลักได้เห็นสมควรให้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยได้ ดังนี้

โครงการวิจัยที่ 110.1/63 เรื่อง การศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไซด์สเกลวิธสปลิต ในนักกีฬายูนินาสติกส์ (A STUDY OF KINEMATIC VARIABLES OF SIDE SCALE WITH SPLIT POSE IN RHYTHMIC GYMNASTICS) ของ นางสาวนันทน์ ชัยธีระภัทรพงศ์ นิสิตระดับมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ กีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

หม่อมราชวงศ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)

กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน
กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AF 02-12



คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน 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. 173/2563

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 110.1/63 : การศึกษาตัวแปรทางคิเนมาติกส์ของท่าไฮด์สเทลวิสปลิตในนักกีฬา
ยิมนาสติกลีลา

ผู้วิจัยหลัก : นางสาวนันทน์ ชัยธีระภัทรพงศ์

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ลงนาม ศาสตราจารย์ นายแพทย์ปริดา ทิคนประดิษฐ์
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปริดา ทิคนประดิษฐ์)
ประธาน

ลงนาม พินิติ ไข่มุกด์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พินิติ ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 5 สิงหาคม 2563

วันหมดอายุ : 4 สิงหาคม 2564

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

- 1) โครงการวิจัย
- 2) เอกสารข้อมูลคุ้มครองสิทธิส่วนบุคคลในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอมของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
- 3) ผู้วิจัย 110.1/63
- 5 ส.ค. 2563
- 4) แบบสอบถาม วันที่รับรอง
- 4 ส.ค. 2564

เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ
2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น
5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ
7. หากยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนดต้องแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 2 สัปดาห์พร้อมคำชี้แจง
8. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 01-15) และบทความผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทความย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น
9. โครงการวิจัยที่มีหลายระยะ จะรับรองโครงการเป็นระยะ เมื่อดำเนินการวิจัยในระยะแรกเสร็จสิ้นแล้ว ให้ดำเนินการส่งรายงานความก้าวหน้า พร้อมโครงการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในระบอบถัดไป
10. คณะกรรมการฯ ส่งวนสิทธิในการตรวจเยี่ยมเพื่อติดตามการดำเนินการวิจัย
11. สำหรับโครงการวิจัยจากภายนอก ผู้บริหารส่วนงาน กำกับการดำเนินการวิจัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	มนัสนันท์ ชัยธีระภัทรพงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	16 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560
ที่อยู่ปัจจุบัน	449/224 ซอยสุวินทวงศ์11 ถนนสุวินทวงศ์ แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร

