

การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว
ระยะทาง 15 เมตรในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

KINEMATIC AND ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF 15-M SPEED CLIMBING
IN THAI NATIONAL ROCK CLIMBERS



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Sports and Exercise Science

FACULTY OF SPORTS SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ การปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตรใน นักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย
โดย	น.ส.ทัตพิชา พงษ์ศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา บุญหยง

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา บุญหยง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

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

ทัตติชา พงษ์ศิริ : การวิเคราะห์ทางคินเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตรในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย. (KINEMATIC AND ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF 15-M SPEED CLIMBIN IN THAI NATIONAL ROCK CLIMBERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.นงนภัส เจริญพานิช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร.ธนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร, ผศ. ดร.สุจิตรา บุญหยง

ช่วงต้นของการออกตัว เป็นช่วงที่สำคัญที่สุดของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วที่ความสูง 15 เมตร เนื่องจากเป็นช่วงที่นักกีฬาสามารถทำความเร็วในการปีนหน้าผาได้ 75-100% ของความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการปีน ส่งผลให้ความเร็วในช่วงต่อไปเพิ่มมากขึ้น การปีนในช่วงต้นนี้พบได้ 2 รูปแบบคือการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สดาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป อย่างไรก็ตาม ยังขาดข้อมูลทางด้านคินเนมาติกส์และการทำงานของกล้ามเนื้อการปีนทั้ง 2 รูปแบบนี้ ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ และเปรียบเทียบข้อมูลทางคินเนมาติกส์ และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาช่วงต้นของการออกตัวประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร แบบคลาสสิก สดาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ทีมชาติไทยชุดใหญ่ เพศชาย ที่กำลังเก็บตัวเพื่อเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาเอเชียนบีชเกมส์ 2021 ครั้งที่ 6 ณ เมืองซานย่า ประเทศจีน อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 7 คน การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติถูกบันทึกภาพจากมาร์คเกอร์จำนวน 14 ตำแหน่ง และสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ถูกบันทึกจากกล้ามเนื้อของรยางค์บนและล่าง ข้างซ้ายและข้างขวา จำนวน 14 มัด ในผู้เข้าร่วมวิจัยขณะทำการปีนหน้าผาด้วยความเร็วสูงสุด ทั้งหมด 6 ครั้ง โดยใช้การปีนช่วงต้นแบบคลาสสิก สดาร์ท จำนวน 3 ครั้ง และแบบโทโมอะ สคิป จำนวน 3 ครั้ง และแต่ละครั้งเว้นระยะห่าง 5 นาที และพักระหว่างรูปแบบของการปีนเป็นเวลา 10 นาที ข้อมูลจากการปีนครั้งที่มีความเร็วสูงสุดของแต่ละรูปแบบจะถูกนำมาเปรียบเทียบระหว่างการปีน 2 รูปแบบ ความเร็วในการเคลื่อนที่เชิงเส้นและเชิงมุม องศาการเคลื่อนไหวของข้อไหล่ ข้อศอก ข้อสะโพก ข้อเข่า และลำตัว การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล ค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงที่มีการเคลื่อนไหว เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด และอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ถูกเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ ทีรายคู่ (Paired t-test) โดยกำหนดค่านัยสำคัญที่ .05 รวมทั้งนำค่าความต่างศักย์ของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ของการปีน 3 ครั้งในแต่ละรูปแบบ วิเคราะห์กล้ามเนื้อหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle synergist) โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) แบบแบคเวิร์ด (Backward)

ผลการวิจัยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ของระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ความเร็วในการปีนระยะเวลาในการปีน 15 เมตร ความเร็วเชิงเส้นของข้อไหล่, ข้อศอก, ข้อสะโพก และข้อเข่า มุมการเคลื่อนไหวของข้อไหล่, ข้อศอก, ข้อสะโพก และข้อเข่า ความเร็วเชิงมุมของข้อไหล่, ข้อศอก, ข้อสะโพก และข้อเข่า พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงที่มีการเคลื่อนไหว และเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สดาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ของค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด และอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้า และพบว่ากล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลในการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป สูงสุดคือกล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียส ในขณะที่กล้ามเนื้ออวาสดัส แลเธอรอลิส เป็นกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลในการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สดาร์ทช่วงตัวจับที่ 3 ถึงถึงตัวจับที่ 5 สูงที่สุด

สรุปผลการวิจัย การปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปส่งผลให้นักกีฬาสามารถปีนได้เร็วกว่าแบบคลาสสิก สดาร์ท อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของข้อไหล่ กับข้อศอกที่เร็วกว่า มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของลำตัวน้อยกว่า จึงสามารถเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งได้เร็วกว่า โดยผลจากการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ พบความต่างศักย์สูงสุดของกล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสร่วมกับกล้ามเนื้ออวาสดัส แลเธอรอลิส ที่มากกว่า และมีพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์สูงสุดเมื่อเทียบกับกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด และผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณพบว่า กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียส มีอิทธิพลสูงสุดขณะปีนแบบโทโมอะ สคิป ขณะที่กล้ามเนื้ออวาสดัส แลเธอรอลิสข้างซ้ายมีอิทธิพลสูงสุดของการปีนแบบคลาสสิก สดาร์ท

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย	ลายมือชื่อนิติ
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6178605439 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE

KEYWORD: Kinematics, Electromyography, Speed climbing

Tatpicha Pongsiri : KINEMATIC AND ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF 15-M SPEED CLIMBING IN THAI NATIONAL ROCK CLIMBERS . Advisor: Asst. Prof. NONGNAPAS CHAROENPANICH, Ph.D. Co-advisor: Prof. THANOMWONG KRITPET, Ph.D., Asst. Prof. SUJITRA BOONYONG, Ph.D.

The Starting phase of the 15-meter speed rock climbing is the most importance phase because the climbers can accelerate their speed to 75-100% of maximum speed, that can induce speed of later phase. There are two patterns for passing the starting phase, which are Classic start and Tomoa skip. However, there is a lack of evidence about the kinematics and muscle work of these patterns. Therefore, this study aimed to analyze and compare the kinematic data and electromyographic data during starting phase of 15-meter speed climbing, which are Classic start and Tomoa skip in Thai National rock climbers. Participants were 7 male speed climbing of Thai National rock climbers who are training for participated in 6th Asian Beach Games 2021, Sanya, China, aged 18-25 years old. 3D motion were captured from fourteen retroreflective markers and electromyographic data were measured from 14 muscles of left and right upper and lower extremities. Participants performed totally 6 trials of 15-meter speed rock climbing which were 3 trials of Classic start and 3 trials of Tomoa skip. There were 5-minute break for each trial and 10-minute break for each pattern. Only data from the trial with the highest speed from each climbing pattern were used to compare between climbing patterns. Linear and angular velocity, joint angles of shoulders, elbows, hips, knees, and trunk, movement of center of mass (COM), maximum EMG, integrate EMG, time to peak and rate of EMG development were compared by using paired t-test. Significant difference was set at p-value less than .05. In addition, the maximum EMG of all three trials of each pattern were analyzed by Multiple Linear Regression, Backward technique.

The results showed the significant different of time of hand phase, climbing speed, climbing time of 15-m., linear velocity of shoulder joint, elbow joint, hip joint and knee joint, angle of shoulder joint, elbow joint, hip joint and knee joint, angular velocity of shoulder joint, elbow joint, hip joint and knee joint, integrated EMG and time to peak EMG when compared between Classic start and Tomoa skip. On the other hand, there are no significant different of maximum EMG and Rate of EMG development. Additionally, the Multiple Linear Regression of climbing from hold 3rd to 5th showed that the Gastrocnemius muscle is the most influence muscle in Tomoa skip, whereas in Classic start is Vastus lateralis muscle.

In conclusions, Tomoa Skip allows the athletes to climb significantly faster than Classic Start. Due to shoulder and elbow joint move faster than in Classic Start. Moreover, there is less lateral movement of trunk therefore, the climber can move up vertically in faster speed. The EMG results showed that the Gastrocnemius and Vastus lateralis muscles showed maximum value of maximum intensity, and the Latissimus dorsi muscle showed maximum value of iEMG when compared with all 14 muscles. The Multiple Linear Regression showed that the Gastrocnemius muscle is the most influence muscle in Tomoa skip, On the other hand the left Vastus Lateralis muscle is the most influence muscle in Classic start.

Field of Study: Sports and Exercise Science

Academic Year: 2022

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา บุญหยง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนให้ความรู้ และดูแลเอาใจใส่ คอยช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยตระหนัก และซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ทิรัญรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย คุณสมบูรณ์ อุทัยเวียนกุล นายกสมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย จ.ส.ต. ชุมพล นวลวิจิตร หัวหน้าผู้ฝึกสอนสมาคมฯ คุณอุทัย ยอดคำมั่น และคุณธรรณฤทธิ์ รักหนูน้อย ผู้ช่วยผู้ฝึกสอนสมาคมฯ ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์การวิจัย สถานที่ และคอยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้ และผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณอัครยา ศิลสังวรณัฏ์ คุณวรเดช วิบูลย์เจริญกิจจา และผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน และนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทยทุกคน ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล และช่วยในการทำงานเป็นอย่างดี จนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐวี ศรีเกตุ รองคณบดี คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตตรัง ที่คอยส่งเสริม สนับสนุนทางทั้งในด้านการทำงาน และการเรียน คอยช่วยเหลือให้ผู้วิจัยสามารถจัดตารางทั้งการทำงาน และการเรียนควบคู่กันได้เป็นอย่างดีเสมอมา

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในเรื่องการศึกษาเป็นอย่างดีเสมอมา ส่งผลให้สามารถประสบความสำเร็จในการศึกษาในครั้งนี้

ทัตพิชา พงษ์ศิริ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
สมมุติฐานของการวิจัย.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	7
คำจำกัดความของการวิจัย.....	8
ประโยชน์ที่ได้รับ.....	9
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	10
กีฬาปีนหน้าผา	11
คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography; EMG).....	34
ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)	44
การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ (Human postural analysis).....	51
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	63
งานวิจัยในประเทศ.....	63
งานวิจัยต่างประเทศ.....	64

กรอบแนวคิดในการวิจัย	73
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	74
ประชากร.....	74
กลุ่มตัวอย่าง	74
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย (Inclusion criteria)	74
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากงานวิจัย (Exclusion criteria).....	75
การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย	75
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	75
สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล.....	76
ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	77
วิธีการเก็บข้อมูล.....	78
การวิเคราะห์ข้อมูล	85
การวิเคราะห์ทางสถิติ	86
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	89
ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	91
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์.....	92
2.1 ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหว	92
2.2 ความเร็วในการป็นหน้าผา	93
2.3 ระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร	94
2.4 ความเร็วเชิงมุม.....	95
2.5 ความเร็วเชิงเส้น.....	97
2.6 มุม	99
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	106
3.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน	106

3.2 อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่ง การให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน	108
3.3 พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผา.....	111
3.4 เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด	114
3.5 อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	117
ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	120
4.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4	120
4.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5	122
4.3 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5	124
4.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปจากตัวจับที่ 3 ไปตัว จับที่ 5.....	126
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	129
สรุปผลการวิจัย และอภิปราย.....	129
ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง.....	129
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์.....	130
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	132
ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ.....	137
ข้อจำกัดของการวิจัย	145
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย.....	145
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	146
บรรณานุกรม.....	147
ภาคผนวก.....	158

ภาคผนวก ก พื้นที่ในการเก็บข้อมูลวิจัย (Experimental Area).....	159
ภาคผนวก ข ทำการยืดเหยียดร่างกายแบบมีการเคลื่อนไหว (Dynamic Stretching).....	160
ภาคผนวก ค ทำการยืดเหยียดร่างกายแบบอยู่นิ่ง (Static Stretching).....	161
ภาคผนวก ง แบบบันทึกข้อมูลพื้นฐาน.....	162
ภาคผนวก จ แบบบันทึกข้อมูลองค์ประกอบของร่างกาย และสัดส่วนของร่างกาย.....	164
ภาคผนวก ฉ การวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน (Maximal Voluntary Contraction; MVC).....	165
ภาคผนวก ช ขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration).....	173
ภาคผนวก ซ เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography).....	182
ภาคผนวก ฌ เครื่องมือวัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometric measurements).....	187
ภาคผนวก ฎ เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip dynamometer).....	190
ภาคผนวก ฏ หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่.....	191
ภาคผนวก ฐ หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์.....	192
ประวัติผู้เขียน.....	193

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	91
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหวยระหว่าง การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	92
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วในการป็นหน้าผาระหว่างการป็นหน้าผา แบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	93
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	94
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความเร็วเชิงมุมระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และ แบบโทโมอะ สคิป	95
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความเร็วเชิงเส้นระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และ แบบโทโมอะ สคิป	97
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบมุมระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป...99	
ตารางที่ 8 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน.....	106
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ สูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	108
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผาระหว่าง การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	111
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดระหว่างการป็นหน้าผา แบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	114
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อระหว่างการป็นหน้าผา แบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป	117
ตารางที่ 13 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว ในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4	121

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกลุ่มเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว ในการปั่นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5.....	123
ตารางที่ 15 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกลุ่มเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว ในการปั่นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5.....	125
ตารางที่ 16 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกลุ่มเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว ในการปั่นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5.....	127



สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1 ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหวย.....	92
แผนภูมิที่ 2 ความเร็วในการป็นหน้าผา.....	93
แผนภูมิที่ 3 ระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร.....	94
แผนภูมิที่ 4 ความเร็วเชิงมุม.....	96
แผนภูมิที่ 5 ความเร็วเชิงเส้น.....	98
แผนภูมิที่ 6 มุม.....	100
แผนภูมิที่ 7 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวยขณะป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทข้างซ้าย.....	102
แผนภูมิที่ 8 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวยขณะป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทข้างขวา.....	102
แผนภูมิที่ 9 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวยของลำตัวขณะป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท.....	103
แผนภูมิที่ 10 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวยขณะป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปข้างซ้าย.....	104
แผนภูมิที่ 11 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวยขณะป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปข้างขวา.....	104
แผนภูมิที่ 12 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวยของลำตัวขณะป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป.....	105
แผนภูมิที่ 13 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน.....	107
แผนภูมิที่ 14 อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด ขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน.....	111
แผนภูมิที่ 15 พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะป็นหน้าผา.....	113
แผนภูมิที่ 16 เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด.....	119
แผนภูมิที่ 17 อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	119

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬาปีนหน้าผาเป็นกีฬาประเภทเอ็กซ์ตรีมประเภทหนึ่งที่ตั้งใจดูความสนใจจากผู้คนทั่วโลก และยังเป็นกีฬาที่สามารถเล่นได้ในทุกเพศ และทุกวัย (Watts, 2004 and Quaine and Vigouroux, 2004) การแข่งขันกีฬาปีนหน้าผามักเป็นการแข่งขันการปีนหน้าผาแบบจำลองในร่ม (Watts et al., 2003 and Watts, 2004) ที่มีตัวยึดติดอยู่กับผนังแบบแยกส่วน เป็นตัวจับสำหรับมือ และตัวจับสำหรับเท้าในการปีน (Hand and Foot holds) เพื่อสร้างเส้นทางในการปีนหน้าผาที่มีความยากง่ายแตกต่างกันไปในแต่ละเส้นทาง (Routes) โดยการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาส่วนใหญ่จะพิจารณาตัดสินจากความสมบูรณ์ในการปีนหรือการปีนได้จบในแต่ละเส้นทาง (Top routes) โดยกีฬาปีนหน้าผาแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบหลักคือ การปีนหน้าผาในร่ม (Indoor) และ การปีนหน้าผาแบบกลางแจ้ง (Outdoor) หรือการปีนหน้าผาจริง (Mountaineering) การปีนหน้าผาแบบในร่ม คือการปีนหน้าผาจำลองในอาคารโดยจะมีการแข่งขันแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การปีนหน้าผาประเภทลีด (Lead) การปีนหน้าผาประเภทบอลเดอร์ริง (Bouldering) และการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว (Speed) ในประเทศไทยกีฬาปีนหน้าผาเป็นกีฬาที่มีการจัดการแข่งขันชิงแชมป์แห่งประเทศไทย การแข่งขันกีฬาแห่งชาติ และการแข่งขันกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย (สมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย, 2560) ปัจจุบันกีฬาปีนหน้าผาประเภทบอลเดอร์ริง และประเภทความเร็ว ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการโอลิมปิกสากล (International Olympic Committee: IOC) ถูกบรรจุเป็นอีกหนึ่งประเภทกีฬาในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่จัดขึ้นในปี 2020 ณ ประเทศญี่ปุ่น และการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกในปี 2024 ณ ประเทศฝรั่งเศส (International Federation of Sport Climbing, 2020)

การปีนหน้าผาประเภทบอลเดอร์ริง จะประกอบไปด้วยเส้นทางในการปีนที่แตกต่างกันและมีความยากง่ายของเส้นทางที่จะต้องใช้เทคนิคในการปีนที่แตกต่างกันออกไป โดยจะทำการปีนแบบไม่ใช้เชือก และเป็นการปีนหน้าผาระยะทางสั้น ๆ เป็นชุด ๆ ประมาณ 4-5 เมตร โดยมีความท้าทายด้วยความยากของเส้นทางแต่ละเส้นทาง และคะแนนของการปีนนั้นจะได้จากจำนวนความพยายามที่จะปีนขึ้นไปในแต่ละเส้นทาง (Philippe et al., 2012) การปีนหน้าผาประเภทลีด จะทำการปีนบนหน้าผาจำลองที่มีความสูง 12-15 เมตร เป็นการปีนตามเส้นทางโดยการคล้องเชือก (Clipping) จากด้านล่างเข้ากับอุปกรณ์ความปลอดภัย (Protection points) โดยต้องปีนตามเส้นทางที่กำหนด ซึ่ง

ระยะทางที่ปีนได้จะเป็นตัวกำหนดอันดับของผู้เข้าแข่งขัน (สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557) การปีนหน้าผาประเภทความเร็ว จะทำการปีนบนหน้าผาจำลองความสูง 15 เมตร มุมของหน้าผาเอียงมาทางด้านหน้า 5 องศา ซึ่งหน้าผาจำลองประเภทความเร็วจะประกอบไปด้วย 31 ตัวจับ ได้แก่ 20 ตัวจับสำหรับมือ และ 11 ตัวจับสำหรับเท้า โดยมีทัชแพด (Touch pad) เป็นตัวหยุดเวลา (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019) เป้าหมายในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วคือ การปีนให้เร็วที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ โดยจะยึดความเร็วในการปีนเป็นหลักในการแข่งขัน (Deyhle et al., 2015)

การปีนหน้าผาประเภทความเร็วเป็นกีฬาที่ต้องตัดสินใจด้วยเวลาซึ่งใช้เวลาในการแข่งขันไม่ถึงหนึ่งนาที โดยผลแพ้ชนะจะขึ้นอยู่กับเวลาเพียงเสี้ยววินาทีเท่านั้น โดยการปีนหน้าผาประเภทความเร็วเป็นรูปแบบการปีนหน้าผาที่ต้องใช้ทั้งทักษะ เทคนิค และความเร็วในการปีน (Espana-Romero et al., 2012) มีการเคลื่อนไหวของร่างกายทุกส่วนอย่างรวดเร็วในเส้นทางการปีนที่มีความเฉพาะเจาะจง (Bompa, 2013) จึงทำให้การปีนหน้าผาประเภทความเร็ว เป็นรูปแบบของการปีนหน้าผาที่ได้รับความนิยมในการฝึกฝน และได้รับความนิยมในการจัดการแข่งขันมากที่สุดของมหกรรมกีฬาทั้งใน และต่างประเทศ (Fanchini et al., 2013) ดังเช่น การแข่งขันมหกรรมกีฬาเอเชียนบีชเกมส์ 2021 (Asian Beach Games) ณ เมืองชานย่า ประเทศจีน การแข่งขันกีฬาไอเอฟเอสซี เวิลด์คัพ (IFSC World Cup) และการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาชิงแชมป์โลกระดับเยาวชน (Climbing World Youth Championships) ที่จัดให้มีการแข่งขันการปีนหน้าผาประเภทความเร็วเพียงประเภทเดียวเท่านั้น (International Federation of Sport Climbing, 2020) โดยสถิติโลกของการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วอยู่ที่ 5.00 วินาที ในเพศชาย (Kiromal Katibin (INA) - IFSC World Cup in Chamonix, France) และ 6.53 วินาที ในเพศหญิง (Aleksandra Mirosław (POL) - IFSC World Cup in Salt Lake City, USA) (International Federation of Sport Climbing, 2022) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผู้ที่มีความสามารถที่ดีในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ก็จะสามารถปีนหน้าผาประเภทลีด และประเภทโบลเดอร์ริง ได้ดีด้วยเช่นกัน ดังนั้นการปีนหน้าผาประเภทความเร็วจึงเป็นรูปแบบการปีนหน้าผาที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถของนักปีนหน้าผาได้ (Shunko and Kravchuk, 2020) โดยเส้นทางในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง (4 Locomotor phases) ประกอบไปด้วย ช่วงเริ่มต้น (Starting phase) จากตำแหน่งการออกตัวไปจนถึงตัวจับตัวที่ 9 (hold 9) เป็นช่วงกลางของการเร่งความเร็วในช่วงแรก ช่วงที่สอง (2nd Phase) จากตัวจับที่ 9 ไปจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดของการกระโดดแรก หรือตัวจับตัวที่ 18 (First dyno: hold 18) ช่วงที่สาม (3rd Phase) จากตัวจับที่ 18 ไปจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดของการ

กระโดดที่สอง หรือตัวจับที่ 29 (Second dyno: hold 29) และช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีน (End phase) จากตัวจับที่ 30 (hold 30) ไปจนถึงการกระโดดสัมผัสที่ซัพพอร์ตเวลา เป็นการสิ้นสุดเส้นทางการปีน (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019) ซึ่งพบว่า ความเร็วในการปีนหน้าผามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงระยะทางของการเคลื่อนไหว และยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า ความเร็วในการปีนมีการลดลงสูงสุดในช่วงหลังจากช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีน และในช่วงของการกระโดด (Dynos) ทั้งสองครั้ง (1st Phase และ 2nd Phase) จึงอาจกล่าวได้ว่า การรักษาความเร็วในช่วงของการกระโดดหลังจากช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีน จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้นักกีฬาสามารถเอาชนะคู่แข่งขั้นได้ในการเล่นหน้าผาประเภทความเร็ว (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019)

จากการศึกษาพบว่า ในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนจะเป็นอีกช่วงที่สำคัญที่สุดในการเล่นหน้าผาประเภทความเร็ว ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการแข่งขัน โดยเฉพาะการแข่งขันที่ต้องใช้ความเร็วในระยะสั้น (Sprint event) โดยเวลาเพียง .001 วินาที ก็หมายถึงการเป็นผู้แพ้หรือผู้ชนะได้ ดังนั้นนักกีฬาที่จะเป็นผู้ชนะ ไม่เพียงแต่เป็นผู้ที่มีความเร็วสูงสุดในการแข่งขันเท่านั้น แต่จะต้องมีความสามารถในการออกตัวในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนที่ดี ซึ่งจะทำให้ให้นักกีฬาใช้เวลาในการเล่นหน้าผาที่น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแข่งขันประเภทความเร็ว (Hay, 1986) ซึ่งพบว่า เวลาที่ใช้ในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนของการออกตัวนั้นคิดเป็น 25% ของเวลาที่ใช้ในการแข่งขันทั้งหมด และพบว่า ช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนเป็นช่วงที่นักกีฬาสามารถทำความเร็วในการปีนหน้าผาได้สูงที่สุดคิดเป็น 75-100% ของความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการปีน ในขณะที่ช่วงที่สอง ช่วงที่สาม และช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีน จะมีความเร็วสูงสุดในการปีนคิดเป็น 60-75%, 55-65% และ 50-55% ตามลำดับ (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019) จึงอาจกล่าวได้ว่า ถ้านักกีฬาสามารถทำความเร็วในช่วงออกตัวได้ดีเท่าใด ก็จะส่งผลให้สามารถทำความเร็วในช่วงอื่น ๆ ตลอดเส้นทางการปีนได้ดียิ่งขึ้น (Arellano et al., 2000, Cossor and Mason 2001, and Welcher et al., 2008) ในปัจจุบันจะมีรูปแบบการเคลื่อนไหวในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนสองรูปแบบคือ แบบคลาสสิก สตาร์ท หรือแบบจับตัวจับ และแบบโทโมอะ สคิป หรือการกระโดดข้ามตัวจับ โดยการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท คือการเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 (3rd Hand hold) และจะมีการใช้มือจับตัวจับที่ 4 (4th Hand hold) ไปตัวจับที่ 5 (5th Hand hold) ตามลำดับ โดยทำเริ่มต้นของการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท ลำตัวของนักกีฬาจะเอียงในแนวทแยงมุมเพื่อสร้างความเชื่อใจในทิศทางที่ต้องการ ในตำแหน่งนี้ขา

ของนักกีฬาจะยื่นไปด้านหลังเพื่อส่งแรงขึ้นไปทางซ้ายในการปีนเพื่อจับกับตัวจับที่ 4 ส่วนการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป คือการกระโดดข้ามตัวจับที่ 4 โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เพื่อผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยท่าเริ่มต้นของนักกีฬามีลักษณะของลำตัวอยู่ในแนวตั้งตรงเช่นเดียวกับตำแหน่งของขา ซึ่งการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป จะมีการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทิศทางการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ในช่วงต้นของการออกตัวจะถูกกำหนดโดยมือเป็นหลัก (Shunko and kravchuk, 2020) จากการศึกษาวิจัยของ เรฟเวอเรนท์ และคณะ (Reveret et al., 2018) พบว่า การปีนหน้าผาประเภทความเร็วจะสูญเสียพลังงานไปในสองทิศทางที่มากกว่าการเคลื่อนไหวในแนวตั้ง คือ การเคลื่อนไหวไปด้านข้างและทิศทางการเคลื่อนไหวของร่างกายที่ตั้งฉากกับระนาบของหน้าผา ซึ่งส่งผลให้สมรรถภาพในการปีนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ ลีกรีเนล, โรกอปสกี และดิวิรีฟ (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019) ได้ศึกษาพบว่า สมรรถภาพในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วจะถูกกำหนดด้วยความสามารถในการเคลื่อนไหวของร่างกายที่จะช่วยเพิ่มความสำเร็จในการปีนอันได้แก่ การลดการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างให้น้อยที่สุดเพื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหว, การรักษาความเร็วตลอดช่วงระยะทางการปีน และการลดความเร็วที่ลดลงภายหลังจากการกระโดดให้น้อยที่สุด ทำให้การออกตัวในรูปแบบโทโมอะ สคิป กลายเป็นเทคนิคที่นักกีฬานิยมใช้ในการแข่งขัน และทำการฝึกฝนมากที่สุดเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของการแข่งขันการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้นักกีฬาสามารถออกนำได้ตั้งแต่เริ่มการแข่งขัน ส่งผลให้เพิ่มโอกาสในการชนะคู่แข่งคนอื่นได้มากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษาถึงรูปแบบของการปีนหน้าผาที่ผ่านมา พบว่า การศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาบนพื้นฐานของการทำงานของกล้ามเนื้อในการปีนหน้าผา นั่นคือ การศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนบนของร่างกาย ตลอดจนกล้ามเนื้อบริเวณมือที่ใช้ในการยึดจับกับตัวจับ เนื่องจากกล้ามเนื้อส่วนบนของร่างกายจัดเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับนักกีฬาปีนหน้าผา เป็นส่วนที่เสริมให้เกิดการพัฒนาความสามารถ ทำให้เกิดความชำนาญ ความคล่องแคล่ว และความว่องไวในการปีน โดยความแข็งแรงของร่างกายส่วนบนเป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในการยกตัวขึ้นสู่ด้านบนในแนวตั้ง ซึ่งการวิจัยก่อนหน้าได้กล่าวว่า การปีนหน้าผาจะสัมพันธ์กับแรงในการยึดเกาะที่บริเวณปลายนิ้วเป็นหลัก รวมถึงความสามารถในการยกตัวขึ้นสู่ด้านบนของร่างกาย โดยมีการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่จากขาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Mermier et al., 2000; Noe, Quaine and Martin, 2001; Quaine, Vigouroux and Martin, 2003; MacLeod et al., 2007; Limonta et al., 2008; La Torre,

2009 and Philippe et al., 2011) โดยพบว่า กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการจับ และดิจิท เฟล็กซ์ชัน (Digit flexion) อาทิเช่น กล้ามเนื้อเฟล็กซ์เซอร์ ดิจิทอรัม (Flexor digitorum) จัดเป็นอีกกลุ่มกล้ามเนื้อหนึ่งที่มีความสำคัญในการปีนหน้าผา (Watts et al., 2003 and Koukoubis, 2013) ซึ่งพบว่า ความแข็งแรง และความอดทนในการจับ (Grip strength and Endurance) มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกกับสมรรถภาพ และประสิทธิภาพในการปีนหน้าผา (Grant et al., 1996; Grant et al., 2001; Wall et al., 2004; Watts, 2004 and Magiera et al., 2013) เนื่องจาก การปีนหน้าผา ต้องอาศัยกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ในการยึดจับขณะปีนหน้าผา และยังพบว่า ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อเฟล็กซ์เซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชียลิส (Flexor digitorum superficialis) และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ (Biceps brachii) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร โดยมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพ และความสามารถในการปีนหน้าผา (Guo et al., 2019) รวมถึง กล้ามเนื้อหน้าท้อง (Abdominals) หรือลัมบาร์ เฟล็กซ์เซอร์ (Lumbar flexors) ก็มีความสำคัญสำหรับการปีนหน้าผาด้วยเช่นกัน เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญในการรักษาความมั่นคงของกระดูกสันหลัง (Stabilize the spine) ในระหว่างมีการเคลื่อนไหวขณะปีนหน้าผา (Grant et al., 1996; Grant et al., 2001 and Deyhle et al., 2015) จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สาเหตุหลักของการตกขณะปีนหน้าผาเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อในการยึดจับเพื่อรับน้ำหนักของร่างกายขณะปีนหน้าผาเป็นเวลานาน ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการล้า โดยความเครียดและความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจะส่งผลให้ไม่สามารถสร้างแรงในการยึดจับ และดึงตัวให้เพียงพอต่อการรับน้ำหนักของร่างกายได้ (Quaine and Vigouroux, 2004 and Watts, Newbury and Sulentic, 2010) ดังนั้นจึงน่าจะกล่าวได้ว่า กล้ามเนื้อที่ใช้ในการปีนหน้าผา ไม่น่าจะเกิดจากการทำงานเฉพาะกล้ามเนื้อในการยึดจับเพียงกลุ่มเดียว แต่น่าจะเป็นการทำงานร่วมกันของกลุ่มกล้ามเนื้อจากทุกส่วนของร่างกาย โดย กล้ามเนื้อหลักในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว น่าจะเป็นกล้ามเนื้อของลำตัวส่วนบน โดยเฉพาะกล้ามเนื้อในการจับกับตัวจับที่ช่วยในการดึงลำตัวขึ้น ในขณะที่กล้ามเนื้อลำตัว และกล้ามเนื้อขาเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อรองที่มีการใช้งานที่น้อย ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาจากกล้ามเนื้อสองกลุ่มเป็นหลัก ได้แก่ กล้ามเนื้อลำตัวส่วนบน และกล้ามเนื้อในการยึดจับ (Watts et al., 2008 and Koukoubis et al., 2013) ดังนั้นการสรุปว่ากล้ามเนื้อที่ใช้ในการปีนหน้าผาคือกล้ามเนื้อสองกลุ่มนี้ อาจจะไม่เพียงพอต่อการพัฒนาสมรรถภาพในการปีนหน้าผาให้ได้สูงสุด ยิ่งไปกว่านั้นการวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อในการปีนหน้าผาจากการจำลองหน้าผาในห้องทดลอง หรือทำการฝึกปีนที่อยู่นิ่งอยู่กับที่ อาจไม่สามารถอธิบาย

ถึงกล้ามเนื้อที่ใช้ขณะปีนหน้าผาได้ทั้งหมด และหากนักกีฬามีสมรรถภาพของกล้ามเนื้อส่วนล่างหรือมีการส่งแรงจากกล้ามเนื้อขามายังกล้ามเนื้อส่วนบนได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว น่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปีนหน้าผาได้ดียิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นอาจกล่าวได้ว่า ช่วงเริ่มต้นของการออกตัวในเส้นทางการปีนหน้าผาเป็นช่วงที่ส่งผลต่อเนื่องกับความเร็วในช่วงอื่น ๆ ตลอดเส้นทางการปีน และมีส่วนสำคัญต่อการชนะการแข่งขัน ซึ่งการออกตัวที่ดีที่สุดนั้น น่าจะเป็นช่วงของการออกตัวที่ใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด และสามารถทำความเร็วได้สูงที่สุด ทำให้การออกตัวในรูปแบบโทโมอะ สคิป กลายเป็นเทคนิคที่นักกีฬานิยมใช้ในการแข่งขัน และทำการฝึกฝนมากกว่าการออกตัวในรูปแบบคลาสสิก สตาร์ท แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยใด ที่ทำการศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวของร่างกาย และการทำงานของกล้ามเนื้อกลุ่มต่าง ๆ ในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนขณะทำการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร ระหว่างการออกตัวทั้งสองรูปแบบ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์ และการศึกษาถึงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อทั้งส่วนแขน ส่วนลำตัว และส่วนขาขณะปีนหน้าผาประเภทความเร็ว จะสามารถบอกได้ว่า ในช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีนหน้าผาทั้งสองรูปแบบจะมีผลต่อท่าทางการเคลื่อนไหว ความเร็วในการปีนหน้าผา ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วที่แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ และศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร ช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีนแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย

2. เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางคิเนมาติกส์ และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร ช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีนแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย

สมมุติฐานของการวิจัย

รูปแบบการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป จะสามารถทำความเร็วในการปีนหน้าผาได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การออกตัวในรูปแบบคลาสสิก สตาร์ท จึงทำให้ระยะเวลาในการปีนหน้าผาลดน้อยลง

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้มุ่งที่จะวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวและการทำงานของกล้ามเนื้อของการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร

2. กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็ว เพศชาย ทีมชาติไทย

3. ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้

3.1 ตัวแปรควบคุม (Control variable)

3.1.1 การป็นหน้าผาประเภทความเร็ว

3.2 ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ (Independent variable)

3.2.1 รูปแบบการป็นหน้าผาช่วงเริ่มต้นเส้นทางการป็น

1) แบบคลาสสิก สตาร์ท

2) แบบโทโมอะ สคิป

3.3 ตัวแปรตาม (Dependent variable)

3.3.1 ข้อมูลทางคิเนมาติกส์

มุม, ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) และความเร็วเชิงเส้น (Linear velocity) ของข้อต่อรายค์แขน และขาทั้งสองข้าง ได้แก่

1) ข้อไหล่ (Shoulder joint)

2) ข้อศอก (Elbow joint)

3) ข้อสะโพก (Hip joint)

4) ข้อเข่า (Knee joint)

3.3.2 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการป็นหน้าผาจำลอง

ได้แก่ กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ (Wrist flexor), กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ (Wrist extensor), กล้ามเนื้อเพคเตอร์ลิส เมเจอร์ (Pectoralis major), กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ (Biceps brachii), กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิส (Vastus lateralis), กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ (Latissimus dorsi) และ กล้ามเนื้อแกสโตรอคนีเมียส ส่วนมีเดียลเฮด (Gastrocnemius; medial head) ทั้ง 2 ข้าง โดยทำการศึกษาตัวแปรของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ดังนี้

- 1) การหาค่าของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum intensity; EMG/MVC)
- 2) พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะปีนหน้าผา (Integrated EMG; iEMG) (มิลลิโวลต์/วินาที)
- 3) เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (Time to peak EMG) (มิลลิวินาที)
- 4) อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Rate of EMG development; RED) (มิลลิโวลต์/วินาที)

3.3.3 ความเร็วในการปีนหน้าผา (Climbing Speed)

3.3.4 ระยะเวลาในการปีนหน้าผา (Climbing Time)

3.3.5 แรงบีบมือ (Grip Strength)

คำจำกัดความของการวิจัย

คิเนมาติกส์ (Kinematics) หมายถึง การศึกษารายละเอียดการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยไม่สนใจสาเหตุของการเคลื่อนไหว เป็นการศึกษาที่มุ่งอธิบายตำแหน่งของร่างกายในแนวเส้นตรงและเชิงมุมตลอดจนเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนไหว เป็นการศึกษาที่สำคัญของทักษะในลักษณะของการสร้างการเคลื่อนไหว โดยทำการศึกษาความเร็วเชิงมุม และความเร็วเชิงเส้น ของข้อไหล่ ข้อศอก ข้อสะโพก และข้อเข่า

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography; EMG) หมายถึง กระแสประสาทสั่งการจากระบบประสาทยนต์ที่ส่งกระแสประสาทลงมาที่กล้ามเนื้อกลุ่มเป้าหมาย เพื่อเกิดการเคลื่อนไหวตามที่ต้องการ โดยกระแสประสาทสั่งการ (Motor unit action potential) ที่ส่งมายังกล้ามเนื้อ โดยการใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว (Surface electromyography) ในการตรวจจับสัญญาณ

การปีนหน้าผาประเภทความเร็ว (Speed climbing) หมายถึง การปีนหน้าผาที่ใช้เชือกคล้องอยู่ด้านบนของหน้าผา (Top-Rope) และต้องทำความเร็วให้เร็วที่สุด โดยทำการปีนบนหน้าผาสูง 15 เมตร เวลาที่ใช้ในการปีนจะเป็นตัวกำหนดอันดับของผู้เข้าแข่งขัน โดยทำการศึกษา ช่วงเริ่มต้น

ของเส้นทางการปีน ซึ่งจะมีรูปแบบของการเคลื่อนไหวสองรูปแบบคือ คลาสสิก สตาร์ท และแบบ โทโมอะ สคิปดังนี้

- การออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท หมายถึง การเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 และจะมีการใช้มือจับตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ตามลำดับ

- การออกตัวแบบโทโมอะ สคิป หมายถึง การกระโดดข้ามตัวจับที่ 4 โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เพื่อผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน

แรงบีบมือ (Grip Strength) หมายถึง การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อบริเวณมือ โดยใช้เครื่องวัดแรงบีบมือ (Handgrip dynamometer) เป็นเครื่องมือในการทดสอบ

ระยะเวลาในการปีนหน้าผา (Climbing Time) หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการปีนหน้าผาประเภท ประเภทความเร็ว โดยดูจากทซ์แพดหยุดเวลา มีหน่วยเป็นวินาที

ความเร็วในการปีนหน้าผา (Climbing Speed) หมายถึง การเคลื่อนที่ของนักกีฬาปีนหน้าผาในหนึ่งหน่วยเวลา โดยดูจากมาร์กเกอร์ (Retro reflective marker) ที่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางบริเวณด้านหลังของฮาร์เนส (Harness) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรัดที่บริเวณเอวขณะทำการปีน เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวของร่างกายตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบท่าทางการปีน และรูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อจากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วในช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร

2. ได้ข้อมูลพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบท่าทางการฝึกกล้ามเนื้อเพื่อพัฒนาสมรรถภาพในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตรในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ทฤษฎี แนวคิดและผลการวิจัยที่มีรายละเอียดของเนื้อหาที่เกี่ยวข้องจากเอกสารบทความ ตำราวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

ก. เอกสาร วารสาร ตำราที่เกี่ยวข้อง

1. กีฬาปีนหน้าผา
2. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
3. ชีวกลศาสตร์
4. การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย

ข. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ
2. งานวิจัยต่างประเทศ

กีฬาปีนหน้าผา

ธรรมชาติของมนุษย์ที่เป็นนักสำรวจค้นหาทำให้มนุษย์เดินทางค้นคว้าแสวงหาไปทุกที่ ไม่ว่าจะบนผืนแผ่นดิน ใต้ทะเล หรือแม้แต่ยอดเขาสูงในยุคแรก ๆ อาจมีวัตถุประสงค์เพื่อการดำรงชีพ ศาสนา ความเชื่อ และพิธีกรรม หรือเพื่อประกาศครอบครองดินแดน กระทั่งภายหลังได้เปลี่ยนมาเป็นปีนเขาเพื่อสำรวจและกีฬา ซึ่งในช่วงต้น ๆ เป็นกีฬาที่นิยมในหมู่ผู้ที่มีฐานะทางการเงินดีในแถบยุโรปและอเมริกา สำหรับการปีนเขาในประเทศไทยเริ่มจากการปีนหน้าผาโดยใช้เครื่องมือตามภูมิปัญญา เช่นการสร้างสำนักสงฆ์บนภูเขาหินปูนที่สูงชัน และการเก็บรังนกในบริเวณถ้ำ สำหรับการปีนเขาหรือหน้าผาโดยใช้อุปกรณ์ยุคใหม่นั้นได้เริ่มเข้ามาสู่ประเทศไทยราวปี พ.ศ. 2523 โดยนักปีนเขาชาวยุโรป และได้เริ่มสำรวจเส้นทางปีนเขาที่สูงชันและงดงามของหมู่เกาะพีพี จังหวัดกระบี่เป็นแห่งแรก จนกระทั่ง พ.ศ. 2532 นักปีนผาชาวต่างประเทศได้สำรวจพบว่าหน้าผาบริเวณหาดไร่เลย์และอ่าวพระนาง จังหวัดกระบี่เป็นทำเลที่เหมาะสมแก่การปีนหน้าผา และได้เริ่มสำรวจเส้นทางปีนหน้าผาอีกหลายเส้นทาง ซึ่งในช่วงนั้นเริ่มมีกลุ่มคนไทยให้ความสนใจบุกเบิกสำรวจเส้นทางที่มีการเรียนรู้เกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเทคนิคการปีนผาอย่างจริงจัง (วินิจ รังผึ้ง, 2545)

ปัจจุบันกีฬาปีนหน้าผากลายเป็นกีฬานิยมของนักท่องเที่ยวจากทุกมุมโลก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนอกจากจะเป็นการออกกำลังกายแล้ว กีฬาปีนหน้าผายังเป็นกิจกรรมที่พิสูจน์ความแข็งแกร่งของร่างกาย และจิตใจ ตลอดจนความมุ่งมั่นที่จะเอาชนะอุปสรรคข้างหน้า ความเด็ดเดี่ยวในการตัดสินใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาปีนหน้าผาเป็นกีฬาที่ส่งเสริมคนให้ค้นพบตัวเอง และสร้างภาคภูมิใจให้กับมนุษย์ (สาโรจน์ มีวงษ์สม, 2541) นอกจากนี้กีฬาปีนผายังเป็นกีฬาที่สนุกตื่นเต้นเร้าใจ และท้าทายความสามารถของมนุษย์ทั้งด้านกำลังใจ กำลังกาย และความคิด ตลอดจนเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักปีนหน้าผาได้ชมความงามของธรรมชาติ เช่น นก และกล้วยไม้อีกด้วย (ปิยะฤทธิ์ ปิโยพิระพงศ์, 2543) แหล่งปีนหน้าผาที่น่าสนใจและมีชื่อเสียงไปทั่วโลกเป็นที่นิยมในระดับนานาชาติ อยู่ที่บริเวณอ่าวไร่เลย์จังหวัดกระบี่ ทั้งนี้เพราะว่ามีปัจจัยที่เอื้อต่อการเข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าวหลายประการ ได้แก่การเดินทางสะดวก ทิวทัศน์สวยงาม เป็นแหล่งธรรมชาติศึกษา เส้นทางปีนท้าทายความสามารถ คือไม่เป็นอุปสรรคและง่ายจนเกินไปที่จะปีน (สาโรจน์ มีวงษ์สม, 2541) โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีความปลอดภัยทั้งในแง่ของการเดินทางและขณะร่วมกิจกรรม ทั้งนี้เพราะมีองค์กรคือชมรมปีนหน้าผาและสมาคมธุรกิจการท่องเที่ยวดูแล อย่างไรก็ตามเพื่อให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยจึงขอแนะนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการปีนหน้าผาเพื่อนำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. ประเภทของการแข่งขันปีนหน้าผา (สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

กีฬาปีนหน้าผาเป็นกีฬาที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหมู่คนไทย และชาวต่างประเทศ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการแข่งขันกัน 3 ประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (International federation of Sport Climbing, 2019)

1.1 การแข่งขันประเภทความเร็ว (Speed) เป็นการแข่งขันโดยผู้เข้าแข่งขันใช้เชือกคล้องอยู่ด้านบน เวลาที่ใช้ในการปีนจะเป็นตัวกำหนดอันดับของผู้เข้าแข่งขัน สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ (IFSC) เป็นองค์กรที่รับผิดชอบในการจัดการแข่งขันระดับประเทศ และมีอำนาจในการควบคุมเทคนิค ข้อกำหนดอื่น ๆ อาทิ กำหนดโครงสร้างหน้าผาและตัวจับ พื้นผิวหน้าผาจะต้องมีอย่างน้อย 2 ช่องทาง (A และ B) คู่ขนานโดยแต่ละช่องทางมีความกว้างอย่างน้อย 3 เมตร สูง 15 เมตร และผาเอียงไม่เกิน 5 องศา ซึ่งอาจอยู่ในดุลยพินิจของประธานผู้ตัดสิน (Jury President) ตลอดถึงความปลอดภัย (Safety) การควบคุมเชือก (Belay) ไม่ดึงหรือหย่อนเกินไปจนทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของผู้เข้าแข่งขัน เมื่อเกิดการตกจะตกอยู่ในลักษณะที่ปลอดภัย และไม่ตกสูงเกินไป ห้ามใช้ขอบด้านข้างและขอบด้านบนของผนังเพื่อการปีน ถ้าหากมีความจำเป็นต้องทำแสดงเขตเส้นทางบนผนังเพื่อแยกเส้นทางออกจากเส้นทางอื่นให้ชัดเจน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การแข่งขันประเภทความเร็ว
(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

การปีนแบบความเร็วที่มีเชือกป้องกันการตกห้อยจากด้านบน (speed top rope) หมายถึงการปีนนักกีฬาใช้เชือกนี้อยู่ส่วนบนสุดของหน้าผา ผูกไว้กับตัวนักกีฬา ผู้ที่ปีนจะต้องปีนขึ้นไปให้เร็วเพื่อทำเวลาได้น้อยที่สุดจะเป็นผู้ชนะในแต่ละรอบ

ระเบียบคำสั่งในกีฬาปีนหน้าผาเมื่อนักถูกเรียกตัวในการเริ่มสั่งเข้าที่ “At your marks” ผู้แข่งขันแต่ละคนจะต้องยืนบนแผ่นปล่อยตัว (Starting Pad) ด้วยเท้าข้างหนึ่ง ส่วนเท้าอีกข้างวางที่

บริเวณตัวจับสำหรับเท้าในการเริ่มต้นการปีน และมือทั้งสองข้างวางที่ตัวจับสำหรับมือในการปีน ภายในเวลา 4 วินาที เมื่อผู้เข้าแข่งขันทุกคนหยุดนิ่งอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น กรรมการปล่อยตัวจะประกาศพร้อม “ready” และจากนี้จะเริ่มต้นระบบจับเวลา

1.2 การแข่งขันประเภทโบลเดอร์ริง หมายถึง การแข่งขันที่มีความสูงระยะ 4-5 เมตร โดยปราศจากการใช้เชือก แต่มีการใช้เบาะรองรับ (Mats) เป็นเครื่องป้องกันโดยจะมีหลากหลายเส้นทางในการปีนขึ้นอยู่กับรอบของการแข่งขัน จำนวนเส้นทางที่ประสบความสำเร็จจะเป็นตัวกำหนดอันดับของผู้แข่งขัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การแข่งขันประเภทโบลเดอร์ริง
(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

1.3 การแข่งขันประเภทลีด (Lead) หมายถึงการแข่งขันปีนหน้าผาจำลองโดยผู้เข้าแข่งขันปีนตามเส้นทางโดยการคล้องเชือก (Clipping) จากด้านล่างเข้ากับอุปกรณ์ความปลอดภัย (protection points) ซึ่งควิกดรอว์ (Quickdraw) แต่ละเส้นถูกคล้องตามลำดับ ตามกฎ กติกา และ ความสูง การแข่งขันประเภทลีดทั้งหมดต้องปีนตามเส้นทางที่กำหนด และเชือกถูกคล้องเข้ากับคาราบินเนอร์ในช่วงสุดท้ายของควิกดรอว์ จากจุดที่กำหนดตามกติกากการแข่งขัน โดยนับจำนวนตัวจับที่มากที่สุด หรือการปีนได้จบเส้นทางเป็นตัวกำหนดอันดับของผู้เข้าแข่งขัน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การแข่งขันประเภทลีด
(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

2. ทักษะการป็นหน้าผา

โดยธรรมชาติของการป็นหน้าผา ทั้งหน้าผาจริงและหน้าผาจำลอง ผู้ป็นจะต้องเคลื่อนที่ไปตามแนวตั้งของหน้าผา โดยอาศัยรอยแตก ร่องหลุม ปุ่ม โหนก และขีดของหน้าผา ในการเกาะ และเหยียบ เพื่อเหนี่ยวตัวขึ้นไป ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่ากีฬาป็นหน้าผา เป็นการออกกำลังกายที่ประสมประสานระหว่างระบบต่าง ๆ ในร่างกาย กล่าวคือตาก็ต้องมองหน้าผาเพื่อสำรวจจุดเหนี่ยวรั้งดังกล่าว ขณะเดียวกันก็ต้องเคลื่อนที่ขึ้นไป โดยใช้ไวยวะตั้งแต่ศีรษะจรดปลายเท้า นอกจากนี้กีฬาจะต้องมีความรู้และสามารถใช้อุปกรณ์อย่างชำนาญ และเป็นอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อช่วยป้องกันอันตรายและลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ ตลอดจนการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การฝึกและการแข่งขันป็นหน้าผาประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ จึงขอแนะนำทักษะที่จำเป็นต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ดังต่อไปนี้ (ฉันทเชษฐ กิตติโสภณ, 2549)

2.1 การใช้ไวยวะส่วนบน จะเป็นการใช้ไวยวะตั้งแต่ ศีรษะ หัวไหล่ ข้อศอก แขน ท่อนบน แขนท่อนล่าง หน้าอก สีข้าง แผ่นหลัง ข้อมือ นิ้วมือ และกำปั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

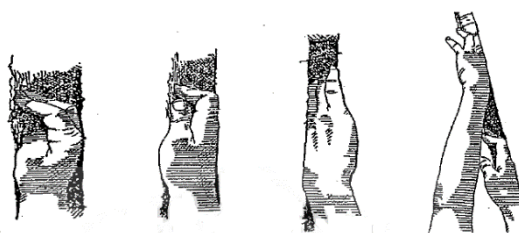
2.1.1 ทักษะการใช้นิ้วมือทั้ง 10 นิ้ว สอดเข้าไปในรอยแตกของหิน หรือซอกเล็ก ๆ บนผาเทียมเพื่อเหนี่ยวลำตัวขึ้นไป ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ทักษะการใช้นิ้วมือป็นหน้าผา

(ฉันทเชษฐ กิตติโสภณ, 2549)

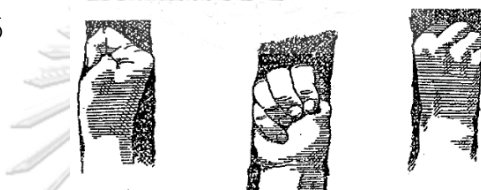
2.1.2 ทักษะการใช้ฝ่ามือสอดเข้าไปในรอยแตกของหิน หรือซอกบนผาเทียมที่มีขนาดกว้างและใหญ่พอเพื่อเหนี่ยวลำตัวขึ้นไป ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ทักษะการใช้ฝ่ามือปinned หน้าผา

(ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ, 2549)

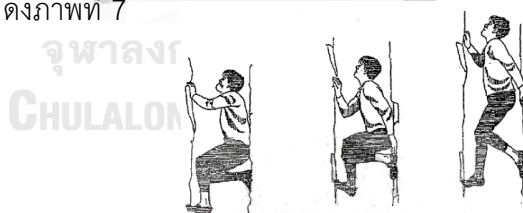
2.1.3 ทักษะการใช้มือกำหมัด สอดเข้าไปในรอยแตกของหิน หรือชอกบนผาเทียมที่มีขนาดกว้างและใหญ่พอ แล้วกำหมัดและขยับหมุนข้อมือเล็กน้อยให้หมัดยึดอยู่กับที่เพื่อเหนียวล้าตัวขึ้นไป ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ทักษะการใช้มือกำหมัดปinned หน้าผา

(ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ, 2549)

2.1.4 ทักษะการใช้ไหล่และหลัง สอดเข้าไปในชอกของหิน หรือชอกบนผาเทียมที่มีขนาดกว้างและใหญ่พอที่ลำตัวสอดเข้าไปได้ เพื่อที่จะใช้หลังและไหล่ยันโดยมีมืออีกข้างหนึ่งประคองขยับตัวขึ้นไป ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ทักษะการใช้หลังและไหล่ในการปีนหน้าผา

(ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ, 2549)

2.2 การใช้อวัยวะส่วนล่าง ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้เท้าเป็นหลัก เพื่อช่วยในการขับเคลื่อนและปีนป่าย ประกอบด้วยการใช้เท้า ปลายเท้า และส้นเท้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 ทักษะการใช้เท้ายันขึ้นไปตามพื้นผิวของทั้งหน้าผาธรรมชาติและหน้าผาเทียม ด้วยแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นของรองเท้ากับพื้นผิวของหน้าผาจะทำให้นักกีฬาสามารถ

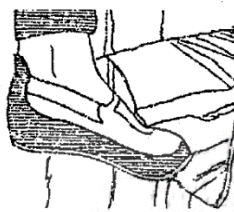
ทรงตัวอย่างมั่นคงดังนั้นการใช้เท้าจึงถือเป็นทักษะสำคัญที่นักกีฬาปีนหน้าผาต้องฝึกให้เกิดความชำนาญ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ทักษะการใช้เท้าปีนหน้าผา

(ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ, 2549)

2.2.2 ทักษะการใช้ปลายเท้าได้ไปตามรอยเว้าและโหนกนูนของพื้นหน้าผาถือเป็นทักษะหนึ่งที่นักกีฬาปีนหน้าผาใช้อยู่เป็นประจำ ทั้งนี้ก็เพราะว่าทักษะดังกล่าวทำให้เกิดการทรงตัวดีและมีความมั่นใจในการเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ทักษะการใช้ปลายเท้าปีนหน้าผา

(ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ, 2549)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 ทักษะการใช้สันเท้า ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ควบคู่กับการใช้ปลายเท้า โดยนักกีฬาจะใช้ปลายเท้าและสันเท้ายันระหว่างรอยแยกทั้งสองข้างของหน้าผา ทั้งผาธรรมชาติและผาเทียม เพื่อเหนี่ยวตัวขึ้นไป ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ทักษะการใช้สันเท้าปีนหน้าผา

(ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ, 2549)

3. อุปกรณ์กีฬาปีนหน้าผา

กีฬาปีนหน้าผาเป็นกิจกรรมการออกกำลังกายที่มีประโยชน์ต่อผู้เข้าร่วมกิจกรรมทุกด้าน ทั้งทางด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญา ที่สำคัญคือเป็นกิจกรรมที่สนุกสนาน และท้าทายความสามารถ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การเข้าร่วมกีฬาดังกล่าวเป็นไปอย่างปลอดภัย จึงจำเป็นจะต้องทำความเข้าใจ และฝึกทักษะการใช้อุปกรณ์ประกอบการแข่งขันกีฬาดังกล่าว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ส่วนตัว

3.1.1 รองเท้า (shoes) ที่ใช้สำหรับในการปีนหน้าผา เป็นรองเท้าสำหรับใช้ในการปีนหน้าผาโดยเฉพาะกล่าวคือพื้นจะเป็นยางดิบ ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้เกิดความหนึ่ระหว่างพื้นรองเท้ากับพื้นผิวของหน้าผา ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลื่นไถลขณะที่เหยียดตัวปีนขึ้นไปตามความลาดชันของหน้าผา (เล็กกว่ารองเท้าที่สวมปกติทั่วไป) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 รองเท้าปีนหน้าผา
(สมาคมปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย, 2560)

3.1.2 ฮาร์เนส เป็นอุปกรณ์สำหรับรัดที่บริเวณรัดเอว เวลาใส่คล้ายกับการใส่เข็มขัดและส่วนที่รัดต้นขา บริเวณขาหนีบทั้ง 2 ข้าง มีสายรัดหรือยางยืดโยงติดกันทุกส่วน มองดูคล้าย ๆ กางเกง จะมีคาร์บรองกำกับไว้ว่าสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดเท่าไร เบา แข็งแรงอดทน ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ฮาร์เนส
(สมาคมปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย, 2560)

3.1.3 ถุงใส่ผงชอล์ก (chalk bag) เป็นถุงสำหรับใส่ผงกันลื่นแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) เพื่อใช้สำหรับทามือ ทำหน้าที่คอยซับเหงื่อที่เวลาปีนหน้าผา ไม่ให้ลื่น จะผูกติดกับเอวของนักปีนหน้าผา ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ถุงใส่ผงชอล์ก

(สมาคมปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย, 2560)

3.1.4 หมวกนิรภัย (helmet) เป็นหมวกที่ออกแบบสำหรับใช้กับการปีนหน้าผาโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถรับแรงกระแทก กรณีที่ชนหรือมีวัตถุที่มีน้ำหนักหล่นลงมากระทบศีรษะได้ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 หมวกนิรภัย

(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

3.2 อุปกรณ์ส่วนรวม

3.2.1 เชือก (rope) เชือกถือว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับการปีนหน้าผา ใช้สำหรับผูกโยงเพื่อรักษาความปลอดภัย และป้องกันอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเชือกที่นำมาใช้ต้องเป็นเชือกสำหรับกีฬาปีนหน้าผาโดยเฉพาะ ซึ่งต้องสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 2,000 กิโลกรัม ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 เชือกปีนหน้าผา
(Magiera et al., 2013)

3.2.2 สกรูคาราบินเนอร์ (Screw carabiner) คือ อุปกรณ์ที่มีช่องเปิดปิดได้ด้วยสปริงที่ซ่อนอยู่ด้านใน ภายในในช่องมีเกียร์หมุนเปิดปิด ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 สกรูคาราบินเนอร์
(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

3.2.3 ฟิกเกอร์ออฟแอก (Figure of eight) คือ ห่วงรูปร่างเหมือนเลขแปด ทำด้วยอลูมิเนียมอัลลอย น้ำหนักเบาแต่แข็งแรงมาก สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 3,000 กิโลกรัม ใช้คู่กับสกรูคาราบินเนอร์ ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ฟิกเกอร์ออฟแอก
(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

3.2.4 กริกกรี (Grigri) เป็นเครื่องมือที่ใช้ล็อกเชือกที่ออกแบบให้ทำงานเหมือนกับเข็มขัดนิรภัยในรถยนต์ กล่าวคือ เมื่อมีแรงมากระทำในเส้นเชือกกลไกการทำงานของเครื่องมือจะล็อกเชือกไว้กับที่ ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กริกกรี

(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

3.2.5 ควิกดรอว์ (Quickdraw) เป็นอุปกรณ์ที่นำเอาคาราบินเนอร์ 2 อันมาเชื่อมกันเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ควิกดรอว์

(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

3.2.6 เบาะรองตก เป็นเบาะที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการปีนหน้าผา เป็นเบาะช่วยซับแรงกระแทกขณะตกลงมา ทำให้ลดการบาดเจ็บจากการปีน สามารถพับเก็บและขนย้ายได้ด้วยบุคคลเพียงคนเดียว ดังภาพที่ 20

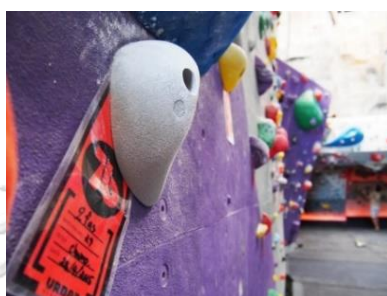


ภาพที่ 20 เบาะรองตก

(สหพันธ์กีฬาปีนหน้าผานานาชาติ, 2557)

4. ระดับความยากในการปีนหน้าผา (Climbing Grade)

ระดับความยากในการปีนหน้าผา (Grading) จะมีหลายระบบโดยแต่ละประเทศจะใช้ระบบในการปีนที่แตกต่างกัน และระดับความยากของการปีนหน้าผาประเภทลีด และประเภทโบลเดอร์ริ่ง ก็จะมีระดับความยากที่แตกต่างกัน โดยระดับความยากที่นิยมใช้ในการปีนหน้าผาจำลองจะมีป้ายแสดงไว้ที่ด้านล่างสุดของ เส้นทางในการปีน ซึ่งจุดที่แปะป้ายก็จะเป็นจุดเริ่มต้นในการปีน โดยป้ายเหล่านี้จะบอกถึงระดับความยากในการปีน ชื่อเส้นทาง ผู้เซตเส้นทางในการปีน และวันที่เซตเส้นทางในการปีนเอาไว้ ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 เส้นทางในการปีน

(Wall et al., 2004)

4.1 ในการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาประเภทลีด จะใช้ระดับความยากในการปีนหน้าผาแบบ ฟร็อน สเกล หรือ เฟรนช์ เกรด (Font. scale or French grade) เป็นระดับความยากในการกำหนดเส้นทางในการปีน โดยระดับความยากจะเริ่มต้นที่ระดับสี่ คือ เกรดที่ง่ายที่สุดในการฝึกฝนการปีนหน้าผาจำลอง จากนั้นก็จะเพิ่มระดับความยากในการปีนไปที่ระดับห้าเอ ห้าบี ห้าซี (5a → 5b → 5c) ไปจนถึงระดับเส้นทางที่ยากที่สุดคือ เก้าบี (9b) นอกจากนี้จะมีเพิ่มบวกรอีกด้วย อย่างเช่น เก้าบีบวก (9b+) ก็จะมีระดับความยากกว่าเก้าบี เป็นต้น

4.2 ในการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริ่ง จะใช้ระดับความยากในการปีนแบบโบลเดอร์ริ่ง เรตติ้ง ซิสเต็ม (Bouldering rating system) และแบบเกรดวี (V scale) หรือตามตารางที่เรียกว่า ฮิวส์โก้ (Hueco; USA) ที่ระดับความยากจะเริ่มต้นจากระดับวีศูนย์ (V0) ไปถึงระดับความยากสูงสุดที่วีสิบหก (V16) ดังภาพที่ 22

Bouldering Rating Systems			V-SCALE	FONT. SCALE
Hueco (USA)	Font. (French)		V0	4
V0	4		V1	5
V0+	4+		V2	5+
V1	5		V3	6A
V2	5+		V4	6A+
V3	6A		V5	6B
	6A+		V6	6C
V4	6B		V7	6C+
	6B+		V8	7A
V5	6C		V9	7A+
	6C+		V10	7B
V6	6C+		V11	7B+
	7A		V12	7C
V7	7A+		V13	7C+
	7B		V14	8A
V8	7B+		V15	8A+
	7B+		V16	8B
V9	7C		V17	8B+
	7C+			9A
V10	8A			9A+
	8A+			9B
V11	8B			9B+
	8B+			9C
V12	8C			9C+
	8C+			9A
V13	8C			
	8C+			
V14	8C+			
V15	8C+			
V16	8C+			
V17	8C+			

ภาพที่ 22 ระดับความยากในการปีนหน้าผา

(Deyhle et al., 2015)

5. ชนิดของหน้าผา (Wall climbing)

หน้าผาในกีฬาปีนหน้าผา แบ่งตามสภาพแวดล้อมหลัก ๆ ได้เป็น 2 ประเภท

5.1 การปีนหน้าผาในร่ม หรือ หน้าผาจำลอง เป็นหน้าผาในยิมที่อยู่ในที่ร่ม หรือ กลางแจ้ง เป็นวัสดุที่ทำมาจากไม้ หรือไฟเบอร์ มีโครงเหล็กเป็นโครงสร้างยึดอยู่ข้างหลัง รูปแบบหน้าผาแต่ละสถานที่จะไม่เหมือนกันอย่างเช่น ระดับความสูง ระดับความกว้าง ความชันของหน้าผาแต่ละองศา เป็นต้น ซึ่งจะจำลองตัวจับมาจากหน้าผาจริง โดยหน้าผาจำลองมี 2 ชนิด คือ

5.1.1 หน้าผาไม้ ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 หน้าผาไม้

(Deyhle et al., 2015)

2) หน้าผาไฟเบอร์ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 หน้าผาไฟเบอร์

(Deyhle et al., 2015)

5.2 การปีนหน้าผาแบบกลางแจ้ง หรือ หน้าผาจริง เป็นการหน้าผาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจริง ๆ อยู่กลางแจ้ง เป็นภูเขาหินจริงๆ เป็นการได้สัมผัสกับธรรมชาติจริงๆ ได้เห็นวิวสวยๆ ตามธรรมชาติ แต่มีความลำบากของอากาศที่ร้อนและเส้นทางการเดินขึ้นไปสู่หน้าผาจริงและที่สำคัญต้องมีผู้ที่มีประสบการณ์คอยดูแลอย่างใกล้ชิดอยู่ตลอดเวลา ดังภาพที่ 25

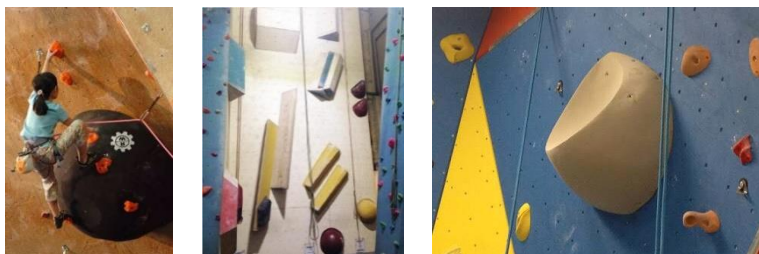


ภาพที่ 25 หน้าผาจริง

(Deyhle et al., 2015)

6. ส่วนประกอบของหน้าผา

6.1 วอลลุ่ม (Volume) ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 วอลลุ่ม
(Romero et al., 2012)

6.2 โบลต์ (Bolt) หรือ จุดเซฟโซน (save zone) ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 โบลต์

(Romero et al., 2012)

6.3 เอ็นท์คอค (Anchor) ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 เอ็นท์คอค

(Romero et al., 2012)

6.4 ตัวจับ ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ตัวจับ

(Wall et al., 2004)

7. ประเภทของตัวจับสำหรับมือในการปีน และตัวจับสำหรับเท้าในการปีน แบ่งออกเป็น 7 ประเภท (Horst, 2016) คือ

7.1 ตัวจับแบบง่าย (Jug) ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ตัวจับแบบง่าย

(International Federation of Sport Climbing, 2019)

7.2 ตัวจับแบบคริมป์ (Crimp) ดังภาพที่ 31-33



ภาพที่ 31 ตัวจับแบบคริมป์

(International Federation of Sport Climbing, 2019)



ภาพที่ 32 ตัวจับแบบฟูลคริมป์ (Full crimp)
(International Federation of Sport Climbing, 2019)



ภาพที่ 33 ตัวจับแบบโอเพ่นคริมป์ (Open crimp)
(International Federation of Sport Climbing, 2019)

7.3 ตัวจับแบบปีบ (Pingh) ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ตัวจับแบบปีบ
(Fanchini et al., 2013)

7.4 ตัวจับแบบกำหนดนิ้ว (Pocket) ดังภาพที่ 35-36



ภาพที่ 35 ตัวจับแบบกำหนดหนึ่งนิ้ว (Pocket 1 grip)

(Fanchini et al., 2013)



ภาพที่ 36 ตัวจับแบบกำหนดสองนิ้ว (Pocket 2 grip)

(Fanchini et al., 2013)

7.5 ตัวจับแบบกลม (Sloper) จะใหญ่เรียบเนียน และกลม ไม่มีที่จับ เป็นตัวจับที่ยากมาก ต้องใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนิ้วมืออย่างมาก ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ตัวจับแบบกลม

(Fanchini et al., 2013)

7.6 ตัวจับแบบกลับหัว (Undercling) ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 ตัวจับแบบกลับหัว

(Deyhle et al., 2015)

7.7 ตัวจับแบบจับขอบ (Crack) ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ตัวจับแบบจับขอบ

(International Federation of Sport Climbing, 2019)

8. วิธีการวางเท้าด้วยส่วนต่าง ๆ ของเท้า (Horst, 2016)

8.1 การวางเท้าด้วยปลายเท้า การวางเท้าด้วยปลายเท้า เพื่อใช้ในการเคลื่อนไหวได้ง่ายต่อทำท่าทางต่างๆ เช่น การเขย่งเท้ายืดตัวขึ้น การหมุนเท้า การเปลี่ยนเท้า การวางเท้าที่ตัวจับตัวเล็ก ๆ หรือการวางเท้าแบบวางที่หน้าผา (Smearing wall) ดังภาพที่ 40-41



ภาพที่ 40 วิธีการวางเท้าด้วยปลายเท้า

(Fanchini et al., 2013)



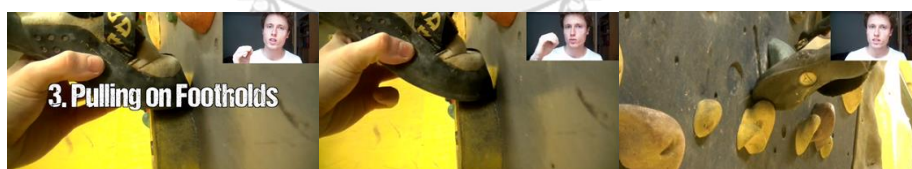
ภาพที่ 41 วิธีการวางเท้าด้วยปลายเท้าแบบวางที่หน้าผา
(Bertuzzi et al., 2012)

8.2 การวางเท้าด้วยข้างเท้า ด้านใน และด้านนอก ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 วิธีการวางเท้าข้างเท้า ด้านใน และด้านนอก
(Fanchini et al., 2013)

8.3 การวางเท้าด้วยด้านในเท้าตรงกลาง ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 วิธีการวางเท้าแบบวางด้านในเท้าตรงกลาง
(Fanchini et al., 2013)

8.4 การวางเท้าด้วยส้นเท้า (Heel hook) เป็นการใช้ส้นเท้าในการวางเท้า เพื่อกันไม่ให้ตัวเหวี่ยงหรือลดการใช้แรงแขนในการปีน ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 วิธีการวางเท้าแบบสั้นเท้า
(International Federation of Sport Climbing, 2019)

9. ทักษะการใช้แรงเคลื่อนไหวในการปีนหน้าผา (Soles, 2008)

คือ การใช้แรงในการปีนนั้นเป็นกุญแจสำคัญในการปีนหน้าผา ซึ่งจะช่วยให้ผู้ปีนนั้น ปีนจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งได้อย่างถูกต้อง เพื่อปีนไปได้สูงสุดและใช้แรงน้อยที่สุด

9.1 การปีนแบบไดนามิก (Dynamic) คือ การเคลื่อนไหวของร่างกายด้วยการยืดหรือพุ่งตัวไปจับตัวจับตัวต่อไป โดยมีสัดส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายติดหน้าผาอยู่ ไม่ถึงกับกระโดดเนื่องจากตัวจับตัวต่อไปไกลเกินไป หรือในกรณีที่เท้าอยู่ต่ำเกินไป เป็นจังหวะที่เราจะดึงตัวเองขึ้นจับตัวต่อไป ดังภาพที่ 45

ข้อดีคือ เป็นทักษะที่ออกแรงน้อย เหมาะสำหรับมือใหม่ หรือคนที่ต้องการใช้แรงแขนน้อย

ข้อเสียคือ ถ้าพุ่งตัวไปไกลเกินไปจะทำให้ขาหลุดและตัวเหวี่ยงไปตามแรงที่เราพุ่งออกมาจะทำให้เสียแรงมาก ซึ่งต้องรีบ ยกขากลับไปวางที่ตัววางเท้าโดยเร็ว และถ้าพุ่งขึ้นไปจับตัวต่อไปไม่อยู่ก็จะทำให้หลุดจากหน้าผาทันที



ภาพที่ 45 การปีนแบบไดนามิก
(Romero et al., 2012)

9.2 การปีนแบบไดโน (Dyνο) คือ การกระโดดไปจับตัวต่อไป โดยกระโดดไปทุก ส่วนของร่างกายลอยพ้นจากหน้าผา ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 การปีนแบบไดโน

(Romero et al., 2012)

9.3 การปีนแบบสแตติก (Static) คือ การปีนไปจับตัวต่อไปแบบช้า ๆ โดยการดึงตัว ขึ้นด้วยการงอแขนขึ้นแล้วเกร็งตัวของตัวค้างไว้ ต้านกับแรงต้านทาน 3-5 วินาที โดยใช้การปีนแบบ การลือคออฟ (Lock off) หรือการดึงตัวขึ้นไปค้างด้วยแขนข้างหนึ่ง แล้วใช้แขนอีกข้างยื่นไปจับตัว ต่อไป ซึ่งสำคัญมากต้องมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่สูงการปีนแบบสแตติกนั้น เราจะต้องรู้ตัวเอง ว่าเรามีความสมดุลในตัวเองเพียงพอหรือไม่ ดังภาพที่ 47

ข้อแนะนำการปีนแบบสแตติก

- เราจะต้องมีความสมดุลในร่างกาย
- เราจะต้องลือคออฟ และดึงตัวเองขึ้นไปช้า ๆ เพื่อจะขึ้นไปจับตัวต่อไป



ภาพที่ 47 การปีนแบบสแตติก

(International Federation of Sport Climbing, 2019)

10. ช่วงของเส้นทางการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร (Legreneur, Rogowski and Durif, 2020)

การปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ทำการปีนบนหน้าผาจำลองความสูง 15 เมตร มุมของหน้าผาเอียง 5 องศา ซึ่งจะประกอบไปด้วย 31 ตัวจับ ได้แก่ 20 ตัวจับสำหรับมือในการปีน และ 11 ตัวจับสำหรับเท้าในการปีน โดยมีทัชแพดเป็นตัวหยุดเวลา โดยเส้นทางในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง ประกอบไปด้วย ช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีน ช่วงที่สอง ช่วงที่สาม และช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีน โดยแต่ละช่วงใช้เวลาคิดเป็น 25% 25% 35% และ 15% ตามลำดับ ดังภาพที่ 48

10.1 ช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีน จากตำแหน่งการออกตัวไปจนถึงช่วงกลางของการเร่งความเร็วในช่วงแรก (hold 9) โดยช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีนจะมีรูปแบบของการเคลื่อนไหวสองรูปแบบคือ แบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป

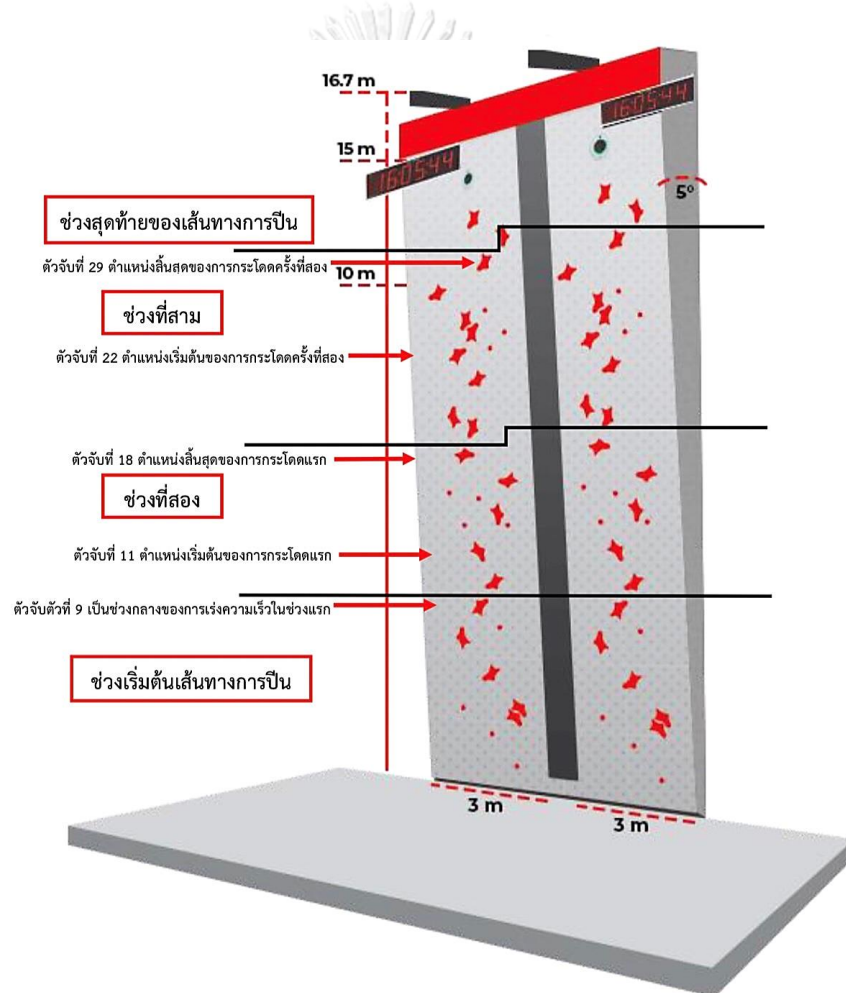
10.1.1 การออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท คือการเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 และจะมีการใช้มือจับตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ตามลำดับ โดยท่าเริ่มต้นของการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท ลำตัวของนักกีฬาจะเอียงในแนวทแยงมุมเพื่อสร้างความเฉื่อยในทิศทางที่ต้องการ ในตำแหน่งนี้ขาของนักกีฬาจะยื่นไปด้านหลังเพื่อส่งแรงขึ้นไปทางซ้ายในการปีนเพื่อจับกับตัวจับที่ 4

10.1.2 การออกตัวแบบโทโมอะ สคิป คือการกระโดดข้ามตัวจับที่ 4 โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เพื่อผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยท่าเริ่มต้นของนักกีฬาจะมีลักษณะของลำตัวอยู่ในแนวตั้งตรงเช่นเดียวกับตำแหน่งของขา ซึ่งการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป จะมีการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทิศทางการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ในช่วงต้นของการออกตัวจะถูกกำหนดโดยมือเป็นหลัก

10.2 ช่วงที่สอง จากตัวจับที่ 9 ไปจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดของการกระโดดแรก (First dyno: hold 18)

10.3 ช่วงที่สาม จากตัวจับที่ 18 ไปจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดของการกระโดดที่สอง (Second dyno: hold 29)

10.4 ช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีน คือการสิ้นสุดเส้นทางการปีนโดยการสัมผัสที่ขแพดหยุดเวลา (Legreneur, Rogowski and Durif, 2020) ซึ่งพบว่า ในช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีนนักกีฬาเพศหญิงมีการกระโดดตบที่ขแพดหยุดเวลาที่สูงกว่าเพศชาย เนื่องจากสรีรวิทยาทางด้านร่างกายของเพศหญิงมีแขนที่สั้นกว่าเพศชาย จึงต้องกระโดดในช่วงสุดท้ายของเส้นทางที่สูงกว่า โดยความเร็วของจุดศูนย์กลางมวล (Body center of mass velocity) มีการลดลงตลอดช่วงระยะทางการเคลื่อนไหว โดยความเร็วที่ลดลงของจุดศูนย์กลางมวลมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย และยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า มีการลดลงสูงสุดในช่วงหลังจากตัวจับที่ 9 และ ในช่วงของการกระโดด ทั้งสองครั้ง (1st Phase และ 2nd Phase)



ภาพที่ 48 ช่วงของการเคลื่อนไหวตลอดเส้นทางการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว (Legreneur, Rogowski and Durif, 2020)

11. ปัจจัยกำหนดความสำเร็จในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว

สมรรถภาพของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วสามารถอธิบายได้ด้วยความสามารถในการเคลื่อนไหวของร่างกายที่จะช่วยเพิ่มความสำเร็จในการปีนอันได้แก่ (Legreneur, Rogowski and Durif, 2020)

11.1 การลดการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างให้น้อยที่สุดเพื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหว

11.2 การรักษาความเร็วตลอดช่วงระยะทางการปีน

11.3 การรักษาความเร็วในการปีนภายหลังจากการกระโดดให้มากที่สุด

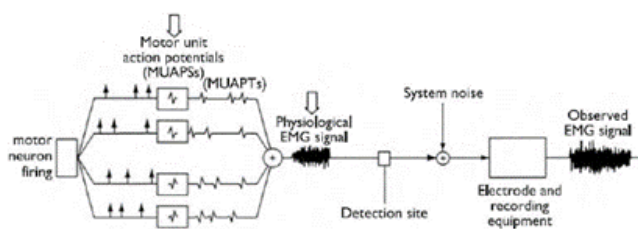
การปีนหน้าผาประเภทความเร็วถือเป็นรูปแบบการปีนหน้าผาที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ ความเร็ว กำลัง และความอดทนของร่างกาย (Speed-power endurance) ที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การปีนหน้าผาประเภทความยากและประเภทคิดคะแนน (Ryepko, 2013) โดยการปีนหน้าผาประเภทความเร็วจะมุ่งเน้นการพัฒนาพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ (explosive power) ซึ่งเป็นปัจจัยทางด้านร่างกายที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลให้สมรรถภาพในการปีนเพิ่มสูงขึ้น (Krawczyk, Ozimek, & Rokowski, 2015; Krawczyk, Ozimek, Rokowski, Pocięcha, & Draga, 2017; Krawczyk & Ozimek, 2014; Krawczyk, Ozimek, Rokowski, Pocięcha, & Draga, 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography; EMG)

การทำงานของกล้ามเนื้อเริ่มจากการที่กล้ามเนื้อมีการหดตัว (Muscle contraction) โดยการหดตัวจะเกิดได้เมื่อมีการนำกระแสประสาทมาถึงกล้ามเนื้อแล้วเกิดกระบวนการทางไฟฟ้าที่ทำให้เกิดศักย์ทำงาน (Action potential) จากความรู้นี้จะนำมาสู่การวัดการทำงานของกล้ามเนื้อโดยดูจากค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์ชนิดเข็ม (Needle electromyography) หรือใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดผิว (Surface electromyography) โดยการวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อนิยมใช้ตัวรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวเนื่องจากทำได้ง่ายและสะดวก ค่าที่ได้จากการบันทึกนั้นเรียกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งค่าที่ได้จากเครื่องจะเป็นค่าแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้า (Raw EMG) และได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ คุณสมบัติการเป็นฉนวนของเนื้อเยื่อ

ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละคน หรือแตกต่างกันในบุคคลคนเดียวกันเมื่อวัดในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังนั้นหากต้องการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจึงจำเป็นต้องมีการแปลงคลื่นแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Normalization) ซึ่งมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้คือการคิดเป็นค่าร้อยละการทำงานของกล้ามเนื้อเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการหดตัวสูงสุด (Percent of maximal voluntary contraction; %MVC) ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 การเกิดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
(Konrad, 2005)

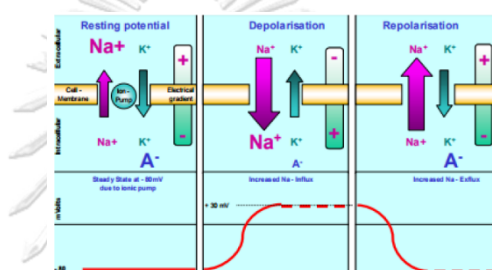
ชูศักดิ์ เวชแพศย์ (2528) ได้กล่าวว่า กล้ามเนื้อและเส้นประสาทมีคุณสมบัติที่เยื่อหุ้มเซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เหมาะสม กล้ามเนื้อมีเยื่อหุ้มเซลล์เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) คือ มีคุณสมบัติในการเลือกให้สารต่าง ๆ ผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้ และมีสารอิเลคโตรไลต์ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โซเดียม และโพแทสเซียม อีกทั้งมีกลไกคอยสูบโพแทสเซียมเข้าไปในเซลล์และผลักโซเดียมออกนอกเซลล์ (Ion pump) จึงทำให้โพแทสเซียมนำประจุบวกออกมาข้างนอกเซลล์ และเรียงรายอยู่นอกเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นผลให้ภายนอกเซลล์เป็นบวกมากกว่าภายในเซลล์ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane potential) ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะพัก (Resting membrane potential) ซึ่งมีค่าประมาณ 70 มิลลิโวลต์ ภายในเป็นลบมากกว่าภายนอกอาจเรียกว่ามีค่า -70 มิลลิโวลต์เมื่อเปรียบเทียบกับผิวนอกซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิง (Reference potential)

1. ศักย์ทำงาน (Action potential)

เมื่อกำลังหรือเส้นประสาทมีการทำงานจะมีการกระจายของไฟฟ้าออกไปซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการทำงาน คือ เส้นประสาทจะใช้การกระจายของไฟฟ้าไปตามใยประสาทที่เรียกว่า กระแสประสาท ส่วนในกล้ามเนื้อนั้นใช้การกระจายไฟฟ้าไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ เพื่อเป็นการนำคำสั่งที่ได้รับจากประสาทโดยผ่านบริเวณ รอยประสานระหว่างเส้นประสาท และกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction) ให้กระจายไปตามกล้ามเนื้อได้โดยรวดเร็ว และกว้างขวาง จะทำให้

กล้ามเนื้อหดตัวได้พร้อมเพียงกัน ไฟฟ้าที่กระจายไปตามกล้ามเนื้อนั้นมีหน้าที่ไปกระตุ้นกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้ออีกต่อหนึ่ง

เมื่อถูกกระตุ้น เยื่อหุ้มเซลล์ของประสาท และกล้ามเนื้อจะมีการยอมให้โซเดียมผ่านเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้โซเดียมไหลเข้าไปในเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์เป็นลบน้อยลงจนถึงเป็นบวก ที่เรียกว่า ดีโพลาไรเซชัน (Depolarization) เมื่อโซเดียมหยุดเข้าไปในเซลล์ หลังจากนั้นโพแทสเซียม อีออนก็จะวิ่งจากภายในเซลล์ออกสู่นอกเซลล์ ทำให้ภายในเซลล์เป็นลบเหมือนเดิม เรียกระยะนี้ว่า รีโพลาไรเซชัน (Repolarization) เมื่อเกิดดีโพลาไรเซชันขึ้น จนเกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทแล้ว จะเกิดการกระจายของศักย์ไฟฟ้าไปตามเยื่อหุ้มเซลล์นั้น ๆ โดยอาศัยความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียง ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ขณะที่กล้ามเนื้อทำงาน
(Konrad, 2005)

2. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

แคลรี และแคบริ (Clarys and Cabri, 1993) ได้กล่าวว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ สัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้า บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ ที่เกิดจากการผ่านเข้าออกเซลล์ของอีออนต่าง ๆ ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชันไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถวัดโดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยจะรับสัญญาณของกระแสประสาทของกระแสไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งต่อไปยังแอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) ของเครื่องมือ เพื่อขยายสัญญาณแล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณภาพออกทางจอ (Oscilloscope) ในทางกีฬามักใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ร่วมกับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกาย

3. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกิจกรรมทางการกีฬา

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อช่วยในการวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ โดยวิเคราะห์ว่ากล้ามเนื้อมีการทำงานเมื่อใด หรือมีการทำงานอย่างไร ในท่าทางการเคลื่อนไหวใด ๆ กล้ามเนื้อมัดนี้มีการทำงานมากน้อยเพียงใด อีกกรณีหนึ่งนำมาใช้ในการประเมินอาการล้าของกล้ามเนื้อหรืออาการบาดเจ็บในนักกีฬา เพื่อประโยชน์ในการวางแผนและกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อม นอกจากนี้ บาสมาเจียนส์ และดี ลูการ์ (Basmajian and De Luca, 1985) ได้กล่าวว่า ประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่มักนำมาใช้ในทางการกีฬา มีดังนี้

3.1 ศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างการเคลื่อนไหวต่าง ๆ เช่น แรงของกล้ามเนื้อ ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เปอร์เซ็นต์การทำงานของกล้ามเนื้อ เป็นต้น

3.2 ศึกษาถึงลักษณะการหดตัวของกล้ามเนื้อ เช่น ถ้ากล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมตริก พบว่า ความตึงของกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเป็นเชิงเส้นตรง แต่ถ้าการหดตัวของกล้ามเนื้อไม่ใช่แบบไอโซเมตริก พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกับความตึงของกล้ามเนื้อจะไม่เป็นเชิงเส้นตรง

3.3 ศึกษาเกี่ยวกับความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ โดยศึกษาจากความถี่และความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า ถ้าความถี่สูงและความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าลดลงแสดงว่าเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อมัดนั้น

3.4 ประเมินประสิทธิภาพของการฝึกรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อกล้ามเนื้อ

4. ปัจจัยที่มีผลต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ดี ลูการ์ (De Luca, 1997) ได้กล่าวว่า เมื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว จะมีปัจจัยที่มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

4.1 ปัจจัยภายนอก (Extrinsic factor) เกี่ยวกับขั้วสัญญาณไฟฟ้า ได้แก่

4.1.1 ลักษณะของขั้วรับสัญญาณ (Electrode configuration) ได้แก่ ขนาดของพื้นที่หรือรูปร่างของขั้วรับสัญญาณ มีผลต่อจำนวนหน่วยยนต์ที่บันทึกได้ ขณะกล้ามเนื้อหดตัวขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าที่เหมาะสมควรประมาณ 1 เซนติเมตร

4.1.2 ตำแหน่งของการวางขั้วสัญญาณไฟฟ้า (Electrode location) มีผลต่อความสูง (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการวางขั้วสัญญาณ คือ บริเวณจุดกึ่งกลางระหว่างจุดมอเตอร์ (Motor point) กับบริเวณรอยต่อระหว่างกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อ (Myotendinous junction) เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีค่ามากที่สุด โดยใช้ขั้วสัญญาณ 2 ขั้ววางขนานกันและตั้งฉากกับเส้นใยกล้ามเนื้อที่ต้องการจะวัด

4.2 ปัจจัยภายใน (Internal factor) เกี่ยวกับสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อ เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่

4.2.1 จำนวนหน่วยยนต์ (The number of active motor unit) จำนวนหน่วยยนต์ที่ทำงานขณะกล้ามเนื้อหดตัวมีผลต่อความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ถ้าจำนวนหน่วยยนต์มากความสูงของคลื่นไฟฟ้าก็จะมากด้วย

4.2.2 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber type) มีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง ของเหลวภายในกล้ามเนื้อขณะกล้ามเนื้อหดตัว

4.2.3 การไหลเวียนเลือดภายในกล้ามเนื้อ (Blood flow) การเคลื่อนย้ายสารที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) และอุณหภูมิ มีผลต่อความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ เมื่อการไหลเวียนเลือดในร่างกายสูงขึ้น ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะมากขึ้นด้วย

4.2.4 ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber diameter) มีผลต่อความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

4.2.5 ความลึกและความหนาของชั้นเนื้อเยื่อ มีผลต่อความสูงและความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เช่น การวัดกล้ามเนื้อที่ลึกมากหรือมีชั้นไขมันใต้ผิวหนังระหว่างกล้ามเนื้อและขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ามาก ทำให้ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง

5. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ดี ลูการ์ (De Luca, 1997) ได้กล่าวว่า ความสูงของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กันโดย ความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น

เมื่อกกล้ามเนื้อออกแรงหดตัวเพิ่มขึ้น กล้ามเนื้อที่หดตัวได้แบบไอโซเมตริก (Isometric contraction) คือกล้ามเนื้อหดตัวขณะที่ความยาวของกล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลง เคนนี และคณะ (Kenney et al., 2015) พบว่า ความสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ มีลักษณะเป็นเส้นตรงถ้ากล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซโทนิก (Isotonic contraction) คือ มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อขณะกล้ามเนื้อหดตัว ทำให้มีการเคลื่อนที่ของข้อรับสัญญาณไฟฟ้าขณะทำการบันทึกสัญญาณ รวมถึงความไม่คงที่ของหน่วยยนต์ที่ทำงานขณะกล้ามเนื้อหดตัวที่ข้อรับสัญญาณไฟฟ้าบันทึกได้ ทำให้รูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้เปลี่ยนแปลงไป ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้จะไม่มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยส่วนใหญ่ขนาดของข้อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมักมีขนาดเล็กกว่ากล้ามเนื้อที่ต้องการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ทำให้จำนวนหน่วยยนต์ที่บันทึกได้ขณะกล้ามเนื้อหดตัวมีจำนวนน้อยกว่าหน่วยยนต์ที่ทำงานจริง เมื่อกกล้ามเนื้อออกแรงหดตัวเพิ่มขึ้นทำให้มีการระดมหน่วยยนต์ (Recruitment of motor unit) เพิ่มขึ้น ถ้าหน่วยยนต์ใหม่อยู่ใกล้ข้อรับสัญญาณไฟฟ้า พบว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีค่าเท่ากับแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อจริง แต่ถ้าหน่วยยนต์ใหม่อยู่ไกลข้อรับสัญญาณไฟฟ้า พบว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออาจจะไม่ได้เพิ่มตามแรงที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของกล้ามเนื้อจริง

6. ค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด

การหดตัวของกล้ามเนื้อลายตามปกติเซลล์กล้ามเนื้อจะทำการหดตัวอย่างพร้อมเพรียงกันของกลุ่มเซลล์กล้ามเนื้อซึ่งเลี้ยงโดยหน่วยยนต์เดียวกัน ซึ่งหน่วยยนต์ถือเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด และสามารถกระตุ้นให้เกิดการหดตัวได้ หน่วยยนต์แต่ละหน่วยสามารถถูกกระตุ้นด้วยความแรงของสิ่งกระตุ้นแตกต่างกัน ระดับความแรงของสิ่งกระตุ้นที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว เรียกว่า เทรชโฮลด์ หรือระดับกั้น (Threshold) หน่วยยนต์ที่มีเทรชโฮลด์ต่ำจะถูกกระตุ้นก่อน ทำให้มีแรงดึงในกล้ามเนื้อระดับหนึ่ง ถ้าความแรงของสิ่งกระตุ้นสูงพอ ทุกหน่วยยนต์จะทำงานอย่างพร้อมเพรียงกันทำให้ได้แรงดึงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด เรียกการทำงานร่วมกันของทุก ๆ หน่วยยนต์ว่า การระดมหน่วยยนต์ (Summation of motor unit หรือ Recruitment of motor unit)

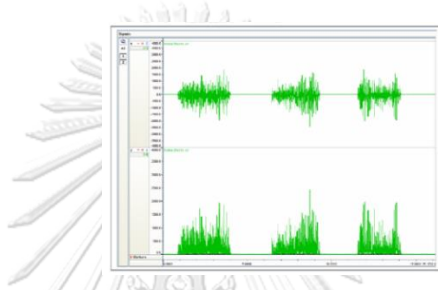
7. กระบวนการแปลงสัญญาณ (Signal Processing)

การประมวลผลของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ จะต้องนำคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ (Raw Data EMG) มาผ่านกระบวนการเพื่อให้แสดงถึงความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่แท้จริง โดยเมื่อได้

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเนื้อมาแล้วจะทำการกรองสัญญาณเพื่อตัดคลื่นรบกวนจากสิ่งแวดล้อมหรือจากปัจจัยอื่นออกไป เรียกว่ากระบวนการฟิลเตอร์ (Filtering Process) หลังจากนั้นจึงนำคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเนื้อนี้ไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

7.1 รีคทีไฟเคชัน (Rectification)

หรือเรียกว่า “Full-wave rectification” คือ การแปลงค่าแอมพลิจูดที่เป็นค่าลบให้เป็นค่าบวกเพื่อให้สามารถหาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าสูงสุด (Peak/Max) หรือพื้นที่ใต้กราฟ (Area) ของค่าแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้าได้ ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ค่าแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้า (Raw EMG) และแสดงรีคทีไฟเคชันของคลื่นไฟฟ้า (Konrad, 2005)

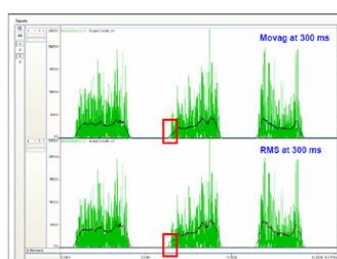
7.2 การสมูทติงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเนื้อ (Smoothing)

เป็นการนำอัลกอริทึม (Algorithms) มาทำให้สัญญาณแอมพลิจูดที่สูงชันเรียบลงประกอบไปด้วย

7.2.1 มูฟิงค์ แอเวอเรจ (Moving average; Movag)

7.2.2 รุท มีน สแควร์ (Root mean square; RMS)

เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สะท้อนค่ามีน พาวเวอร์ (Mean power) ของสัญญาณแอมพลิจูด และได้รับความนิยมในการใช้มากกว่าแบบมูฟิงค์ แอเวอเรจ ดังภาพที่ 52

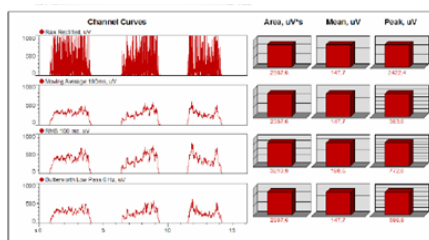


ภาพที่ 52 การเปรียบเทียบสมูทติงคลื่น อัลกอริทึม 2 แบบ

(Konrad, 2005)

7.2.3 ดิจิตอล ฟิลเตอร์ (Digital filtering)

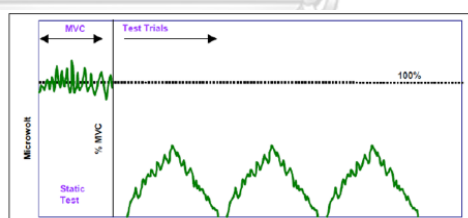
ในบางสถานการณ์อาจจำเป็นต้องนำดิจิตอล ฟิลเตอร์มาใช้ ซึ่งมีให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมเช่น มูฟอิงค์ แอวอเรียจ, รูท มิน สแควร์, ลอว์ พาส ฟิลเตอร์ ที่ความถี่ 6 เฮิร์ต (Low pass filter) (Butttherworth, 2nd order or higher) ดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 การเปรียบเทียบสมูทติ้ง อัลกอริทึม 3 แบบ รูปร่างของแอมพลิจูดและผลทางสถิติ (Konrad, 2005)

7.2.4 แอมพลิจูด นอเมลิไลซ์เซชัน (Amplitude Normalization)

การทำข้อมูลเท่าเทียมกันของแอมพลิจูดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ การนำเสนอค่าแอมพลิจูดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในรูปแบบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานที่นิยมใช้ คือ ค่าความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum voluntary isometric contraction; MVIC) ดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 แอมพลิจูด นอเมลิไลซ์เซชัน

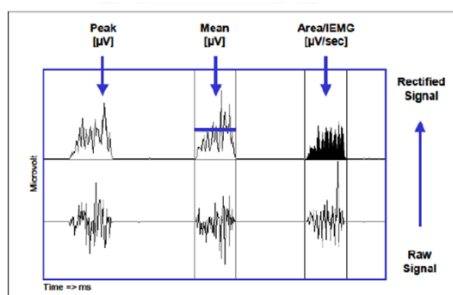
(Konrad, 2005)

8. แอมพลิจูดพารามิเตอร์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG Amplitude parameter)

ค่ามาตรฐานของแอมพลิจูดพารามิเตอร์ ดังภาพที่ 55 ประกอบด้วย

- 8.1 ค่าสูงสุดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG peak value)
- 8.2 ค่าเฉลี่ยของแอมพลิจูด (Amplitude mean value)
- 8.3 ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Mean integrated EMG;

IEMG)



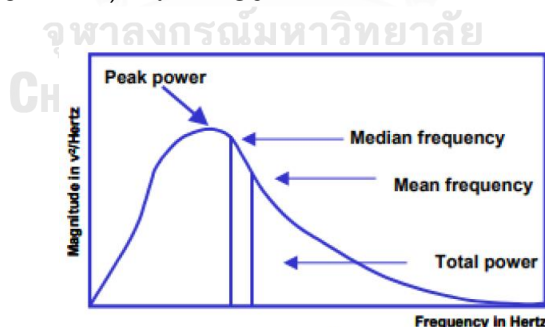
ภาพที่ 55 แอมพลิจูดพารามิเตอร์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

(Konrad, 2005)

9. ตัวแปรในการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

9.1 การหาค่าของกล้ามเนื้อสูงสุด

การออกแรงของกล้ามเนื้อสูงสุด คือ ค่าของเส้นโค้งสเปกตรัมพลังงานทั้งหมดเพื่ออธิบายลักษณะความถี่ในการวิเคราะห์ความถี่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ที่ใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด คือ ความถี่เฉลี่ยและมัธยฐานและการเปลี่ยนแปลงของการหดตัวที่ยั่งยืนซึ่งการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Intensity) คืออัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะทำการเคลื่อนไหวในท่าทางที่กำหนด (EMG_{max}) และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน (Maximal voluntary contraction: MVC) ดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 การหาค่าของกล้ามเนื้อสูงสุด

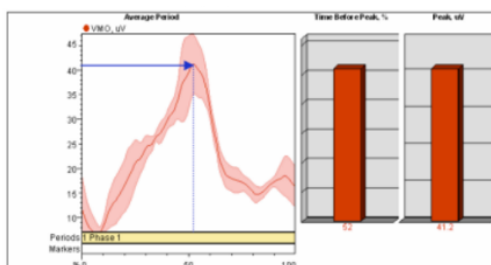
(Konrad, 2005)

9.2 พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงขณะที่มีการเคลื่อนไหวในท่าทางที่

กำหนด

9.3 เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด

เป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ที่จะระบุถึงลักษณะการจับเวลาภายในคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และในส่วนของสัญญาณทางชีวกลศาสตร์ หรือการเคลื่อนไหวอื่น ๆ วิธีที่ง่ายที่สุดคือการคำนวณระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด ซึ่งเป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นของช่วงการวิเคราะห์ (หรือจุดเริ่มต้นของการหดตัวของกล้ามเนื้อ) ไปจนถึงค่าความกว้างสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดมีความสำคัญต่อการอธิบายลักษณะของเส้นโค้งเฉลี่ย ดังรูปต่อไปนี้ ดังภาพที่ 57



ภาพที่ 57 การคำนวณหาระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด
(Konrad, 2005)

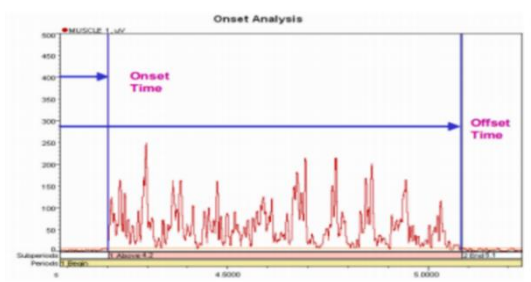
9.4 อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

คือ การทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเบื้องต้นสามารถเห็นระยะเวลาในการพัฒนาแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของการพัฒนาแรงทั้งสองพารามิเตอร์ ได้แก่ การหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Peak power) และ ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด สามารถอธิบายได้ตามหลัก เคิลไวน์-ลินีเยร์ (Curvi-Linear): กล่าวคือ เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดในระยะเวลาที่สั้น หรือเป็นพลังระเบิด

9.5 ลำดับการเริ่มมีการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมาย (Onset latency)

แสดงได้ถึงลำดับการทำงานของกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ ขณะมีการเคลื่อนไหวในท่าทางที่กำหนด ความคิดหลักของพารามิเตอร์ คือการคำนวณระยะเวลาที่กล้ามเนื้อต้องการที่จะเกิดขึ้น ระยะเวลาที่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ใช้ภายในระยะเริ่มต้น (ภาพที่ 57) การวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือการวัดความเร็วของเส้นประสาทด้วยแรงกระตุ้นจากภายนอกและคำนวณเวลาตอบสนอง

ต่อการเริ่มต้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสิ่งเร้าและพื้นที่ขั้วบวกกำหนดความเร็วในการนำอีกขั้นการวิเคราะห์ที่อยู่คำถามประสานงาน ในการสั่งการไปที่กล้ามเนื้อเริ่มที่จะทำงาน เริ่มจากตำแหน่งกล้ามเนื้อที่ผ่อนคลายสำหรับการเคลื่อนไหวที่กำหนดจะถูกวิเคราะห์ (Konrad, 2005) ดังภาพที่ 58



ภาพที่ 58 การเกิดลำดับการเริ่มมีการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมาย (Konrad, 2005)

ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)

ชีวกลศาสตร์ เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาแรงภายนอกและแรงภายในที่กระทำกับร่างกายมนุษย์ และผลที่เกิดขึ้นจากแรงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นพื้นฐานทางกลศาสตร์ของการทำงานด้านชีววิทยา โดยเฉพาะการทำงานของกล้ามเนื้อและการศึกษาหลักการรวมทั้งสิ่งต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับการทำงานดังกล่าว

1. การเคลื่อนที่ในทางชีวกลศาสตร์ (ภาณุพงศ์ ภาณุจนกุล, 2554)

การเคลื่อนที่สามารถอธิบายได้ 3 ลักษณะดังนี้

1.1 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Translation motion)

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเกิดขึ้นเมื่อวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนที่โดยทุกส่วนของวัตถุหรือร่างกาย เดินทางไปเป็นระยะที่เท่ากัน และในเส้นทางเดียวกันโดยมีระยะเวลาเท่ากัน การพิจารณาว่าการเคลื่อนที่ใดเป็นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ให้พิจารณาการเคลื่อนที่ของเส้นตรงที่ลากผ่านวัตถุหรือร่างกายนั้น โดยถ้าในขณะที่เคลื่อนที่เส้นตรงนี้คงระยะความยาวเท่าเดิม และขนานกับตำแหน่งแรกที่อยู่ การเคลื่อนที่นั้นก็ถือว่าเป็นแบบเส้นตรง

1.2 การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotation motion)

เป็นการเคลื่อนที่โดยวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งรอบ ๆ เส้นสมมุติในอากาศ โดยวัตถุ หรือร่างกายเคลื่อนไปด้วยมุมที่เท่ากัน ทิศทางเดียวกัน และเวลาเท่ากัน เส้นสมมุติในอากาศนี้ อาจพาดผ่านวัตถุ หรือร่างกายนั่นเองหรือเรียกว่า แกนของการหมุน (Axis of rotation) ซึ่งแกนของการหมุนจะตั้งฉากบนระนาบของการเคลื่อนที่ของวัตถุ และร่างกาย

1.3 การเคลื่อนที่แบบผสมผสาน (General motion)

ในด้านเทคนิคเชิงกีฬา การเคลื่อนที่แบบหมุนจะพบมากกว่าการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง แต่จะพบมากที่สุดคือการเคลื่อนที่แบบผสมผสาน ซึ่งมีทั้งการหมุน และการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เช่น นักปั่นจักรยาน ส่วนบนของร่างกายจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่แบบหมุนของส่วนขา

การผสมผสานการเคลื่อนที่แบบหมุน และเส้นตรง มักจะมีการผสมผสานอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย เช่นการเคลื่อนที่แบบหมุนหลาย ๆ อันเข้าด้วยกันในเวลาเดียวกัน เช่นการหมุนของส่วนขาของนักปั่นจักรยาน มีการหมุนอย่างน้อย 3 ส่วนพร้อมกัน ส่วนแรกคือการหมุนของต้นขาไปรอบ ๆ แกนที่ลากผ่านกระดูกข้อต่อสะโพก ส่วนที่สอง คือขาหมุนรอบแกนที่ลากผ่านข้อเข่า และส่วนสุดท้ายคือ การหมุนของเท้ารอบ ๆ แกนที่ลากผ่านข้อเท้า ดังนั้นจะเห็นว่าการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบผสมผสานของหลาย ๆ ส่วนอาจมีความซับซ้อนได้

2. ระนาบของร่างกาย (Anatomical plane)

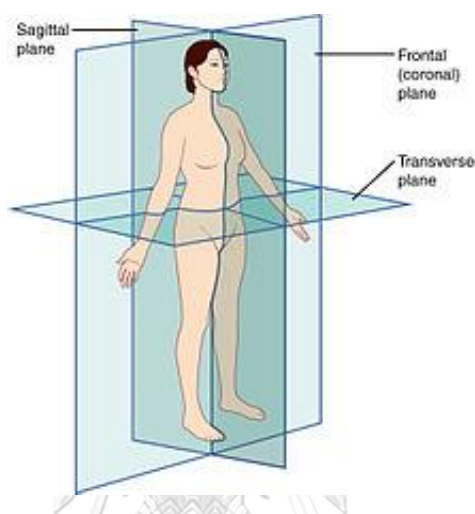
ในร่างกายมนุษย์สามารถแบ่งระนาบการเคลื่อนไหวของร่างกายออกได้ 3 แบบ (ดังภาพที่ 59) ดังนี้

2.1 ระนาบหน้าหลัง (Sagittal plane) เป็นระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายกายออกเป็นซีกซ้าย - ซีกขวา เช่น การงอแขน-เหยียดแขน และการงอขา-เหยียดขา

2.2 ระนาบข้าง (Frontal plane) เป็นระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายกายออกเป็นซีกหน้า - ซีกหลัง เช่น การตีกอล์ฟ การกางแขน การกระโดดตบ

2.3 ระนาบขอบฟ้า (Transverse plane) เป็นระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ส่วนบน - ส่วนล่าง เช่น การหมุนลำตัวส่วนบน-ล่าง การหมุนข้อเท้า การหมุนข้อเข่า

ประโยชน์ของการแบ่งการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ออกเป็นระนาบต่าง ๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาการทำงานของข้อต่อ รยางค์ และอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย ว่าสามารถเคลื่อนไหวได้ในมุมใดบ้าง รวมทั้งยังทำให้ทราบได้อีกว่าในขณะที่ร่างกายกำลังเกิดการเคลื่อนไหวอยู่นั้น ร่างกายของเรากำลังเคลื่อนไหวขนานอยู่กับระนาบที่ต้องการหรือไม่



ภาพที่ 59 ระนาบของร่างกาย
(Christopher et al., 1992)

คำศัพท์เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (ภาณุพงศ์ กาญจนกุล, 2554) การงอ (Flexion), การเหยียด (Extension), การกาง (Abduction), การหุบ (Adduction), การคว่ำ นอนคว่ำ (Pronation), การหงาย นอนหงาย (Supination), การหมุนชนิดลำตัว (Rotation), การหมุนแขนข้างลำตัว (Circumduction), การงุ่มปลายเท้าบิดเข้าหาลำตัวด้านใน (Inversion), การงุ่มปลายเท้าบิดออกนอกลำตัวด้านนอก (Eversion), ขากรรไกร ดันขึ้นข้างบน (Elevation), การกดลงของขากรรไกรล่าง (Depression), ขากรรไกรล่างกลับเข้าด้านหลัง (Retraction), การงุ่มปลายเท้า การเหยียดข้อเท้า (Hyperextension) และการงอข้อเท้า งอปลายเท้า (Dorsiflexion)

3. แกนของร่างกาย (Anatomical Axis)

แกนของร่างกายเป็นแนวแกนที่กำหนดขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการกำหนดจุดหมุนของการเคลื่อนไหวของร่างกาย สามารถกำหนดแกนร่างกายออกเป็น 3 แกนคือ

3.1 แกนหน้าหลัง (Anteriorposterior axis) เป็นแนวแกนที่ทอดผ่านจากส่วนหน้าของร่างกายไปส่วนหลังของร่างกายตามแนวนอน

3.2 แกนขวาง (Transverse axis หรือ Horizontal axis) เป็นแนวแกนที่ทอดผ่านร่างกายจากด้านซ้ายไปด้านขวาของร่างกายตามแนวนอน

3.3 แกนตั้ง (Vertical axis) เป็นแนวแกนในแนวตั้งที่ตั้งฉากกับสองแกนแรก

4. รูปแบบการเคลื่อนไหว (Forms of motion)

4.1 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Rectilinear)

4.2 การเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโค้ง (Curvilinear)

4.3 การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotation)

5. การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Analysis)

การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ประกอบด้วย 2 ลักษณะ (Christopher, Brian, and Jeremy, 1992) คือ

5.1 สภาวะนิ่ง (Static)

เป็นการศึกษาวัตถุหรือร่างกายในสภาวะอยู่นิ่งๆ หรืออยู่ในสภาวะสมดุล (Non-moving system)

5.2 ภาวะการเคลื่อนที่ (Dynamic)

เป็นภาวะที่วัตถุเคลื่อนที่ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

5.2.1 คิเนมาติกส์ (Kinematics)

เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ และการทดสอบการเคลื่อนที่ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่ง และเวลาโดยปราศจากการอ้างอิงถึงแรงซึ่งเป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์ เกี่ยวกับการอธิบายการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะหาว่าวัตถุเคลื่อนที่ได้ไกลเท่าไร, สูงเท่าไร ดังนั้นตำแหน่งความเร็ว และความเร่งเป็นส่วนประกอบของการวิเคราะห์คิเนมาติกส์ที่น่าสนใจ ตัวอย่างของการวิเคราะห์คิเนมาติกส์เชิงเส้น คือการทดสอบลักษณะโพรเจกไทล์ (Projectile) ของการกระโดดสูงและการศึกษาความสามารถของนักว่ายน้ำมืออาชีพ และตัวอย่างการวิเคราะห์

คิเนมาติกส์เชิงมุม เช่นการทดสอบความเร็ว และความเร่งของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายในการยืน กระโดดสูง (Gowitzke and Milner, 1988)

2) คิเนติกส์ (Kinetics)

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเชิงคิเนติกส์ ระบุถึงสาเหตุของการเคลื่อนที่ นั่นคือแรงต่าง ๆ ที่ไม่สมดุลกัน เป็นการระบุส่วนสำคัญของทักษะในลักษณะของการสร้างการเคลื่อนไหว ตัวอย่างเช่น เทคนิคไหนจะทำให้สามารถกระโดดได้สูงที่สุดในท่ายืนกระโดด (Dainty, David A. and Robert Norman, 1988) คิเนติกส์เป็นข้อมูลที่มีค่าเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นได้ อย่างไรหรือการรักษาท่าทางเกิดขึ้นได้อย่างไร ข้อมูลเหล่านี้สามารถชี้ถึงสภาวะและการฝึกสำหรับ นักกีฬาหรือการเคลื่อนไหว

6. ชีวกลศาสตร์การกีฬา

ชีวกลศาสตร์การกีฬา (Sport biomechanics) เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ศึกษา ถึงการวิเคราะห์ในเชิงชีวกลศาสตร์ของเคลื่อนไหวของมนุษย์ การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการ กีฬา การนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์วิจัยทางการกีฬาเป็น การศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับเรื่องลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหว ตำแหน่ง ระยะทาง มุม ความเร็ว และความเร่งทั้งเชิงเส้น และเชิงมุม เรื่องของแรงอันเป็นสาเหตุของการ เคลื่อนไหว อาศัยความรู้ทฤษฎี และหลักการทางฟิสิกส์ แคลคูลัส สรีรวิทยา และกายวิภาคศาสตร์ ตลอดจนความรู้ทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์มนุษย์ (ศิริรัตน์ นีร์ญรัตน์, 2544)

6.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษาชีวกลศาสตร์การกีฬา และการออกกำลังกาย

ชีวกลศาสตร์การกีฬาจะศึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกาย และกีฬาเป็นการศึกษาถึง แรงและผลของแรงต่อการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาของมนุษย์ โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษาเพื่อ (พรเทพ ราชนาวิ, 2556)

6.1.1 การพัฒนาสมรรถภาพ

เป้าหมายของชีวกลศาสตร์ในการออกกำลังกายและกีฬาคือการพัฒนา ความสามารถในการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา รวมถึงการป้องกันการบาดเจ็บและการฟื้นฟู

สมรรถภาพ โดยเป้าหมายเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เพราะหากนักกีฬาไม่เกิดการบาดเจ็บย่อมมีสมรรถภาพดีกว่านักกีฬาที่ได้รับบาดเจ็บ

6.1.2 การพัฒนาเทคนิค

การพัฒนาความสามารถในกีฬาหลายๆชนิด ต้องอาศัยการพัฒนาทางด้านเทคนิค ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เราต้องศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ การนำชีวกลศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคนิคอาจทำได้ 2 ลักษณะคือ

1) ผู้ฝึกสอนกีฬานำความรู้ทางด้านชีวกลศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขท่าทางของนักกีฬาเพื่อพัฒนาการปฏิบัติทักษะให้ถูกต้อง เช่น ผู้ฝึกสอนใช้การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์เชิงคุณภาพในการสอนนักกีฬา ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคนิค

2) นักวิจัยทำการวิจัยเพื่อค้นหาเทคนิคและทักษะใหม่ที่มีประสิทธิภาพและถ่ายทอดความรู้ที่ค้นพบไปสู่ผู้ฝึกสอนกีฬา จากความเชื่อของคนส่วนใหญ่เชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงเทคนิคใหม่ๆ โดยทั่วไปแล้วจะถูกพัฒนาโดยนักชีวกลศาสตร์ ซึ่งจะช่วยในพัฒนาประสิทธิภาพของกีฬาแต่ละชนิด ตัวอย่างของงานวิจัยทางด้านชีวกลศาสตร์การกีฬาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเทคนิคและประสิทธิภาพของกีฬาวูตวูว ซึ่งทำการวิจัยโดย เคาเชิลแมน และคณะ (Counsilman et al., 1988) ชี้ให้เห็นว่าวิธีการเคลื่อนที่ของการกระโดดมีความสำคัญมากในการกระโดดออกตัว ซึ่งพบว่าวิถีแบบโค้งในการกระโดดช่วยให้นักกีฬามีระยะเวลาในการออกตัว (Start time) นานกว่ามุมในการออกตัว (Take-off angle) และมุมในการลงน้ำ (Entry angle) ดีกว่า และมีระยะทางที่ศีรษะสัมผัสน้ำสั้นกว่า จึงลงน้ำได้เร็วกว่าการกระโดดในวิถีแบบราบ ซึ่งเทคนิคนี้ถูกนำไปใช้ในการฝึกสอนโดยผู้ฝึกสอนทั่วโลก

6.1.3 การพัฒนาอุปกรณ์กีฬา

ชีวกลศาสตร์สามารถสนับสนุนการพัฒนาการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการกีฬาและการออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงบางอย่างของอุปกรณ์กีฬา เช่น รูปทรง วัสดุ สามารถเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของกีฬาเหล่านี้ได้

6.1.4 การพัฒนาการฝึกซ้อม

เกี่ยวกับการฝึกซ้อมกีฬา ชิวกลศาสตร์การกีฬาสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการฝึกซ้อมและการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬา โดยการประยุกต์ใช้ชีวกลศาสตร์เกิดขึ้นได้

หลายลักษณะ การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคของนักกีฬาสามารถช่วยผู้ฝึกสอนกีฬาในการกำหนดรูปแบบการฝึกซ้อมที่ต้องการของนักกีฬาเพื่อพัฒนาความสามารถของนักกีฬา

6.1.5 การป้องกันและการฟื้นฟูการบาดเจ็บ

ความรู้ทางชีวกลศาสตร์มีประโยชน์ต่อเวชศาสตร์การกีฬาโดยชี้ให้เห็นว่าแรงอาจจะเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บ ควรป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างไร หรือการออกกำลังกายอย่างไรที่จะช่วยฟื้นฟูจากการบาดเจ็บ

6.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์การกีฬา ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ (2544) กล่าวว่า การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ทางการกีฬาเป็นการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว เพื่อนำมาปรับปรุงใหม่ให้มีประสิทธิภาพในเชิงกีฬาที่ดีขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

6.2.1 ขั้นสังเกตด้วยตาเปล่า (Non-cinematographic analysis) เป็นการมองด้วยสายตา และเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวเพื่อสังเกตท่าทางว่าถูกต้องหรือไม่ถูกต้องอย่างไร และอะไรน่าจะเป็นสาเหตุของความไม่สมบูรณ์ของการเคลื่อนไหวของทักษะนั้น ๆ เช่น จะตีลูกวอลเลย์บอล แต่ผิดตำแหน่งในการวางเท้าจึงทำให้ลูกบอลนั้นเหินลอยข้ามตาข่ายไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าการมองด้วยสายตา และรู้จักสังเกตก็สามารถบอกได้ว่า ลูกเหินข้ามตาข่ายไปเพราะเหตุใด

6.2.2 ขั้นใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ (Basic cinematographic analysis) ขั้นนี้จะเริ่มใช้อุปกรณ์อย่างง่าย ๆ เช่น กล้องถ่ายภาพนิ่ง และกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว (Visual data object; VDO) เพื่อนำรูปภาพในขณะนั้นมาวิเคราะห์อย่างง่าย เนื่องจากบางครั้งเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นเราต้องการดูอีกครั้งหนึ่งเพื่อความแน่ใจ หรือสามารถให้ผู้อื่นบันทึกภาพให้เพื่อนำมาศึกษาภายหลัง

6.2.3 ขั้นอุปกรณ์ขั้นสูง (Intermediate cinematographic analysis) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ต้องเป็นเครื่องบันทึกภาพเคลื่อนไหวที่มีความเร็วในการจับภาพได้มาก หรือเรียกว่า กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High-speed digital video camera) สามารถจับภาพได้เร็ว และแม่นยำ และนำภาพมาวิเคราะห์คำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนไหว (เมตร/วินาที), มุมการเคลื่อนไหว (องศา) และความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ (องศา/วินาที)

6.2.4 ขั้นวิจัย (Biomechanics research) ใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะ เช่น คอมพิวเตอร์ และเครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys track manager; QTM)

ในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญเป็นพิเศษ ส่วนมากจะอยู่ในห้องทดลองชีวกลศาสตร์ โดยเฉพาะ อาจจะนำเอาขั้นที่ 2 และ 3 มาทำการวิเคราะห์ในขั้นนี้ได้

การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ (Human postural analysis)

การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ (Human postural analysis) เป็นการวิเคราะห์ท่าทางของมนุษย์ในอิริยาบถต่าง ๆ เพื่อทำการตีความแต่ละท่าทางซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากท่าทางของอวัยวะในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น แขน ขา หรือ หัวเข่า เป็นต้น

1. เทคนิคของการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Motion capture system)

เทคนิคของการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโมชันแคปเจอร์ (Motion capture) เป็นเทคโนโลยีที่ต่อยอดมาจากการสร้างแอนิเมชัน ในสมัยแรกนั้นแอนิเมชันจะเป็นภาพวาดที่ละฉาก ๆ แล้วจึงนำไปสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะมีสีสันทันไม่สมจริงคล้ายภาพวาด ต่อมาได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้กับการสร้างแอนิเมชันเพื่อสร้างหรือตกแต่งภาพให้เป็นไปตามต้องการ ภาพที่ได้เหล่านี้ถูกเรียกว่าคอมพิวเตอร์กราฟฟิค (Computer graphic; CG) สิ่งทีคอมพิวเตอร์กราฟฟิคสามารถทำได้คือสามารถสร้างแสงและเงาให้กับภาพได้อย่างสมจริง ทำให้ภาพดูมีมิติมากขึ้น แต่ยังไม่ถึงขั้นทำให้ลักษณะของภาพหรือวัตถุนั้นมีลักษณะคล้ายกับของจริงได้ แต่ก็ไม่แบนราบเป็นสองมิติเหมือนแต่ก่อน และถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์กราฟฟิคจะทำให้แอนิเมชันสมจริงมากขึ้น แต่ภาพที่เราเห็นก็เกิดจากการประดิษฐ์ขึ้น ไม่ว่าจะป็นรูปร่าง ลักษณะตัวละคร สีหน้าท่าทางไปจนถึงการเคลื่อนไหว จะมีรายละเอียดที่ไม่เหมือนกับตัวละครที่เป็นมนุษย์จริง ๆ เมื่อมนุษย์มองเห็นข้อด้อยของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กราฟฟิค พวกเขาจึงได้พยายามค้นหาและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่จะใส่รายละเอียดของความเป็นคนลงไปในเทคโนโลยี คอมพิวเตอร์กราฟฟิคซึ่งเรียกว่า โมชันแคปเจอร์ การจะทำโมชันแคปเจอร์นั้นต้องอาศัยคนเข้ามามีส่วนร่วมด้วย โดยตัวละครคอมพิวเตอร์กราฟฟิค จะถูกสร้างจากคอมพิวเตอร์เช่นเดิม แต่รายละเอียดการเคลื่อนไหวต่าง ๆ นั้นจะถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยการเคลื่อนไหวลักษณะท่าทางจริงของคน วิธีการคือ นำมาร์กเกอร์ที่เคลือบด้วยสารสะท้อนแสงไปติดตามตัวของนักแสดงเพื่อให้อุปกรณ์เก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวเฉพาะจุดเหล่านั้นโดยไม่สนใจที่จะเก็บภาพของผิวหนังหรือส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ได้ติดมาร์กเกอร์ โดยข้อมูลเหล่านั้นจะถูกนำมาแปลงค่าเพื่อนำมาใช้กับโมเดลดิจิทัล

การบันทึกค่าการเคลื่อนไหวของร่างกายในรูปแบบของโมชันแคปเจอร์ จะใช้ตัวส่งสัญญาณกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา การติดจุดตัวส่งสัญญาณจึงสามารถเว้นระยะห่างจากกันได้พอสมควร ถึงแม้ว่าการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นเพียงชนิดเดียวแต่กล้องที่คอยจับการเคลื่อนไหวจะสามารถสังเกตการเคลื่อนไหวนั้นได้อย่างชัดเจน ในปัจจุบันเทคโนโลยีโมชันแคปเจอร์ได้ถูกนำมาใช้ทางด้านการกีฬา การแพทย์ วิศวกรรมและวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ ในลักษณะท่าทางต่าง ๆ อาทิเช่น ใช้ทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวร่างกายของนักกีฬาที่เหมาะสมและถูกวิธี (ภาณุพงศ์ กาญจนกุล, 2554)

2. หลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

สามารถแบ่งหลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวได้เป็นสองหลักการด้วยกันดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดยการทำสัญลักษณ์บนจุดต่าง ๆ ของร่างกาย (Marker motion capture)

เป็นการตรวจจับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายโดยผู้ตรวจจะต้องสวมใส่ชุด หรือเครื่องแต่งกายที่มีการทำเครื่องหมายในส่วนต่าง ๆ เอาไว้โดยเครื่องหมายที่ถูกกำหนดไว้บนร่างกายจะเป็นตัวบ่งบอกถึงอวัยวะส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแบ่งแยกอวัยวะแต่ละส่วนที่ต้องการตรวจจับ โดยวิธีสกัดจุดต่าง ๆ บนร่างกายนั้นสามารถทำได้ทั้งจากการบันทึกภาพผ่านกล้องแล้วนำข้อมูลที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์หาสัญลักษณ์ที่ทำไว้บนร่างกาย หรือในอีกกรณีคือการใช้อุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์บอกพิกัดซึ่งสามารถช่วยให้รู้พิกัดของส่วนต่าง ๆ บนร่างกายได้ทันทีในระหว่างที่ทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหว โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดยการทำสัญลักษณ์บนจุดต่าง ๆ ของร่างกาย สามารถแบ่งย่อยเป็นอีกสองประเภทตามประเภทของตัวบอกตำแหน่ง ได้แก่

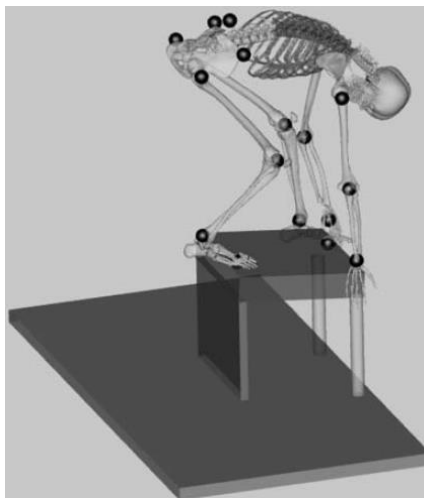
2.1.1 มาร์กเกอร์แบบหลอดแอลอีดี (Pulsed – LED or Active marker) เป็นการบันทึกภาพท่าทางของผู้แสดงโดยใช้วิธีวัดจากมาร์กเกอร์ที่เป็นหลอดแอลอีดี โดยใช้การวัดความเข้มของแสงสำหรับการบันทึกข้อมูล

2.1.2 มาร์กเกอร์แบบสะท้อนแสงอินฟราเรด (Reflective marker or Passive marker) ซึ่งเป็นการใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอชนิดพิเศษในการติดตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่อยู่ตามตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่ตามส่วนต่างๆ โดยกล้องวิดีโอนี้จะใช้เลนส์รับแสงอินฟราเรดแล้วใช้แสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ติดไว้รอบๆกล้องถ่ายภาพ แสงจะสะท้อนที่มาร์กเกอร์ทำ

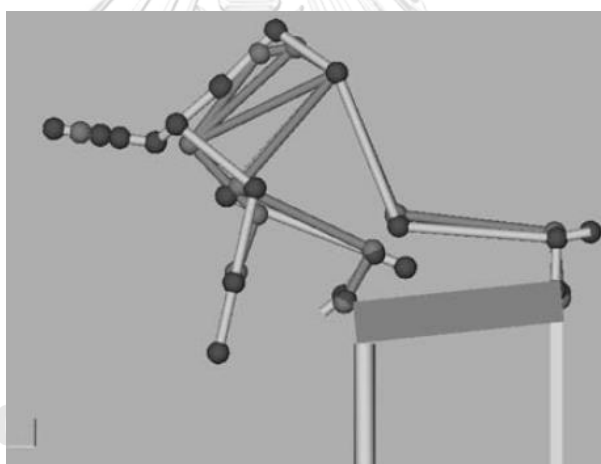
ให้เห็นเป็นจุดที่มีความเข้มแสงมากกว่าบริเวณอื่นๆ (นราธิป ทับศรี, ปฏิภาณ วงศ์ชมภู และ พีรพงษ์ คงถาวรกุล, 2552) ภาพที่บันทึกจากระบบกล้องบันทึกการสะท้อนแสงจะแตกต่างจากระบบกล้องถ่ายภาพวิดีโอ คือ ภาพที่บันทึกจะเห็นเฉพาะตัวติดบอกตำแหน่งหรือโครงร่างกายตามตัวติดบอกตำแหน่ง (Stick figure) หรือโครงร่างกาย 3 มิติ ไม่เห็นเป็นภาพตัวคน หรืออุปกรณ์กีฬา โดยใช้โปรแกรมเฉพาะกับระบบกล้องในการวิเคราะห์ข้อมูล หรือทำเป็นโครงร่างกาย เช่น โปรแกรม “Visual 3 dimension” เป็นต้น

2.2 การวิเคราะห์ท่าทางโดยปราศจากการทำเครื่องหมายบนร่างกาย (Markerless motion capture)

เป็นอีกหลักการของการวิเคราะห์การแสดงท่าทางของคน หลักการนี้จะไม่มีการทำสัญลักษณ์หรือเครื่องหมายไว้บนจุดต่าง ๆ ของร่างกายของผู้ถูกวิเคราะห์ โดยในหลักการนี้จะบันทึกภาพการเคลื่อนไหวมาวิเคราะห์ เพื่อทำการแยกแยะส่วนที่คาดการณ์ว่าจะเป็นร่างกายคนออกจากพื้นหลังจากนั้นจึงนำข้อมูลส่วนที่เป็นร่างกายคนจากภาพมาวิเคราะห์ท่าทาง ในหลักการนี้สามารถแยกย่อยวิธีการในการวิเคราะห์ท่าทางได้ 2 แบบคือ การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 2 มิติ (2 Dimension image processing) และการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 3 มิติ (3 Dimension image processing) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 2 มิตินั้นเป็นหลักการที่ได้รับความนิยมมาอย่างยาวนานโดยจะใช้รายละเอียดจุดสี (Pixel color) ของภาพมาทำการวิเคราะห์ท่าทางแต่อย่างไรก็ตามพบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 2 มิตินั้นมักมีปัญหาในเรื่องการแยกแยะส่วนของร่างกายคนออกจากพื้นหลังที่มีความซับซ้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ท่าทางตามไปด้วย นอกจากนี้แสงก็ยังเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลท่าทางอีกเช่นกัน ในทางกลับกันการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 3 มิติสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวของวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 2 มิติลงได้ด้วยสาเหตุที่จุดข้อมูลในภาพ 3 มิตินั้นมีส่วนของข้อมูลเชิงลึก (Depth data) ซึ่งช่วยในการแบ่งแยกระหว่างวัตถุแต่ละชิ้นให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพเชิงลึกนั้นเป็นอุปกรณ์ประเภทเซ็นเซอร์ (Sensor) จึงทำให้แสงไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ 3 มิติจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่หลายงานวิจัยในปัจจุบันให้ความสนใจในการวิเคราะห์ท่าทางของคน



ภาพที่ 60 โมเดลร่างกายคนกับตำแหน่งมาร์กเกอร์ในร่างกาย
(Hartel and Schleichardt, 2009)



ภาพที่ 61 การเคลื่อนไหวและตำแหน่งมาร์กเกอร์ในร่างกาย
(Hartel and Schleichardt, 2009)

3. การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ (3 Dimension motion analysis)

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติคือการใช้กล้องวิดีโอจำนวนอย่างน้อย 2 ตัวในการเก็บภาพการเคลื่อนไหวของคน และบันทึกไว้เป็นไฟล์วิดีโอ จากนั้นนำไฟล์วิดีโอทั้งหมดมาประมวลผลหาค่าตำแหน่งของข้อต่อเหล่านั้นโดยใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพ จากนั้นนำตำแหน่งบนภาพวิดีโอทั้งหมดมาคำนวณเพื่อหาตำแหน่งจริงใน 3 มิติ โดยตำแหน่งเหล่านี้จะถูกบันทึกลงไฟล์การเคลื่อนไหว

แบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปสร้างการเคลื่อนไหวให้กับตัวละคร 3 มิติ (दनัยชาติ แจ่มจิตรตรง และต่อศักดิ์ รักษารมณ, 2559)

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การกระโดดออกตัวในกีฬาว่ายน้ำ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าโดยส่วนใหญ่จะแบ่งกระบวนการในการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ตำแหน่งหรือเทคนิคในการติดมาร์กเกอร์ และกระบวนการในการตัดแยกมาร์กเกอร์จากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เพื่อนำไปคำนวณค่าทางจลศาสตร์ ในเรื่องตำแหน่งหรือเทคนิคในการติดมาร์กเกอร์ ซึ่งส่วนใหญ่มีตำแหน่งตามทฤษฎีต่าง ๆ แต่อาจมีการเพิ่มตำแหน่งในการติดมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ส่วนเรื่องการตัดแยกภาพกระบวนการต่าง ๆ เป็นทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการภาพ ขึ้นอยู่กับกระบวนการใดที่เหมาะสมกับชนิด หรือตำแหน่งมาร์กเกอร์แบบใด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวมีด้วยกันหลายวิธีเช่น การใช้มาร์กเกอร์ แบบพาสซีฟ (Passive marker), มาร์กเกอร์แบบแอคทีฟ (Active marker), เซ็นเซอร์สำหรับวัดมุมการเคลื่อนไหว (Angle sensor), เซ็นเซอร์สำหรับวัดความเร่งในการเคลื่อนที่ (Accelerative sensor) และการวิเคราะห์ท่าทางโดยปราศจากการทำเครื่องหมายบนร่างกาย ซึ่งแต่ละวิธีจะมีหลักการแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน

3.2 ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Movement analysis system)

ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใช้การวิเคราะห์โดยกล้องแบบเดี่ยวและกล้องแบบกลุ่ม เพื่อสร้างข้อมูลการเคลื่อนที่สองหรือสามมิติ ซึ่งจะช่วยในการคำนวณค่าทางคิเนมาติกส์ของงานในการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ได้ เพื่อความถูกต้องและมีประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ ควรพิจารณาชุดของข้อมูลในกล้อง วิธีการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ แบบ 2 หรือ 3 มิติ และท้ายสุดคือวิธีการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองข้อมูล ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจถูกแยกออกเป็นประเด็นต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาเมื่อทำการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใด ๆ ดังต่อไปนี้ (Richards, Thewlis and Hobbs, 2008)

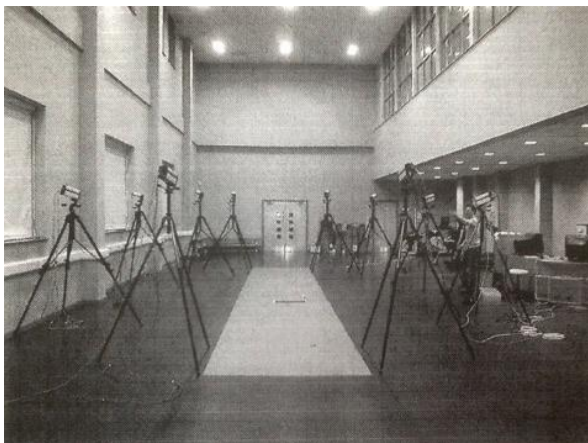
3.2.1 ตำแหน่งของกล้อง (Camera positioning)

การเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวต่าง ๆ โดยใช้กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ซึ่งจำนวนและตำแหน่งของกล้องจะบอกได้ว่าการศึกษานั้นมี 2 หรือ 3 มิติ สำหรับการศึกษแบบ 2 มิติจะใช้กล้องเพียง 1 ตัวเท่านั้น โดยตำแหน่งของกล้องจะต้องอยู่ใน

ระนาบที่สนใจ สำหรับการศึกษาระบบ 3 มิติจำเป็นต้องใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัว โดยตำแหน่งของกล้องเทียบกับการเคลื่อนไหวที่สนใจควรเป็นมุมฉาก (90 องศา) เพื่อให้ได้ความถูกต้องมากที่สุด ความแปรปรวนของผลการวิเคราะห์อาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้องในการศึกษาระบบ 3 มิติ และโดยทั่วไปอาจตั้งกล้องในมุมระหว่าง 60-120 องศา แม้ว่าการตั้งกล้องในมุมฉากจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ตาม (Woltring 1980) เมื่อใช้กล้อง 2 ตัวเพื่อศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหว มาร์กเกอร์ที่อยู่บนร่างกายบางครั้งอาจไม่ได้อยู่ในมุมที่กล้องสามารถจะจับภาพได้ ในกรณีนี้ไม่สามารถระบุตำแหน่งและติดตามมาร์กเกอร์เหล่านี้ได้ เนื่องจากกล้องทั้ง 2 ตัวจะต้องมองเห็นมาร์กเกอร์แต่ละตัวอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้กล้อง 4 ตัวขึ้นไป ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติเนื่องจากจะเพิ่มโอกาสในการการระบุตำแหน่งและการติดตามมาร์กเกอร์ขณะเคลื่อนไหวได้ทั้งหมด

จำนวนและตำแหน่งของกล้องไม่เพียงแต่ส่งผลต่อการระบุตำแหน่ง และการติดตามมาร์กเกอร์ แต่ยังมีความแม่นยำในการคำนวณพิกัดสุดท้ายของมาร์กเกอร์ได้อีกด้วย โดยการใช้น้ำหนักกล้องที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลของการลดหรือเพิ่มจำนวนกล้องบนความถูกต้องของข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย วอลตริงค์ (Woltring, 1980) ได้ทำการศึกษากล้องหลายรูปแบบ และวิถีในการเคลื่อนที่ของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่บนร่างกาย ในการศึกษาระบบ 3 มิติพบว่าเมื่อจำนวนกล้องเพิ่มขึ้น ข้อผิดพลาดในการคำนวณก็จะลดลง

อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาและพิจารณาจำนวน และตำแหน่งของกล้องในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เช่น ถ้ากล้องมีเพียง 3 ตัว ก็อาจจะมองเห็นมาร์กเกอร์ไม่ได้ทั้งหมด การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางกายวิภาค และการใช้ชุดมาร์กเกอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องขึ้นอยู่กับจำนวนกล้องที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลคิเนมาติกส์ที่ติดได้จากชุดมาร์กเกอร์ธรรมดาที่ถ่ายโดยกล้องทั้งหมด อย่างไรก็ตาม หากใช้มาร์กเกอร์เดียวกันแต่เพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น อาจทำให้ข้อมูลที่ออกมานั้นมีคุณภาพลดลง ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ห้องปฏิบัติการวิจัยโดยทั่วไปจึงต้องมีระบบกล้องที่มีกล้องตั้งแต่ 10 ตัวขึ้นไป (ดังภาพที่ 62) การพิจารณาองค์ประกอบเหล่านี้จึงมีความสำคัญมากหากต้องใช้แบบทางกายวิภาค และชุดมาร์กเกอร์ที่ซับซ้อนมากขึ้นในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ดังนั้น เพื่อให้ได้ระบบกล้องที่มีความเหมาะสมที่สุด จึงต้องมองไปถึงค่าใช้จ่าย ความพร้อมของพื้นที่ในการศึกษา และคุณภาพของสิ่งที่น่าสนใจ



ภาพที่ 62 ตำแหน่งมุมมองของกล้อง
(Richards, Thewlis and Hobbs, 2008)

3.2.2 ความเร็วของกล้อง ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง และความเร็วของชัตเตอร์ (Camera speed, Sampling frequency and Shutter speed)

อุปกรณ์มาตรฐานที่ประกอบด้วยกล้องวิดีโอแบบมีชัตเตอร์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์เนื่องจากราคาที่ถูกลง มีความไว และสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนไหวได้ดี (Bartlett et al., 1992) อัตราเฟรมจากกล้องวิดีโอมาตรฐานมักเป็นปัจจัยที่จำกัด เนื่องจากการทำงานที่ 25 ถึง 30 เฟรมต่อวินาที โดยให้อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับระบบพื้นฐาน (Phase alternate line) และ 60 เฮิร์ตซ์ สำหรับ (National television standards committee) ซึ่งเป็นระบบพื้นฐาน ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีวิดีโอใหม่ ๆ ให้มีการใช้งานง่าย ลดต้นทุน และพัฒนามาเป็นกล้องความเร็วสูงในปัจจุบัน

ระบบกล้องความเร็วสูงสามารถบันทึกรูปแบบการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น เช่น การวิ่งระยะสั้น ถ้าความเร็วของตัวอย่างเร็วขึ้น ความเร็วของกล้องก็จะเร็วขึ้นด้วยเช่นกัน ในปัจจุบันมีกล้องที่สามารถให้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างได้ถึง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในหลาย ๆ ด้านของมนุษย์มากกว่า โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างของไนควิสต์ (Nyquist's sampling) ต้องมีอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ ถึงแม้ว่าจะทำให้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างลดลงต่ำสุดก็ตาม (Antonsson & Mann, 1985)

ความเร็วชัตเตอร์หรือองค์ประกอบของชัตเตอร์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เนื่องจากทำให้ได้ภาพที่ชัดเจน ความเร็วของชัตเตอร์คือระยะเวลาที่ชัตเตอร์เปิดอยู่ หากชัตเตอร์เปิดค้างอยู่นาน ภาพจะกลายเป็นสีมัวหรือจะเห็นคล้ายมีรอยเปื้อน ซึ่งการศึกษาโดยทั่วไปต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์ 1/250 วินาทีหรือสูงกว่า แต่หากมีการบันทึกการเคลื่อนไหวที่มีความเร็วมาก เช่น การวิ่งระยะสั้น จำเป็นต้องใช้ความเร็วชัตเตอร์อย่างน้อย 1/1000 วินาที

3.2.3 การทำงานของกล้องพร้อมกัน (Synchronizing the cameras)

เมื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวด้วยกล้องมากกว่า 1 ตัว จำเป็นต้องมีการบันทึกการเคลื่อนไหวทั้งหมดพร้อมกัน และรวบรวมให้เป็นข้อมูลเดียวกัน จากนั้นจะสามารถรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็นภาพสามมิติของการเคลื่อนไหวได้ ข้อกำหนดประการหนึ่งที่ต้องทำเพื่อรวมมุมมองของกล้อง (Camera view) แต่ละตัวให้ได้ทั้งหมดพร้อมกัน คือกล้องแต่ละตัวจะบันทึกการเคลื่อนไหวที่ต่างกันว่าเรียกว่า การซิงโครไนซ์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละระบบ เช่น ระบบแสงแฟลช ระบบเสียง เตือนอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ เพื่อเริ่มทำการบันทึกการเคลื่อนไหวจากกล้องทั้งหมดที่ได้ทำการติดตั้ง นอกจากนี้ระบบบางส่วนยังทำการซิงค์การเปิด-ปิดชัตเตอร์ในกล้องแต่ละตัวเพื่อให้แน่ใจว่ากล้องแต่ละตัวจะจับภาพได้อย่างแม่นยำ และไม่ใช้แค่ภาพในเฟรมเดียวกันเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะทำโดยใช้อุปกรณ์คู่ (Charge coupled device; CCD) บนกล้อง

3.2.4 การสอบเทียบมาตรฐานพื้นที่ของภาพ (Calibrating image space)

เป็นกระบวนการที่ใช้พิกัด 3 มิติ โดยสรุปมาจากภาพ 2 มิติ ซึ่งต้องใช้ข้อมูลจากทั้งภายในกล้องและนอกกล้อง มักถูกเรียกว่าคุณสมบัติภายใน และภายนอกของกล้อง พารามิเตอร์ภายใน หมายถึงข้อมูล เช่นความยาวโฟกัส และศูนย์กลางของภาพที่สัมพันธ์กับเลนส์ และการบิดเบือนของเลนส์ พารามิเตอร์ภายนอกหมายถึงข้อมูลเช่น ตำแหน่งทิศทางของกล้อง และภาพในระบบพิกัดของการวัด ซึ่งโดยทั่วไปคือ ระบบพิกัดในห้องปฏิบัติการ หรือระบบพิกัดสากล (Geographic coordinate system; GCS) พารามิเตอร์ภายใน และภายนอกโดยทั่วไปใช้เทคนิคการสอบเทียบมาตรฐาน โดยใช้สำหรับพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การสอบเทียบมาตรฐานเหล่านี้ คือการสอบเทียบมาตรฐานเชิงเส้นของเลนส์กล้อง และการสอบเทียบมาตรฐานระบบของกล้อง ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1) การสอบเทียบมาตรฐานแบบสแตติก (Static calibration)

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจำเป็นต้องสอบเทียบมาตรฐานพื้นที่ภาพ และพื้นที่ที่จะทำการบันทึกการเคลื่อนไหว เพื่อให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งของการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งในการสอบเทียบมาตรฐานพื้นที่ภาพ ควรรู้จักตำแหน่งของจุดคงที่ (Fixed points) ภายในพื้นที่ที่ต้องการบันทึก โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึก และนำออกจากเฟรมโดยข้อมูลจะถูกเก็บรวบรวมเอาไว้

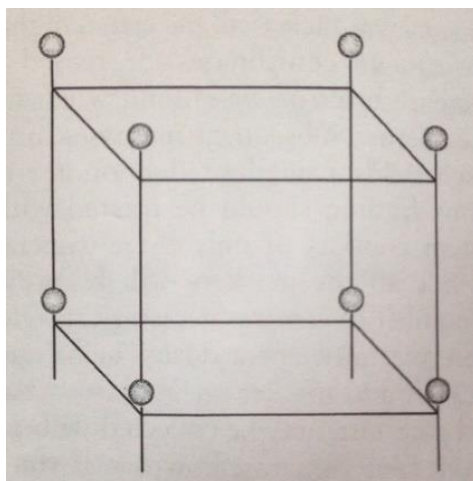
ความถูกต้องของข้อมูลจากระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับความถูกต้องของขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐาน สิ่งสำคัญคือการสอบเทียบมาตรฐานเฟรมของสัดส่วนพื้นที่ภาพแต่ละมุมของกล้อง และพิกัดในการสอบเทียบมาตรฐานต้องมีความถูกต้องเช่นกัน โดยระยะที่ ± 0.1 มิลลิเมตรสามารถใช้ได้กับทั้งสามระนาบ ข้อผิดพลาดใด ๆ ในตำแหน่งพิกัดที่สอบเทียบมาตรฐานจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการเคลื่อนไหวที่ทำการศึกษา

จำนวนตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับการศึกษาว่าเป็นการศึกษาแบบ 2 มิติ หรือ การศึกษาแบบ 3 มิติ ในการศึกษาแบบ 2 มิติ ต้องมีตำแหน่งอย่างน้อยสี่จุดในโค-แพลนน่า (Co-planar) เพื่อกำหนดการวัดให้อยู่ในระนาบเดียวกัน เมื่อทำการศึกษาแบบ 2 มิติต้องมีการสอบเทียบมาตรฐานให้ถูกต้อง ซึ่งความผิดพลาดในระบบ 2 มิติอาจเกิดจากข้อผิดพลาดในเรื่องของมุมกล้อง ซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อมาร์กเกอร์เลื่อนเข้าใกล้ หรือไกลออกจากกล้องที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งข้อจำกัดนี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องสอบเทียบมาตรฐานเฟรมให้อยู่ในระนาบเดียวกันกับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวที่ทำการบันทึกไว้

สำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติจำเป็นต้องใช้จุดควบคุมที่ไม่ใช่โค-แพลนน่า อย่างน้อยหกจุด (Woltring, 1980) (ดังภาพที่ 63) ซึ่งหมายความว่า ต้องมีมาร์กเกอร์ในทั้ง 3 ระนาบ การสอบเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ ต้องมีจุดสอบเทียบมาตรฐานมากกว่า 6 จุด เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลและเพื่อให้เกิดความถูกต้องยิ่งขึ้น

เมื่อตั้งค่าการสอบเทียบมาตรฐานแล้ว จุดควบคุมจะต้องมองเห็นได้ชัดเจนจากกล้องทั้งหมด แต่ขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐานอาจเกิดความผิดพลาดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าจุดที่สามารถมองเห็นมีจำนวนน้อยกว่า 6 จุด พื้นที่จุดควบคุมควรมีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่

จริงที่ใช้จับภาพการเคลื่อนไหว เนื่องจากส่วนที่อยู่นอกเหนือจากพื้นที่ที่ใช้สอบเทียบมาตรฐานจะถูกตัดออก (Woltring, 1980)



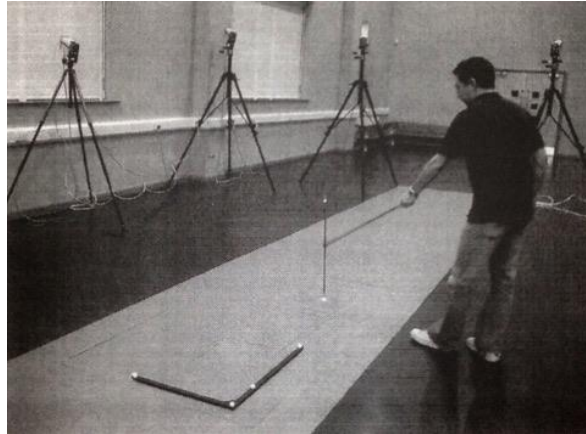
ภาพที่ 63 เปรณสอบเทียบมาตรฐานจากระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวในช่วงต้น
(Richards, Thewlis and Hobbs, 2008)

แดปนิชกีส์ และคณะ (Dabnichki et al., 1997) ได้ศึกษาความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการเก็บข้อมูลด้วยการเปลี่ยนการตั้งค่าการสอบเทียบมาตรฐาน ซึ่งดำเนินการโดยใช้ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสูงสุด โดยแดปนิชกีส์ และคณะ ได้ระบุว่ามี่ปัจจัยแตกต่างกัน 4 ปัจจัยคือ ระยะทางของวัตถุถึงกล้อง ระยะห่างของพื้นที่เมื่อเทียบกับขนาดของขอบเขตการสอบเทียบมาตรฐาน ตำแหน่งขอบเขตการสอบเทียบมาตรฐาน และความเร็วของการหมุนในแต่ละส่วน ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นตอบสนองได้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสี่ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น

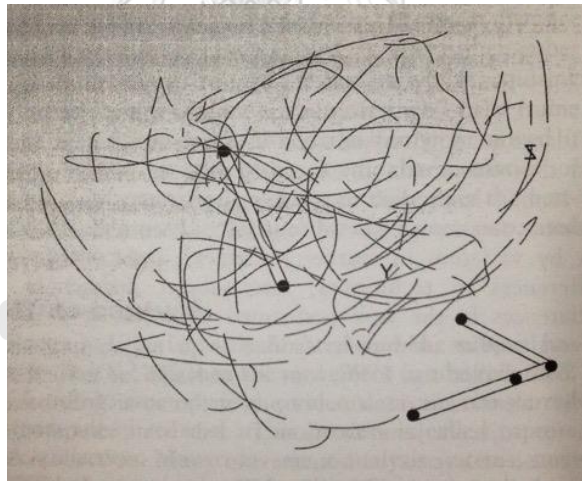
2) การสอบเทียบมาตรฐานแบบไดนามิก (Dynamic calibration)

การสอบเทียบมาตรฐานแบบไดนามิกสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่พบมากที่สุดและเป็นที่น่าเชื่อถือ คือการใช้เฟรมคกที่ เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นและทิศทางของแกน x และแกน y นอกเหนือจากเฟรมคกที่แล้วไม้สอบเทียบความแม่นยำ (Wand) จะเคลื่อนที่แบบไดนามิกผ่านวอลลุ่มของกล้อง (Volume) โดยมีพิกัดสองมิติที่ถูกสร้างขึ้นจากการเคลื่อนที่ของไม้สอบเทียบความแม่นยำ เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เรียกว่า บันเดิล แอชจัสท์เมนท์

(Bundle adjustment) (Brown and Rutter, 1966) จากขั้นตอนนี้ ตำแหน่ง และทิศทางของกล้อง และระบบพิกัดแบบ 3 มิติของไม้สอยเทียบความแม่นยำจะถูกคำนวณ ดังภาพที่ 64-65



ภาพที่ 64 การสอบเทียบมาตรฐานแบบไดนามิก
(Richards, Thewlis and Hobbs, 2008)



ภาพที่ 65 การสอบเทียบมาตรฐานแบบไดนามิก
(Richards, Thewlis and Hobbs, 2008)

3) การกำหนดพิกัดของมาร์กเกอร์แต่ละจุด (Norm of residuals)

การกำหนดพิกัดของมาร์กเกอร์แต่ละจุด เป็นการแสดงผลเกี่ยวกับข้อผิดพลาดที่เกี่ยวข้องในการสอบเทียบมาตรฐานช่วยให้ผู้ศึกษาสามารถระบุได้ว่ามีข้อผิดพลาดใด ๆ

หรือไม่ โดยปกติแล้วการกำหนดพิกัดของมาร์กเกอร์แต่ละจุดจะพบได้ในการสอบเทียบมาตรฐานในการทดลองในรูปแบบดิจิทัลแต่ละครั้ง

ส่วนที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะทำให้บอกได้ว่าการแก้ไขระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหวควรทำอย่างไร โดยการสอบเทียบมาตรฐานอาจมีการแสดงผลเพื่อให้ทราบถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการคำนวณหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์

4) ความถูกต้องของเลนส์ (Lens correction)

เลนส์ของกล้องอาจมีการบิดเบือนไปบ้าง สิ่งเหล่านี้เกิดจากวัสดุและความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยข้อผิดพลาดนี้อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดเล็ก ๆ น้อย ๆ ในระบบซึ่งอาจนำไปสู่ข้อผิดพลาดที่ร้ายแรงมากขึ้นในการสร้างภาพ 2 มิติ ทาสี และคณะ (Tasi et al., 1986) ได้พัฒนาวิธีการ โดยใช้จุดสอบเทียบมาตรฐาน 60 จุด แอนทอนส์สัน และแมน (Antonsson and Mann, 1989) ใช้มากกว่า 12,000 จุด เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ละเอียดขึ้น นอกจากนี้ ลาดิน (Ladin, 1990) ยังได้ทำการศึกษาความบิดเบือนของเลนส์ในแบบ 2 มิติ ด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ที่รู้ตำแหน่งในจุดที่เว้นระยะเท่า ๆ กัน โดยเอาค่าการวัดจากฟิล์มมาสอบเทียบมาตรฐานกับค่าที่คำนวณได้ ด้วยวิธีนี้แสดงให้เห็นว่า ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งจากการบิดเบือนของเลนส์เนื่องจากวัตถุที่วิเคราะห์จะเคลื่อนที่ห่างจากจุดที่ทำการวิเคราะห์ การสอบเทียบมาตรฐานสามารถใช้เพื่อแก้ไขความบิดเบือนของเลนส์ได้แม้ว่าจะไม่ถูกต้องมากนักก็ตาม

3.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data capture)

เมื่อกำลังได้ทำการตั้งค่าโดยการสอบเทียบมาตรฐาน และกลุ่มตัวอย่างได้รับการติดมาร์กเกอร์แล้ว จะสามารถทำการบันทึกการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งหลังจากบันทึกเสร็จสมบูรณ์ ข้อมูลที่บันทึกจะถูกส่งไปยังฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ กระบวนการนี้เรียกว่าการเก็บหรือการบันทึกวิดีโอ ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวมีมากมาย เช่น วิคอนท์ (VICON) (Jarrett et al., 1974), อีลิท (Elite) (Ferrigno and Pedotti, 1985) และควอลิซิส (Qualisys) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลในวิดีโอแล้วส่งไปยังฮาร์ดดิสก์ เช่นเดียวกับระบบกล้องหรือระบบโทรทัศน์ ประเภทที่สองเรียกว่าระบบวิดีโอ ระบบนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลวิดีโอลงในวิดีโอเทปก่อน จากนั้นจะถ่ายโอนไปยังฮาร์ดดิสก์ ซึ่งการใช้เทปวิดีโออาจลดความละเอียดลงเล็กน้อย เนื่องจากภาพจะถูกบันทึกลงบนเทปแบบอะนาล็อกก่อน แล้วจึงแปลงเป็นรูปแบบดิจิทัล แต่วิดีโอดิจิทัลนี้จะไม่มีการจำกัด แม้ว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อประมวลผลข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ระบบที่ใช้กล้อง เช่นควอลิซิส และวิคอนท์

จะบันทึกข้อมูลที่ส่งออกมาโดยตรงจากกล้อง เพื่อรักษาความละเอียดไว้ ระบบวิดีโอมีประโยชน์ในการบันทึกการเคลื่อนไหวลงในเทป แต่การถ่ายโอนจะไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม การติดตามมาร์กเกอร์มีแนวโน้มจะใช้เวลานานขึ้น และขนาดไฟล์จะใหญ่กว่าการถ่ายด้วยระบบกล้อง เมื่อข้อมูลวิดีโอถูกจัดเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์แล้ว สามารถเรียกดูข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ตลอดเวลา และสามารถแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

ชุมพล นวลวิจิตร (2562) ทำการศึกษา ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักท่าเลทพุลดาวนกับการฝึกดึงข้อที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักกีฬาปีนหน้าผาอายุ 14-16 ปี การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยน้ำหนักท่าเลท พุลดาวน กับการดึงข้อ ที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็ว ของนักกีฬาปีนหน้าผาอายุ 14-16 ปี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยนักกีฬาปีนหน้าผาชาย โครงการดาวรุ่งสมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย อายุ 14-16 ปี จำนวน 45 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกด้วยวิธีหลายขั้นตอนแบบผสม (Multi-state mix random sampling and selection) ประกอบด้วย การเลือกแบบอาสาสมัคร (Volunteer selection sampling method) แล้วทำการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) เพื่อแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม ๆ ละ 15 คน ทำการฝึกตามโปรแกรมที่กำหนดเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน โดยกลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกด้วยน้ำหนักท่าเลทพุลดาวน กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกการดึงข้อ และกลุ่มควบคุม ฝึกปีนหน้าผาทักษะทั่วไป ทำการทดสอบปีนหน้าผาระยะทาง 5 และ 15 เมตร ก่อนการทดลอง หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ และหลังการทดลอง 8 สัปดาห์ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำระหว่างกลุ่ม (One way measures: ANOVA) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำภายในกลุ่ม (One way repeated measures: ANOVA) และในกรณีที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post-hoc multiple comparison test) เป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการของฟิเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference : LSD) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

ผลการวิจัยพบว่า 1) ความสามารถในการเร่งการปีนหน้าผาทั้ง 5 และ 15 เมตร ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึกไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ความสามารถในการเร่งความเร็วในการปีนหน้าผาทั้งระยะทาง 5 และ 15 เมตร ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 4 และ 8 สัปดาห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้ง หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ กลุ่มทดลอง ที่ 2 ดีกว่ากลุ่มทดลอง ที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

งานวิจัยต่างประเทศ

ครอว์ซึค (Krawczyk, 2020) ทำการศึกษา ระดับสมรรถภาพของความเร็ว (speed capabilities) ในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ที่เป็นปัจจัยกำหนดระยะเวลาในการปีนวัตถุประสงคในการศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมินระดับสมรรถภาพความเร็วของนักกีฬาปีนหน้าผารุ่นเยาวชน และมุ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสามารถทางด้านความเร็ว และผลการแข่งขันในระดับนานาชาติ กลุ่มตัวอย่างเป็น เยาวชนหญิง และเยาวชนชายในประเภทอายุดังต่อไปนี้ เยาวชนหญิง A (อายุ 16.6 ปี) เยาวชนหญิง B (อายุ 14.5 ปี) เยาวชนชาย A (อายุ 16.87 ปี) และเยาวชนชาย B (อายุ = 14.8 ปี) ทำการวัดข้อมูลพื้นฐานของร่างกาย ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเยื่อไขมัน และค่าดัชนีมวลกาย และใช้การทดสอบวินเกต (Wingate Test) ในการทดสอบสมรรถภาพของความเร็ว ผลการศึกษาพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเวลาในการปีนหน้าผา ระหว่างกลุ่มของเยาวชนหญิง และเยาวชนเด็กชาย นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปีนหน้าผา และพลังสูงสุด (Peak power) ในกลุ่มเยาวชนหญิง B จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความสำคัญต่อการปีนหน้าผามากกว่าสมรรถภาพความเร็วของร่างกายเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่า ยังมีประสบการณ์ในการฝึกปีนหน้าผาสูง ก็จะส่งผลให้ทักษะทางด้านร่างกายเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการปีน

ลีกรีเนล, โรกอปสกี และดิวรีฟ (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019) ทำการศึกษาวเคราะห์คิเนมาติกส์ในการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วมหกรรมกีฬาเยาวชน โอลิมปิกเกมส์ 2018 (Youth Olympic Games) วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาลักษณะของสมรรถภาพในการปีนหน้าผา ของนักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วขณะทำการแข่งขันมหกรรมกีฬาเยาวชน โอลิมปิกเกมส์ 2018 ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับ คิเนมาติกส์การเคลื่อนไหวของกระดูกเชิงกราน (Trajectory of pelvic) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาปีนหน้าผาที่ทำการแข่งขันประเภทคอมบาย

(Combine) จาก 26 ประเทศ ประกอบด้วยนักกีฬาเพศชาย 21 คน และ เพศหญิง 21 คน อายุระหว่าง 14-18 ปี ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ บริเวณด้านหน้าของหน้าผาที่ความสูง 4.5 เมตร โดยแบ่งช่วงของเส้นทางการปีนออกเป็น 4 ช่วง ประกอบด้วยช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีน ช่วงที่สอง ช่วงที่สาม และช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีน ในการกระโดดสัมผัสที่ซัพเพดหยุดเวลาเป็นการสิ้นสุดเส้นทางการปีน ผลการศึกษาในช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีน นักกีฬาเพศหญิงมีระยะทางในการกระโดดตบที่ซัพเพดหยุดเวลาที่มากกว่าเพศชาย เนื่องจากสรีรวิทยาทางด้านร่างกายของเพศหญิงมีแขนที่สั้นกว่าเพศชาย จึงต้องกระโดดในช่วงสุดท้ายของเส้นทางที่มีระยะทางมากกว่า โดยความเร็วของจุดศูนย์กลางมวล มีการลดลงตลอดช่วงระยะทางของการเคลื่อนไหว โดยความเร็วที่ลดลงของจุดศูนย์กลางมวลมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย และยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า มีการลดลงสูงสุดในช่วงหลังจากตัวจับที่ 9 และในช่วงของการกระโดดสองครั้ง จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า สมรรถภาพในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว จะถูกกำหนดด้วยความสามารถในการเคลื่อนไหวของร่างกายที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความสำเร็จของนักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ได้แก่ 1) การลดการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างให้น้อยที่สุด เพื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวในแนวตั้ง 2) การรักษาความเร็วตลอดช่วงระยะทางการปีน และ 3) การรักษาความเร็วในการปีนภายหลังจากการกระโดดให้มากที่สุด

ซอล และคณะ (Saul et al., 2019) ทำการศึกษา ปัจจัยแห่งความสำเร็จในการปีนหน้าผา โดยการปีนหน้าผามีความต้องการทั้งทางด้านสมรรถภาพทางกายแบบเฉพาะเจาะจง (Specific physical) และทักษะทางด้านจิตใจ (Psychological skills) ในการปีนหน้าผา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพสูงสุดในการปีนหน้าผา โดยทำการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ ลักษณะทางจิตวิทยาในการปีนหน้าผา (Psychological characteristics) รูปแบบวิธีการฝึก (Training) และการฟื้นฟูร่างกาย (Recovery) โดยวิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic Review: SR) จากพับเมด (Pubmed), คอเครน ไลบรารี (Cochrane Library) และ กูเกิล สคอลล่า (Google scholar) จนถึงเดือนกันยายน 2561 ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางมานุษยวิทยาของนักกีฬาปีนหน้าผาที่ประสบความสำเร็จ จะมีความหนาของไขมันใต้ผิวหนังที่ต่ำ มีไขมันที่สะสมในร่างกายที่น้อย มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโพอาร์มสูง (Forearm) นักกีฬาปีนหน้าผาที่ได้รับการฝึกกล้ามเนื้อโพอาร์ม เฟล็กเซอร์ (Forearm flexors) มาเป็นอย่างดี และมีความสามารถทางแอโรบิก (Aerobic capacity) ที่สูง จะนำไปสู่ลักษณะการปีนหน้าผาที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนั้น ความแข็งแรง และความอดทนของแรงบีบมือ ความมั่นคงในการทรงตัว

(Postural stability) และการเคลื่อนไหวทางคินเนมาติกส์ที่ดี เป็นปัจจัยที่นำไปสู่การปีนหน้าผาที่มีประสิทธิภาพเช่นกัน นักปีนหน้าผามักจะมีนิ้วที่ยาว และมีช่วงเวลาในการรอแขนสำหรับยึดเกาะได้นาน ทางด้านลักษณะทางจิตวิทยา โดยทั่วไปจะมีลักษณะ “Iceberg profile” โดยการฝึกฝนอย่างต่อเนื่องด้วยฟิงเกอร์บอร์ด และการฝึกแบบไดนามิก เอกเซนตริก-คอนเซนตริก จะนำไปสู่การปีนการปีนได้จบเส้นทาง ในการปีนหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริง และระดับเรด พ้อยท์ (Red-point) ในการปีนหน้าผาประเภทลีด สรุปได้ว่าความแข็งแรง และอดทนของกล้ามเนื้อโพรอาร์มที่สูง เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการปีนหน้าผา โดยการปีนหน้าผาที่มีประสิทธิภาพจะมีความแม่นยำ และรวดเร็วในการปีน และมีการล้าของกล้ามเนื้อช้า เนื่องจากร่างกายมีการปรับตัวที่มีประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริกช้า ๆ ซึ่งการฝึกฝนอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการปีนหน้าผา เช่นการฝึกเอกเซนตริก - คอนเซนตริก ของกล้ามเนื้อฟิงเกอร์ เฟลกเซอร์ (Finger flexors) และตามด้วยการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery)

กว๋อ และคณะ (Guo et al., 2019) ทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงของกรดแลคติกในเลือด และการทำงานของกล้ามเนื้อ ในขณะที่ทำการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาปีนหน้าผาจำนวน 12 คน ทำการศึกษาโดยใช้เซ็นเซอร์สัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว และการบันทึกภาพการเคลื่อนไหวในขณะที่ทำการปีนหน้าผา โดยทำการทดสอบปริมาณกรดแลคติกในเลือดภายใน 3 นาที ภายหลังจากสิ้นสุดการปีน ผลการศึกษาพบว่า เวลาในการปีนเฉลี่ยอยู่ที่ 8.1 ± 2.1 วินาทีในการปีนหน้าผาระยะทาง 15 เมตร ปริมาณของกรดแลคติกในเลือดอยู่ที่ 7.6 ± 1.9 มิลลิโมล/ลิตร ความเร็ว และพลังในการปีนหน้าผา มีการเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้น หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดลง และยังพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณของกรดแลคติกในเลือด และเวลาปีนหน้าผา $r = 0.59, P = 0.043$ เซ็นเซอร์สัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวแสดงให้เห็นว่า กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส มีค่าการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดตามมาด้วยกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ โดยค่ามีเดียน ฟริควเ็นซีของเซ็นเซอร์สัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว (Median frequency of sEMG) ของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะทำการปีนหน้าผาระยะทาง 15 เมตร กลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ รูท มิน สแควร์ (%RMS) มีค่าที่สูงในช่วงสุดท้ายของการปีน มากกว่าในช่วงเริ่มต้นของการปีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของลำตัวส่วนบนซ้าย อย่างไรก็ตามกล้ามเนื้อลำตัวส่วนล่างไม่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดเซ็นเซอร์สัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว ในระหว่างการปีนอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ มี

ส่วนสำคัญในการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร โดยค่ามีเดียน ฟรีควีนซีของแขนมีการลดลงมากกว่าช่วงขา นั้นแสดงให้เห็นถึงการล้าที่เกิดขึ้นกับร่างกายส่วนบนที่มากกว่าขณะทำการป็น โดยความเข้มข้นของปริมาณของกรดแลคติกในเลือดมีการเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงชี้ให้เห็นว่า กระบวนการไกลโคไลซิสเป็นระบบพลังงานที่ให้พลังงานในการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะ 15 เมตร จากข้อมูลนี้แนะนำว่า การป็นหน้าผาประเภทความเร็วควรมีการพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อฟลักเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชลลิส และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ

แมคโดนัลด์ (Macdonald, 2018) ได้ศึกษา ความล้าของแรงบีบมือ (Handgrip fatigue) และเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพร์อาร์ม (Forearm girth) ในนักกีฬาป็นหน้าผาระดับกลาง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ วัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของแรงบีบมือในช่วง 30 นาทีของการป็นหน้าผาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในนักกีฬาป็นหน้าผาระดับกลาง วัตถุประสงค์รองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพร์อาร์ม ในช่วงการป็นหน้าผา และเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรง และระบุว่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของแรงบีบ และการเปลี่ยนแปลงเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพร์อาร์มมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาป็นหน้าผาระดับกลาง 10 คน อายุ 26.7 ± 6.7 ปี, ความสูง 174.5 ± 6.12 เซนติเมตร, มวล 68.14 ± 8.21 กิโลกรัม, %ไขมันในร่างกาย $15.75 \pm .63\%$, ประสบการณ์ในการป็นหน้าผา 7.3 ± 4.69 ปี ทำการวัดความแข็งแรงโดยใช้เครื่องวัดแรงบีบมือ และวัดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพร์อาร์ม โดยใช้สายวัด ทดสอบความสามารถในการป็นหน้าผาของนักกีฬาแต่ละคน โดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับการป็นหน้าผา เพื่อคัดเลือกนักกีฬาป็นหน้าผาระดับกลางเข้าร่วมการศึกษาวิจัย กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนทำการป็นหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริง 1 ใน 2 เส้นทางที่กำหนด โดยทำการป็นที่ครั้งก็ได้ภายในเวลา 30 นาที หลังจากทำการป็นในแต่ละครั้ง จะมีการวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยการจับชีพจรบริเวณข้อมือเป็นเวลา 15 วินาที และทำการวัดแรงบีบมือ และเส้นรอบวงของเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพร์อาร์ม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวัดซ้ำ (ANOVA) และความสัมพันธ์ที่ระดับ $p < .05$ ผลการศึกษาพบว่า ในการป็นแต่ละครั้งภายในระยะเวลา 30 นาที ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงบีบมือข้างที่ถนัด (Dominant handgrip strength) ลดลง 22% และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแรงบีบมือข้างที่ไม่ถนัด (Non-Dominant handgrip strength) ลดลง 23% ค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพร์อาร์มข้างที่ถนัด และไม่ถนัด (Dominant and non-dominant forearm girth) เพิ่มขึ้น 4.4% อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยในขณะป็นหน้าผาอยู่ที่ $71 \pm 4.2\%$ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) แสดงให้เห็นว่า การป็นหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริงในระยะเวลา 30 นาที จะมี

ความแข็งแรงของแรงบีบมือในนักกีฬาปีนหน้าผาระดับกลางลดลง เกิดการล้าของมือจากการปีนหน้าผาติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ในขณะที่ขนาดของเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อโพรฟิอรัมมีขนาดเพิ่มมากขึ้น จากภาวะการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อชั่วคราวในระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อทำการปีนหน้าผาติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน เรียกว่า ภาวะทรานเซียนไฮเปอร์โทรफी (Transient hypertrophy) หรือการ บีบ (Pump) ซึ่งเกิดจากการหลั่งของของเหลวสะสมในเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้น

ไจล์ และคณะ (Giles et al., 2017) ได้ศึกษา ความแตกต่างของออกซิเจนเนชั่น คิเนติกส์ (Oxygenation kinetics) ของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม โพรฟิอันดัส (Flexor digitorum profundus) ระหว่างมือข้างที่ถนัด และมือข้างที่ไม่ถนัด ในนักกีฬาปีนหน้าผา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาปีนหน้าผาจำนวน 28 คน โดยมีระดับในการปีนหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริง แบบออนไซต์ (On-sight) (หมายถึง การใช้ความพยายามการปีนในเส้นทางนั้น ๆ เพียงครั้งเดียวได้จบเส้นทาง) ที่ระดับความยากเกรดหกเอชถึงระดับแปดเอ (French grading) เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy), ออกซิเจนเนชั่น คิเนติกส์ ของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม โพรฟิอันดัส ได้รับการศึกษา โดยการคำนวณ เวลาในการฟื้นตัวครึ่งหนึ่ง ($t_{1/2}$ Recovery) ของดัชนีความอิ่มตัวของเนื้อเยื่อ (Transferrin) หลังจากขาดเลือด (Ischemia) เป็นเวลา 3-5 นาที การวิเคราะห์ความแปรปรวนผสมแบบกึ่งซ้อนกันสองทาง (2-Way mixed model ANOVA) พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.112$) สำหรับดัชนีความอิ่มตัวของเนื้อเยื่อคุณเพศ แต่อย่างไรก็ตาม มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.027$) ที่เกี่ยวข้องกับความถนัดของมือโดยมือข้างที่ถนัด มีการฟื้นตัวที่เร็วมากกว่า 13.6% (ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการฟื้นตัวของ $t_{1/2} = 1.12$ วินาที, 95% CI 0.13 ถึง 2.10 วินาที) เมื่อเทียบกับมือข้างที่ไม่ถนัด สรุปผลการวิจัย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญภายในบุคคล (Intra-individual) ของออกซิเจนเนชั่น คิเนติกส์ของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม โพรฟิอันดัส โดยการพัฒนาออกซิเจนเนชั่น คิเนติกส์ของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม โพรฟิอันดัส น่าจะเกิดจากความสามารถของกล้ามเนื้อในการขนส่ง และการใช้ออกซิเจน การพัฒนานี้อาจเกิดจากการปรับตัวของโครงสร้างในหลอดเลือดเล็ก (Microvasculature) เช่น การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของเส้นเลือดฝอย และการพัฒนาในส่วนของการกรองที่หลอดเลือดฝอย (Capillary filtration)

มิคาอิลอฟ (Michailov, 2014) ได้ศึกษา ลักษณะงาน (Workload Characteristic), ปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดของประสิทธิภาพในการปีนหน้าผา และวิธีการฝึกความแข็งแรงและความอดทนในการปีนหน้าผา พบว่า การปีนหน้าผาเกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดเกร็งกล้ามเนื้อเป็นช่วง

ๆ (Intermittent isometric) โดยการตอบสนองทางสรีรวิทยาของการปีนหน้าผาที่แตกต่างจากกีฬาชนิดอื่นคือ อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นสัดส่วนเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ออกซิเจน และไม่สามารถใช้อัตราการเต้นของหัวใจเป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการฝึกได้ โดยเป้าหมายหลักของการฝึกปีนหน้าผา ได้แก่: ความแข็งแรง และความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกล้ามเนื้อร่างกายส่วนบน ได้แก่ กล้ามเนื้อปลายแขน ที่ทำหน้าที่ในการงอ, แแรงระเบิดของกล้ามเนื้อแขน ที่ทำหน้าที่ในการงอ (Explosive power of the arm flexors), ความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อรอบหัวไหล่ (Strength endurance of the shoulder girdle) และความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อแกนกลางร่างกาย (Core maximal strength) การพัฒนาความแข็งแรงในการปีนหน้าผาโดยทั่วไปจะทำการพัฒนาผ่านการปีนหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริง, การห้อยตัวอยู่บนฟิงเกอร์บอร์ด (Hanging on fingerboards) และการพัฒนาความแข็งแรงผ่านการฝึกการปีนหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริงอย่างมีระบบ สำหรับรูปแบบการฝึกการห้อยตัวอยู่บนฟิงเกอร์บอร์ดจะใช้ในการพัฒนาความแข็งแรง ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงสุด และการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อได้ และยังเป็นเครื่องมือที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่า เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาความสามารถด้านความแข็งแรงของแรงระเบิดของกล้ามเนื้อ และการพัฒนาอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้ากล้ามเนื้อ รวมไปถึงการทำงานประสานสัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อ (Intramuscular and Intermuscular coordination) สำหรับการฝึกความอดทนส่วนใหญ่จะใช้วิธีการแบบหนักสลับเบา (Interval methods) สำหรับการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Aerobic capabilities) และการพัฒนาความสามารถแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic capabilities) โดยใช้รูปแบบการฝึกการปีนหน้าผาประเภทโบลเดอร์ริงติดต่อกันเป็นระยะเวลาสั้น (Long bouldering) หรือ การปีนหน้าผาที่ใช้เชือกคล้องอยู่ด้านบนของหน้าผา และการฝึกการปีนหน้าผาประเภท

คูคูบิสส์ และคณะ (Koukoubis et al., 2013) ได้ศึกษา คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อแขนขณะปีนหน้าผา โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรมการฝึกปีนหน้าผาเพื่อลดอาการบาดเจ็บที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อของร่างกายส่วนบน ซึ่งเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ที่ใช้ในการปีนหน้าผา โดยการศึกษานี้ทำการศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ของกล้ามเนื้อเฟิร์ส อินเตอร์ออสเซียส (First interosseous), กล้ามเนื้อเบรกีโอเรเดียลิส (Brachioradialis), กล้ามเนื้อเฟลทเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟีเชลลิส, และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกีโอ ในนักกีฬาปีนหน้าผาจำนวน 7 คน โดยทำการศึกษาพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ใช้ปลายนิ้วมือในการดึงร่างกายขึ้น (Pull-ups) นักปีนหน้าผาทำการดึงร่างกายจำนวน 3 ครั้ง ในลักษณะคว่ำมือ (Forearm pronate) โดยการดึงร่างกายแต่ละครั้ง

ประกอบด้วย 1) การห้อยตัวโดยใช้ 4 นิ้วของแต่ละมือ 2) การดึงร่างกายโดยมีการงอของข้อศอกสูงสุด (Maximum elbow flexion) และ 3) การกลับสู่ตำแหน่งเดิมแบบช้า ๆ โดยพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะออกแรงสูงสุด ได้รับการศึกษาแยกเฉพาะในแต่ละมัดกล้ามเนื้อ และพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะถูกนอเมิลไลซ์ให้เป็นคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน ผลการทดสอบพบว่า ขณะทำการห้อยตัวกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส แสดงถึงค่าพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่สูงที่สุด (0.64 ± 0.20) ขณะทำการดึงร่างกาย โดยค่าพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดถูกสร้างโดยกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส (0.69 ± 0.25) และกล้ามเนื้อเบรกีโอเรเดียลิส (0.67 ± 0.19), ในขณะที่กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกีโอไมค่าเพียง 0.33 ± 0.12 และกล้ามเนื้อเฟิร์ส อินเตอร์ออสเซียส 0.09 ± 0.06 ในขณะช่วงปล่อยร่างกายลง (Lowering) กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิสมีค่าพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดอีกครั้ง (0.74 ± 0.24), ในขณะที่ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเบรกีโอเรเดียลิสลดลงเป็น 0.42 ± 0.14 และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกีโอเป็น 0.15 ± 0.15 โดยกล้ามเนื้อเบรกีโอเรเดียลิส และกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกีโอแสดงให้เห็นถึงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดทันทีขณะที่ทำการดึงร่างกายขึ้น และช่วงปล่อยร่างกายลงในขณะที่กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิสยังมีการแสดงค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่สูงอยู่อย่างคงที่ จากผลการศึกษาในครั้งนี้แนะนำว่ากล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส ไม่ได้ทำให้เกิดการงอของข้อศอก แม้ว่ากล้ามเนื้อจะมีการพาดผ่านข้อศอกก็ตาม โดยค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส และกล้ามเนื้อเบรกีโอเรเดียลิสนำไปสู่การอธิบายการเกิดการบาดเจ็บขณะทำการปีนหน้าผา ดังนั้นหากต้องการป้องกันการเกิดอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อในขณะที่ปีนหน้าผา ทำได้โดยการออกแบบโปรแกรมการฝึกที่เน้นการพัฒนากล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟิเชิลลิส และกล้ามเนื้อเบรกีโอเรเดียลิส

เรียวโกะ (Ryepko, 2013) ได้ศึกษาคุณสมบัติ และการทำงานของความเร็ว และความสามารถในการใช้พลังงานของนักกีฬาปีนหน้าผาในแต่ละประเภท เพื่อเปรียบเทียบ และศึกษา ลักษณะการทำงานของความพร้อมทางด้านความเร็ว – แแรง (Speed- Force readiness) กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วยนักกีฬาจำนวน 26 คน 10 คน เป็นผู้เชี่ยวชาญการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ระดับนานาชาติ อีก 10 คน เป็นผู้เชี่ยวชาญการปีนหน้าผาประเภทลีด และประเภทโบลเดอร์ริ่ง และอีก 6 คน เป็นนักกีฬาปีนหน้าผาระดับโลก อายุของนักกีฬาอยู่ระหว่าง 19-22 ปี จากผลการศึกษาพบว่า การปีนหน้าผาในแต่ละประเภทจะมีความต้องการในการพัฒนาองค์ประกอบของสมรรถภาพพลังความเร็วของร่างกาย (Speedpower fitness's components) ที่แตกต่างกัน โดยการปีนหน้า

ผาประเภทความเร็วจะมุ่งเน้นการพัฒนาพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ (Explosive power) การปีนหน้าผาประเภทลีด และประเภทโบลเดอร์ริง จะแสดงถึงการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Strength) และกำลังอดทน (Power endurance) ในแต่ละช่วงของการปีน ส่วนการปีนหน้าผาจริงจะเกี่ยวกับการพัฒนากำลังอดทนในระยะเวลากการปีนที่เป็นเวลานาน

เมลล์บาวเออร์, สติชเลอร์ และกรานาเชอร์ (Muehlbauer, Stuerchler and Granacher, 2012) ได้ศึกษา ผลของการปีนหน้าผาต่อความแข็งแรง และการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อแกนกลาง ในวัยหนุ่มสาว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกปีนหน้าผาจำลอง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลาง และความแข็งแรงของแรงบีบมือ และการเคลื่อนไหวของลำตัว โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นหนุ่มสาวเพศชายและหญิง จำนวน 28 คน เข้าร่วมในกลุ่มทดลอง (30 ± 3 ปี) และกลุ่มควบคุม (29 ± 2 ปี) โดยกลุ่มทดลองได้ทำการฝึกปีนหน้าผาจำลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (2 ครั้ง/สัปดาห์) ตามด้วยการหยุดพักการฝึกปีนหน้าผาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ การทดสอบประกอบด้วยการวัดความแข็งแรงของไอโซเมตริกสูงสุด (Maximal isometric strength) ของการงอลำตัว (Trunk flexors) และการเหยียดลำตัว (Trunk extensors), การทดสอบการเคลื่อนไหวของลำตัวในแนวระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็นซีกซ้าย - ซีกขวา และแนวระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ซีกหน้า - ซีกหลัง และการทดสอบความแข็งแรงของแรงบีบมือหลังจากการฝึกพบว่า มีการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของความแข็งแรงของไอโซเมตริกสูงสุด ของการงอลำตัว และการเหยียดลำตัว ($\sim 19-22\%$, $p < 0.01$), การเคลื่อนไหวของลำตัวในแนวระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็นซีกซ้าย - ซีกขวา และระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ซีกหน้า - ซีกหลัง ($\sim 14-19\%$, $p < 0.01$), และความแข็งแรงของแรงบีบมือ ($\sim 5\%$, $p < 0.01$) ในขณะที่หยุดพักการฝึกปีนหน้าผาพบว่า ความแข็งแรงของไอโซเมตริกสูงสุด ($\sim 12-13\%$, $p < 0.01$) และการเคลื่อนไหวของลำตัว ($\sim 7-10\%$, $p < 0.01$) มีการเสื่อมสภาพลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความแข็งแรงของแรงบีบมือยังคงเท่าเดิม จากผลการทดสอบในครั้งนี้แนะนำว่าการปีนหน้าผาจำลองควรที่จะเน้นการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว (Core muscle strength) และการเคลื่อนไหวของลำตัว (Trunk mobility)

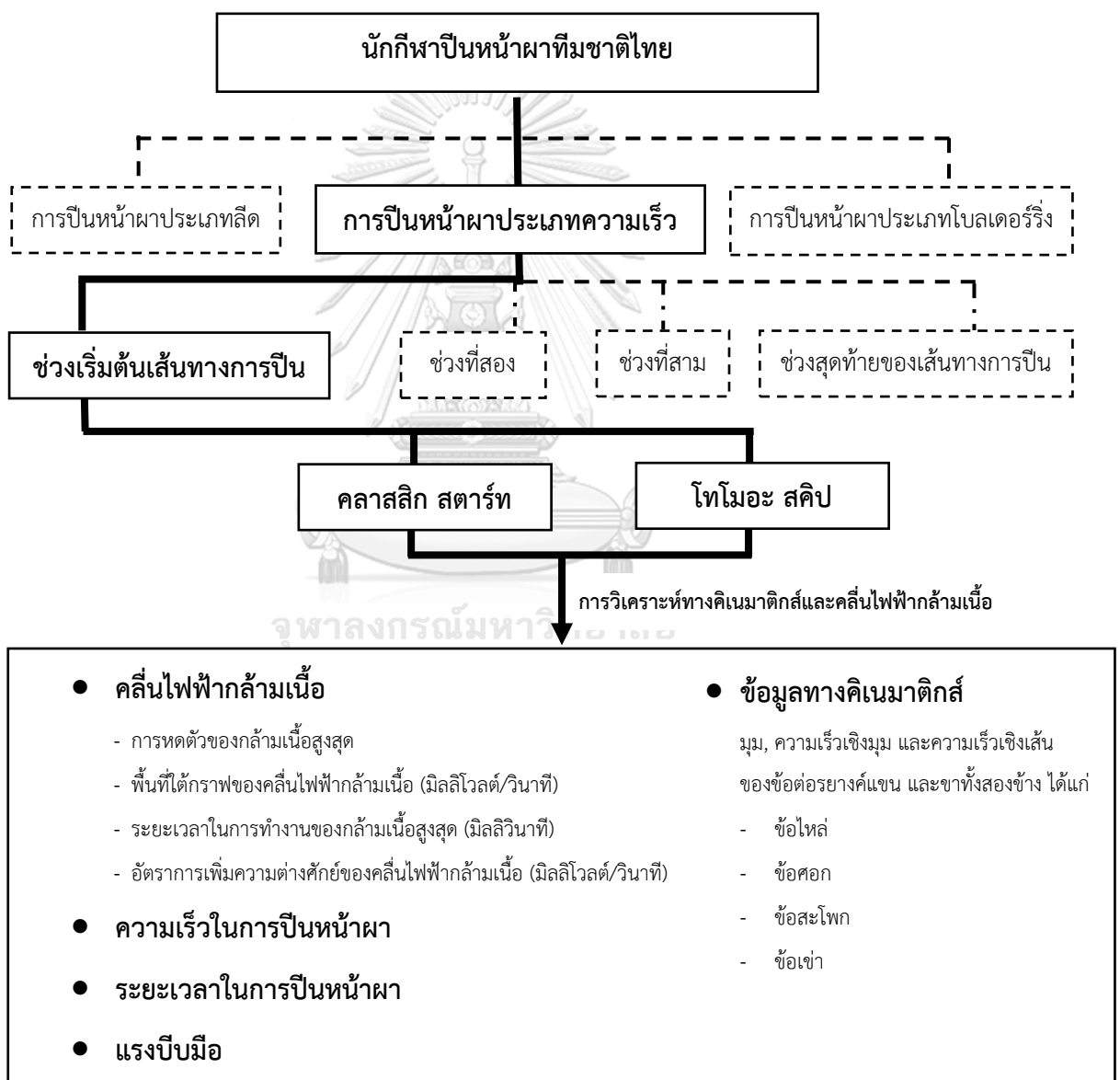
วัตต์ และคณะ (Watts et al., 2008) ได้ศึกษา ความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อปลายแขนระหว่างขณะทำการปีนหน้าผา กับขณะวัดแรงบีบมือ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบันทึกการตอบสนองของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อปลายแขน สำหรับลักษณะของมือในการปีนหน้าผา 6 ลักษณะ และเปรียบเทียบการตอบสนองของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทำการปีนหน้าผากับขณะออก

แรงบีบมือสูงสุด กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาปีนหน้าผาที่มีประสบการณ์จำนวน 5 คน ทำการทดสอบการดึงร่างกายขึ้น และการปล่อยร่างกายลง จำนวน 4 ครั้ง ที่หน้าผาที่เอียงระดับ 45 องศา โดยการกำหนดลักษณะของมือในการเกาะที่หน้าผา 6 ลักษณะ ได้แก่ การเกาะที่หน้าผาแบบครีมป์, แบบบีบ, แบบการใช้สอง และสามนิ้วมือร่วมกัน (2F1, 2F2, 2F3 combinations) และแบบโอเพ่นครีมป์ โดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบริเวณปลายแขนถูกบันทึกผ่านตัวรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว โดยทำการบันทึกข้อมูลในการดึงร่างกายขึ้น และการปล่อยร่างกายลงครั้งที่ 2 โดยก่อนทำการปีนจะมีการทดสอบแรงบีบมือสูงสุด และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ พร้อม ๆ กัน ผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงบีบมือสูงสุดเท่ากับ 526.6 ± 33.3 นิวตัน ระยะเวลาในการปีนที่สมบูรณ์ในแต่ละลักษณะของมือทั้ง 6 ลักษณะอยู่ระหว่าง 3.1 ± 0.5 และ 4.8 ± 0.9 วินาที โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดในระหว่างปีนหน้าผามีค่าที่สูงกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงบีบมือสูงสุด ($p < .05$) เนื่องจากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของลักษณะการปีนหน้าผาทั้งหมดมีค่าสูงกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงบีบมือสูงสุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การวัดแรงบีบมือไม่มีความจำเพาะต่อการปีนหน้าผาจริง

เจนเซน และคณะ (Jensen et al., 2005) ได้ศึกษา แรงของมือในแนวตั้ง (Vertical hand force) และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อปลายแขน ขณะทำการเคลื่อนไหวในลักษณะแบบไฮ สเต็ปในการปีนหน้าผา (High-step rock) โดยการเพิ่มน้ำหนัก และปราศจากการเพิ่มน้ำหนัก โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคือ การบันทึกแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้ง (Vertical ground reaction force) ของมือขณะทำการเคลื่อนไหวในการปีนหน้าผา โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักปีนหน้าผาที่มีประสบการณ์จำนวน 8 คน ทำการปีนหน้าผาได้สมบูรณ์และจบเส้นทางจำนวน 4 รอบ โดยทำการทดสอบการปีนโดยมีเพียงน้ำหนักตัว (Body mass) เป็นแรงต้าน จำนวน 2 รอบ และทำการปีนหน้าผาแบบมีการเพิ่มน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม จำนวน 2 รอบ โดยมีแผ่นวัดแรง (Force platforms) จำนวน 2 แผ่น ฝังอยู่ที่พื้นผิวของผนังที่ใช้ในการปีน ในระหว่างการเคลื่อนไหวการปีนหน้าผา จุดที่จะมีการวัดแรงเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีน้ำหนักตกลงโดยเท้าข้างขวา และมือข้างขวาวางบนแผ่นวัดแรงทั้ง 2 แผ่น โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้ง และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อปลายแขน ถูกบันทึกไว้ที่ 500 เฮิรตซ์ ตลอดการเคลื่อนไหว โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งสูงสุดของการปีนหน้าผาแบบมีการเพิ่มน้ำหนัก สูงกว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งสูงสุดของการปีนโดยมีเพียงน้ำหนักตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งนั้น สูงกว่าค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งที่จุดสูงสุดของพื้นที่ได้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงขณะที่มีการเคลื่อนไหว และพบว่าไม่มีความแตกต่างของพื้นที่ได้กราฟ

ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงขณะที่มีการเคลื่อนไหว ของทั้งการป็นหน้าผาแบบเพิ่มน้ำหนัก และแบบปราศจากการเพิ่มน้ำหนัก โดยการเพิ่มน้ำหนักจะช่วยเพิ่มการรองรับด้วยมือ แต่จะไม่เกี่ยวข้อง กับพื้นที่ได้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงขณะที่มีการเคลื่อนไหวที่จุดการเกิดแรงสูงสุด

กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตรในนักกีฬาป็นหน้าผาทีมชาติไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย และรูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการป็นหน้าผาประเภทความเร็วในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการป็นหน้าผา ที่แตกต่างกันสองรูปแบบ ได้แก่ แบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็วทีมชาติไทยชุดใหญ่เพศชาย จำนวนทั้งสิ้น 12 คน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็ว เพศชาย คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยเทียบเคียงกับงานวิจัยของ เรฟเวอเรนท์ และคณะ (Reveret et al., 2020) โดยนำค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาคำนวณผ่านโปรแกรม G*Power เวอร์ชัน 3.1.9.4 แบบดีเพนเดนท (Dependent) โดยกำหนดความเชื่อมั่น เท่ากับ 95% ($\alpha = 0.05$) มีอำนาจในการทดสอบ (Power of test) ที่ระดับ 0.80 และกำหนดขนาดอิทธิพล (Effect size) ที่ระดับ 0.98 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 8 คน และเพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่าง จึงได้เพิ่มกลุ่มตัวอย่างเป็น 10 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากนักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็ว ทีมชาติไทยชุดใหญ่ ชุดเตรียมการแข่งขันกีฬาเอเชียนบิชเกมส์ 2021

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย (Inclusion criteria)

1. เป็นนักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็ว ทีมชาติไทยชุดใหญ่ เพศชาย สัญชาติไทย ที่กำลังเก็บตัวเพื่อเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาเอเชียนบิชเกมส์ 2021 ครั้งที่ 6 ณ เมืองชานย่า ประเทศจีน
2. มีการฝึกซ้อมกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็วเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา และยังเข้าร่วมการแข่งขันอยู่ในระยะเวลา 1 ปีที่ผ่านมา อย่างน้อย 1 ครั้ง
3. อายุระหว่าง 18 – 25 ปี

4. มีสุขภาพสมบูรณ์ ไม่มีปัญหาการบาดเจ็บจนเป็นอุปสรรคต่อการเข้าร่วมการวิจัย เช่น การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ การบาดเจ็บของข้อต่อ หรือเส้นเอ็น ที่มีความรุนแรงระดับที่มีผลต่อการเก็บข้อมูล

5. ในกรณีที่มีนักกีฬาที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมากกว่า 10 คน จะคัดเลือกตามสถิติผลการแข่งขันในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา 10 คนแรกที่มีผลการแข่งขันสูงสุด

6. สนใจเข้าร่วมการวิจัยและยินยติลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากงานวิจัย (Exclusion criteria)

1. กลุ่มตัวอย่างไม่สนใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ
2. กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบตามรูปแบบที่กำหนด

การพิทักษ์สิทธิของผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยพบผู้เข้าร่วมวิจัยและแนะนำตัว อธิบายวัตถุประสงค์และขั้นตอนในการทำวิจัย พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการทำวิจัย และชี้แจงให้ทราบว่าการเข้าร่วมในการวิจัยเป็นการเข้าร่วมโดยสมัครใจ การตอบรับหรือการปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ จะไม่มีผลต่อผู้เข้าร่วมวิจัย และผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ ข้อมูลทุกอย่างถือเป็นความลับ และนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น ผลการวิจัยจะนำเสนอในภาพรวม ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถแจ้งการขอออกจากการวิจัยได้ก่อนที่การวิจัยจะสิ้นสุดลง โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลหรือคำอธิบายใด ๆ ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะไม่มีผลอันใดต่อผู้เข้าร่วมวิจัยและครอบครัว เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย ทั้งนี้ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยจะดำเนินการเก็บรวบรวมด้วยตนเอง หากผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดอาการบาดเจ็บ ในขณะที่ดำเนินการทดลองหรือเป็นผลมาจากการทดลอง ผู้วิจัยจะพาไปพบแพทย์และจะเป็นผู้ดำเนินการออกค่าใช้จ่ายในการรักษาที่เกิดจากการเข้าร่วมงานวิจัยในครั้งนี้ทั้งหมด

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) รุ่น “Wave Plus wireless EMG miniwave waterproof; Cometa 7 chanel (Italy)” (ภาคผนวก ซ) ทำงานร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมดูแลในการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวด้วยตนเอง

2. กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวความถี่สูงแบบอินฟราเรดจำนวน 9 ตัว (Oqus 7+, Qualisys AB, Sweden) เป็นอินฟราเรด เบส (Infrared base) จำนวน 8 ตัว และวิดีโอ เบส (Video base) จำนวน 1 ตัว พร้อมโปรแกรมควบคุมการจับภาพ (Qualisys Track Manager 2.14, Qualisys AB, Sweden)

3. มาร์กเกอร์ (Retro reflective marker) ขนาด 1.5 เซนติเมตร จำนวน 14 อัน

4. เครื่องมือวัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometric measurements) ได้แก่

4.1 เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) รุ่น “Body composition analyzer ioi 353” ผลิตโดยบริษัทโอมรอน เฮลแคร์ (Omron healthcare, Netherland) (ภาคผนวก ฉ) เพื่อวัดสัดส่วนของร่างกายดังต่อไปนี้

4.1.1 ความสูง (Height), น้ำหนัก (Weight)

4.1.2 ดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI)

4.2 เครื่องวัดความยาว (Segmometer) โดยใช้สายวัด (Measurement tape) (รับประกันโดย มอก.) (ภาคผนวก ฉ) เพื่อวัดสัดส่วนของร่างกายดังต่อไปนี้

4.2.1 ความยาวของแขน (Length of arm)

4.2.2 ความยาวของขา (Length of leg)

4.2.3 ความกว้างช่วงอก (Chest width)

4.2.4 ความกว้างช่วงสะโพก (Hip width)

4.3 เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip dynamometer) (ภาคผนวก ฉ)

5. แอลกอฮอล์และสำลี

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล

หน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร สมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย สนามราชมิ่งคลากีฬาสถาน 286 ซอย รามคำแหง 24 แยก 18 แขวง หัวหมาก เขต บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการวิจัย

1. ทำการศึกษาข้อมูล ทฤษฎี บทความ เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดวิธีการใช้เครื่องมือและรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องมือทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

2. นำเสนอโครงการวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาทางจริยธรรมจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ทำการติดต่อขอใช้สถานที่ และยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (ภาคผนวก ก และ กฏ) โดยใช้หน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร ของสมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย สนามราชวังคลาภิฬาสถาน เป็นสถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล

4. ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ถึงนายกสมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย และติดต่อผู้ฝึกสอนกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วทีมชาติไทย เพื่อขออนุญาตเข้าพบนักกีฬา และเพื่อขอความอนุเคราะห์ขอตัวนักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ทีมชาติไทยชุดใหญ่ ชุดเตรียมการแข่งขันกีฬาเอเชียนบีชเกมส์ 2021 มาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

3. ทำการอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติอย่างละเอียดกับผู้ช่วยวิจัย เพื่อให้รับทราบและเข้าใจตรงกันก่อนทำการทดสอบจริง โดยมีผู้ช่วยวิจัยจำนวน 5 คน ได้แก่ เจ้าหน้าที่จากศูนย์ทดสอบ วิจัย วัสดุ และ อุปกรณ์ทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 2 คน มีหน้าที่ในการควบคุมชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว โอควัส ควอลิซิส (Oqus qualisys) และนิสิตระดับปริญญาเอก เพศชาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาจำนวน 3 คน มีหน้าที่ช่วยควบคุมอุปกรณ์ตามตำแหน่งต่าง ๆ ช่วยทำการติดมาร์กเกอร์ ติดอิเล็กทรอนิกส์ และวัดสัดส่วนของร่างกายให้แก่กลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้ควบคุมขั้นตอนการทดลองทั้งหมด

4. ทำการอธิบายชี้แจงต่าง ๆ เกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติอย่างละเอียดก่อนการทดลองจริงแก่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้รับทราบ และเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินการทดลอง และทำการชี้แจง และขออนุญาตบันทึกภาพการเคลื่อนไหวในขณะที่ดำเนินการทดลองการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร นอกจากนี้ยังมีการอธิบายถึงสิทธิในการยินยอม หรือปฏิเสธในการเข้าร่วมวิจัย ให้กลุ่มตัวอย่างรับทราบและเซ็นยินยอมเข้าร่วมวิจัย

5. การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีรูปแบบการศึกษาทดลองแบบไขว้กัน (Cross over design) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็ว เพศชาย อายุระหว่าง 18-25 ปี ทำการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนจะต้องทำการปีนหน้าผาในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่การปีนแบบคลาสสิก สตาร์ท หรือการปีนแบบจับตัวจับ และแบบ โทโมอะ สคิป หรือการปีนแบบการกระโดดข้ามตัวจับ โดยทำการปีนในแต่ละรูปแบบจำนวน 3 ครั้งที่สมบูรณ์ด้วยความเร็วสูงที่สุดที่สามารถทำได้ โดยแต่ละครั้งของการปีนเว้นระยะห่าง 5 นาที (การปีนได้สมบูรณ์หมายถึง การปีนที่มีรูปแบบการเคลื่อนไหวในช่วงของการเริ่มต้นเส้นทางการปีนหน้าผาตามที่กำหนด (แบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป) โดยที่ก๊ลองทุกตัวสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวของมาร์กเกอร์ทุกตัวได้ โดยที่ไม่มีมาร์กเกอร์ตัวใดหลุดจากตำแหน่งที่ติด หรือถูกบังโดยส่วนอื่นของร่างกาย หากการปีนมีครั้งที่ไม่สมบูรณ์ต้องมีการเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง (re-runs) โดยพักระหว่างครั้งของการปีนเป็นเวลา 5 นาที โดยต้องได้รับการบันทึกทั้งหมด 6 ครั้ง เพื่อเลือกครั้งที่มีสถิติดีที่สุดในการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ทจำนวน 1 ครั้ง และครั้งที่มีสถิติดีที่สุดในการออกตัวแบบ โทโมอะ สคิปจำนวน 1 ครั้ง มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม และพักระหว่างรูปแบบของการปีนเป็นระยะเวลา 10 นาที รวมระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 60 นาที โดยกลุ่มตัวอย่างจะทำการทดสอบต่อเนื่องกันในการปีนหน้าผาแต่ละรูปแบบ

วิธีการเก็บข้อมูล

1. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจากเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย และเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการงานวิจัย โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการตอบแบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกนักกีฬาเข้าร่วมงานวิจัย (ภาคผนวก ง) สถานที่ในการคัดกรองคือ หน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร สมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย สนามราชมังคลากีฬาสถาน โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้คัดกรองกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง

2. ติดตั้งก๊ลองวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจำนวน 9 ตัว เป็นอินฟราเรด เบสจำนวน 8 ตัว บริเวณด้านหลัง (Posterior view) และด้านข้าง (Lateral view) ของหน้าผาจำลองประเภทความเร็ว และเป็นวิดีโอ เบสจำนวน 1 ตัว บริเวณด้านหน้าของหน้าผาจำลองประเภทความเร็ว (ภาคผนวก ก) ทำการสอบเทียบความแม่นยำของการวัดจนได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของไม้สอบเทียบความแม่นยำ (Wand) ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร จากคู่มือการใช้งาน (ภาคผนวก ข) กำหนดให้แกนตั้งเป็นแกนแซด (Z-

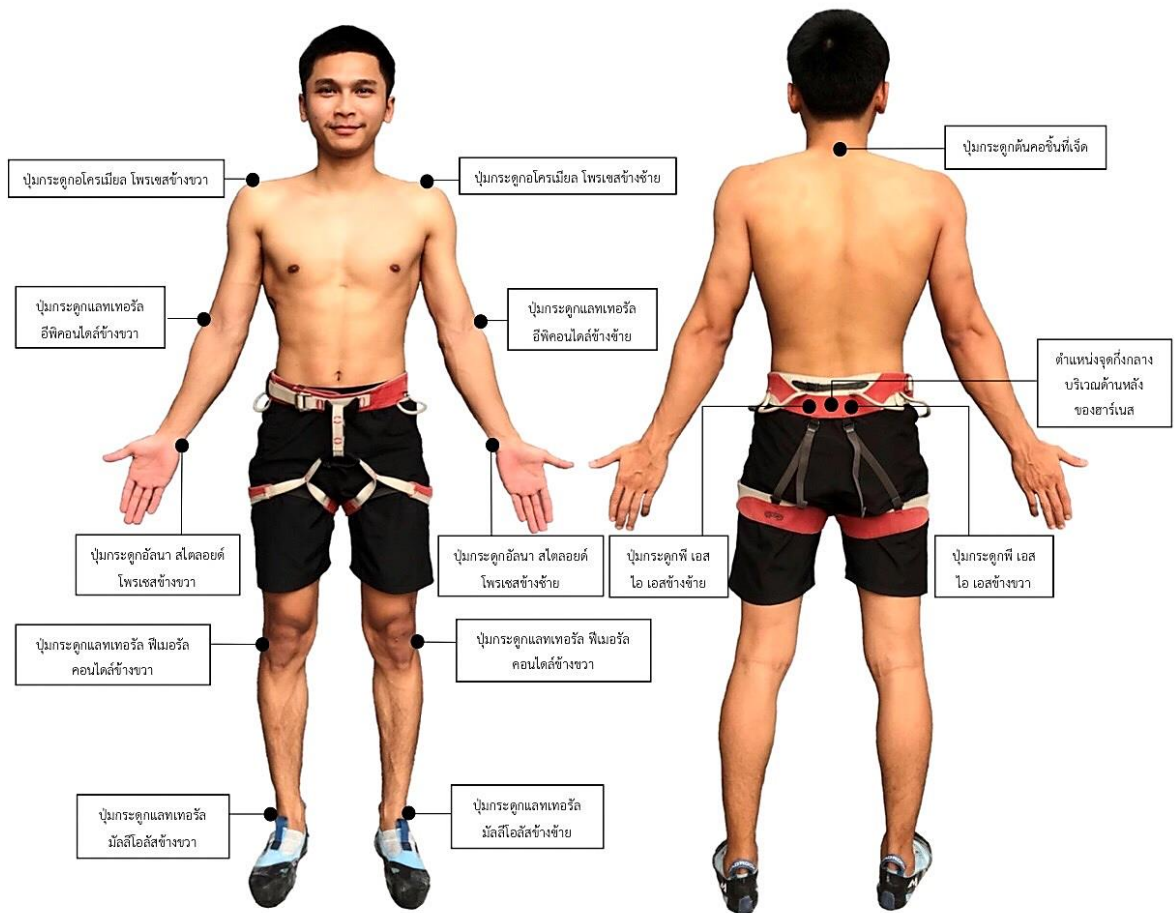
axis) แกนหน้าหลังเป็นแกนวาย (Y-axis) และแกนตามขวางเป็นแกนเอ็กซ์ (X-axis) พร้อมตรวจสอบ ปริมาตรการวัดการเคลื่อนไหวทั้งหมดให้ครอบคลุมช่วงการเคลื่อนไหวในการปีนหน้าผาของกลุ่ม ตัวอย่าง

3. อธิบายวัตถุประสงค์ และขั้นตอนของการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทราบอย่างละเอียด พร้อมให้ กลุ่มตัวอย่างลงนามในเอกสารยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

4. บันทึกข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ, ส่วนสูง, น้ำหนัก, ดัชนีมวลกาย, แรงแบบบีบมือ, สัดส่วนของร่างกาย ได้แก่ ความยาวแขน ความยาวขา ความกว้างช่วงอก และช่วงสะโพก (ภาคผนวก จ)

5. กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย (Fullbody warm up) เป็นเวลา 25 นาที ประกอบด้วย วิ่งเหยาะ ๆ เป็นเวลา 10 นาที ยืดเหยียดร่างกายแบบมีการเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) เป็นเวลา 15 นาที (ภาคผนวก ข) (Guo et al., 2019)

6. ทำการติดมาร์กเกอร์ ตามระบบการติดมาร์กเกอร์แบบ “Plug-in-Gait Marker Placement” โดยทำความสะอาดตำแหน่งที่ต้องการติดมาร์กเกอร์ก่อน และทำการติดมาร์กเกอร์ที่ ตำแหน่ง ทั้งสองข้างของปุ่มกระดูกอโครเมียล โพรเซส (Acromion process), ทั้งสองข้างของปุ่ม กระดูกแลทเทอรัล อีพิคอนไดล์ (Lateral epicondyle), ทั้งสองข้างของปุ่มกระดูกอัลนา สไตลอยด์ โพรเซส (Ulnar styloid process), ปุ่มกระดูกต้นคอชั้นที่เจ็ด (Spinous process of 7th cervical vertebra; C7), ทั้งสองข้างของปุ่มกระดูกโพสทีเรีย ซูพีเรีย อิลีแอค สไพน์ หรือที่เรียกว่าปุ่มกระดูกพี เอสไอ เอส (Posterior superior iliac spine; PSIS), ทั้งสองข้างของปุ่มกระดูกแลทเทอรัล ฟิเมอร์ล คอนไดล์ (Lateral Femoral Condyle), ทั้งสองข้างของปุ่มกระดูกแลทเทอรัล มัลลีโอลัส (Lateral Malleolus) และตำแหน่งจุดกึ่งกลางบริเวณด้านหลังของฮาร์เนส (อุปกรณ์สำหรับรัดที่บริเวณเอว ขณะทำการปีนหน้าผา) เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวของร่างกายตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) (Cordier et al., 1993 and Reveret et al., 2020) (ดังภาพที่ 66) โดยผู้วิจัยจะทำการติด มาร์กเกอร์ให้แก่ผู้มีส่วนร่วมวิจัยด้วยตัวเอง ยกเว้นบริเวณตำแหน่งที่มีความล่อแหลม ได้แก่ปุ่มกระดูก โพสทีเรีย ซูพีเรีย อิลีแอค สไพน์ ผู้วิจัยจะให้ผู้ช่วยวิจัยซึ่งเป็นเพศชาย ทำการติดมาร์กเกอร์ให้แก่ผู้ มีส่วนร่วมวิจัย ภายใต้การควบคุมดูแลของผู้วิจัย



ภาพที่ 66 ตำแหน่งการติดมาร์กเกอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ทำความสะอาดผิวหนังที่ต้องการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว โดยเช็ดแอลกอฮอล์และรอให้แห้งเพื่อลดการเกิดสัญญาณรบกวนภายใต้ขั้วในระหว่างการทดสอบ

8. ทำการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวบนตำแหน่งจุดที่เนื้อเยื่อไวต่อตัวกระตุ้น (Motor point) ของกล้ามเนื้อมัดที่ต้องการทดสอบจำนวน 14 มัดกล้ามเนื้อ (Coty et al., 2007) เพื่อทดสอบการทำงานของกล้ามเนื้อในการในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วดังนี้

ตำแหน่งการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวทั้งสองข้างของมัดกล้ามเนื้อ (Guo et al., 2019) (ดังภาพที่ 67)

8.1 กล้ามเนื้อริสท์ เฟล็กเซอร์ (Wrist flexor)

8.2 กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ (Wrist extensor)

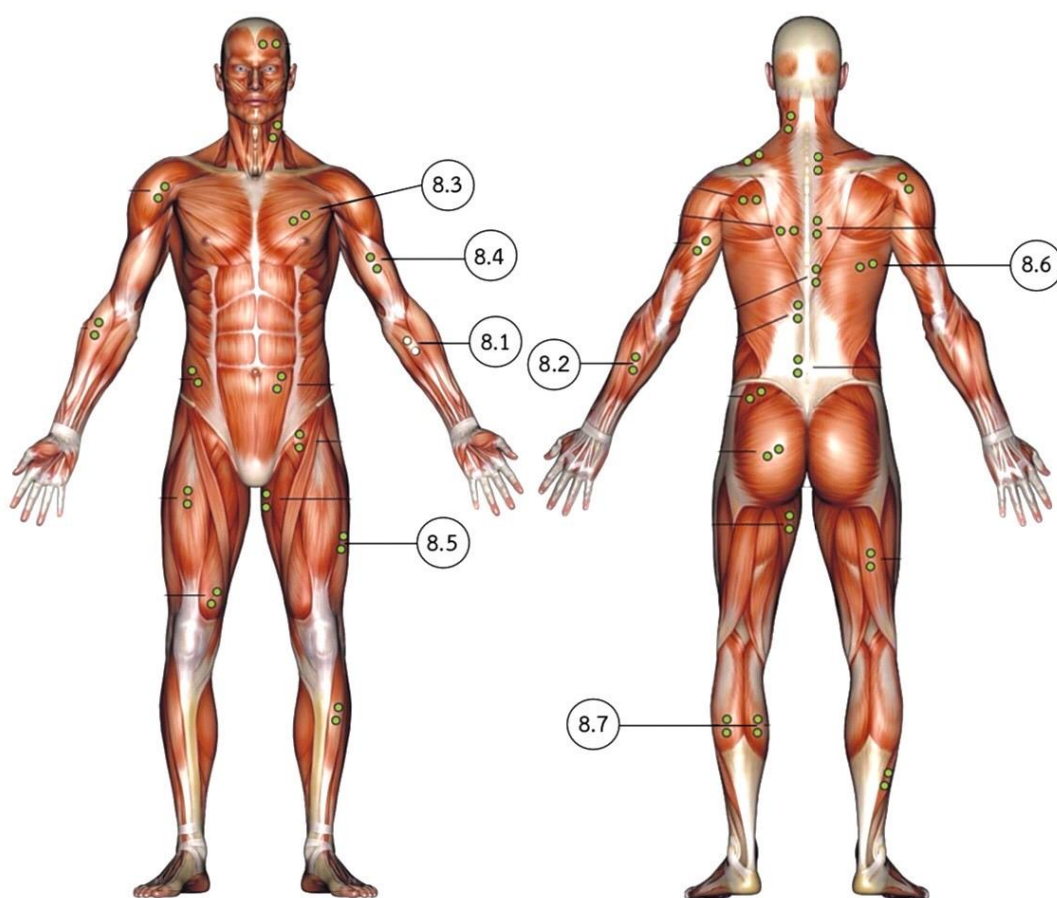
8.3 กล้ามเนื้อเพคเตอร์ลิส เมเจอร์ (Pectoralis major)

8.4 กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ (Biceps brachii)

8.5 กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิส (Vastus lateralis)

8.6 กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ (Latissimus dorsi)

8.7 กล้ามเนื้อแกสโตรอคนีเมียส ในส่วนมีเดียลเฮด (Gastrocnemius; medial head)



ภาพที่ 67 ตำแหน่งการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวด้านหน้าและด้านหลังของร่างกาย

(Konrad, 2005)

9. เมื่อทำการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวเรียบร้อยแล้ว ทำการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน (Maximal Voluntary Contraction; MVC) ในท่าที่กล้ามเนื้อนั้นทำงานจำนวน 7 มัดกล้ามเนื้อ โดยการให้กลุ่มตัวอย่างออกแรงดิ่งกับแรงต้านที่ผู้วิจัยต้านไว้ให้มากที่สุด (ภาคผนวก ฉ) (Hislop et al., 2013)

10. หลังจากทำการติดมาร์กเกอร์ และทำการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวเรียบเรียบร้อยแล้ว กลุ่มตัวอย่างยืนที่ตำแหน่งเริ่มต้นการปีน โดยจะต้องยืนห่างจากหน้าผาที่ตำแหน่งเริ่มต้นไม่เกิน 2 เมตร และหันหน้าออกจากหน้าผา

11. เริ่มต้นการทดลองด้วยรูปแบบการออกตัวในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนแบบคลาสสิก สตาร์ท และตามด้วยการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป โดยการออกตัวแต่ละรูปแบบมีระยะเวลาห่างกัน 10 นาที

โดยการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท คือการเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 และจะมีการใช้มือจับตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ตามลำดับ โดยท่าเริ่มต้นของการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท ลำตัวของนักกีฬาจะเอียงในแนวขม่อมเพื่อสร้างความเฉื่อยในทิศทางที่ต้องการ ในตำแหน่งนี้ขาของนักกีฬาจะยื่นไปด้านหลังเพื่อส่งแรงขึ้นไปทางซ้ายในการปีนเพื่อจับกับตัวจับที่ 4 (ดังภาพที่ 68)

ส่วนการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป คือการกระโดดข้ามตัวจับที่ 4 โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 เพื่อผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยท่าเริ่มต้นของนักกีฬาจะมีลักษณะของลำตัวอยู่ในแนวตั้งตรงเช่นเดียวกับตำแหน่งของขา (ดังภาพที่ 68)



ภาพที่ 68 การออกตัวแบบ Classic start และการออกตัวแบบ Tomoa skip

12. เมื่อได้รับคำสั่ง “เข้าที่” (At your marks) กลุ่มตัวอย่างจะต้องวางมือทั้งสองข้าง และเท้าอีกข้างหนึ่งที่ตัวจับเริ่มต้น (starting holds) เท้าข้างหนึ่งยืนบนแผ่นปล่อยตัว (starting pad) โดยจัดอยู่บนช่องการปีนด้านซ้าย คือช่องการปีน A (Lane A)

13. เมื่อกลุ่มตัวอย่างหยุดนิ่งอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น กรรมการปล่อยตัวจะประกาศ “พร้อม” (Ready) และจากนั้นจะเริ่มต้นระบบจับเวลาในการปีน โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกซ้อมการปีนหน้าผาประเภทความเร็วจำนวน 2 ครั้งก่อนทำการทดลอง โดยพักระหว่างครั้งของการปีนเป็นเวลา 5 นาที

14. จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดลอง โดยทำการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร จำนวน 3 ครั้ง ด้วยความเร็วสูงที่สุดที่สามารถทำได้ (โดยการปีนที่ไม่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การปีนที่นักกีฬาไม่สามารถปีนได้จนจบเส้นทาง, ช่วงสุดท้ายของการปีนที่หัดแพดไม่หยุดเวลาเมื่อนักกีฬาจบเส้นทางปีน และนักกีฬามีการพาวลีในการออกตัว ซึ่งหมายถึง การออกตัวก่อนเสียงสัญญาณดัง) โดยการปีนแต่ละครั้งเว้นระยะห่างเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างกลับมายืนอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น เพื่อรอสัญญาณการปล่อยตัวครั้งต่อไป

15. กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะต้องทำการปฏิบัติรูปแบบละ 3 ครั้งในการปีนหน้าผาทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่การปีนแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป และการปีนแต่ละครั้งเว้นระยะห่างเป็นเวลา 5 นาที และการปีนหน้าผาแต่ละรูปแบบมีระยะเวลาห่างกัน 10 นาที โดยระหว่างพัก กลุ่มตัวอย่างสามารถออกกำลังกายระดับความหนักระดับเบา (Low intensity) ตามความถนัดของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน รวมเวลาการทดสอบประมาณ 60 นาที โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนต้องได้รับการบันทึกภาพการเคลื่อนไหวทั้งหมด 6 ครั้ง ได้แก่การปีนแบบคลาสสิก สตาร์ทจำนวน 3 ครั้ง และแบบโทโมอะ สคิป จำนวน 3 ครั้ง ที่สมบูรณ์ เพื่อมาวิเคราะห์หากกล้ามเนื้อหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle synergist) โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression) และเลือกครั้งที่นักกีฬาทำสถิติในการปีนหน้าผาแต่ละรูปแบบได้ดีที่สุด จำนวน 1 ครั้ง มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้ค่าทีรายคู่ (Paired t-test)

16. ทำการकुลดาวนโดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแบบอยู่นิ่ง (Static Stretching) (Guo et al., 2019) เป็นเวลา 10 นาที (ภาคผนวก ค)

หมายเหตุ ในการติดมาร์กเกอร์ และชั่วคราวสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวในข้อ 6 และ 8 จะไม่เป็นอุปสรรคในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วของกลุ่มตัวอย่าง และกล้องทุกตัวสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวของมาร์กเกอร์ทุกตำแหน่งได้ โดยที่ไม่มีมาร์กเกอร์ตัวใดหลุดจากตำแหน่งที่ติด หรือถูกบังโดยส่วนอื่นของร่างกาย

วิธีการปฏิบัติเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโควิด-19

1. จัดให้มีระบบลงทะเบียนก่อนเข้าและออกจากสถานที่ โดยใช้มาตรการควบคุมด้วยการบันทึกข้อมูล และรายงานทดแทน โดยใช้แบบลงทะเบียนก่อนเข้าและออกจากหน้าผา
2. จำกัดทางเข้าและออกพื้นที่ในการทดสอบเพียงช่องทางเดียว และจัดให้มีจุดตรวจคัดกรองอาการไข้ ไอ หอบเหนื่อยเป็นหวัด สำหรับผู้ฝึกสอน กลุ่มตัวอย่าง และผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคน ก่อนเข้าร่วมการวิจัยพร้อมจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการคัดกรอง เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิ สติกเกอร์สัญลักษณ์แสดงการคัดกรองผ่าน
3. จัดให้มีจุดบริการล้างมือด้วยแอลกอฮอล์เจล 70% ในบริเวณพื้นที่บริการต่าง ๆ รวมทั้งห้องสุขา ห้องอาบน้ำ และห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า ในปริมาณที่เพียงพอต่อจำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัย
4. ทำความสะอาดอุปกรณ์กีฬา และบริเวณพื้นผิวที่มีการสัมผัสบ่อย ๆ เช่น อุปกรณ์สำหรับใช้ในการปีละขณะทำการปีนหน้าผา และตัวจับ ด้วยน้ำยาทำความสะอาด เช่น แอลกอฮอล์ 70% หรือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 0.1% ทั้งก่อนและหลังการทดลอง
5. ทำสัญลักษณ์เว้นระยะห่างของพื้นที่นั่งส่วนกลาง บริเวณที่นั่งพัก และระยะห่างระหว่างการเดินอย่างน้อย 1 เมตร รวมทั้งระยะห่างของพื้นที่การฝึกซ้อมและการดำเนินการทดลอง ที่นั่งอุปกรณ์อย่างน้อย 2 เมตร
6. มีการตรวจสอบและจัดการพื้นที่ที่เข้าร่วมการวิจัย เพื่อคำนวณจำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัยให้เป็นไปตามมาตรการลดความแออัด
7. จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันโรคส่วนบุคคล คือหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากผ้าให้แก่ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคน
8. นักกีฬาสวมหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากผ้าก่อนและหลังการทดลอง และล้างมือด้วยสบู่หรือแอลกอฮอล์เจล 70% บ่อยครั้ง ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องสวมหน้ากากอนามัยหรือหน้ากากผ้าตลอดเวลาและล้างมือด้วยสบู่ หรือแอลกอฮอล์ 70% บ่อยครั้ง
9. ก่อน ระหว่างและหลังการเข้าร่วมการวิจัย กลุ่มตัวอย่างทำความสะอาดอุปกรณ์กีฬาส่วนบุคคล ด้วยน้ำยาทำความสะอาดก่อนและหลังใช้งาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทำการวิเคราะห์ผลของการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ดังนี้

1.1. บันทึกภาพการปีนหน้าผาประเภทความเร็วในรูปแบบการบันทึกภาพการปีนหน้าผาแบบ 3 มิติ โดยการวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจำนวน 9 ตัว เป็นอินฟราเรด เบสจำนวน 8 ตัว และเป็นวิดีโอ เบสจำนวน 1 ตัว บริเวณด้านหน้า และด้านข้างของหน้าผาจำลองประเภทความเร็ว เพื่อแสดงช่วงของการเคลื่อนไหวตลอดเส้นทางการปีน (ภาคผนวก ก) โดยเลือกช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนหน้าผา (จากตำแหน่งการออกตัวไปจนถึงช่วงกลางของการเร่งความเร็วในช่วงแรก (hold 9) มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

โดยข้อมูลที่ได้รับการบันทึกไว้จะถูกนำมาจัดการจำแนกมาร์กเกอร์แบบอัตโนมัติ (Automatic identification of maker) รวมถึงการเติมเต็มข้อมูลของมาร์กเกอร์ที่หายไปบางส่วน ของช่วงการเคลื่อนไหวด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า “Gap-filled with trajectory preview” โดยใช้วิธีการเติมเต็มข้อมูลแบบโพลีโนเมียล (Polynomial) สำหรับข้อมูลของมาร์กเกอร์ที่หายไปแบบเส้นโค้ง และใช้วิธีการเติมเต็มข้อมูลแบบลิเนียร์ (Linear) สำหรับข้อมูลของมาร์กเกอร์ที่หายไปแบบเป็นเส้นตรง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากมาร์กเกอร์ เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปีนหน้าผา โดยจะเลือกการเคลื่อนไหวในช่วงการปีนจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการเคลื่อนไหวได้ 2 รูปแบบ คือ

1.1.1 การออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท คือการเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 และจะมีการใช้มือจับตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ตามลำดับ

1.1.2 การออกตัวแบบโทโมอะ สคิป คือการกระโดดข้ามตัวจับที่ 4 โดยการเคลื่อนไหวจะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5

1.2 ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ ความเร็วเชิงมุม และความเร็วเชิงเส้นของข้อต่อร่างกาย แขน และขา ทั้ง 2 ข้าง ได้แก่

1.2.1 มุมการเคลื่อนไหวของข้อไหล่ เกิดจาก ปุ่มกระดูกต้นคอชั้นที่เจ็ด (Spinous process of 7th cervical vertebra; C7), ปุ่มกระดูกอโครเมียม โพรเซส (Acromion

process) และปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ ของกระดูกฮิวเมอร์ส (Lateral epicondyles of the humerus)

1.2.2 มุมการเคลื่อนไหวของข้อศอก เกิดจาก ปุ่มกระดูกอโครเมียล โพรเซส (Acromion process), ปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ ของกระดูกฮิวเมอร์ส (Lateral epicondyle of the humerus) และปุ่มกระดูกอัลนา สไตลอยด์ โพรเซส (Ulnar styloid process)

1.2.3 มุมการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก เกิดจาก ปุ่มกระดูกต้นคอชั้นที่เจ็ด (Spinous process of 7th cervical vertebra; C7), ปุ่มกระดูกโพสทีเรีย ซูพีเรีย อิลีแอค สไปน์ (Posterior superior iliac spine; PSIS) และปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล ฟีมอรัล คอนไดล์ (Lateral Femoral Condyle)

1.2.4 มุมการเคลื่อนไหวของข้อเข่า เกิดจาก ปุ่มกระดูกโพสทีเรีย ซูพีเรีย อิลีแอค สไปน์ (Posterior superior iliac spine; PSIS), ปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล ฟีมอรัล คอนไดล์ (Lateral Femoral Condyle) และปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล มัลลีโอลัส (Lateral Malleolus)

1.2.5 มุมการเคลื่อนไหวของข้อมือ เกิดจาก ปุ่มกระดูกต้นคอชั้นที่เจ็ด (Spinous process of 7th cervical vertebra; C7) และตำแหน่งจุดกึ่งกลางบริเวณด้านหลังของฮาร์เนส

1.3 ใช้โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการหาค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด, พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ปีนหน้าผา (มิลลิโวลต์/วินาที), เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (มิลลิวินาที) และอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (มิลลิโวลต์/วินาที) โดยเทียบช่วงของการเคลื่อนไหวของเส้นทางการปีน จากกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั่วไป (General Characteristics) ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย สัดส่วนของร่างกาย และระยะเวลาในการปีนหน้าผา จะถูกวิเคราะห์เป็นสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

2. นำข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด (ข้างละ 7 มัด) มาวิเคราะห์เพื่อหากล้ามเนื้อหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle synergist) โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

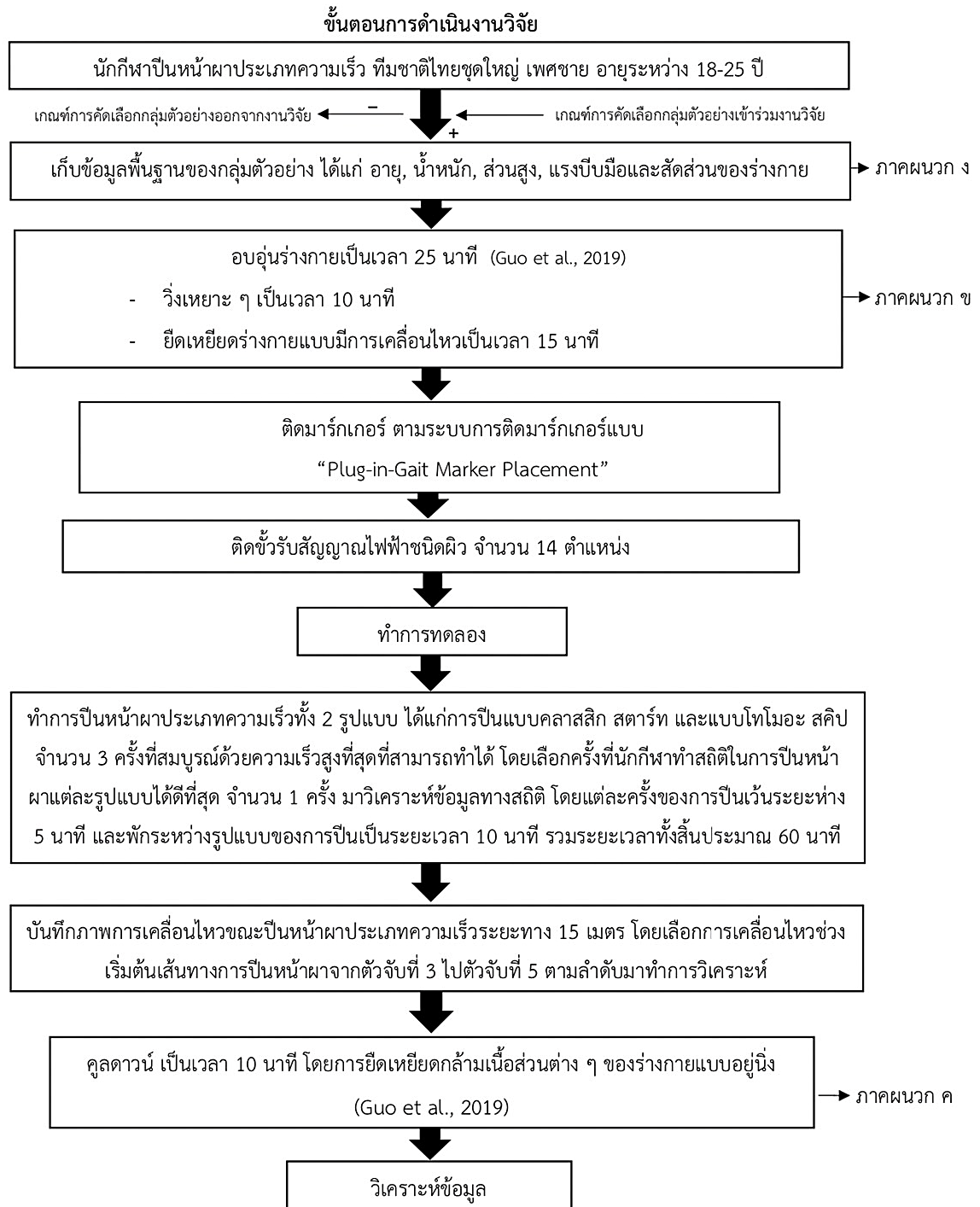
3. ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด, พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะป็นหน้าผา (มิลลิโวลต์/วินาที), เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (มิลลิวินาที), อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (มิลลิโวลต์/วินาที), ตัวแปรทางคิเนมาติกส์ ประกอบด้วยมุม ความเร็วเชิงมุม และความเร็วเชิงเส้นของข้อไหล่ ข้อศอก ข้อสะโพก และข้อเข่า, แรงบีบมือ และความเร็วในการป็นหน้าผา จะถูกทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้สถิติ “Shapiro-Wilks Test”

หากมีการกระจายของข้อมูลปกติจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างรูปแบบการป็นทั้ง 2 รูปแบบ ของตัวแปรทางคิเนมาติกส์ และการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด, พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะป็นหน้าผา (มิลลิโวลต์/วินาที), เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (มิลลิวินาที), อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (มิลลิโวลต์/วินาที) และความเร็วในการป็นหน้าผา โดยใช้ค่าที่รายคู่ (Paired t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

หากมีการกระจายของข้อมูลไม่ปกติจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.2 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่ม ของตัวแปรทางคิเนมาติกส์ และการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด, พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะป็นหน้าผา (มิลลิโวลต์/วินาที), เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (มิลลิวินาที), อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (มิลลิโวลต์/วินาที), แรงบีบมือ และความเร็วในการป็นหน้าผา โดยใช้สถิติ “Matched pair signed Rank test” ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีการทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตรในนักกีฬาป็นหน้าผาทีมชาติไทย กลุ่มตัวอย่างเป็น นักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็วทีมชาติไทยชุดใหญ่ เพศชาย อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 10 คน เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 คน ขอดอนตัวจากการเป็นนักกีฬาทีมชาติไทย ในการเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาเอเชียนบีชเกมส์ 2021 ครั้งที่ 6 ณ เมืองชานย่า ประเทศจีน และกลุ่มตัวอย่างจำนวน 1 คน เกิดการบาดเจ็บ ที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ ทำให้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 7 คน โดยกลุ่มตัวอย่างทั้ง 7 คนถนัดมือขวา กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดลองการป็นหน้าผาในช่วงเริ่มต้นเส้นทางการป็นทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่การป็นแบบคลาสสิก สตาร์ท (การเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 และจะมีการใช้มือจับตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ตามลำดับ) และแบบโทโมอะ สคิป (การเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5) โดยทำการป็นในแต่ละรูปแบบจำนวน 3 ครั้งที่สามารถทำได้ด้วยความเร็วสูงที่สุดที่สามารถทำได้ โดยแต่ละครั้งของการป็นเว้นระยะห่าง 5 นาที การป็นได้สมบูรณ์หมายถึง การป็นที่มีรูปแบบการเคลื่อนไหวในช่วงของการเริ่มต้นเส้นทางการป็นหน้าผาตามที่กำหนด โดยที่กล้องทุกตัวสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวของมาร์กเกอร์ทุกตัวได้ โดยที่ไม่มีมาร์กเกอร์ตัวใดหลุดจากตำแหน่งที่ติด หรือถูกบังโดยส่วนอื่นของร่างกาย หากการป็นมีครั้งที่ไม่สมบูรณ์ต้องมีการเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง โดยพักระหว่างครั้งของการป็นเป็นเวลา 5 นาที และพักระหว่างรูปแบบของการป็นเป็นระยะเวลา 10 นาที รวมระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 60 นาที โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนต้องได้รับการบันทึกภาพการเคลื่อนไหวทั้งหมด 6 ครั้ง ได้แก่การป็นแบบคลาสสิก สตาร์ท จำนวน 3 ครั้ง และแบบโทโมอะ สคิป จำนวน 3 ครั้งที่สามารถเพื่อมาวิเคราะห์ท่าทางการป็น และหากกล้ามเนื้อหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ และเลือกครั้งที่มีสถิติดีที่สุดในการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท จำนวน 1 ครั้ง และครั้งที่มีสถิติดีที่สุดในการออกตัวแบบ โทโมอะ สคิป จำนวน 1 ครั้ง มาวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้ค่าทีรายคู่ โดยกลุ่มตัวอย่างทั้ง 7 คนทำการทดสอบต่อเนื่องกันในการป็นหน้าผาแต่ละรูปแบบ โดยนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลนำเสนอในรูปแบบของตารางและแผนภูมิประกอบความเรียงระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป โดยแบ่งการนำเสนอในรูปตาราง และความเรียง 4 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์ ประกอบด้วย ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหว, ความเร็วในการปืนหน้าผา, ระยะเวลาในการปืนหน้าผาระยะทาง 15 เมตร, ความเร็วเชิงมุม, ความเร็วเชิงเส้น และมุม

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ประกอบด้วย คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน, อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะปืนหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน, พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะปืนหน้าผา, เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด และอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ประกอบด้วย การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการปืนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4, จากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5, และจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการปืนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5



ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วทีมชาติไทย เพศชาย มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 22.29 ± 2.93 ปี น้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 65.43 ± 9.03 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 176.14 ± 5.81 เซนติเมตร ดัชนีมวลกายเฉลี่ยเท่ากับ 21.07 ± 2.53 กิโลกรัม/เมตร แรงบีบมือด้านซ้ายเฉลี่ยเท่ากับ 54.74 ± 8.24 กิโลกรัม แรงบีบมือด้านขวาเฉลี่ยเท่ากับ 62.63 ± 13.62 กิโลกรัม แขนข้างซ้ายยาวเฉลี่ยเท่ากับ 78.17 ± 3.01 เซนติเมตร แขนข้างขวายาวเฉลี่ยเท่ากับ 78.20 ± 3.29 เซนติเมตร ขาข้างซ้ายยาวเฉลี่ยเท่ากับ 98.59 ± 3.42 เซนติเมตร ขาข้างขวายาวเฉลี่ยเท่ากับ 98.21 ± 3.43 เซนติเมตร หน้าอกกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 27.43 ± 1.59 เซนติเมตร และสะโพกกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 25.79 ± 2.50 เซนติเมตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (n=7)

ข้อมูล	Mean	S.D.	Min - Max
อายุ (ปี)	22.29	2.93	18-25
อายุ (กิโลกรัม)	65.43	9.03	57-83
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	176.14	5.81	170-184
ดัชนีมวลกาย	21.07	2.53	18.6-25.3
แรงบีบมือ (กิโลกรัม)			
ข้างซ้าย	54.74	8.24	42.0-65.0
ข้างขวา	62.63	13.62	48.4-89.0
ความยาวแขน (เซนติเมตร)			
ข้างซ้าย	78.17	3.01	74.0-81.2
ข้างขวา	78.20	3.29	73.5-82.0
ความยาวขา (เซนติเมตร)			
ข้างซ้าย	98.59	3.42	94.5-104.0
ข้างขวา	98.21	3.43	94.5-104.0
ความกว้างช่วงอก (เซนติเมตร)	27.43	1.59	26.5-31.0
ความกว้างช่วงสะโพก (เซนติเมตร)	25.79	2.50	22.00-29.0

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์

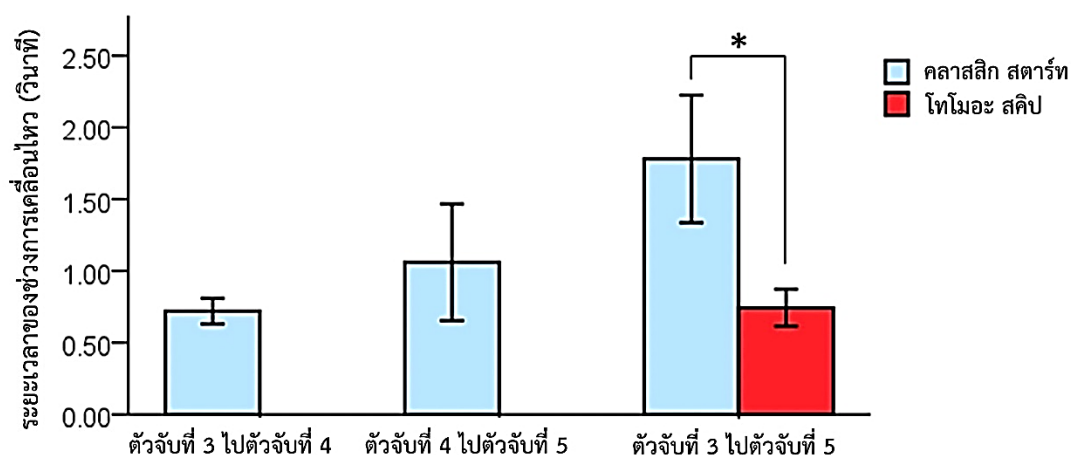
2.1 ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหว

การศึกษาระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหวในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ การป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4, จากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 และ รวมระยะเวลาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ส่วนการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีช่วงเดียวคือ การป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ผลการศึกษา พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท ใช้เวลาในการป็นหน้าผาจากจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เฉลี่ยเท่ากับ 1.78 ± 0.48 วินาที ส่วนการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ± 0.14 วินาที จากการทดสอบด้วยโดยใช้ค่าที่รายคู่ พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท ใช้เวลามากกว่าแบบโทโมอะ สคิป เฉลี่ยเท่ากับ 1.04 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value}=0.003$) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหวระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ($n=7$)

ช่วงการเคลื่อนไหว	เวลา (วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4	0.72	0.10	-	-	-	-
ตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5	1.06	0.44	-	-	-	-
ตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5	1.78	0.48	0.74	0.14	1.04	0.003*

* Statistically significant at $p\text{-value}<0.05$, determined by Paired t-test.



แผนภูมิที่ 1 ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหว

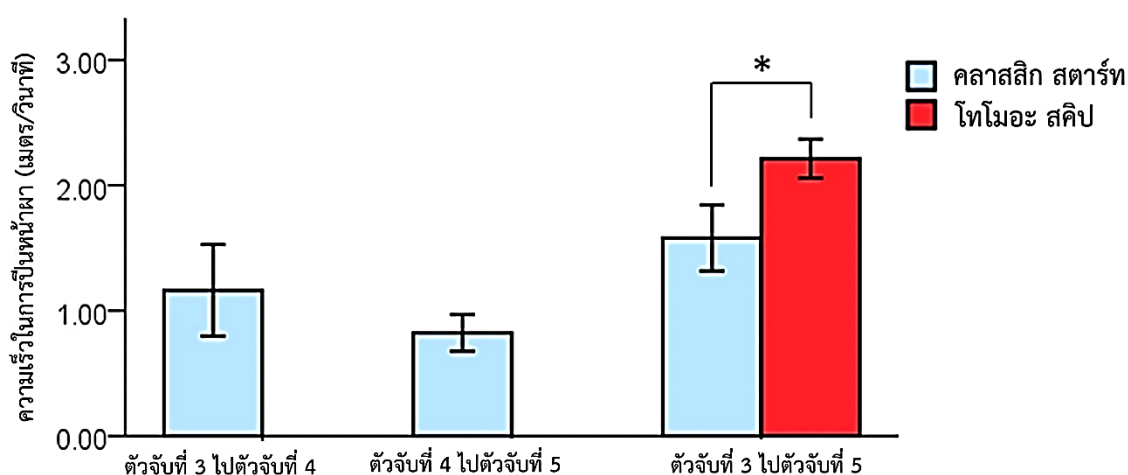
2.2 ความเร็วในการป็นหน้าผา

การศึกษาความเร็วในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป พบว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท มีความเร็วในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เฉลี่ยเท่ากับ 1.58 ± 0.28 เมตร/วินาที แบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 2.21 ± 0.17 เมตร/วินาที จากการทดสอบโดยใช้ค่าที่รายคู่ พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีความเร็วน้อยกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 เมตร/วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} < 0.001$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วในการป็นหน้าผาระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ($n=7$)

ช่วงการเคลื่อนไหว	ความเร็วในการป็นหน้าผา (เมตร/วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4	1.16	0.40	-	-	-	-
ตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5	0.82	0.16	-	-	-	-
ตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5	1.58	0.28	2.21	0.17	-0.63	<0.001*

* Statistically significant at $p\text{-value} < 0.05$, determined by Paired t-test.



แผนภูมิที่ 2 ความเร็วในการป็นหน้าผา

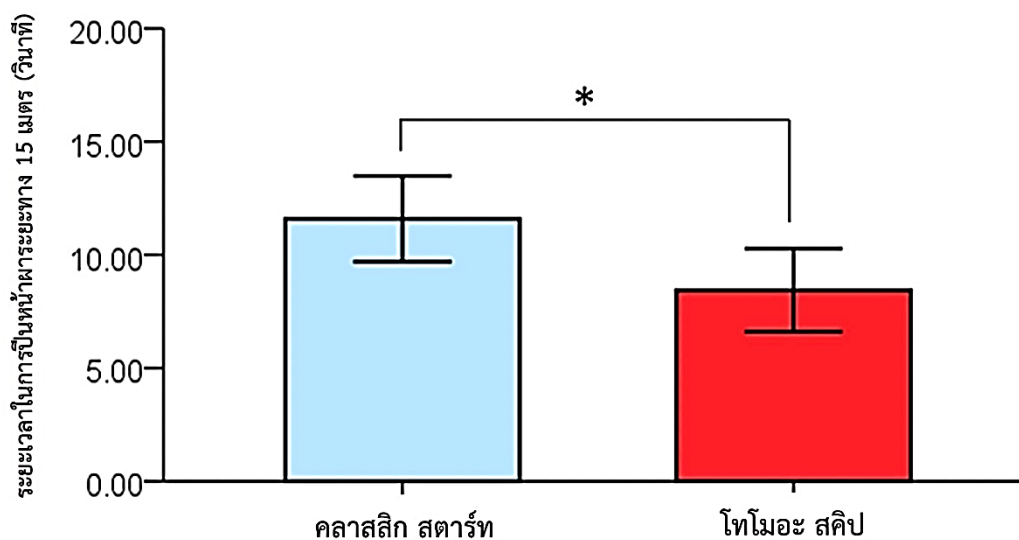
2.3 ระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร

การศึกษาระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร ของการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทใช้เวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 11.59 ± 2.04 วินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิปใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 8.44 ± 1.98 วินาที จากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทใช้เวลาในการป็นหน้าผามากกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 3.15 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} < 0.001$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ($n=7$)

ช่วงการเคลื่อนไหว	เวลา (วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร	11.59	2.04	8.44	1.98	3.15	<0.001*

* Statistically significant at $p\text{-value} < 0.05$, determined by Paired t-test.



แผนภูมิที่ 3 ระยะเวลาในการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร

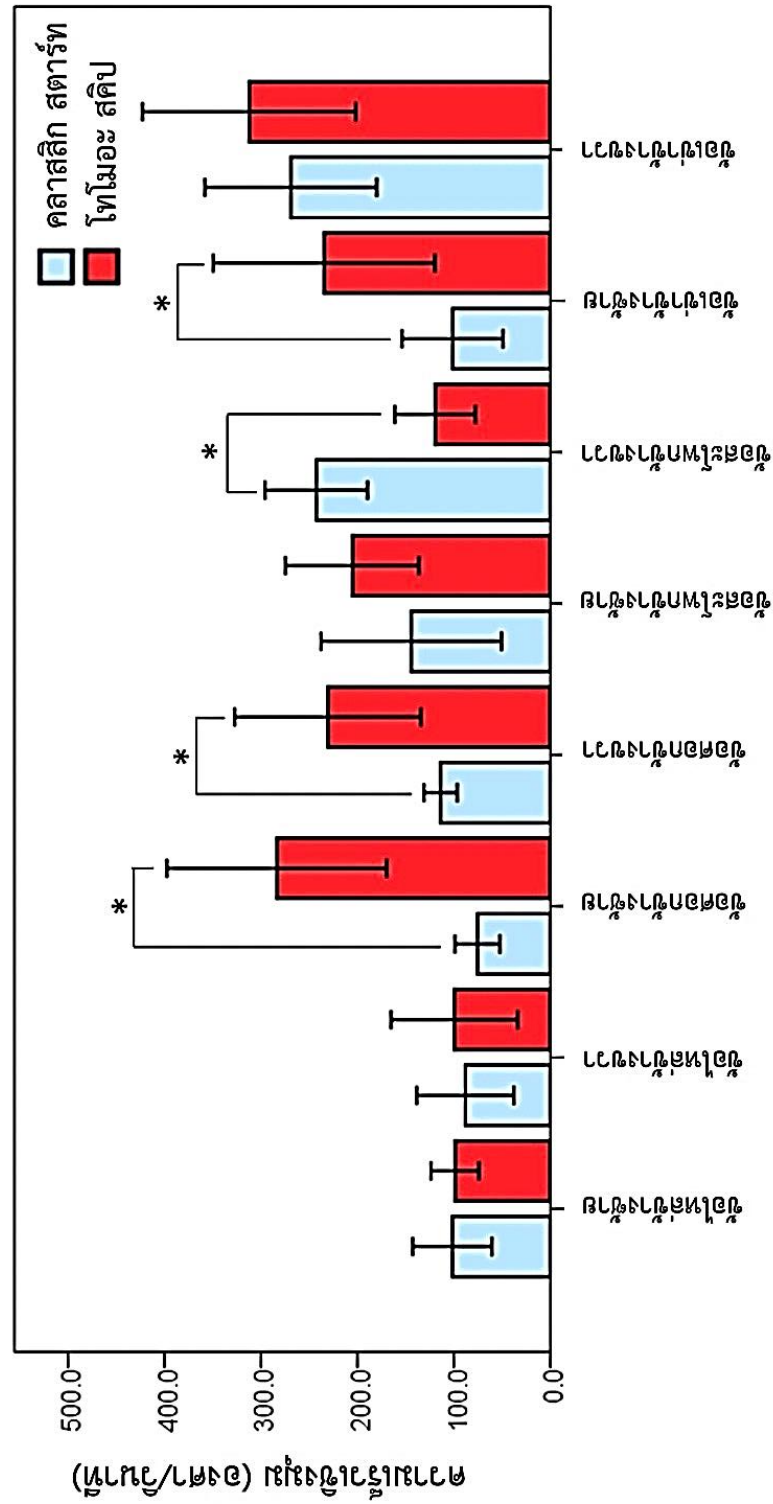
2.4 ความเร็วเชิงมุม

การเปรียบเทียบความเร็วเชิงมุมระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปของข้อต่อรยางค์แขน และขาทั้ง 2 ข้าง ทั้งหมด 8 ข้อต่อ ในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีความเร็วเชิงมุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ข้อศอกข้างซ้าย (p-value=0.006), ข้อศอกข้างขวา (p-value=0.040), ข้อสะโพกข้างขวา (p-value=0.001), และข้อเข่าข้างซ้าย (p-value=0.035) โดยการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเชิงมุมของข้อศอก ข้างซ้าย, ข้อศอกข้างขวา, และข้อเข่าข้างซ้าย มากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทเฉลี่ยเท่ากับ 208.00, 116.88, และ 133.23 องศา/วินาที ตามลำดับ ส่วนการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกข้างขวา มากกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 123.11 องศา/วินาที ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความเร็วเชิงมุมระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) (n=7)

ข้อต่อ	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ข้อไหล่ข้างซ้าย	101.61	44.39	98.77	26.85	2.85	0.871
ข้อไหล่ข้างขวา	88.19	54.51	99.46	70.99	-11.27	0.784
ข้อศอกข้างซ้าย	75.58	25.13	283.58	123.09	-208.00	0.006*
ข้อศอกข้างขวา	113.77	18.57	230.66	104.49	-116.88	0.040*
ข้อสะโพกข้างซ้าย	144.18	101.12	205.28	74.74	-61.09	0.188
ข้อสะโพกข้างขวา	242.53	57.49	119.43	45.13	123.11	0.001*
ข้อเข่าข้างซ้าย	101.39	56.57	234.61	124.26	-133.23	0.035*
ข้อเข่าข้างขวา	269.06	96.29	312.23	119.60	-43.17	0.439

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Paired t-test.



แผนภูมิที่ 4 ความเร็วเชิงมุม

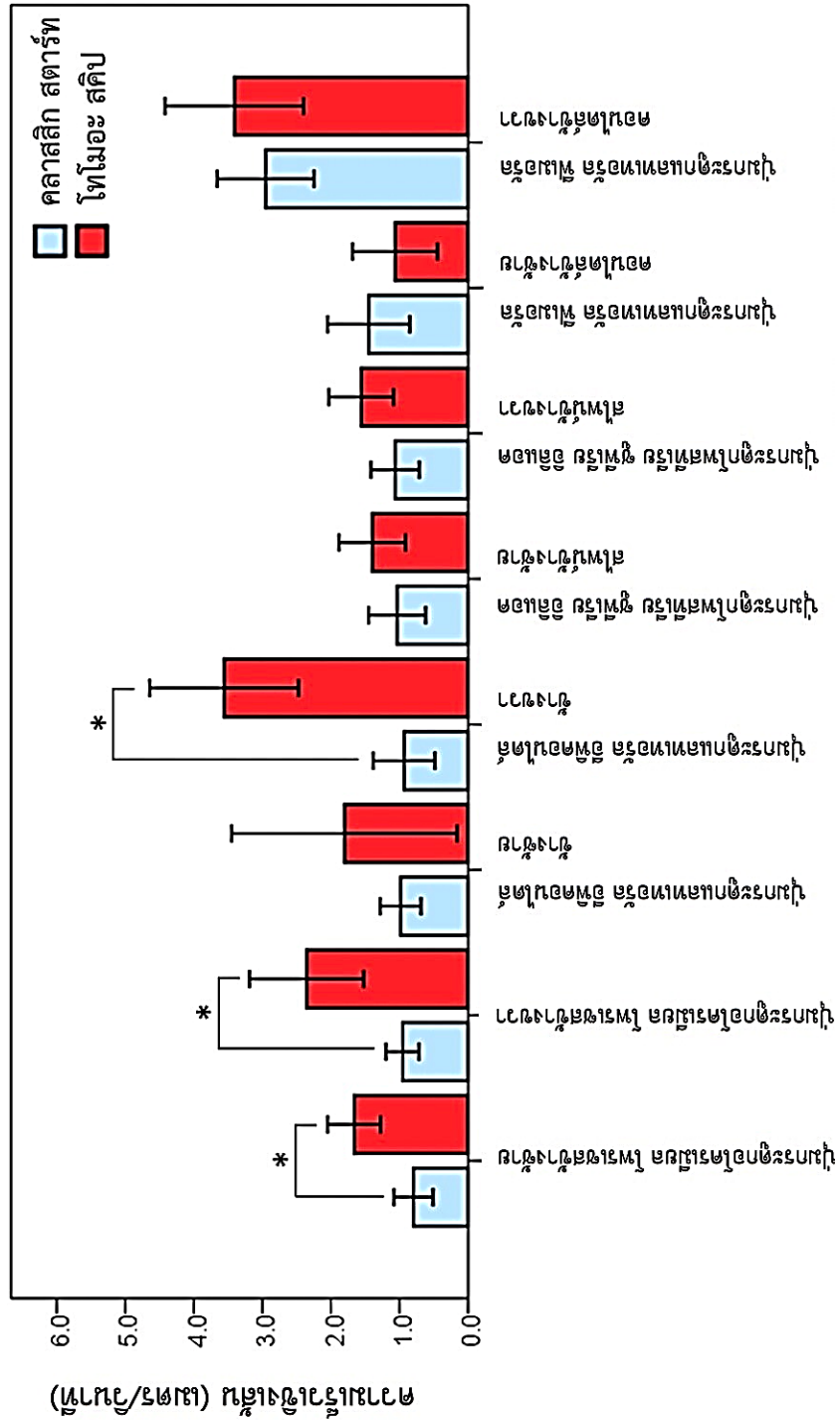
2.5 ความเร็วเชิงเส้น

การเปรียบเทียบความเร็วเชิงเส้น ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปของการเคลื่อนที่ทั้ง 8 ตำแหน่ง ในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเชิงเส้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ตำแหน่ง ปุ่มกระดุกอโครเมียล โพรเซสข้างซ้าย ($p\text{-value}<0.001$), ปุ่มกระดุกอโครเมียล โพรเซสข้างขวา ($p\text{-value}=0.009$), และปุ่มกระดุกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ข้างขวา ($p\text{-value}<0.001$) โดยการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเชิงเส้นของทั้ง 3 ตำแหน่ง มากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทเฉลี่ยเท่ากับ 0.86, 1.40 และ 2.63 เมตร/วินาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความเร็วเชิงเส้นระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) ($n=7$)

ตำแหน่ง	ความเร็วเชิงเส้น (เมตร/วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ปุ่มกระดุกอโครเมียล โพรเซสข้างซ้าย	0.80	0.31	1.66	0.42	-0.86	<0.001*
ปุ่มกระดุกอโครเมียล โพรเซสข้างขวา	0.96	0.26	2.35	0.90	-1.40	0.009*
ปุ่มกระดุกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ข้างซ้าย	0.98	0.32	1.80	1.78	-0.82	0.282
ปุ่มกระดุกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ข้างขวา	0.93	0.48	3.56	1.17	-2.63	<0.001*
ปุ่มกระดุกโพสทีเรีย ซูพีเรีย อิลีแอค สไปน์ข้างซ้าย	1.03	0.45	1.40	0.53	-0.36	0.147
ปุ่มกระดุกโพสทีเรีย ซูพีเรีย อิลีแอค สไปน์ข้างขวา	1.06	0.38	1.56	0.51	-0.50	0.056
ปุ่มกระดุกแลทเทอร์อัล ฟิเมอร์อัล คอนไดล์ข้างซ้าย	1.45	0.65	1.07	0.67	0.38	0.348
ปุ่มกระดุกแลทเทอร์อัล ฟิเมอร์อัล คอนไดล์ข้างขวา	2.95	0.76	3.41	1.09	-0.46	0.227

* Statistically significant at $p\text{-value}<0.05$, determined by Paired t-test.



แผนภูมิที่ 5 ความเร็วเชิงเส้น

2.6 มุม

การเปรียบเทียบมุมการเคลื่อนไหวระหว่างการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปของข้อต่อรยางค์แขน และขาทั้ง 2 ข้าง และลำตัว ในการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีมุมการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ข้อศอกข้างขวา (p-value=0.001) และลำตัว (p-value=0.005) โดยการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีมุมของข้อศอกข้างขวา และ ลำตัวมากกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 37.22 และ 5.74 องศาตามลำดับ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบมุมระหว่างการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) (n=7)

ข้อต่อ	มุม (องศา)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ข้อไหล่ข้างซ้าย	137.62	5.44	129.54	13.38	8.08	0.154
ข้อไหล่ข้างขวา	141.55	10.14	137.12	10.98	4.42	0.200
ข้อศอกข้างซ้าย	109.84	7.55	110.97	18.50	-1.14	0.879
ข้อศอกข้างขวา	117.34	9.38	80.12	15.81	37.22	0.001*
ข้อสะโพกข้างซ้าย	103.91	5.67	114.16	17.88	-10.25	0.200
ข้อสะโพกข้างขวา	100.79	11.00	100.48	14.25	0.31	0.955
ข้อเข่าข้างซ้าย	100.71	9.15	111.60	10.09	-10.89	0.088
ข้อเข่าข้างขวา	99.73	16.46	83.75	25.91	15.98	0.076
ลำตัว	12.44	3.25	6.71	3.93	5.74	0.005*

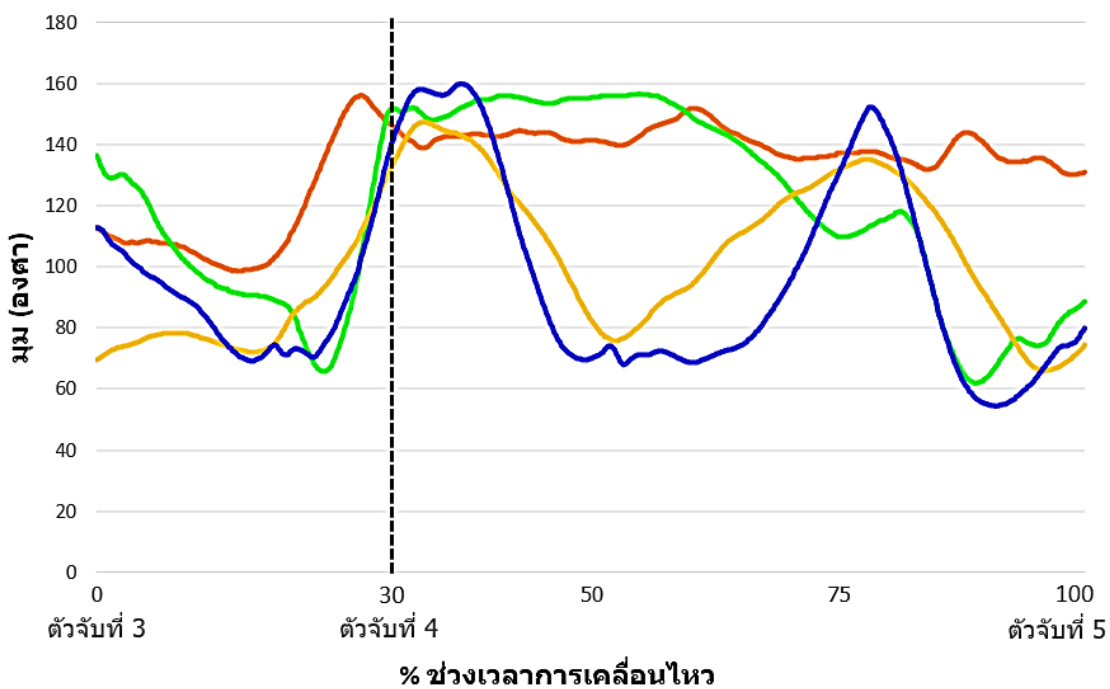
* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Paired t-test.

**ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวในขณะปีนหน้าผา จากนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทยที่ทำความเร็วในการปีนสูงสุด
(Representative of Angular displacement from the fastest speed subject)**

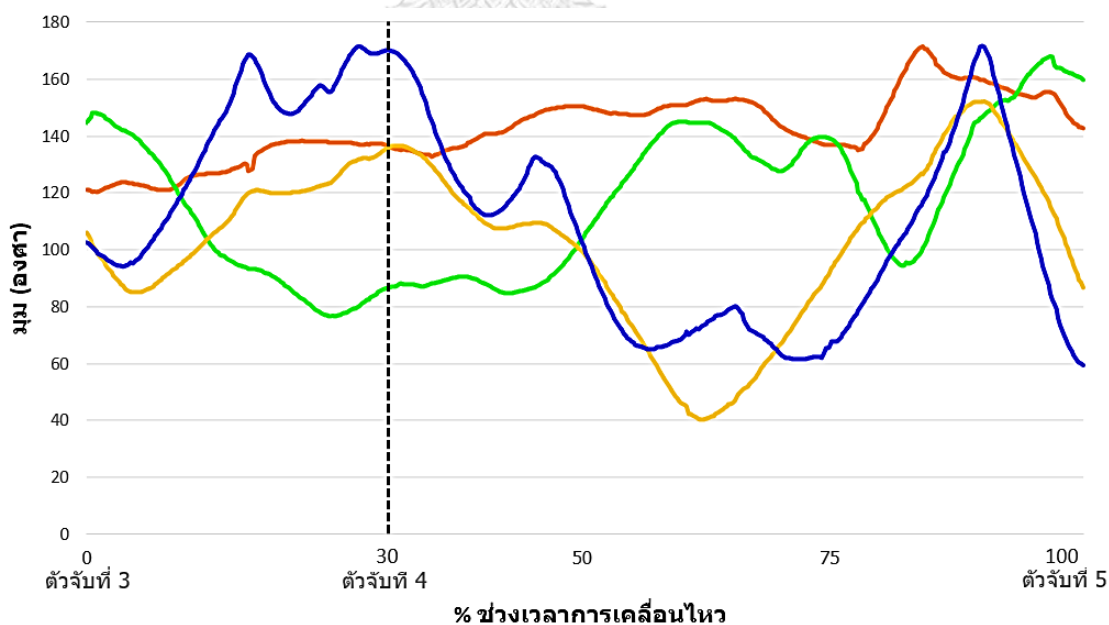
การเปรียบเทียบมุมการเคลื่อนไหวระหว่างการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปทั้งสองข้างของข้อต่อรยางค์แขน และขาทั้ง 2 ข้าง และลำดับในการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 โดยนำมุมการเคลื่อนไหวในขณะปีนหน้าผาของกลุ่มตัวอย่างที่มีความเร็วในการปีนสูงสุดของทั้ง 2 รูปแบบการปีน มาทำการวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของการเคลื่อนไหว

การเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 พบว่า มุมของข้อไหล่ ข้อศอก ข้อสะโพก และข้อเข่าข้างซ้าย ของการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทลดลงในช่วงเริ่มต้น และเพิ่มขึ้นในช่วงปลายของการเคลื่อนไหว แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างมีการเคลื่อนไหวในท่าเหยียดไหล่ (Extended shoulder) และงอข้อศอก (Flex elbow) ในขณะเดียวกันกับข้อสะโพก และข้อเข่าที่มีการงอมากยิ่งขึ้นเพื่อไปยังตัวจับสำหรับเท้าในการปีนตัวต่อไป โดยในช่วงปลายของการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของมุมของทุกข้อต่อ แสดงว่าแขน และขาซ้ายมีการเหยียดเพื่อเอื้อมไปจับตัวจับที่ 4 และยกขาขึ้นเพื่อให้เคลื่อนตัวไปยังตัวจับที่ 4 ได้ ดังแผนภูมิที่ 7 ในขณะเดียวกันทางด้านขวา มุมข้อไหล่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในท่าเหยียดไหล่ ขณะที่มีการงอข้อศอก ในการเตรียมที่จะเหวี่ยงแขนขึ้นไปจับตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป ขณะที่ข้อสะโพก และข้อเข่ามีการเคลื่อนไหวในท่าเหยียดออกขณะเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 ดังแผนภูมิที่ 8

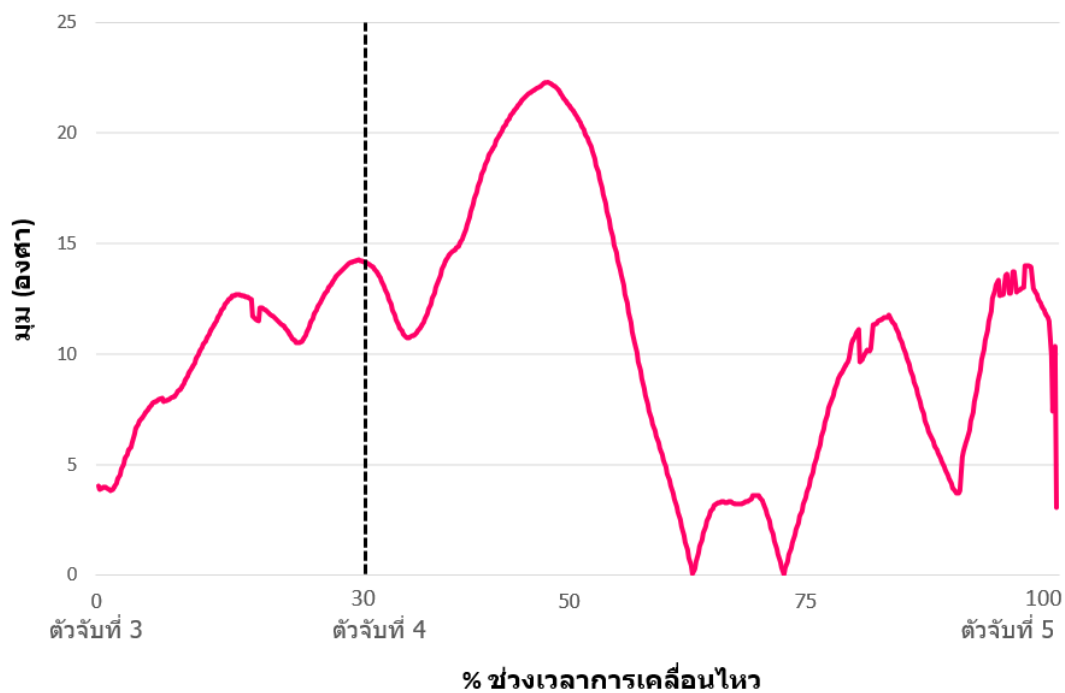
การเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า มุมของข้อไหล่ ข้อศอก ข้อสะโพก และข้อเข่าข้างซ้ายมีการเหยียดไหล่ และเหยียดข้อศอก ซึ่งตรงกันข้ามกับข้อสะโพก และข้อเข่าที่มีการงอเพื่อถีบตัวจากตัวจับสำหรับเท้าไปยังตัวจับที่ 5 หลังจากนั้นข้อสะโพก และข้อเข่าจะเหยียดอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับด้านขวาไหล่เหยียดออก ร่วมกับการงอข้อศอกเพื่อเหวี่ยงแขนไปจับตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป โดยการเคลื่อนไหวของลำตัว ในการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทพบว่า ในช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 ลำตัวมีการงอเพื่อเหวี่ยงตัวไปทางด้านข้าง ในการเคลื่อนที่จาก ตัวจับที่ 3 เพื่อไปจับกับตัวจับที่ 4 และเหยียดออกในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 เพื่อเหยียดร่างกายในการจับตัวจับที่ 5 ในการเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นการปีน ดังแผนภูมิที่ 7-9



— ข้อยไหลข้างซ้าย — ข้อยศอกข้างซ้าย — ข้อยสะโพกข้างซ้าย — ข้อยเข่าข้างซ้าย
 แผนภูมิที่ 7 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวขณะปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทข้างซ้าย

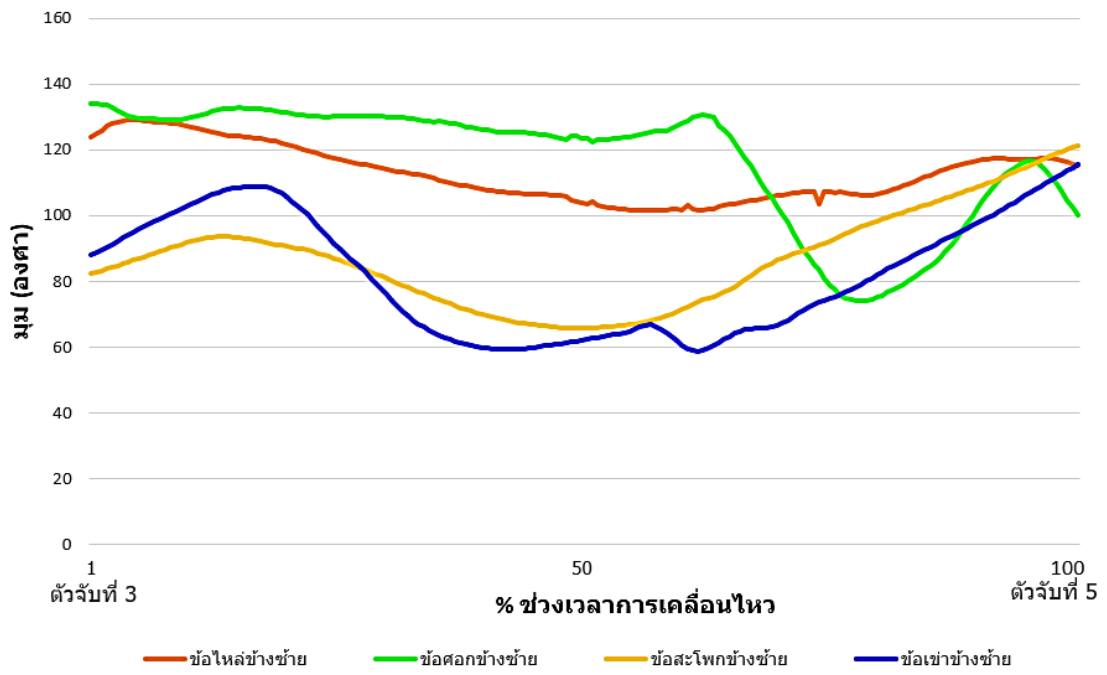


— ข้อยไหลข้างซ้าย — ข้อยศอกข้างซ้าย — ข้อยสะโพกข้างซ้าย — ข้อยเข่าข้างซ้าย
 แผนภูมิที่ 8 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวขณะปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทข้างขวา

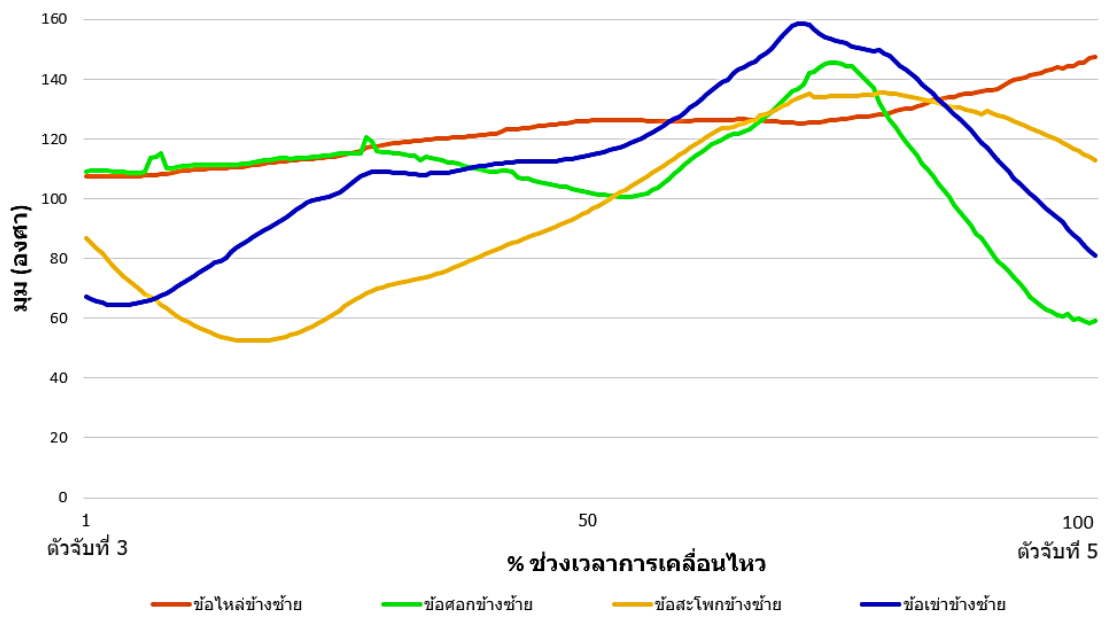


แผนภูมิที่ 9 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวขณะปืนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท

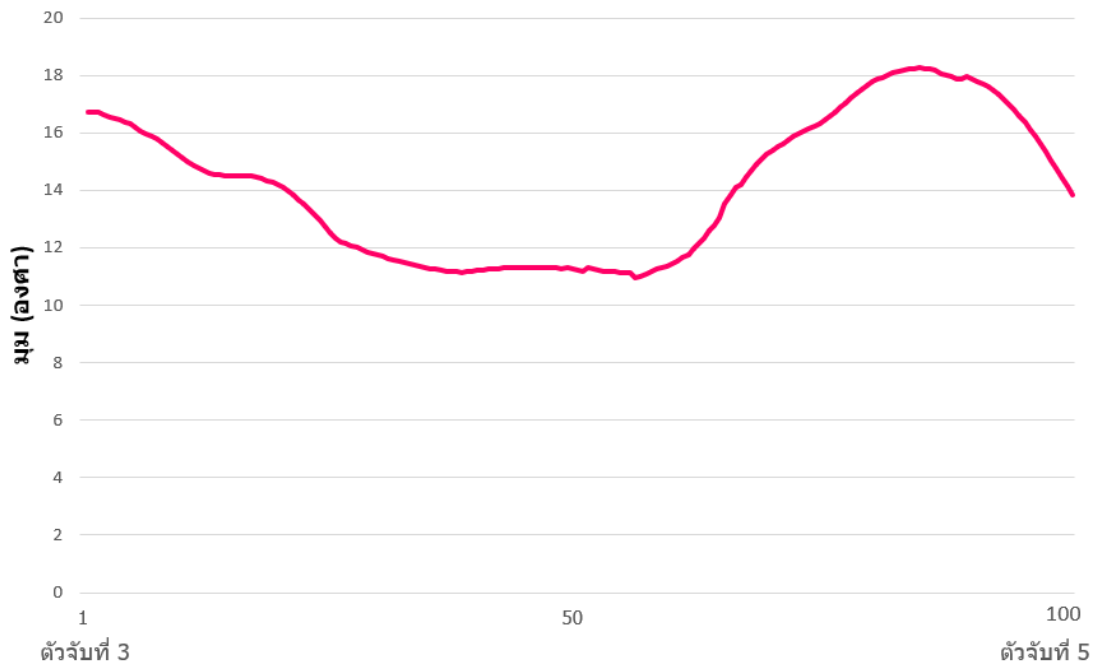
มุมการเคลื่อนไหวของการปืนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป พบว่า การเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 มีการเหยียดร่างกายทั้งด้านซ้าย และด้านขวา ในทั้งรยางค์ส่วนบน และรยางค์ส่วนล่าง และลำตัว ซึ่งเป็นการเหยียดร่างกายในแนวตั้ง (Vertical) โดยมีการเหยียดข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อศอก ในขณะที่มีการงอของข้อไหล่ และเหยียดลำตัวเพื่อข้ามตัวจับที่ 4 โดยมีข้อข้างซ้ายมีการเหยียดออกเพื่อเอื้อมจับตัวจับที่ 5 ในการเคลื่อนไหวผ่านช่วงเริ่มต้นเส้นทางการปืน ดังแผนภูมิที่ 10-12



แผนภูมิที่ 10 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวขณะปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปข้างซ้าย



แผนภูมิที่ 11 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวขณะปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปข้างขวา



% ช่วงเวลาการเคลื่อนไหว
แผนภูมิที่ 12 ตัวอย่างมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวขณะปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป



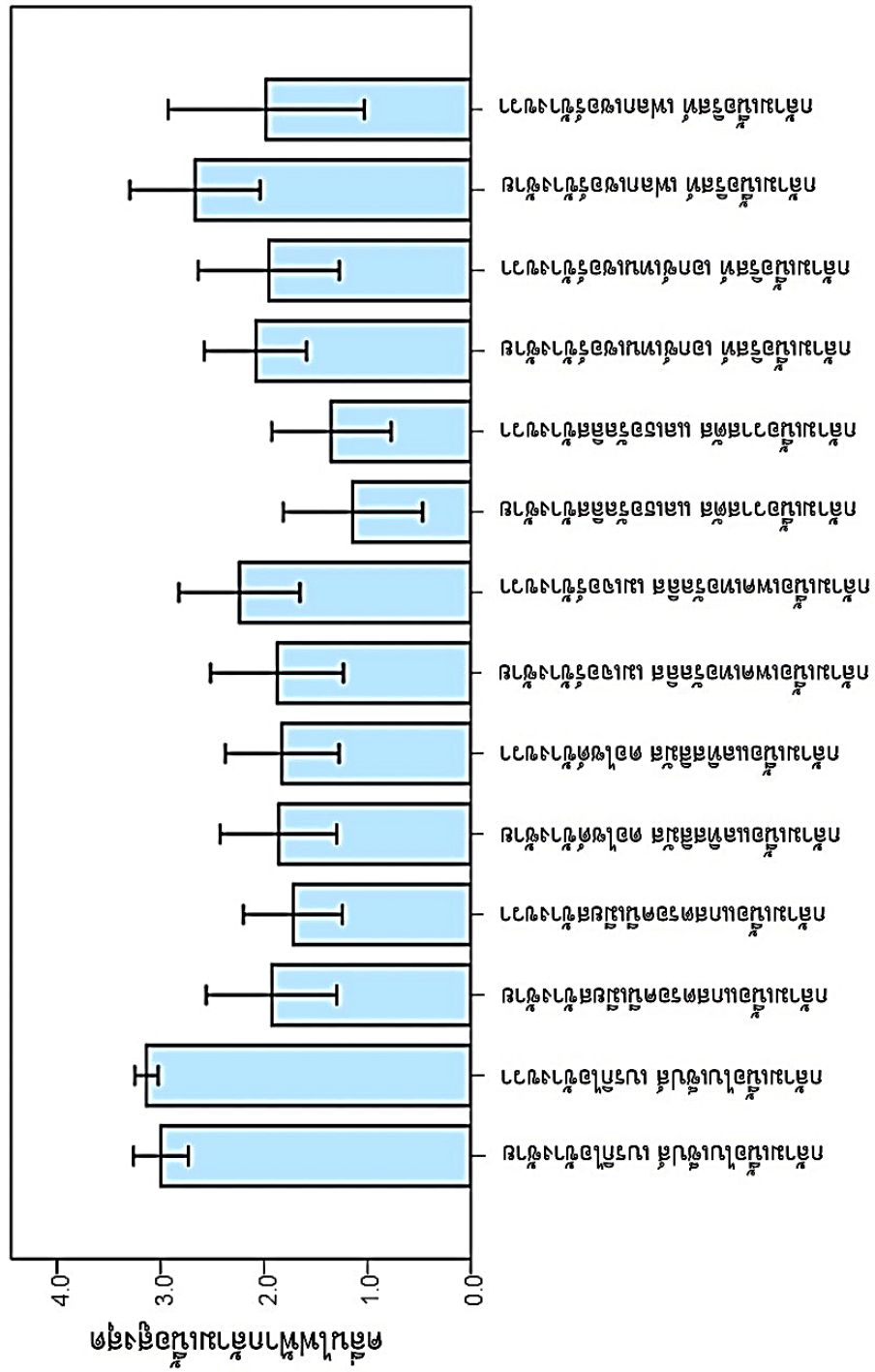
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

3.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน

จากค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน ของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด พบว่า ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด ของกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.99 ± 0.29 / 3.14 ± 0.12 ตามลำดับ กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.93 ± 0.68 / 1.72 ± 0.52 ตามลำดับ กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 ± 0.61 / 1.83 ± 0.59 ตามลำดับ กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.87 ± 0.69 / 2.24 ± 0.63 ตามลำดับ กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิส ซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.14 ± 0.73 / 1.35 ± 0.62 ตามลำดับ กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.08 ± 0.53 / 1.95 ± 0.74 ตามลำดับ และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซาย/ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.67 ± 0.68 / 1.98 ± 1.02 ตามลำดับ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน (n=7)

กล้ามเนื้อ	คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด		
	Mean	S.D.	Min - Max
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาย	2.99	0.29	2.52-3.20
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาว	3.14	0.12	2.94-3.24
กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสซาย	1.93	0.68	0.91-2.65
กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสซาว	1.72	0.52	1.24-2.52
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซาย	1.86	0.61	1.31-2.89
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซาว	1.83	0.59	1.13-2.80
กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซาย	1.87	0.69	0.72-2.73
กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซาว	2.24	0.63	1.30-3.01
กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสซาย	1.14	0.73	0.26-2.29
กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสซาว	1.35	0.62	0.50-2.41
กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ซาย	2.08	0.53	1.37-2.76
กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ซาว	1.95	0.74	0.74-2.74
กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซาย	2.67	0.68	1.19-3.14
กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซาว	1.98	1.02	0.39-3.28



រូបភាពទី 13 គ្រឹះស្ថានពេទ្យសាមគ្គីភារៈ មន្ទីរពេទ្យស្រី

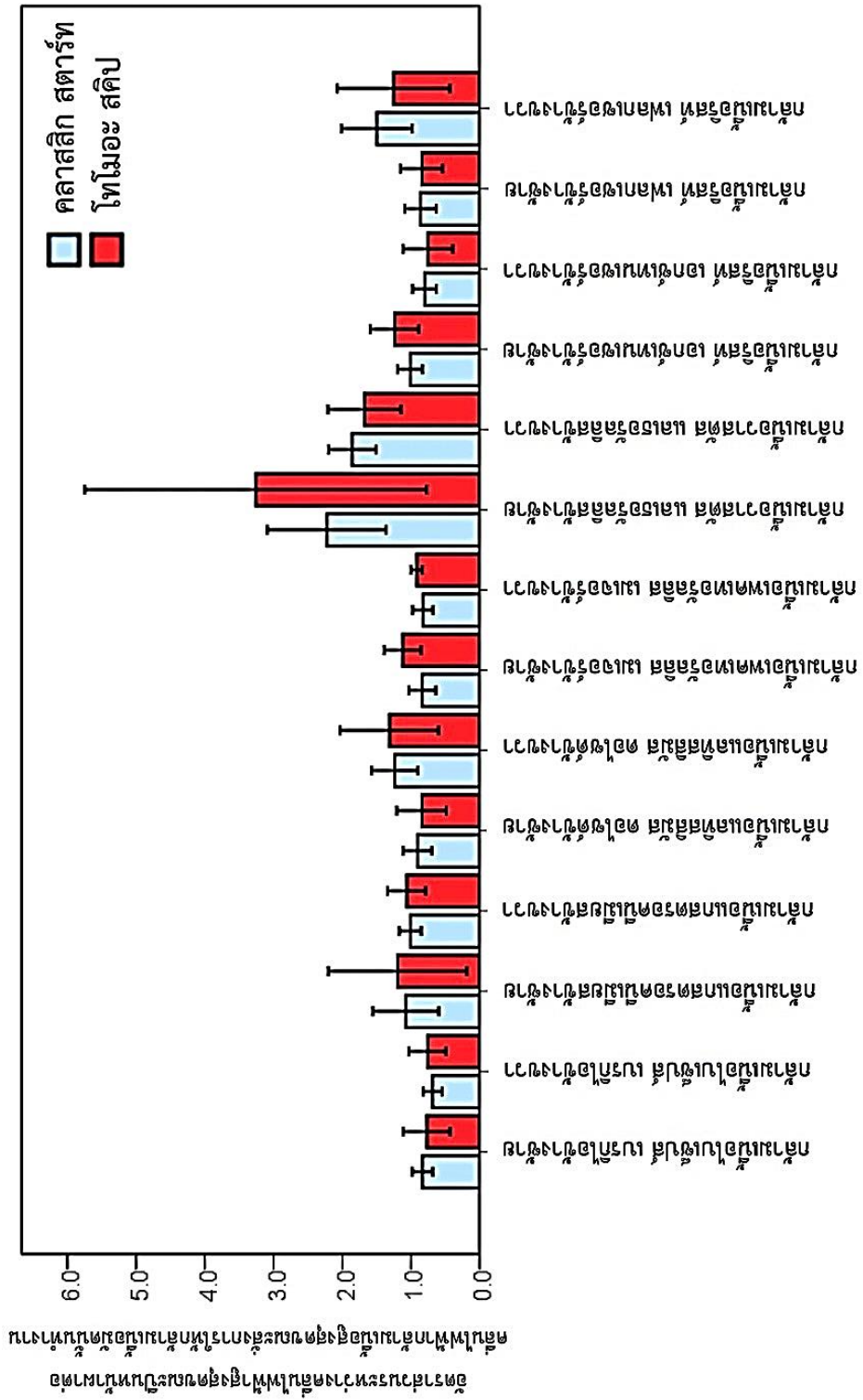
3.2 อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน

การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด ในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอร์ลิสข้างซ้าย เป็นกล้ามเนื้อที่มีอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงานสูงที่สุด ทั้งการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 ± 2.04 และ 3.26 ± 2.69 ตามลำดับ ส่วนกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอข้างซ้าย ทั้งในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงานน้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 0.39 ± 0.26 และ 0.77 ± 0.37 ตามลำดับ และจากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) (n=7)

กล้ามเนื้อ	อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน					p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป		Mean differences	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอข้างซ้าย	0.93	0.26	0.77	0.37	0.16	0.101
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอข้างขวา	0.78	0.27	0.76	0.29	0.02	0.828
กล้ามเนื้อแกส	1.16	1.07	1.19	1.09	-0.03	0.802
ทรอกนิเมียสข้างซ้าย	1.11	0.32	1.06	0.30	0.05	0.721
ทรอกนิเมียสข้างขวา						

กล้ามเนื้อ	อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้า กล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน					p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป		Mean differences	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส คอไซด์ข้างซ้าย	1.06	0.48	0.85	0.39	0.21	0.406
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส คอไซด์ข้างขวา	1.34	0.77	1.31	0.77	0.03	0.795
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ข้างซ้าย	0.99	0.40	1.12	0.29	-0.14	0.437
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ข้างขวา	0.96	0.26	0.92	0.09	0.05	0.650
กล้ามเนื้อวาสตัส แล เธอรัลลิสข้างซ้าย	2.42	2.04	3.26	2.69	-0.84	0.118
กล้ามเนื้อวาสตัส แล เธอรัลลิสข้างขวา	2.03	0.80	1.68	0.57	0.36	0.061
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างซ้าย	1.14	0.38	1.24	0.38	-0.10	0.520
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างขวา	0.88	0.40	0.75	0.39	0.12	0.434
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลก เซอร์ข้างซ้าย	0.92	0.54	0.85	0.33	0.08	0.437
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลก เซอร์ข้างขวา	1.65	1.31	1.25	0.89	0.40	0.070



แผนภูมิที่ 14 อัตราส่วนระหว่างค่าสถิติไฟฟ้าสูงสุดขณะป้อนหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากลับเป็นอิสระสูงสุดขณะส่งการให้กลับเมื่อมีต้นทำงาน

3.3 พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผา

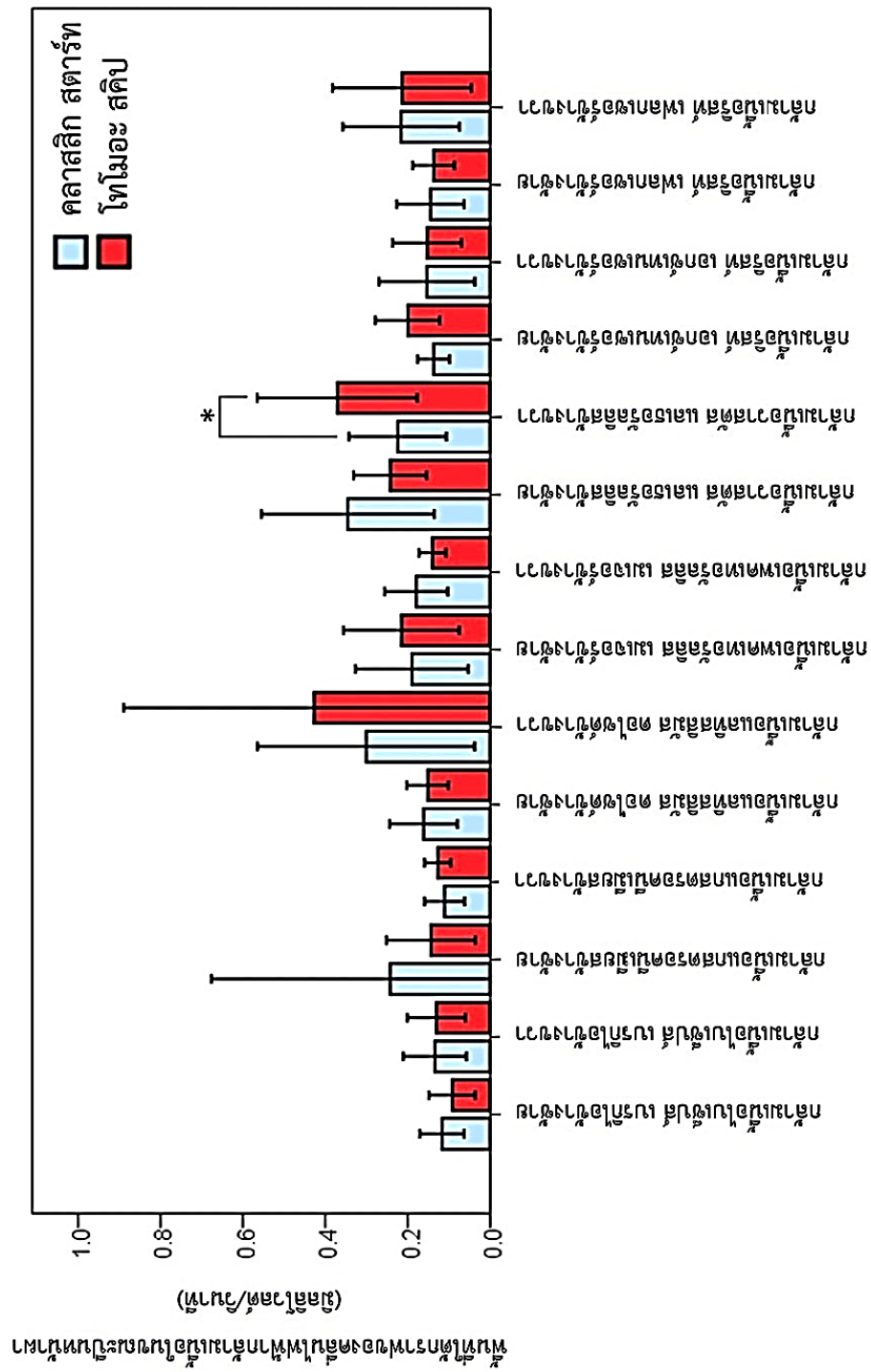
การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผา ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด ในการป็นหน้าผา จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วงขณะที่มีการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อวาสต์ส แลเธอร์ลิสข้างซ้ายมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 ± 0.23 มิลลิโวลต์/วินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิปมีพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างขวามากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.43 ± 0.50 มิลลิโวลต์/วินาที และจากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผาของกล้ามเนื้อวาสต์ส แลเธอร์ลิสข้างขวา ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value}=0.030$) โดยพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทเท่ากับ 0.22 ± 0.13 มิลลิโวลต์/วินาที ซึ่งน้อยกว่าแบบโทโมอะ สคิปที่เท่ากับ 0.37 ± 0.21 มิลลิโวลต์/วินาที ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผาระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) ($n=7$)

กล้ามเนื้อ	พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผา (มิลลิโวลต์/วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังซ้าย	0.12	0.06	0.09	0.06	0.02	0.062
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังขวา	0.13	0.08	0.13	0.08	0.00	0.865
กล้ามเนื้อแกสตร รอกนิเมียซังซ้าย	0.24	0.47	0.14	0.12	0.10	0.514
กล้ามเนื้อแกสตร รอกนิเมียซังขวา	0.11	0.05	0.13	0.03	-0.02	0.381
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย	0.16	0.09	0.15	0.05	0.01	0.797
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างขวา	0.30	0.28	0.43	0.50	-0.13	0.331

กล้ามเนื้อ	พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะที่ป็นหน้าผา (มิลลิโวลต์/วินาที)					p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สต๊อป		Mean differences	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
คอไซด์ข้างขวา						
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ข้างซ้าย	0.19	0.15	0.22	0.15	-0.03	0.427
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ข้างขวา	0.18	0.08	0.14	0.04	0.04	0.355
กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างซ้าย	0.35	0.23	0.24	0.10	0.10	0.179
กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างขวา	0.22	0.13	0.37	0.21	-0.15	0.030*
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างซ้าย	0.14	0.04	0.20	0.08	-0.06	0.170
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างขวา	0.15	0.13	0.15	0.09	0.00	0.980
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย	0.14	0.09	0.14	0.05	0.01	0.663
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา	0.22	0.15	0.21	0.18	0.00	0.914

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Paired t-test.



แผนภูมิที่ 15 พื้นที่ได้กราฟของคนใช้โทรศัพท์มือถือเป็นหน้าผา

3.4 เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด

การเปรียบเทียบเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดระหว่างการป้อนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด ในการป้อนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า การป้อนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังชวาน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 ± 0.15 มิลลิวินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิปมีเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้ออกกล้ามเนื้อแกสตรอคโคนีเมียสซังชวาน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 ± 0.26 มิลลิวินาที และจากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่าเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้อแกสตรอคโคนีเมียสซังชวา ($p\text{-value}=0.036$) และกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสซังชวา ($p\text{-value}=0.040$) ระหว่างการป้อนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยแบบคลาสสิก สตาร์ทมีเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้อแกสตรอคโคนีเมียสซังชวาเท่ากับ 0.80 ± 0.37 มิลลิวินาที ซึ่งมากกว่าแบบโทโมอะ สคิป ที่เท่ากับ 0.18 ± 0.26 มิลลิวินาที ส่วนกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสซังชวา ของการป้อนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดเท่ากับ 0.64 ± 0.15 มิลลิวินาที ซึ่งมากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทที่เท่ากับ 0.45 ± 0.30 มิลลิวินาที มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดระหว่างการป้อนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) ($n=7$)

กล้ามเนื้อ	เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (มิลลิวินาที)					
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป		Mean differences	p-value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังช่าย	0.59	0.31	0.69	0.21	-0.10	0.529
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังชวา	0.32	0.15	0.39	0.29	-0.07	0.577
กล้ามเนื้อแกสตรอค นีเมียสซังช่าย	0.34	0.27	0.57	0.25	-0.24	0.061
กล้ามเนื้อแกสตรอค นีเมียสซังชวา	0.80	0.37	0.18	0.26	0.62	0.036*

กล้ามเนื้อ	เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุด (มิลลิวินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส คอไซด์ข้างซ้าย	0.53	0.53	0.41	0.07	0.12	0.206
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส คอไซด์ข้างขวา	0.34	0.18	0.27	0.16	0.07	0.533
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ข้างซ้าย	0.36	0.31	0.54	0.28	-0.18	0.022
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ข้างขวา	0.36	0.17	0.23	0.14	0.14	0.199
กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างซ้าย	0.56	0.43	0.36	0.14	0.20	0.196
กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างขวา	0.45	0.30	0.64	0.15	-0.19	0.040*
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างซ้าย	0.45	0.43	0.47	0.26	-0.02	0.922
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างขวา	0.45	0.49	0.32	0.22	0.13	0.577
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย	0.74	0.44	0.70	0.13	0.04	0.849
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา	0.57	0.33	0.28	0.19	0.29	0.072

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Paired t-test.

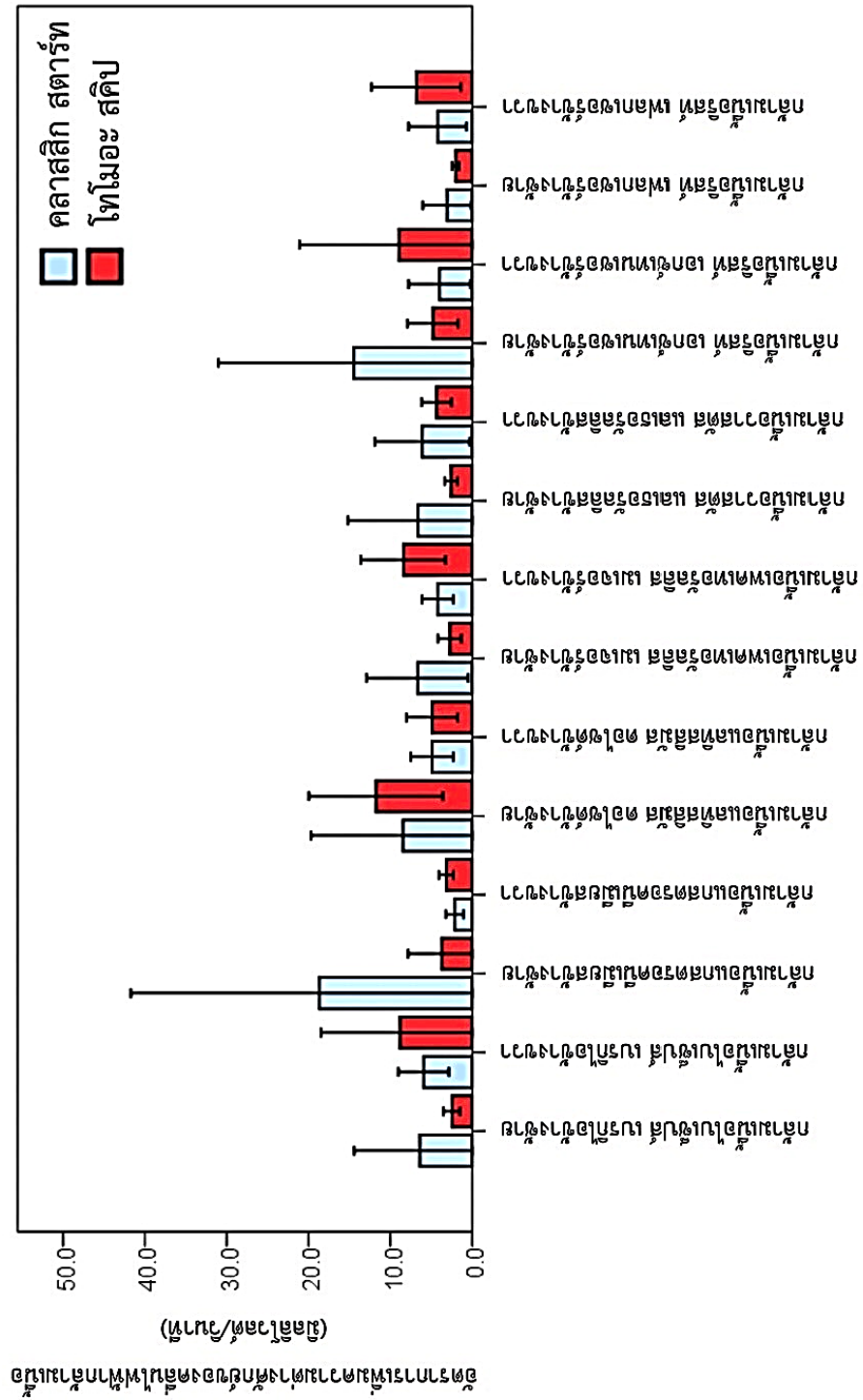
3.5 อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

การเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด ในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทกล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างซ้าย มีอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 18.71 ± 24.89 มิลลิโวลต์/วินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิป กล้ามเนื้อแลทิสสิมัส ดอไซด์ข้างซ้ายมีอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 11.77 ± 8.87 มิลลิโวลต์/วินาที แต่จากการทดสอบโดยใช้ค่าที่รายคู่ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป (จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5) (n=7)

กล้ามเนื้อ	อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (มิลลิโวลต์/วินาที)				Mean differences	p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกีโอข้างซ้าย	6.41	8.65	2.49	1.09	3.92	0.269
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกีโอข้างขวา	5.94	3.32	8.84	10.41	-2.91	0.549
กล้ามเนื้อแกส โตรคินีเมียสข้างซ้าย	18.71	24.89	3.76	4.40	14.95	0.129
กล้ามเนื้อแกส โตรคินีเมียสข้างขวา	2.14	1.18	3.20	0.96	-1.06	0.154
กล้ามเนื้อแลทิสสิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย	8.47	12.12	11.77	8.87	-3.30	0.625
กล้ามเนื้อแลทิสสิมัส ดอไซด์ข้างขวา	4.91	2.79	4.92	3.37	-0.01	0.997
กล้ามเนื้อเพคเทอร์ล	6.69	6.72	2.75	1.54	3.94	0.097

กล้ามเนื้อ	อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (มิลลิโวลต์/วินาที)					p-value
	คลาสสิก สตาร์ท		โทโมอะ สคิป		Mean differences	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ลิส เมเจอร์ข้างซ้าย						
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล	4.22	2.06	8.44	5.62	-4.23	0.142
ลิส เมเจอร์ข้างขวา						
กล้ามเนื้อวาสตัส แล	6.62	9.27	2.59	0.84	4.03	0.259
เธอรัลลิสข้างซ้าย						
กล้ามเนื้อวาสตัส แล	6.10	6.29	4.36	1.98	1.74	0.376
เธอรัลลิสข้างขวา						
กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์	14.45	17.89	4.83	3.36	9.62	0.247
เทนเซอร์ข้างซ้าย						
กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์	3.99	4.08	8.98	13.13	-4.98	0.388
เทนเซอร์ข้างขวา						
กล้ามเนื้อริสท์	3.07	3.21	2.03	0.47	1.04	0.447
เฟลกเซอร์ข้างซ้าย						
กล้ามเนื้อริสท์	4.24	3.84	6.84	5.91	-2.61	0.383
เฟลกเซอร์ข้างขวา						



แผนภูมิที่ 17 อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากำลังเหนือ

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะป็นหน้าผาช่วงเริ่มต้นเส้นทาง การปีน

การทดสอบการทำงานของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ที่ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผา จำแนกตามการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4, ช่วงการปีนจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 และช่วงการปีนจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ส่วนการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีช่วงเดียวคือ ช่วงการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด เป็นตัวแปรต้น โดยนำเข้าวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบคเวิร์ด (Backward) เพื่อคัดเลือกกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผา (เมตร/วินาที) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4

สำหรับการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 8 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาย (p-value=0.001), กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซายขวา (p-value=0.001), กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสซาย (p-value=0.048), กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซาย (p-value<0.001), กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซายขวา (p-value=0.005), กล้ามเนื้อวาสดัส แลเธอรัลลิสซาย (p-value=0.002), กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ซาย (p-value<0.001), และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซายขวา (p-value=0.001) โดยกล้ามเนื้อทั้ง 8 มัด (รวมทั้งการขจัดอิทธิพลการทำงานของกล้ามเนื้ออีก 2 มัด คือกล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสซายและกล้ามเนื้อวาสดัส แลเธอรัลลิสซายขวา รวมกันทั้งหมด 10 มัด) จะส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาประมาณร้อยละ 96.3 ($R^2=0.963$) โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.61 เมตร/วินาที ($\beta=0.61$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซาย ($\beta=0.44$) ส่วนกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซายขวาทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผา ช้าลง ($\beta= -0.75$) (ดังตารางที่ 13) และการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 มีการเคลื่อนไหวย่างรวดเร็ว ลำตัวจะเอียงในแนวเฉียงเพื่อสร้างความเฉื่อยในทิศทางไปทางซ้าย เพื่อเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปจับกับตัวจับที่ 4 ในตำแหน่งนี้จะย้ายไปด้านหลังเพื่อส่งแรงขึ้นไปทางซ้ายในการปีนเพื่อจับกับตัวจับที่ 4 และมีการดึงตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดังภาพที่ 69)

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 (n=21)

กล้ามเนื้อ	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	95%CI		t	p-value
	B	Std. Error	β	Lower bound	Upper bound		
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังซาย	0.93	0.21	0.36	0.40	0.45	4.343	0.001*
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังขวา	0.51	0.11	0.39	0.27	0.75	4.681	0.001*
กล้ามเนื้อแกสตรอค นิเมียสซังซาย	0.11	0.05	0.19	0.00	0.22	2.256	0.048*
กล้ามเนื้อแกสตรอค นิเมียสซังขวา	-0.27	0.14	-0.23	-0.59	0.04	-1.919	0.084
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซังซาย	0.52	0.06	0.61	0.38	0.65	8.411	<0.001*
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล ลิส เมเจอร์ซังซาย	0.68	0.19	0.44	0.26	1.10	3.632	0.005*
กล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสซังซาย	0.18	0.05	0.34	0.08	0.28	4.022	0.002*
กล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสซังขวา	0.08	0.04	0.27	-0.01	0.17	1.920	0.084
กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ซังซาย	0.66	0.13	0.41	0.37	0.94	5.081	<0.001*
กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ซังขวา	-0.67	0.13	-0.75	-0.97	-0.37	-5.033	0.001*
(Constant)	0.19	0.21		-0.28	0.65	.893	0.393

R=0.982, R²=0.963, Adj. R²=0.927, F=26.290, p-value<0.001*

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Multiple Linear Regression with Backward method.



ภาพที่ 69 การเคลื่อนไหวร่างกายแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 ไปทางด้านซ้าย

4.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5

สำหรับการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 5 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างขวา ($p\text{-value}=0.001$), กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ($p\text{-value}=0.012$), กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย ($p\text{-value}=0.007$), กล้ามเนื้อวาสต์ส แลเธอรัลลิสข้างขวา ($p\text{-value}<0.001$), และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย ($p\text{-value}=0.001$) โดยกล้ามเนื้อทั้ง 5 มัด (รวมทั้งการขจัดอิทธิพลการทำงานของกล้ามเนื้ออีก 2 มัด คือกล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างซ้าย และกล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา รวมกันทั้งหมด 7 มัด) จะส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาประมาณร้อยละ 69.2 ($R^2=0.692$) โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อวาสต์ส แลเธอรัลลิสข้างขวาเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.87 เมตร/วินาที ($\beta=1.87$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ($\beta=0.80$) ส่วนกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้ายทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาช้าลง ($\beta= -1.67$) (ดังตารางที่ 14) และการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 มีการเคลื่อนไหวร่างกายไปทางด้านขวาอย่างรวดเร็ว มีการงอของลำตัวเพื่อสร้างแรงในการเหวี่ยงตัวไปทางขวา เพื่อเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 4 ไปจับกับตัวจับที่ 5 มีการเหยียดของข้อไหล่ ร่วมกับการงอของข้อศอก ข้อสะโพก และข้อเข่าข้างขวาเพื่อถีบตัวจากตัวจับสำหรับการปีนไปยังตัวจับที่ 5 อย่างรวดเร็ว (ดังภาพที่ 70)

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 (n=21)

กล้ามเนื้อ	Unstandardized		Standardized	95%CI		t	p-value
	Coefficients		Coefficients	Lower bound	Upper bound		
	B	Std. Error	β				
กล้ามเนื้อแกส	0.23	0.12	0.42	0.30	0.48	1.917	0.078
ตรอกนิเมียสข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อแกส	0.69	0.16	0.68	0.33	1.04	4.184	0.001*
ตรอกนิเมียสข้างขวา							
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส	0.43	0.15	0.80	0.25	0.61	2.902	0.012*
คอไซด์ข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล	0.61	0.19	0.56	0.20	1.03	3.180	0.007*
ลิส เมเจอร์ข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อวาสตัส	0.38	0.08	1.87	0.20	0.55	4.624	<0.001*
แลเธอรัลลิสข้างขวา							
กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์	-0.16	0.08	-0.36	-0.32	0.01	-2.072	0.059
เทนเซอร์ข้างขวา							
กล้ามเนื้อริสท์	-1.10	0.25	-1.67	-1.65	-0.55	-4.339	0.001*
เฟลกเซอร์ข้างซ้าย							
(Constant)	2.06	0.34		1.33	2.80	6.052	<0.001*

R=0.832, R²=0.692, Adj. R²=0.526, F=4.168, p-value=0.013*

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Multiple Linear Regression with Backward method.



ภาพที่ 70 การเคลื่อนไหวร่างกายแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ไปทางด้านขวา

4.3 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการปืนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5

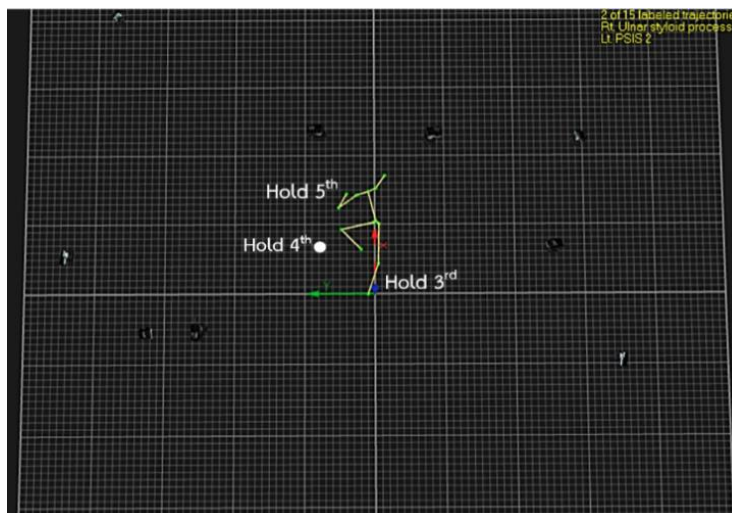
สำหรับการปืนแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการปืนหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 5 มัด ได้แก่กล้ามเนื้อแกสโตรคโคนีเมียสข้างซ้าย (p-value=0.008), กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย (p-value=0.039), กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้าย (p-value<0.001), กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย (p-value<0.001), และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา (p-value<0.001) โดยกล้ามเนื้อทั้ง 5 มัด (รวมทั้งการจัดอิทธิพลการทำงานของกล้ามเนื้ออีก 2 มัด คือกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย และกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างขวา รวมกันทั้งหมด 7 มัด) จะส่งผลต่อความเร็วในการปืนหน้าผาประมาณร้อยละ 86.8 ($R^2=0.868$) โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้ายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการปืนหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.08 เมตร/วินาที ($\beta=1.08$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ($\beta=0.48$) ส่วนกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา มีผลทำให้ความเร็วในการปืนหน้าผาช้าลง ($\beta= -1.06$ และ -0.75 ตามลำดับ) (ดังตารางที่ 15) และการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เป็นการเคลื่อนไหวของร่างกายที่เข้ามีการเหยียดอย่างรวดเร็ว เพื่อเหยียดตัวขึ้นจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 ทางซ้าย และจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ทางขวา โดยท่าเริ่มต้นของการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท ลำตัวของนักกีฬาจะเอียงในแนวเฉียงเพื่อสร้างความเฉื่อยในทิศทางที่ต้องการ ในตำแหน่งนี้ขาของนักกีฬาจะยื่นไปด้านหลังเพื่อส่งแรงขึ้นไปทางซ้ายในการปืนเพื่อจับกับตัวจับที่ 4 และมีการดึงตัวขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อไปตัวจับที่ 5 (ดังภาพที่ 71)

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการป็นหน้า
ผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 (n=21)

กล้ามเนื้อ	Unstandardized		Standardized	95%CI		t	p-value
	Coefficients		Coefficients	Lower	Upper		
	B	Std. Error	β				
กล้ามเนื้อแกส	0.29	0.09	0.36	0.09	0.49	3.113	0.008*
ตรอกนิเมียสข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส	0.20	0.09	0.48	0.01	0.38	2.300	0.039*
คอไซด์ข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล	0.17	0.09	0.24	-0.03	0.36	1.834	0.090
ลิส เมเจอร์ข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อเพคเทอรัล	-0.28	0.15	-0.25	-0.60	0.04	-1.883	0.082
ลิส เมเจอร์ข้างขวา							
กล้ามเนื้อวาสตัส แล	0.38	0.05	1.08	0.27	0.48	7.607	<0.001*
เธอรัลลิสข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อริสท์	-0.54	0.11	-1.06	-0.77	-0.31	-5.119	<0.001*
เฟลกเซอร์ข้างซ้าย							
กล้ามเนื้อริสท์	-0.14	0.02	-0.75	-0.18	-0.09	-6.185	<0.001*
เฟลกเซอร์ข้างขวา							
(Constant)	1.61	0.23				6.884	<0.001*

R=0.931, R²=0.868, Adj. R²=0.796, F=12.170, p-value<0.001*

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Multiple Linear Regression with Backward method.



ภาพที่ 71 การเคลื่อนไหวร่างกายแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5

4.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5

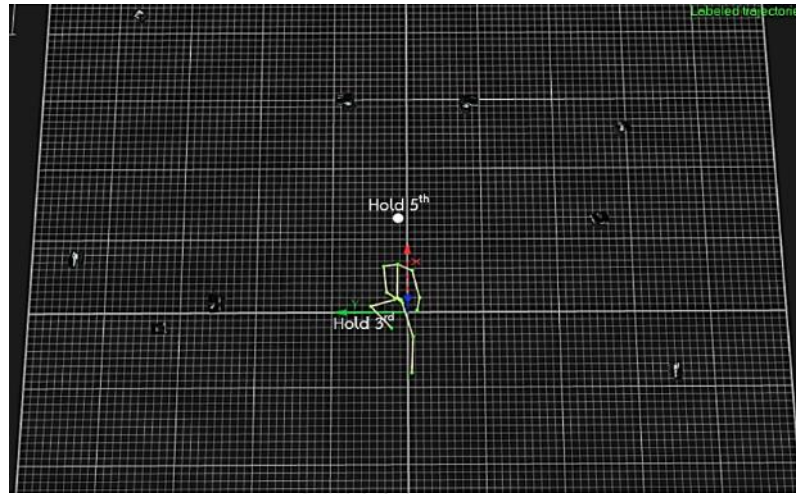
สำหรับการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการป็นหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 5 มัด ได้แก่กล้ามเนื้อแกสโตรคโคนีเมียสข้างซ้าย ($p\text{-value}<0.001$), กล้ามเนื้อแลทิสสิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ($p\text{-value}=0.026$), กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา ($p\text{-value}<0.001$), กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย ($p\text{-value}=0.001$), และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา ($p\text{-value}=0.006$) โดยกล้ามเนื้อทั้ง 5 มัด (รวมทั้งการขจัดอิทธิพลการทำงานของกล้ามเนื้ออีก 1 มัด คือ กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกิโอซายด์ รวมกันทั้งหมด 6 มัด) จะส่งผลต่อความเร็วในการป็นหน้าผาประมาณร้อยละ 91.7 ($R^2=0.917$) โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อแกสโตรคโคนีเมียสข้างซ้ายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.53 เมตร/วินาที ($\beta=0.53$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย ($\beta=0.39$) ส่วนกล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวาทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาช้าลง ($\beta= -0.54$ และ -0.32 ตามลำดับ) (ดังตารางที่ 16) และการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายแบบโทโมอะ สคิปช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนไหว และช่วงท้ายการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ท่าเริ่มต้นของนักกีฬาจะมีลักษณะของลำตัวอยู่ในแนวตั้งตรงเช่นเดียวกับตำแหน่งของขาที่อยู่ในลักษณะแบบจ็อกกิ้ง (Jogging leg) มีการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อสร้างแรงในการถีบตัวขึ้นในแนวตั้ง (ดังภาพที่ 72-73)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 (n=21)

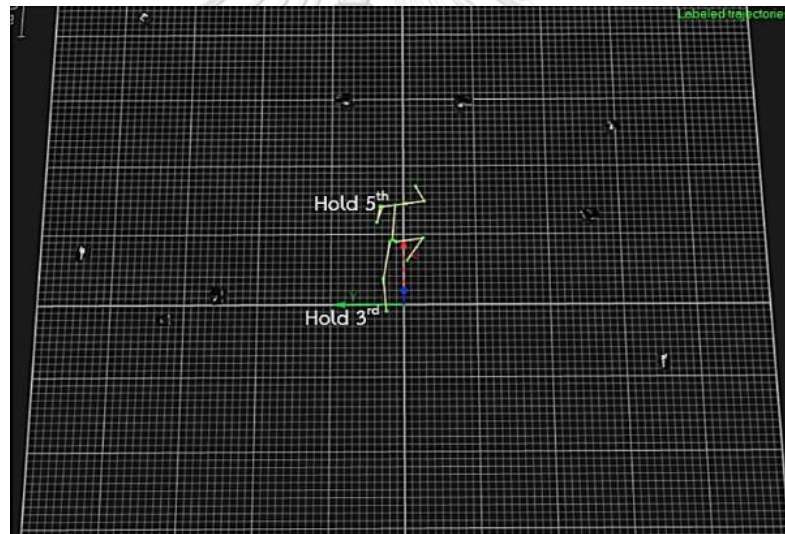
กล้ามเนื้อ	Unstandardized		Standardized	95%CI		t	p-value
	Coefficients		Coefficients	Lower bound	Upper bound		
	B	Std. Error	β				
กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกกีไอข้างซ้าย	0.10	0.05	0.17	-0.02	0.21	1.772	0.098
กล้ามเนื้อแกสตร รอกนิเมียสข้างซ้าย	0.08	0.01	0.53	0.05	0.11	5.807	<0.001*
กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส คอไซด์ข้างซ้าย	0.09	0.04	0.23	0.07	0.11	2.495	0.026*
กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์ เทนเซอร์ข้างขวา	-0.16	0.03	-0.54	-0.22	-0.10	-6.047	<0.001*
กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย	0.18	0.04	0.39	0.09	0.27	4.259	0.001*
กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา	-0.03	0.01	-0.32	-0.06	-0.01	-3.246	0.006*
(Constant)	2.21	0.08		2.03	2.39	26.630	<0.001*

R=0.958, R²=0.917, Adj. R²=0.881, F=25.743, p-value<0.001*

* Statistically significant at p-value<0.05, determined by Multiple Linear Regression with Backward method.



ภาพที่ 72 การเคลื่อนไหรร่างกายแบบโทโมอะ สคิป ช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนไหว
จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5



ภาพที่ 73 การเคลื่อนไหรร่างกายแบบโทโมอะ สคิป ช่วงท้ายการเคลื่อนไหว
จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีรูปแบบการศึกษาทดลองแบบไขว้กัน (Cross over design) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลทางคิเนมาติกส์ และศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร ช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการป็นแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ในนักกีฬาป็นหน้าผาทีมชาติไทย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็ว ทีมชาติไทยชุดใหญ่ เพศชาย สัญชาติไทย ที่กำลังเก็บตัวเพื่อเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาเอเชียนบีชเกมส์ 2021 ครั้งที่ 6 ณ เมืองซานย่า ประเทศจีน อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 7 คน

สรุปผลการวิจัย และอภิปราย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็วทีมชาติไทย เพศชาย มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 22.29 ± 2.93 ปี น้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 65.43 ± 9.03 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 176.14 ± 5.81 เซนติเมตร ดัชนีมวลกายเฉลี่ยเท่ากับ 21.07 ± 2.53 กิโลกรัม/เมตร แรงบีบมือด้านซ้ายเฉลี่ยเท่ากับ 54.74 ± 8.24 กิโลกรัม แรงบีบมือด้านขวาเฉลี่ยเท่ากับ 62.63 ± 13.62 กิโลกรัม แขนข้างซ้ายยาวเฉลี่ยเท่ากับ 78.17 ± 3.01 เซนติเมตร แขนข้างขวายาวเฉลี่ยเท่ากับ 78.20 ± 3.29 เซนติเมตร ขาข้างซ้ายยาวเฉลี่ยเท่ากับ 98.59 ± 3.42 เซนติเมตร ขาข้างขวายาวเฉลี่ยเท่ากับ 98.21 ± 3.43 เซนติเมตร หน้าอกกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 27.43 ± 1.59 เซนติเมตร และสะโพกกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 25.79 ± 2.50 เซนติเมตร

นักกีฬาป็นหน้าผาต้องอาศัยสมรรถภาพกายในระดับสูง เพื่อเคลื่อนที่ไปในแนวดิ่ง โดยเฉพาะประเภทการแข่งขันที่อาศัยความเร็ว ซึ่งแสดงถึงผู้ที่มีรูปร่างสูง ผอม แขน ขายาว มีความแข็งแรงของแรงบีบมือสูง ทำให้สามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกในการป็นขึ้นไปในแนวดิ่งได้อย่างรวดเร็ว โดยพัฒนาการในช่วงวัยรุ่นตอนปลาย (Late adolescence) อายุตั้งแต่ 18 - 21 ปี และวัยผู้ใหญ่ตอนต้น (Early adulthood) ตั้งแต่อายุ 20 ถึง 40 ปีจะมีความเจริญเติบโตทางกายที่สมบูรณ์เต็มที่ และมีพัฒนาทางด้านร่างกายเต็มประสิทธิภาพ มีความสามารถของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายสูงสุด ขนาดทุกสัดส่วนเจริญเต็มที่บอกลักษณะความเป็นผู้ใหญ่อย่างสมบูรณ์ (Ahmad et al., 2001) โดยพบว่าความสูงเฉลี่ยของผู้ชายในทวีปเอเชียจะมีความสูงอยู่ที่ 164 เซนติเมตร (Jayawardana et al.,

2013) แสดงได้ว่า นักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วที่จะมีสมรรถภาพทางกายที่ดี ควรมีอายุเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ร่างกายมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว และมีสัดส่วนของน้ำหนักน้อย ขณะที่มีความสูงอยู่ในระดับสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดีห์ล และคณะ (Deyhle et al., 2015) ที่พบว่า ความแข็งแรงของร่างกาย และการมีสัดส่วนความสูงของร่างกายอยู่ในระดับที่สูง มีมวลของร่างกายที่ต่ำ (มีน้ำหนักตัวที่เบา) มักจะเป็นลักษณะร่างกายของนักปีนหน้าผามีอาชีพ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของร่างกาย และมวลของร่างกายในนักกีฬาปีนหน้าผาได้แสดงเป็นอัตราส่วนความแข็งแรงต่อมวล (Magiera et al., 2013) สอดคล้องกับการศึกษาวัตต์ และคณะ (Watts et al., 2008) ที่กล่าวว่า นักกีฬาปีนหน้าผามีอาชีพจะมีสัดส่วนความแข็งแรงต่อมวลที่สูง โดยมีส่วนสูงอยู่ในระดับสูง มีมวลร่างกายที่ต่ำ มีไขมันในร่างกายต่ำ และความแข็งแรงของแรงบีบมือที่สูงต่ออัตราส่วนมวลกาย

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์

2.1 ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหว ความเร็วในการปีนหน้าผา และระยะเวลาในการปีนหน้าผาระยะทาง 15 เมตร

ระยะเวลาของช่วงการเคลื่อนไหวในการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ การปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4, จากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 และ รวมระยะเวลาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ส่วนการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีช่วงเดียวคือ การปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ผลการศึกษา พบว่า การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทใช้เวลาในการปีนหน้าผาจากจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เฉลี่ยเท่ากับ 1.78 ± 0.48 วินาที ส่วนการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ± 0.14 วินาที จากการทดสอบด้วยโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่า การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท ใช้เวลามากกว่าแบบโทโมอะ สคิป เฉลี่ยเท่ากับ 1.04 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ความเร็วในการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป พบว่า การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท มีความเร็วในการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เฉลี่ยเท่ากับ 1.58 ± 0.28 เมตร/วินาที แบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 2.21 ± 0.17 เมตร/วินาที จากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่า การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีความเร็วน้อยกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 เมตร/วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ระยะเวลาในการปีนหน้าผาระยะทาง 15 เมตร ของการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป พบว่า การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทใช้เวลาในการปีนหน้าผาระยะทาง 15 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 11.59 ± 2.04 วินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิปใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 8.44 ± 1.98

วินาที จากการทดสอบโดยใช้ค่าที่รายคู่ พบว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทใช้เวลาในการป็นมากกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 3.15 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป เป็นท่าทางการป็นที่สามารถลดเวลาในการป็นได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีการเคลื่อนไหวเพียงช่วงเดียวคือ การเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 โดยข้ามตัวจับที่ 4 ไป จึงใช้เวลาในการป็นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ของการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปนี้ เป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ต้องใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่สูง เพื่อต้านแรงโน้มถ่วงของโลก และเมื่อป็นหน้าผาในช่วงต้นของการออกตัวในรูปแบบโทโมอะ สคิป จะส่งผลให้มีความเร็วในช่วงต้นมากกว่าการป็นแบบ คลาสสิก สตาร์ท ส่งผลให้สามารถทำความเร็วได้สูงกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุนโกะ และคราฟซัค (Shunko and Kravchuk, 2020) ที่พบว่า การป็นหน้าผาประเภทความเร็วแบบโทโมอะ สคิป จะมีลักษณะของลำตัวอยู่ในแนวตั้งตรงเพื่อผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการป็น เช่นเดียวกับตำแหน่งของขาที่อยู่ในลักษณะแบบจิกอกกิ้ง ซึ่งการออกตัวแบบโทโมอะ สคิปจะมีการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อสร้างแรงในการถีบตัวขึ้นในแนวตั้ง ทำให้มีความเร็วในการป็นที่สูง และจากผลการทดลองจึงน่าจะกล่าวได้ว่า การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป มีแรงส่งในการป็นในแนวตั้งที่มากกว่า จึงส่งผลให้เวลาในการป็นจนถึง 15 เมตรน้อยกว่าการป็นแบบคลาสสิก สตาร์ทอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 ความเร็วเชิงมุม ความเร็วเชิงเส้น และมุมการเคลื่อนไหว

การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีความเร็วเชิงมุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ข้อศอกข้างซ้าย, ข้อศอกข้างขวา, ข้อสะโพกข้างขวา, และข้อเข่าข้างซ้าย โดยการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเชิงมุมของข้อศอกข้างซ้าย, ข้อศอกข้างขวา, และข้อเข่าข้างซ้าย มากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทเฉลี่ยเท่ากับ 208.00, 116.88, และ 133.23 องศา/วินาที ตามลำดับ ส่วนการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีความเร็วเชิงมุมของข้อสะโพกข้างขวา มากกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 123.11 องศา/วินาที

การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเชิงเส้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ตำแหน่ง ปุ่มกระดูกอโครเมียล โพรเซสข้างซ้าย, ปุ่มกระดูกอโครเมียล โพรเซสข้างขวา, และปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ข้างขวา โดยการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีความเร็วเชิงเส้นของทั้ง 3 ตำแหน่ง มากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทเฉลี่ยเท่ากับ 0.86, 1.40 และ 2.63 เมตร/วินาที ตามลำดับ

การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปมีมุมการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ข้อศอกข้างขวา และลำตัว โดยการป็นหน้าผาแบบ คลาสสิก สตาร์ทมีมุมของข้อศอกข้างขวา และ ลำตัวมากกว่าแบบโทโมอะ สคิปเฉลี่ยเท่ากับ 37.22 และ 5.74 องศาตามลำดับ

การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปที่สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้เร็วกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ท เกิดจากการเคลื่อนไหวของข้อศอกข้างซ้าย ข้อศอกข้างขวา และข้อเข่าข้างซ้ายที่รวดเร็ว ในขณะที่ข้อสะโพกข้างขวามีเคลื่อนไหวที่ช้าลง ซึ่งจากการเคลื่อนไหวเชิงมุมดังกล่าว ส่งผลให้มีการ เคลื่อนที่ของปุ่มกระดูกอโครเมียล โพรเซซข้างซ้าย และปุ่มกระดูกแลทเทอร์อัล อีพิคอนไดล์ข้างขวา เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น และพบว่า การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีองศาการเคลื่อนไหวของข้อศอกข้าง ขวา และลำตัวน้อยกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ท เนื่องจาก การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทมีการ เคลื่อนไหวแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการเคลื่อนไหว ได้แก่การป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 และ จากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ทำให้ใช้ระยะเวลาในการป็นที่มากกว่าการป็นแบบโทโมอะ สคิป ซึ่งมีการ เคลื่อนไหวเพียงช่วงเดียว คือการเคลื่อนไหวในแนวตั้งจาก ตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ทำให้สามารถทำ ความเร็วได้สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เรฟเวอเรนท์ และคณะ (Reveret et al., 2018) ที่ พบว่า การป็นหน้าผาประเภทความเร็วจะสูญเสียพลังงานไปในสองทิศทางที่มากกว่าการเคลื่อนไหว ในแนวตั้ง คือการเคลื่อนไหวไปด้านข้าง และทิศทางเคลื่อนไหวของร่างกายที่ตั้งฉากกับระนาบ ของหน้าผา ซึ่งส่งผลให้สมรรถภาพในการป็นลดลง สอดคล้องกับ ลีกรีนเนล, โรกอปสกี และดิวิร์ฟ (Legreneur, Rogowski and Durif, 2019) ที่ได้ศึกษาพบว่า สมรรถภาพในการป็นหน้าผาประเภท ความเร็วจะถูกกำหนดด้วยความสามารถในการเคลื่อนไหวของร่างกายที่จะช่วยเพิ่มความสำเร็จในการ ป็นอันได้แก่ การลดการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างให้น้อยที่สุดเพื่อเพิ่มความเร็วในการ เคลื่อนไหว, การรักษาความเร็วตลอดช่วงระยะทางการป็น และการลดความเร็วที่ลดลงภายหลังจาก การกระโดดให้น้อยที่สุด ดังนั้นการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป ที่มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างน้อย กว่าจึงสามารถเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งได้เร็วกว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

3.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงาน ของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14 มัด พบว่า ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด ของกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอฮิวมาเรอ/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.99 \pm 0.29 / 3.14 \pm 0.12$ กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนีเมียสข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

$1.93 \pm 0.68 / 1.72 \pm 0.52$ กล้ามเนื้อแลทิสลิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ
 $1.86 \pm 0.61 / 1.83 \pm 0.59$ กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ
 $1.87 \pm 0.69 / 2.24 \pm 0.63$ กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิส ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ
 $1.14 \pm 0.73 / 1.35 \pm 0.62$ ส่วนกล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ
 $2.08 \pm 0.53 / 1.95 \pm 0.74$ และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย/ข้างขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ
 $2.67 \pm 0.68 / 1.98 \pm 1.02$

3.2 กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างซ้าย เป็นกล้ามเนื้อที่มีอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้า
 สูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงานสูงที่สุด ทั้ง
 การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 ± 2.04 และ
 3.26 ± 2.69 ส่วนกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอข้างซ้ายทั้งในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และ
 แบบโทโมอะ สคิป มีอัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด
 ขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงานน้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 0.39 ± 0.26 และ 0.77 ± 0.37 และจาก
 การทดสอบโดยใช้ค่าที่รายคู่ของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท
 และแบบโทโมอะ สคิป ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้
 กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงานของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างซ้าย เป็นกล้ามเนื้อที่แสดงค่าสูงที่สุดทั้ง
 การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป กล้ามเนื้อดังกล่าวเป็นกล้ามเนื้อที่มี
 กระแสประสาทสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงานมากที่สุดขณะป็นหน้าผา เกิดจากการป็นหน้าผาในทั้ง 2
 ท่าทาง ใช้กล้ามเนื้อส่วนใหญ่เหมือนกัน โดยกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ ที่ทำ
 หน้าที่หลักในการเหยียดเข่า โดยเฉพาะในช่วง 90 องศา (Middle range) (Kushion et al., 2012)
 และพบว่า ในขณะที่ทำการป็นหน้าผาช่วงเริ่มต้นเส้นทางการป็นทั้ง 2 ท่า พบว่าเข่าจะอยู่ในท่าอ
 ในช่วงประมาณ 90 องศาโดยตลอด กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างซ้าย จะทำหน้าที่หลักในการ
 เหยียดเข่าข้างซ้าย (Kushion et al., 2012) ดังนั้น การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโท
 โมอะ สคิปมีการทำงานของกล้ามเนื้อในการเหยียดข้อเข่าอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกล้ามเนื้อวาสตัส
 แลเธอรัลลิสข้างซ้ายมากที่สุด ในทางกลับกัน อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อ
 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน ของกล้ามเนื้ออกกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์
 เบรคิโอข้างซ้ายน้อยที่สุด ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ กว้อ และคณะ (Guo et al., 2019) ที่กล่าวว่า
 กล้ามเนื้อหลักในการป็นหน้าผาคือกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนบน โดยเฉพาะกล้ามเนื้อกลุ่มฟิงเกอร์ เฟ

ลกเซอร์ ที่ใช้ในการยึดจับขณะป็นหน้าผา ซึ่งน่าจะทำงานร่วมกันกับกล้ามเนื้อในการงอข้อศอก หรือกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซายด์ ดังนั้น การทำงานของกล้ามเนื้ออาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับการถูกสั่งการให้ทำงานอย่างมากเพียงเท่านั้น แต่อาจขึ้นอยู่กับรูปแบบการทำงาน หรือลำดับของกล้ามเนื้อด้วย แต่อย่างไรก็ตาม กลับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ ของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด เมื่อเปรียบเทียบการป็นทั้ง 2 ท่าทาง จึงน่าจะกล่าวได้ว่า การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีการทำงานของกล้ามเนื้อคล้ายคลึงกัน ซึ่งน่าจะเป็นเพราะเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งเหมือนกัน จึงไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ในทิศทางจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 แล้วไปยังตัวจับที่ 5 ในรูปแบบคลาสสิก สตาร์ท หรือการเคลื่อนที่ในทิศทางจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 แบบโทโมอะ สคิปก็ตาม การวิเคราะห์ความแตกต่างของการป็นทั้ง 2 รูปแบบ จึงควรวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ รูปแบบอื่นประกอบกันต่อไป

3.3 พื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท มีพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะที่มีการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสซายด์มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 ± 0.23 มิลลิโวลต์/วินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิปมีพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายด์มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.43 ± 0.50 มิลลิโวลต์/วินาที และจากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะป็นหน้าผาของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสซายด์ ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทเท่ากับ 0.22 ± 0.13 มิลลิโวลต์/วินาที ซึ่งน้อยกว่าแบบโทโมอะ สคิปที่เท่ากับ 0.37 ± 0.21 มิลลิโวลต์/วินาที

ความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระหว่างการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป พบว่า กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสซายด์มีพื้นที่ใต้กราฟสูงสุดในการป็นแบบคลาสสิก สตาร์ท ในขณะที่การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป มีพื้นที่ใต้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายด์สูงสุด ซึ่งแสดงผลแตกต่างจากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างคลื่นไฟฟ้าสูงสุดขณะป็นหน้าผาต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน ถึงแม้กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสซายด์ ของการป็นหน้าผาทั้ง 2 รูปแบบ จะพบความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด แต่การป็นแบบโทโมอะ สคิป แสดงผลพื้นที่ใต้กราฟของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายด์มากกว่ากล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสซายด์ ซึ่งน่าจะหมายถึงการป็นแบบโทโมอะ สคิป มีการทำงานของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายด์เพิ่มขึ้น

ขณะปั่น โดยการเคลื่อนไหวของร่างกายในการปั่นหน้าผาประเภทความเร็วในแนวตั้ง ซึ่งน่าจะเกิดจากการดึงร่างกายขึ้นในแนวตั้ง โดยใช้กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ตลอดช่วงของการปั่น เพื่อสร้างความเร็วในการเคลื่อนไหว (Shunko and Kravchuk, 2020)

การปั่นแบบโทโมอะ สคิป มีการทำงานของกล้ามเนื้อขา และกล้ามเนื้อแขนทำงานร่วมกัน ยิ่งไปกว่านั้น พบว่า การปั่นแบบโทโมอะ สคิป มีพื้นที่ได้กราฟของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอร์ลิสซิมัสข้างขวามากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทอย่างมีนัยสำคัญ การปั่นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปจึงต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนรยางค์แขน และขา ร่วมกันเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กว๋อ และคณะ (Guo et al., 2019) ที่กล่าวว่า การปั่นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อทุกส่วนร่วมกันจึงจะสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ ซุนโกะ และคราฟซัค (Shunko and Kravchuk, 2020) ที่เสนอว่า ช่วงเริ่มต้นของการปั่นหน้าผาประเภทความเร็ว เป็นช่วงของการปั่นที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกายแบบผสมผสาน (Combinations) โดยนักกีฬาจะต้องมีการเคลื่อนไหวของแขนร่วมกับการใช้ขา มีการหมุนของลำตัว และการใช้มือในการจับตัวจับร่วมด้วย

3.4 ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดในการปั่นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทที่มีระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังขวาน้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 0.32 ± 0.15 มิลลิวินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิปมีระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้ออกสโตรคโคนีเมียสซังขวาน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 ± 0.26 มิลลิวินาที และจากการทดสอบโดยใช้ค่าทีรายคู่ พบว่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้ออกสโตรคโคนีเมียสซังขวา และกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอร์ลิสซิมัสข้างขวา ระหว่างการปั่นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยแบบคลาสสิก สตาร์ทมีระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้ออกสโตรคโคนีเมียสซังขวาเท่ากับ 0.80 ± 0.37 มิลลิวินาที ซึ่งมากกว่าแบบโทโมอะ สคิป เท่ากับ 0.18 ± 0.26 มิลลิวินาที ส่วนกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอร์ลิสซิมัสข้างขวา ของการปั่นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป มีระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุดเท่ากับ 0.64 ± 0.15 มิลลิวินาที ซึ่งมากกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ท เท่ากับ 0.45 ± 0.30 มิลลิวินาที มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การปั่นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท แสดงเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซังขวาน้อยที่สุด ขณะที่การปั่นแบบโทโมอะ สคิป กล้ามเนื้ออกสโตรคโคนีเมียส

ข้างขวามีเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดน้อยที่สุด จากผลการวิจัยครั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การปีนแบบคลาสสิก สตาร์ทจะใช้ความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อแขนเป็นหลักเพื่อดึงตัวขึ้น ในขณะที่การปีนแบบโทโมอะ สคิป ใช้ความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อขาเป็นหลักในการเคลื่อนที่ ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า การปีนในท่า โทโมอะ สคิปมีเวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียสข้างขวาน้อยกว่า แบบคลาสสิก สตาร์ทอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เวลาในการเพิ่มความต่างศักย์ถึงค่าสูงสุดของกล้ามเนื้ออวาสต์ส แลเธอร์ลิสข้างขวาในการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปแสดงเวลาที่มากกว่าการปีนแบบ คลาสสิก สตาร์ทอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาการทำงานของกล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียส และกล้ามเนื้ออวาสต์ส แลเธอร์ลิส พบว่า กล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียส ทำหน้าที่หลักในการถีบปลายเท้า ขณะที่กล้ามเนื้ออวาสต์ส แลเธอร์ลิส ทำหน้าที่หลักในการเหยียดเข่า (Extensor of the knee) (Kushion et al., 2012) การปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป จะอาศัยการถีบจากปลายเท้าอย่างรวดเร็วเป็นหลัก ในขณะที่การปีนแบบคลาสสิก สตาร์ท จะใช้ความเร็วในการเหยียดเข่าเป็นหลัก ซึ่งเป็นไปตามหลักการเสริมแรง (Reinforcement) เป็นการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ทำงานก่อน เพื่อเริ่มการเคลื่อนไหวของร่างกาย และใช้กล้ามเนื้ออื่น ๆ ช่วยในการเสริมแรงตามลำดับ จนถึงกล้ามเนื้อขนาดเล็ก ซึ่งหดตัวได้เร็วเป็นลำดับสุดท้าย โดยจะต้องให้มีจังหวะที่ต่อเนื่องกัน และกล้ามเนื้อที่ทำงานก่อนก็ยังคงทำงานเพื่อให้มีแรงรองรับของกล้ามเนื้อลำดับต่อไป (Fischer et al., 2021) โดยในขณะที่ออกแรงถีบตัวเพื่อดึงร่างกายขึ้น กล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียส จะทำงานเป็นหลักในการถีบปลายเท้าออกจากตัวจับอย่างรวดเร็ว จากนั้นกล้ามเนื้ออวาสต์ส แลเธอร์ลิส จะทำงานต่อมาในการเหยียดเข่าอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน ถ้ากล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียสสามารถทำงานได้ดีในช่วงเริ่มต้น ก็จะช่วยให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วสูงสุดได้อย่างต่อเนื่องตลอดการเคลื่อนไหว สอดคล้องกับงานวิจัยของ โคซึนา และคณะ (Kozina et al., 2014) ที่กล่าวว่า การปีนหน้าผาประเภทความเร็วแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวที่จะต้องมียุทธศาสตร์ของกล้ามเนื้อขาสูง ซึ่งจะช่วยในการออกแรงส่งตัวในทิศทางการเคลื่อนไหว โดยองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว จะต้องมีสมรรถภาพด้านความเร็ว และพลังที่ดี (Speed-Power fitness) ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดสูงสุด (Highest indicators) ของการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว โดยพลังของกลุ่มกล้ามเนื้อบริเวณขาจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนากการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ส่งผลให้มีการเคลื่อนไหวในทิศทางที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว (Ryepko, 2013) สอดคล้องกับผลการศึกษากองกริฟฟิธ และคณะ (Griffith et al., 2004) กล่าวว่า กล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียสเป็นกล้ามเนื้อข้ามสองข้อต่อ (2 Joint muscle) จึงทำหน้าที่ทั้งเป็นกล้ามเนื้อในการงอเข่า และถีบปลายเท้าลง

โดยการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อแกสโตรอคนิเมียส ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วในการถีบตัวขึ้นในแนวตั้ง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเร่งความเร็วในการกระโดดไปยังตัวจับถัดไป ดังนั้นการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปจึงมีการเสริมแรงจากการถีบปลายเท้าโดยกล้ามเนื้อแกสโตรอคนิเมียส ไปยังกล้ามเนื้อส่วนอื่นได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น มีพลังในการถีบปลายเท้าสูง จึงทำให้การปีนหน้าผา แบบโทโมอะ สคิปมีการเคลื่อนที่ที่เร็วกว่าการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท

3.5 การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทกล้ามเนื้อแกสโตรอคนิเมียสข้างซ้าย มีอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 18.71 ± 24.89 มิลลิโวลต์/วินาที ส่วนแบบโทโมอะ สคิป กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้ายมีอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 11.77 ± 8.87 มิลลิโวลต์/วินาที แต่จากการทดสอบโดยใช้ค่าที่รายคู่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเพิ่มความต่างศักย์ของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ระหว่างการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป

การปีนหน้าผาทั้งแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป มีอัตราการเร่งการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างไม่แตกต่างกันของกล้ามเนื้อทุกส่วนของร่างกาย เนื่องจากการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิปจะต้องมีการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง ด้วยอัตราเร่งที่มากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น กล้ามเนื้อทุกส่วนของร่างกายต้องทำงานโดยมีอัตราการเพิ่มความเร็วจนสามารถตั้งร่างกายขึ้นในแนวตั้งได้ทั้งในรูปแบบการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และแบบโทโมอะ สคิป ผลการวิจัยจึงแสดงให้เห็นว่า อัตราการเร่งการทำงานของกล้ามเนื้อมีความชันของการเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์ของศักย์ทำงาน (Action potential) ไม่แตกต่างกันระหว่างการปีนทั้ง 2 รูปแบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ คูคูบิสส์ และคณะ (Koukoubis et al., 2013) ที่พบว่า การปีนหน้าผาจะต้องมีการระดมประสาทยนต์ของกล้ามเนื้อทุกส่วนของร่างกายในการเพิ่มแรง เพื่อดึงตัวให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งได้อย่างรวดเร็ว

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

การทดสอบการทำงานของกล้ามเนื้อทั้ง 14 มัด ที่ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผา จำแนกตามการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4, ช่วงการปีนจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 และช่วงการปีนจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ส่วนการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปมีช่วงเดียวคือ ช่วงการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ กำหนดให้คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อทั้งหมด 14

มัด เป็นตัวแปรต้น โดยนำเข้าวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบคเวิร์ด (Backward) เพื่อคัดเลือกกล้ามเนื้อที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในการปีนหน้าผา (เมตร/วินาที) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

4.1 การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในการปีนหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 8 มัด ได้แก่กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาย, กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาย, กล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียสซาย, กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซาย, กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซาย, กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสซาย, กล้ามเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ซาย, และกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซาย โดยกล้ามเนื้อทั้ง 8 มัด จะส่งผลกระทบต่อความเร็วในการปีนหน้าผาประมาณร้อยละ 96.3 โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.61 เมตร/วินาที ($\beta=0.61$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ซาย ($\beta=0.44$) ส่วนกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซายทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผา ซาลง ($\beta= -0.75$)

กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายมีผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กว๋อ และคณะ (Guo et al., 2019) ที่พบว่า กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์มีค่าการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด ตามมาด้วยกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอ และ กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรัม ซูเปอร์ฟีลิลลิส ดังนั้น หากกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ซายมีสมรรถภาพของการทำงานสูง เช่นมีแรงในการหดตัว ความเร็วในการหดตัว หรือสามารถคงแรงและความเร็วได้นาน น่าจะส่งผลให้มีความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ เนื่องจากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า มีกล้ามเนื้อทั้งหมดจำนวน 8 มัด เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนหน้าผา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุนโกะ และคราฟซัค (Shunko and Kravchuk, 2020) ที่กล่าวว่า การปีนหน้าผาประเภทความเร็วจะมีการเคลื่อนไหวร่างกายแบบผสมผสาน คือมีการเคลื่อนไหวของทุกส่วนของร่างกาย ทั้งแขน ลำตัว และขาพร้อมกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวดิ่งได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่างานวิจัยก่อนหน้า ส่วนใหญ่จะกล่าวหาว่าสมรรถภาพในการปีนหน้าผาจะขึ้นอยู่กับกล้ามเนื้ออย่างค้ำเป็นหลัก (Mermier et al., 2000, Noe, Quaine and Martin, 2001, Quaine, Vigouroux and Martin, 2003, Macleod et al., 2007, Limonta et al., 2008, La Torre, 2009 and Philippe et al., 2001) ผลการวิจัยในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่า นอกจากกล้ามเนื้ออย่างค้ำยังมีผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาแล้ว กล้ามเนื้ออย่างค้ำก็มีผลต่อความเร็วในการปีนเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้น จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ซายมีผลในเชิงลบต่อความเร็วในการปีนหน้าผา

ซึ่งจากการวิเคราะห์ท่าทางการปีนจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 จะพบว่า นักกีฬาจะมีการเคลื่อนไหวร่างกายไปทางด้านซ้ายอย่างรวดเร็ว โดยในท่าเริ่มต้นของการออกตัวแบบคลาสสิก สตาร์ท ลำตัวของนักกีฬาจะเอียงในแนวเฉียงเพื่อสร้างความเฉื่อยในทิศทางที่ต้องการ ในตำแหน่งนี้ขาของนักกีฬาจะยื่นไปด้านหลังเพื่อส่งแรงขึ้นไปทางซ้ายในการปีนเพื่อจับกับตัวจับที่ 4 และมีการดึงตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shunko and kravchuk, 2020) ดังนั้น หากกล้ามเนื้อเอริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวามีการทำงานมากเกินไป ก็จะส่งผลให้มือข้างขวาจับตัวจับที่ 3 แน่นเกินไป หรือปล่อยจากตัวจับที่ 3 ซ้ำเกินไป น่าจะส่งผลในการขัดขวางการเคลื่อนที่ไปยังตัวจับที่ 4 จึงอาจส่งผลให้กล้ามเนื้อเอริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวามีอิทธิพลในเชิงลบต่อความเร็วในการปีนหน้าผาได้ ยิ่งไปกว่านั้น กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนสูงสุด เป็นกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยขนาดใหญ่ และเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วบี (Type IIb) โดยมีสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า 13% ชนิดหดตัวเร็วเอ 24% และชนิดหดตัวเร็วบี 63% (Type I 13%, Type IIa 24%, Type IIb 63%) (Gillott et al., 1994) ร่วมกับการทำงานของกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่แสดงอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนหน้าผารองลงมา โดยกล้ามเนื้อทั้ง 2 มัด เป็นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เคลื่อนไหวข้อไหล่ในท่าเหยียดไหล่ และหุบไหล่ (Shoulder adduction) ซึ่งช่วยให้เกิดการดึงตัวขึ้น

การปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 ด้วยความเร็ว จะต้องอาศัยการเคลื่อนไหวของข้อไหล่เป็นหลัก ในขณะที่กล้ามเนื้อขา เช่น กล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียส และกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิส ก็มีอิทธิพลต่อความเร็วในการปีนเช่นกัน โดยกล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างซ้ายก็จะมีการถีบตัวเพื่อส่งแรง โดยใช้กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างซ้ายในการเหยียดเข้าในการเหยียดตัวขึ้น โดยเป็นลักษณะการเคลื่อนไหวที่เข้ามีการเหยียดอย่างรวดเร็ว ร่วมกับการดึงแขนลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกายที่พบว่า การเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 แบบคลาสสิก สตาร์ทในช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนไหวมีการงอของลำตัวเพื่อเหวี่ยงตัวไปทางด้านข้างในการเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 เพื่อไปจับกับตัวจับที่ 4 โดยมุมการเคลื่อนไหวของการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทข้างซ้ายจะลดลงในช่วงเริ่มต้นการปีนจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 และเพิ่มขึ้นในช่วงปลายของการเคลื่อนไหว แสดงให้เห็นว่า นักกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็ว ทีมชาติไทย มีการเหยียดไหล่ และงอข้อศอก งอข้อสะโพก และข้อเข่ามากยิ่งขึ้นเพื่อไปยังตัวจับสำหรับท่าในการปีนตัวต่อไป โดยในช่วงปลายของการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 แขนข้างซ้าย และขาซ้ายมีการเหยียดเพื่อจับตัวจับที่ 4 ในขณะเดียวกันทางด้านขวามีการงอข้อศอก ร่วมกับการเหยียดไหล่ในการเตรียมที่จะเหวี่ยงแขนขึ้นไปเพื่อจับตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป

4.2 การป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการป็นหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 5 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างขวา, กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย, กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย, กล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างขวา, และกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย โดยกล้ามเนื้อทั้ง 5 มัด จะส่งผลต่อความเร็วในการป็นหน้าผาประมาณร้อยละ 69.2 โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างขวาเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.87 เมตร/วินาที ($\beta=1.87$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ($\beta=0.80$) ส่วนกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้ายทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาช้าลง ($\beta= -1.67$)

ในขณะที่ป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 เมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างขวาเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.87 เมตร/วินาที รองลงมาคือกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย โดยการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ทางด้านขวา จะมีการทำงานของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างในการเหยียดขา และถีบตัวเพื่อส่งแรงในการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว โดยการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท กล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างขวาจะเป็นกล้ามเนื้อที่ใช้ในการจิกปลายเท้ากับตัวจับที่ 3 และมีการถีบตัวออกจากตัวจับที่ 3 อย่างรวดเร็ว เพื่อเหวี่ยงตัวจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 โดยจะทำงานร่วมกับกล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสข้างขวา ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งแรงโดยการเหยียดขาอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ออกแรงถีบตัวเพื่อตั้งร่างกายขึ้น กล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสจะทำงานเป็นหลักในการถีบปลายเท้าออกจากตัวจับ จากนั้นกล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอรัลลิสซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดเล็กจะทำงานต่อมาในการเหยียดขาอย่างรวดเร็ว ตามหลักการเสริมแรง (Fischer et al., 2021) ร่วมกับการทำงานของรยางค์ส่วนบนของร่างกายในการงอ และเหยียดแขนอย่างรวดเร็ว โดยจะมีการใช้กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้ายร่วมกับการทำงานของกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย เพื่อช่วยในการดันตัวขึ้นจากตัวจับที่ 4 ในการจับกับตัวจับที่ 5 อย่างรวดเร็ว การทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย และกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย ซึ่งเป็นไปตามหลักการระดมการทำงานของหน่วยประสาทยนต์ (Recruitment of motor unit) ดังที่ได้กล่าวไปในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 ข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกาย จากผลการทดลองที่พบว่า ในการเคลื่อนไหวจาก ตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ของการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทข้างซ้ายจะมีการเหยียดออกของไหล่ และข้อศอกอย่างรวดเร็ว ตรงกันข้ามกับข้อสะโพก และข้อเข่าที่มีการงอเพื่อถีบตัวจากตัวจับสำหรับเท้าในการป็นไปยัง

ตัวจับที่ 5 หลังจากนั้นกลับสู่การเหยียดอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับด้านขวาที่มีการเหยียดไหล่ ร่วมกับการงอข้อศอกเพื่อเหวี่ยงแขนไปจับกับตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป โดยการเคลื่อนไหวของ ลำตัวในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท พบว่า ในช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 มีการงอของลำตัวเพื่อเหวี่ยงตัวไปทางด้านข้าง ในการเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปจับกับตัวจับที่ 4

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยยังพบว่า เมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างซ้ายเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาช้าลง สามารถอธิบายได้จากลักษณะการเคลื่อนไหวของมือในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ในการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท ดังนั้นกล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างซ้ายทำหน้าที่ในการงอข้อมือเพื่อจับกับตัวจับที่ 4 โดยการเคลื่อนไหวร่างกายจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 จะต้องมีการเคลื่อนไหวร่างกายอย่างรวดเร็วไปทางขวา หากกล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างซ้ายที่ยึดอยู่กับตัวจับที่ 4 ปล่อยจากตัวจับที่ 4 ซ้ำ ก็จะทำให้การเอื้อมมือไปจับตัวจับที่ 5 ช้าลง ทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาช้าลงเช่นเดียวกัน

4.3 การป็นแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการป็นหน้าผา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 5 มัด ได้แก่กล้ามเนื้อแกสโตรคอคนิเมียสข้างซ้าย, กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย, กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้าย, กล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างซ้าย, และกล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างขวา โดยกล้ามเนื้อทั้ง 5 มัด จะส่งผลต่อความเร็วในการป็นหน้าผาประมาณร้อยละ 86.8 ($R^2=0.868$) โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้ายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.08 เมตร/วินาที ($\beta=1.08$) รองลงมาคือกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ($\beta=0.48$) ส่วนกล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างซ้าย และกล้ามเนื้ออกซี่โครง ฟลักเซอร์ข้างขวา มีผลทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาช้าลง ($\beta= -1.06$ และ -0.75 ตามลำดับ)

สำหรับการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้ายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการป็นหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 1.08 เมตร/วินาที รองลงมาคือกล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย ซึ่งกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้ายเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่สุด โดยเป็นกล้ามเนื้อมัดหลักที่ทำหน้าที่ในการเหยียดเข้า โดยเฉพาะในช่วง 90 องศา ซึ่งพบว่า ในขณะที่ทำการป็นหน้าผาช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 แบบคลาสสิก สตาร์ท ลักษณะของเข่าจะมีการงออยู่ในช่วงประมาณ 90 องศา โดยตลอดการเคลื่อนไหว ซึ่งการเคลื่อนไหวในการป็นหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 จะใช้กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรอลิสข้างซ้ายในการเหยียดเข้า ในการเหยียดตัวขึ้นจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่

4 และจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 ตามลำดับ โดยเป็นลักษณะการเคลื่อนไหวที่เข้ามีการเหยียดอย่างรวดเร็ว โดยกล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสจะทำงานเป็นหลักในการถีบปลายเท้าออกจากตัวจับ จากนั้นกล้ามเนื้ออวาสตัส แลเธอร์ลิสซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดเล็กจะทำงานต่อมาในการเหยียดเข้าอย่างรวดเร็ว ตามหลักการเสริมแรง (Fischer et al., 2021) ร่วมกับการทำงานของรยางค์ส่วนบนที่ทำหน้าที่ในการงอ และเหยียดแขนอย่างรวดเร็ว โดยจะมีการใช้กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้ายร่วมกับการทำงานของกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ข้างซ้าย เพื่อช่วยในการดันตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อจับกับตัวจับที่ 4 และตัวจับที่ 5 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ กวอ และคณะ (Guo et al., 2019) ที่กล่าวว่า การทำงานของกล้ามเนื้อข้างซ้าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อมัดเล็ก มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการเร่งความเร็ว ในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว

ในทิศทางตรงกันข้าม จากผลการศึกษาพบว่า หากมีการทำงานของกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย และกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวาที่มากเกินไปจะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาช้าลงสามารถอธิบายได้จาก ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายในการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้ายซึ่งใช้ในการจับตัวจับที่ 4 จะต้องมีการปล่อยมืออย่างรวดเร็วเพื่อดึงตัวขึ้น มีการเหยียดไหล่ และงอข้อศอกอย่างรวดเร็วเพื่อที่จะจับตัวจับที่ 5 ตัวต่อไป ดังนั้นหากกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้ายปล่อยมือจากตัวจับที่ 4 ช้า ก็จะทำให้การดึงตัวขึ้นเพื่อที่จะจับตัวจับที่ 5 เกิดขึ้นช้าเช่นกัน ดังนั้นกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้ายในการปีนหน้าผาช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ของการปีนหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทควรจะมีการจับตัวจับ และปล่อยจากตัวจับไปยังตัวจับถัดไปอย่างรวดเร็วไป เช่นเดียวกับกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา ในขณะที่ปีนหน้าผาจาก ตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 4 และจากตัวจับที่ 4 ไปตัวจับที่ 5 กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวาซึ่งจับกับตัวจับที่ 3 อยู่นั้น จะต้องมีการผ่อนแรงลงเพื่อปล่อยมือจากตัวจับที่ 3 อย่างรวดเร็วเพื่อเหวี่ยงแขนไปยังตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป ดังเช่นหลักการการทำงานของร่างกาย ที่เมื่อแขนข้างซ้ายมีการเคลื่อนไหว แขนข้างขวาก็ควรจะเคลื่อนไหวตามอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มมากขึ้น

4.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป

การปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 พบว่า กล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีจำนวน 5 มัด ได้แก่กล้ามเนื้อแกสโตรคินีเมียสข้างซ้าย, กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างซ้าย, กล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา, กล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย, และกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา โดยกล้ามเนื้อทั้ง 5 มัดจะ

ส่งผลต่อความเร็วในการปีนหน้าผาประมาณร้อยละ 91.7 ($R^2=0.917$) โดยเมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียสข้างซ้ายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.53 เมตร/วินาที ($\beta=0.53$) รองลงมาคือกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย ($\beta=0.39$) ส่วนกล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา และกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวาทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาช้าลง ($\beta= -0.54$ และ -0.32 ตามลำดับ)

สำหรับการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปช่วงตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เมื่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียสข้างซ้ายเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย จะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.53 เมตร/วินาที รองลงมาคือกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย โดยการเคลื่อนไหวแบบโทโมอะ สคิป จะเป็นการเคลื่อนไหวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 เพื่อผ่านช่วงเริ่มต้นของเส้นทางการปีน โดยท่าเริ่มต้นของนักกีฬาจะมีลักษณะของลำตัวอยู่ในแนวตั้งตรง เช่นเดียวกับตำแหน่งของขาที่อยู่ในลักษณะจีกกิ้ง โดยการออกตัวแบบโทโมอะ สคิป จะมีการเคลื่อนไหวของลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Shunko and kravchuk, 2020) โดยเป็นการออกแรงเหยียดตัวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 โดยขาข้างซ้ายจะเหยียดตัวจับที่ 3 เพื่อส่งแรงขึ้นไปในแนวตั้ง ในการดึงร่างกายขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อจับตัวจับที่ 5 โดยใช้กล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียสข้างซ้ายเป็นหลักในการถีบตัวขึ้นไปในแนวตั้งจากตัวจับที่ 3 โดยในช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนไหว ขาข้างขวาจะอยู่ในลักษณะของการงอเข้าประมาณ 90 องศา หลังจากนั้นจะเหยียดออกอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายของการเคลื่อนไหว เพื่อถีบตัวขึ้นในแนวตั้งเพื่อข้ามตัวจับที่ 4 ร่วมกับการทำของแขน โดยเป็นการเคลื่อนไหวของร่างกายในแนวตั้งตรงที่มีการดึงร่างกายขึ้นในแนวตั้งอย่างรวดเร็ว โดยใช้กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ข้างขวาตลอดช่วงของการปีน ในการดึงตัวขึ้นจากตัวจับที่ 3 ในขณะเดียวกันกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างซ้าย จะทำหน้าที่ในการงอข้อมือเพื่อที่จะจับตัวจับที่ 5 ร่วมกับกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรคิโอซาย ที่ทำให้เกิดการงอของข้อศอกอย่างรวดเร็ว ในทิศทางตรงกันข้าม จากผลการศึกษาพบว่า หากมีการทำงานของกล้ามเนื้ออริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา และกล้ามเนื้ออริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวาที่มากเกินไปจะทำให้ความเร็วในการปีนหน้าผาช้าลง สามารถอธิบายได้จาก ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวในการปีนหน้าผาจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ในการปีนหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป โดยแขนข้างซ้ายจะมีการดึงแขนลงอย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยในการดันตัวขึ้นจากตัวจับที่ 3 เพื่อจับตัวจับที่ 5 แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวของแขนข้างซ้ายที่มีการงอ และเหยียดอย่างรวดเร็ว โดยมีการเหยียดแขน และยกไหล่อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันแขนข้างขวาก็จะต้องปล่อยจากตัวจับที่ 3 ให้รวดเร็วที่สุดเช่นกัน เพื่อที่จะเหวี่ยงแขนผ่านตัวจับที่ 5 ไปจับตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป จากผลการวิจัยในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า

หากกล้ามเนื้อเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา และกล้ามเนื้อเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา ที่ทำหน้าที่ในการเหยียด และงอข้อมือเพื่อจะจับตัวจับมีการปล่อยมือจากตัวจับที่ 3 ซ้ำ ก็จะทำให้การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปข้างลง ดังนั้น ควรมีการผ่อนแรงของกล้ามเนื้อเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์ข้างขวา และกล้ามเนื้อเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์ข้างขวา เพื่อที่จะปล่อยมือจากตัวจับที่ 3 และเหวี่ยงแขนอย่างรวดเร็วตามแขนข้างซ้าย ซึ่งจะทำให้การดึงตัวขึ้นเพื่อที่จะจับกับตัวจับถัดไปเกิดได้อย่างรวดเร็ว

ลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกายในการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ในช่วงแรก ไหล่ข้างซ้ายจะมีการเหยียดออกร่วมกับการงอของข้อศอกในการดึงแขนลงอย่างรวดเร็ว เพื่อยกตัวขึ้นในแนวตั้งไปยังตัวจับที่ 5 เช่นเดียวกับข้อสะโพก และข้อเข่าข้างซ้าย ที่มีการงอเพื่อถีบตัวจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 หลังจากนั้นในช่วงท้ายของการเคลื่อนไหวข้อสะโพก และข้อเข่าจะมีการเหยียดออกอย่างรวดเร็วเพื่อถีบตัวขึ้น ในการส่งแรงไปจับกับตัวจับที่ 5 เช่นเดียวกับไหล่ และข้อศอกข้างซ้ายที่มีการเหยียดมากขึ้น เพื่อเหยียดแขนข้างซ้ายในการจับกับตัวจับที่ 5 ในทางตรงกันข้ามข้อสะโพก และข้อเข่าข้างขวาในช่วงแรกมีการเหยียดออก เพื่อวางเท้าที่หน้าผา (Smearing Wall) ในขณะที่ไหล่ และข้อศอกข้างขวางอ เพื่อเตรียมเหวี่ยงแขนไปจับกับตัวจับที่ 6 ตัวถัดไป หลังจากนั้นจะเหยียดออกอย่างรวดเร็วในช่วงปลายของการเคลื่อนไหวเพื่อจับตัวจับที่ 6 ในขณะเดียวกันข้อสะโพก และข้อเข่าข้างขวามีการงอมากยิ่งขึ้นเพื่อวางเท้าที่หน้าผาในการส่งแรงเพื่อไปยังตัวจับตัวต่อไป

สรุปจากผลการวิจัยได้ว่า การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป จะทำให้นักกีฬาสามารถป็นได้เร็วกว่าแบบคลาสสิก สตาร์ทอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป มีการเคลื่อนไหวเพียงช่วงเดียวคือ การเคลื่อนที่จากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 โดยข้ามตัวจับที่ 4 ไป โดยมีการเคลื่อนที่ของข้อไหล่ กับข้อศอกที่รวดเร็วกว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท และมีการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างน้อยกว่า จึงทำให้การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิปสามารถเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งได้เร็วกว่า โดยมีการทำงานของกล้ามเนื้อแกสโตรคโคนีเมียสร่วมกับกล้ามเนื้ออวาสดัส แลเธอรลิส ที่มากกว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ท โดยกล้ามเนื้อแกสโตรคโคนีเมียสจะมีการถีบตัวเพื่อส่งแรงร่วมกับกล้ามเนื้ออวาสดัส แลเธอรลิส ที่ทำหน้าที่ในการเหยียดเข้า โดยเป็นลักษณะการเคลื่อนไหวที่เข้ามีการเหยียดอย่างรวดเร็ว และมีการใช้กล้ามเนื้อแลทิสซิมัส ดอไซด์ที่มากกว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สตาร์ทตลอดช่วงของการป็น เพื่อดึงร่างกายขึ้นในแนวตั้งอย่างรวดเร็ว และพบว่า กล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลในการป็นสูงสุดในการป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป คือกล้ามเนื้อแกสโตรคโคนีเมียส ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักในการถีบตัวขึ้นไปในแนวตั้งจากปลายเท้าอย่างรวดเร็ว เพื่อส่งแรง

ไปยังกล้ามเนื้อส่วนอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงกล่าวได้ว่า การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป ต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนรยางค์แขน และขาทั้งข้างขวา และข้างซ้ายทำงานร่วมกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากตัวจับที่ 3 ไปตัวจับที่ 5 ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ทำให้การป็นหน้าผาแบบโทโมอะ สคิป มีการเคลื่อนที่ที่เร็วกว่าการป็นหน้าผาแบบคลาสสิก สดาร์ท

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ท่าทางการป็นหน้าผาจริง จึงมีข้อจำกัดในการติดตั้งอุปกรณ์การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ซึ่งวางได้เพียงทางด้านหน้า และด้านข้างของหน้าผาจำลอง ไม่สามารถมองเห็นส่วนของร่างกายที่แนบกับหน้าผาจำลองได้

2. ขนาดของตัวจับสำหรับมือในการป็น และตัวจับสำหรับเท้าในการป็นทุกชิ้นบนหน้าผาจำลอง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จริงตรงตามข้อกำหนดของกฎและกติกาการแข่งขัน ซึ่งมีขนาดเล็ก จึงไม่สามารถสวมอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ เนื่องจากอาจรบกวนรูปแบบการป็น หรืออาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บกับนักกีฬาได้

3. การป็นหน้าผาประเภทความเร็ว มีการเคลื่อนที่ที่รวดเร็ว มีการทำงานของกล้ามเนื้อหลายมัด ทำให้ไม่สามารถติดอุปกรณ์บนกล้ามเนื้อ เช่น ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าบนกล้ามเนื้อทุกมัดได้ ซึ่งการติดอุปกรณ์ดังกล่าวอาจไปขัดขวางการเคลื่อนไหวร่างกายของนักกีฬาขณะป็นหน้าผา จึงมีความจำเป็นในการเลือกศึกษาเฉพาะกล้ามเนื้อที่ผู้วิจัยทบทวนวรรณกรรมมาแล้วพบว่าสำคัญที่สุดสำหรับการป็นหน้าผาประเภทความเร็ว ไม่สามารถทำได้ทุกมัด

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สำหรับนักกีฬาป็นหน้าผาประเภทความเร็ว และผู้ฝึกสอนที่ต้องการเพิ่มความเร็วในการออกตัวช่วงเริ่มต้นเส้นทางการป็น ควรให้ความสำคัญในการเลือกท่าในการป็นในรูปแบบโทโมอะ สคิป และการฝึกกล้ามเนื้อที่ทำให้ให้นักกีฬาสามารถป็นได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยที่มิแรงเพียงพอในการรักษาความเร็วได้ตลอดช่วงของการป็นหน้าผาระยะทาง 15 เมตร โดยควรให้ความสำคัญกับกล้ามเนื้อรยางค์แขน และขาทั้งข้างขวา และข้างซ้ายในการเพิ่มแรงเพื่อดึงตัวให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งได้อย่างรวดเร็ว

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาการใช้เครื่องมือวัดแรงเพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแรงในการถีบตัวของขาจากตัวจับสำหรับเท้าในการปีน
2. ควรศึกษาในกลุ่มเนื้อกลุ่มอื่น ๆ เพื่อศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อในขณะที่ปีนหน้าผาอย่างละเอียดมากขึ้น
3. ควรศึกษาในช่วงที่สอง, ช่วงที่สาม และช่วงสุดท้ายของเส้นทางการปีนเพื่อแสดงถึงการทำงานของกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหวของร่างกายในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตร ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
4. ควรศึกษาความแม่นยำในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว (Speed accuracy) ในแต่ละช่วงการเคลื่อนไหว เพื่อวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดในการปีนหน้าผาประเภทความเร็วในแต่ละช่วงที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการปีน



บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- เจริญ กระบวนรัตน์. (2559). การเรียนรู้ทักษะกลไกการเคลื่อนไหวของร่างกาย:วารสารสุขศึกษา พลศึกษา และสันทนาการ .กรุงเทพมหานคร
- แวน วัฒนะพันธ์. (2542). การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ของทักษะการพาดแบบตีลังกาของนักกีฬา เซปักตะกร้อไทย. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฉันทเชษฐ์ กิตติโสภณ. (2549). ประวัติและพัฒนาการของการปีนหน้าผาในประเทศไทย. ปริญญา นิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (พลศึกษา). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชุมพล นวลวิจิตร. (2562). ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักท่าเลทพูลดาวน์กับการดึงข้อที่มีต่อความสามารถ ในการเร่งความเร็วของนักกีฬาปีนหน้าผาอายุ 14-16 ปี. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (พลศึกษา). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตกระบี่.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์. (2528). อิเล็กทรอนิกส์โอกรافی. พิมพ์ครั้งที่ 2 . คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.
- दनัยชาติ แจ่มจิตรตรง และต่อศักดิ์ รักอารมณ. (2559). การนำเสนอเทคนิคการประมวลภาพเพื่อการ จำลองการเคลื่อนไหวตัวละคร 3 มิติ. ปริญญานิพนธ์การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ธรรมศาสตร์ วิสุทธารมณ. (2557). การแยกแยะท่าทางของมนุษย์โดยใช้กล้อง Kinect คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- นราธิป ทับศรี, ปฏิภาณ วงศ์ชมภู และ พิศพงษ์ คงถาวรกุล. (2552). การบันทึกความเคลื่อนไหว. คณะ วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปิยะฤทธิ์ ปิโยพิระพงศ์. (2543). ปีนกำแพงผาพีพี. เนเจอร์ เอ็กซ์พลอเรอร์ . 3 (มีนาคม): 83.
- พรเทพ ราชนาวี. (2556). เอกสารประกอบการเรียนการสอน 114203 ชีวกลศาสตร์ และ การ เคลื่อนไหว ทางการกีฬา.
- กาญจน์ กัญจนกุล. (2554). การศึกษาทางชีวกลศาสตร์ของแรงในกล้ามเนื้อขาของผู้ป่วยโรคอัมพาต ครั้งซีก (No. 122126). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วินิจ รังผึ้ง. (2545). บนภูผาและเส้นเชือก. วารสารเพื่อการท่องเที่ยวและอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรม (มิถุนายน): 45.

- ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์. (2544). ชีวกลศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สาโรจน์ มีวงษ์สม. (2541). 4 กีฬาท้าทายคนรุ่นใหม่. กรุงเทพฯ : เอส.ที.พี.เวสต์มีเดียจำกัด.
- สมบูรณ์ อุทัยเวียนกุล. (2559). เอกสารการประชุมใหญ่ สามัญประจำปี 2559 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา. การกีฬาแห่งประเทศไทย
- สนธยา สีละมาต. (2557). หลักการฝึกกีฬา สำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.กรุงเทพมหานคร
- สหพันธ์กีฬาป็นหน้าผานานาชาติ. (2557). กติกาฉบับปรับปรุง : สมาคมป็นหน้าผาแห่งประเทศไทย. การกีฬาแห่งประเทศไทย
- สมาคมป็นหน้าผาแห่งประเทศไทย (2560). ผลการแข่งขันกีฬาป็นหน้าผาชิงแชมป์ประเทศไทย 2560 กรุงเทพมหานคร : สมาคมป็นหน้าผาแห่งประเทศไทย.การกีฬาแห่งประเทศไทย
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (2564). ค่าดัชนีมวลกาย Body Mass Index : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส)
- สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา. (2557). การประยุกต์วิทยาศาสตร์การกีฬา สำหรับฝึกนักกีฬาว่ายน้ำ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์วิวัฒธรรม พรินติ้งค์ แอนด์ แพ็คเก็จจิ้ง

ภาษาอังกฤษ

- Ahmad, O. B., Boschi-Pinto, C., Lopez, A. D., Murray, C. J., Lozano, R., & Inoue, M. (2001). Age standardization of rates: a new WHO standard. *Geneva: World Health Organization, 9*(10), 1-14.
- Amaefule, J. O., Kersey, D. G., Norman, D. K., & Shannon, P. M. (1988, June). Advances in formation damage assessment and control strategies. In Annual technical meeting. OnePetro.
- Antonsson, E. K., & Mann, R. W. (1985). The frequency content of gait. *Journal of Biomechanics, 18*(1), 39-47.
- Antonsson, E. K., & Mann, R. W. (1989). Automatic 6-DOF kinematic trajectory acquisition and analysis.
- Bacon, N. T., Wingo, J. E., Richardson, M. T., Ryan, G. A., Pangallo, T. C., & Bishop, P. A. (2012). Effect of two recovery methods on repeated closed-handed and open-

- handed weight-assisted pull-ups. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1348-1352.
- Bartlett, R. J., Stanton, J. F., Gauss, J., Watts, J. D., & Lauderdale, W. J. (1992). The ACES II program system. *International Journal of Quantum Chemistry*, 44(S26), 879-894.
- Bertuzzi, R., Franchini, E., Tricoli, V., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Okuno, N. M., & Kiss, M. A. (2012). Fit-climbing test: a field test for indoor rock climbing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1558-1563.
- Blackwell, J. R., Kornatz, K. W., & Heath, E. M. (1999). Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Applied Ergonomics*, 30(5), 401-405.
- Brown, G. W., & Rutter, M. (1966). The measurement of family activities and relationships: A methodological study. *Human relations*, 19(3), 241-263.
- Christopher, J. T., Powles, S. B., & Holtum, J. A. (1992). Resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) involves at least two mechanisms. *Plant Physiology*, 100(4), 1909-1913.
- Clarys, J. P., & Cabri, J. (1993). Electromyography and the study of sports movements: a review. *Journal of Sports Sciences*, 11(5), 379-448.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2013). Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. Routledge.
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135-163.
- Cordier, P., France, M. M., Bolon, P., & Pailhous, J. (1993). Entropy, degrees of freedom, and free climbing: A thermodynamic study of a complex behavior based on trajectory analysis. *International Journal of Sport Psychology*, 24(4), 370-378.
- Cossor, J., & Mason, B. (2001). Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Aritan, S., Dabnichki, P., & Bartlett, R. (1997). Program for generation of three-dimensional finite element mesh from magnetic resonance imaging scans of

- human limbs. *Medical engineering & physics*, 19(8), 681-689.
- Amaefule, J. O., Kersey, D. G., Norman, D. K., & Shannon, P. M. (1988, June). Advances in formation damage assessment and control strategies. In *Annual technical meeting*. OnePetro.
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135-163.
- De Luca, C. J., & Basmajian, J. V. (1985). *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA.
- Deyhle, M. R., Hsu, H. S., Fairfield, T. J., Cadez-Schmidt, T. L., Gurney, B. A., & Mermier, C. M. (2015). Relative importance of four muscle groups for indoor rock climbing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(7), 2006-2014.
- Dörge, H. C., Andersen, T. B., Sørensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 293-299.
- Espana-Romero, V., Jensen, R. L., Sanchez, X., Ostrowski, M. L., Szekely, J. E., & Watts, P. B. (2012). Physiological responses in rock climbing with repeated ascents over a 10-week period. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 821-828.
- Fanchini, M., Violette, F., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2013). Differences in climbing-specific strength between boulder and lead rock climbers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 310-314.
- 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.
- Fischer, F., Bachinski, M., Klar, M., Fleig, A., & Müller, J. (2021). Reinforcement learning control of a biomechanical model of the upper extremity. *Scientific Reports*, 11(1), 1-15.
- Giles, D., Romero, V. E., Garrido, I., de la O Puerta, A., Stone, K., & Fryer, S. (2017).

- Differences in oxygenation kinetics between the dominant and nondominant flexor digitorum profundus in rock climbers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 137-139.
- Gillott, K. L., Cox, V. M., Wright, H., Eaves, L. A., Williams, P. E., & Goldspink, D. F. (1994). The fibre type composition of the rabbit latissimus dorsi muscle. *Journal of Anatomy*, 185(Pt 1), 173.
- Gowitzke, B. A., & Milner, M. (1988). Scientific bases of human movement.
- Grant, S, Hasler, T, Davies, C, Aitchison ,TC, Wilson, J, and Whittaker A. A comparison of the anthropometric, strength endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *Journal of Sports Sciences* 19: 499-505, 2001.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., & Aitchison, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 301-309.
- Griffith, L. J., Olson, K. M., Sinness, D. K., & Thomas, S. P. (2004). Electromyographic Analysis of Lower Extremity Muscle Activity during Plyo Press Jump and a Vertical Jump.
- Guo, F., Wang, Q., Liu, Y., & Hanson, N. J. (2019). Changes in blood lactate and muscle activation in elite rock climbers during a 15-m speed climb. *European Journal of Applied Physiology*, 119(3), 791-800.
- Härtel, T., & Schleichardt, A. (2008). Evaluation of start techniques in sports swimming by dynamics simulation (P18). *The Engineering of Sport* 7, 89-96.
- Hay, J. C. (1986). Swimming Biomechanics: A brief review. *Swimming Technique. Journal of Biomechanics*, 23(3), 15-21.
- Horst, E. (2016). *The Rock Climber's Exercise Guide: Training for Strength, Power, Endurance, Flexibility, and Stability*. Rowman & Littlefield.
- International Federation of Sport Climbing. (2019). Retrieved 15 November 2019. <https://www.ifsc-climbing.org/index.php/olympic-games>.

- Jarrett, I. G., Knowles, S. E., Filsell, O. H., & Ballard, F. J. (1974). Production and utilization of acetate in mammals. *Biochemical Journal*, *142*(2), 401-411.
- Jayawardana, R., Ranasinghe, P., Sheriff, M. H. R., Matthews, D. R., & Katulanda, P. (2013). Waist to height ratio: a better anthropometric marker of diabetes and cardio-metabolic risks in South Asian adults. *Diabetes research and clinical practice*, *99*(3), 292-299.
- Jensen, R. L., Watts, P. B., Lawrence, J. E., Moss, D. M., & Wagonsomer, J. M. (2005). VERTICAL HAND FORCE AND FOREARM EMG DURING A HIGH-STEP ROCK-ON CLIMBING MOVE WITH AND WITHOUT ADDED MASS. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Kasman, G. S., & Wolf, S. L. (2002). Surface EMG made easy: a beginner's guide for rehabilitation clinicians.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.
- Konrad, P. (2005). The abc of emg. *A practical introduction to kinesiological electromyography*, *1*(2005), 30-5.
- Koukoubis, T. D., Cooper, L. W., Glisson, R. R., Seaber, A. V., & Feagin, J. A. (2013). An electromyographic study of arm muscles during climbing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *3*(2), 121-124.
- Magiera, A., & Roczniok, R. (2013). The climbing preferences of advanced rock climbers. *Human Movement*, *14*(3), 254-264.
- Kozina, Z., Ryepko, O. A., Prusik, K., Prusik, K., & Cieślicka, M. (2014). Theoretical-methodological study of development of power-speed in climbing. *Physical Education of Students*, *1*.
- Krawczyk, M., Pocięcha, M., Ozimek, M., Stepek, A., & Kozioł, P. (2020, May). VALUE OF SPEED CAPABILITIES IN YOUTH SPEED CLIMBING AT HIGH SPORTS LEVEL. In *SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION. Proceedings of the International Scientific Conference* (Vol. 6, pp. 264-272).

- Krawczyk, M., Ozimek, M., & Rokowski, R. (2015, September). Value of select displays of strength and speed abilities in speed climbing at the highest sport level-analysis of cases. In International Scientific Conference, Motor Ability in Sports-Theoretical Assumptions and Practical Implications, At Cracow.
- Krawczyk, M., Ozimek, M., Rokowski, R., Pociecha, M., & Draga, P. (2017). Level of selected speed ability indexes of lower limb in relation on climbing time in speed climbing. In *The Second International Scientific Conference Motor Abilities in Sports-Theoretical Assumptions and Practical Implications*.
- Krawczyk, M., & Ozimek, M. (2014). Somatic traits and motor skill abilities in top-class professional speed climbers compared to recreational climbers. *Kinesiology*, 25(66), 25–32. DOI: <https://doi.org/10.5604/17310652.1149298>
- Kushion, D., Rheume, J., Kopchitz, K., Glass, S., Alderink, G., & Jinn, J. H. (2012). EMG activation of the vastus medialis oblique and vastus lateralis during four rehabilitative exercises.
- Lado, A. A., & Wilson, M. C. (1994). Human resource systems and sustained competitive advantage: A competency-based perspective. *Academy of Management review*, 19(4), 699-727.
- La Torre, A., Crespi, D., Serpiello, F. R., & Merati, G. (2009). Heart rate and blood lactate evaluation in bouldering elite athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(1), 19.
- Ladin, R. (1990, May). Organizing long-running activities with triggers and transactions. In *Proceedings of the 1990 ACM SIGMOD international conference on Management of Data* (pp. 204-214).
- Legreneur, P., Rogowski, I., & Durif, T. (2019). Kinematic analysis of the speed climbing event at the 2018 Youth Olympic Games. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 22(sup1), S264-S266.
- Levernier, G., Samozino, P., & Laffaye, G. (2020). Force–velocity–power profile in high-elite boulder, lead, and speed climber competitors. *International Journal of*

Sports Physiology and Performance, 15(7), 1012-1018.

- Limonta, E., Cè, E., Veicsteinas, A., & Esposito, F. (2008). Force control during fatiguing contractions in elite rock climbers. *Sport Sciences for Health*, 4(3), 37-42.
- MacDonald, G. A. (2018). *Handgrip Fatigue and Forearm Girth in Intermediate Sport Rock Climbers* (Doctoral dissertation, University of Nevada, Las Vegas).
- Macleod, D., Sutherland, D. L., Buntin, L., Whitaker, A., Aitchison, T., Watt, I., ... & Grant, S. (2007). Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *Journal of Sports Sciences*, 25(12), 1433-1443.
- Magiera, A., Rocznio, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Kantyka, J., & Kurek, P. (2013). The structure of performance of a sport rock climber. *Journal of Human Kinetics*, 36(1), 107-117.
- Mermier, C. M., Janot, J. M., Parker, D. L., & Swan, J. G. (2000). Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *British Journal of Sports Medicine*, 34(5), 359-365.
- Michailov, M. L. (2014). Workload characteristic, performance limiting factors and methods for strength and endurance training in rock climbing. *Medicina Sportiva*, 18(3), 97-106.
- Muehlbauer, T., Stuerchler, M., & Granacher, U. (2012). Effects of climbing on core strength and mobility in adults. *International Journal of Sports Medicine*, 33(06), 445-451.
- Noé, F., Quaine, F., & Martin, L. (2001). Influence of steep gradient supporting walls in rock climbing: biomechanical analysis. *Gait & posture*, 13(2), 86-94.
- Ozimek, M., Krawczyk, M., Rokowski, R., Draga, P., Ambroży, T., Mucha, D., ... & Görner, K. (2018). Evaluation of the level of anaerobic power and its effect on speed climbing performance in elite climbers.
- Philippe, M., Wegst, D., Müller, T., Raschner, C., & Burtscher, M. (2012). Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 2839-

2847.

- Quaine, F., & Martin, L. (1999). A biomechanical study of equilibrium in sport rock climbing. *Gait & Posture*, *10*(3), 233-239.
- Quaine, F., & Vigouroux, L. (2004). Maximal resultant four fingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport climbing finger grips. *International Journal of Sports Medicine*, *25*(08), 634-637.
- Quaine, F., Vigouroux, L., & Martin, L. (2003). Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *International Journal of Sports Medicine*, *24*(06), 424-427.
- Reveret, L., Chapelle, S., Quaine, F., & Legreneur, P. (2018, July). 3D motion analysis of speed climbing performance. In *IRCRA 2018-4th International Rock Climbing Research Congress*.
- Reveret, L., Chapelle, S., Quaine, F., & Legreneur, P. (2020). 3D visualization of body motion in speed climbing. *Frontiers in Psychology*, *11*, 2188.
- Richards, J., Thewlis, D., & Hobbs, S. J. (2008). The appropriateness of methods used to calculate joint kinematics. *Journal of Biomechanics*, *(41)*, S320.
- Romero, C., Fonseca-Neto, J. B., & Pucheu, M. L. (2012). General relativity and Weyl geometry. *Classical and Quantum Gravity*, *29*(15), 155015.
- Ryepko, O. A. (2013). Features and functionality of speed and power capabilities of elite climbers and various types of rock climbing. *Physical Education of Students*, *17*(6), 60-65.
- Saul, D., Steinmetz, G., Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Determinants for success in climbing: A systematic review. *Journal of Exercise Science & Fitness*, *17*(3), 91-100.
- Shunko, A., & Kravchuk, T. (2020). Competitive modelling in speed climbing. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 26, p. 00051). EDP Sciences.
- Soles, C. (2008). *Climbing: Training for peak performance*. The Mountaineers Books.
- Srinivasan, R. C., Lungren, M. P., Langenderfer, J. E., & Hughes, R. E. (2007). Fiber type

- composition and maximum shortening velocity of muscles crossing the human shoulder. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, 20(2), 144-149.
- Tasi, M., Babin, J. E., & Adams, R. D. (1986). Formation of a thioformaldehyde ligand by the addition of sulfur to a methylene ligand in a cluster complex. The synthesis and structural characterizations of the clusters $Os_3(CO)_n(\mu-SCH_2)_n$ ($n = 10, 11$). *Organometallics*, 5(9), 1920-1922.
- Wall, C. B., Starek, J. E., Fleck, S. J., & Byrnes, W. C. (2004). Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(1), 77-83.
- Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 361-372.
- Watts, P. B., Daggett, M., Gallagher, P., & Wilkins, B. (2000). Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 21(03), 185-190.
- Watts, P. B., Jensen, R. L., Agena, S. M., Majchrzak, J. A., Schellinger, R. A., & Wubbels, C. S. (2008). Changes in EMG and finger force with repeated hangs from the hands in rock climbers. *International Journal of Exercise Science*, 1(2), 62.
- Watts, P. B., Jensen, R. L., Gannon, E., Kobeinia, R., Maynard, J., & Sansom, J. (2008). Forearm EMG during rock climbing differs from EMG during handgrip dynamometry. *International Journal of Exercise Science*, 1(1), 2.
- Watts, P. B., Joubert, L., Lish, A. K., Mast, J. D., & Wilkins, B. (2003). Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 420-424.
- Watts, P. B., Martin, D. T., & Durtschi, S. (1993). Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, 11(2), 113-117.

- Watts, P., Newbury, V., & Sulentic, J. (2010). Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36(4), 255-260.
- Welcher, R. L., Hinrichs, R. N., & George, T. R. (2008). Front-or rear-weighted track start or grab start: Which is the best for female swimmers?. *Sports Biomechanics*, 7(1), 100-113.
- White DJ, Olsen PD. A time motion analysis of bouldering style competitive rock climbing. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2010; 24(5): 1356-60.
- Woltring, H. J. (1980). Planar control in multi-camera calibration for 3-D gait studies. *Journal of Biomechanics*, 13(1), 39-48.





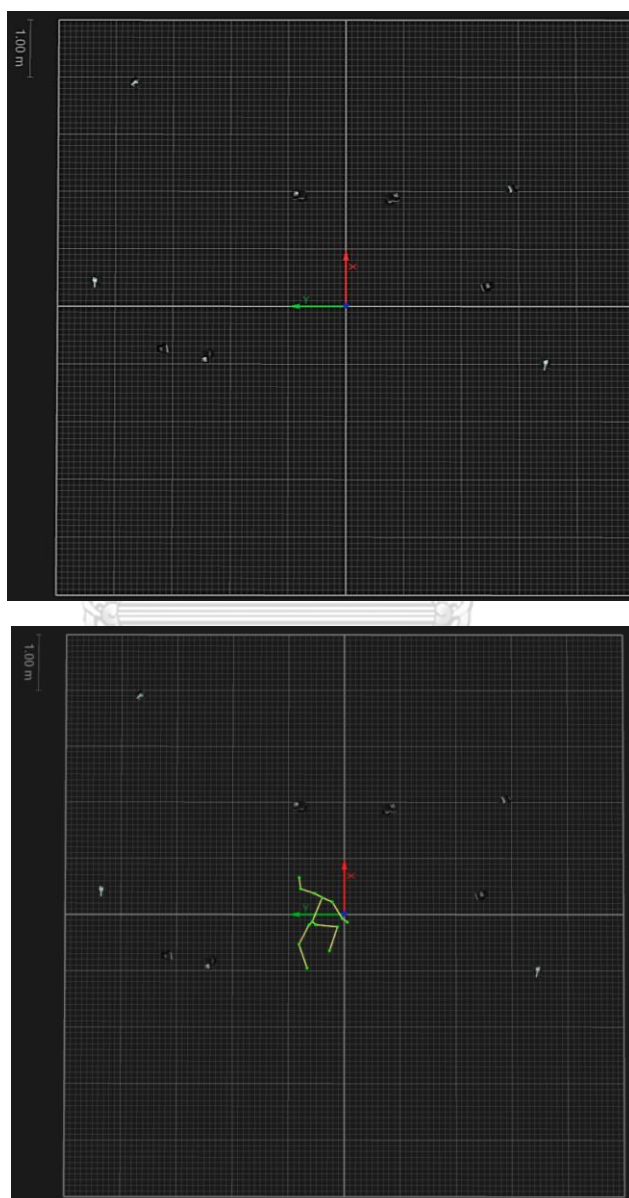
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

พื้นที่ในการเก็บข้อมูลวิจัย (Experimental Area)









การวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจำนวน 9 ตัว เป็น อินฟราเรด เบสจำนวน 8 ตัว บริเวณด้านหน้า และด้านหลังของหน้าผาจำลองประเภทความเร็ว และเป็น วิดีโอ เบสจำนวน 1 ตัว บริเวณด้านหน้าของหน้าผาจำลองประเภทความเร็ว เพื่อแสดงช่วงของการเคลื่อนไหวตลอดเส้นทางการปีน






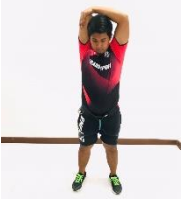








ภาพที่ 74 แสดงพื้นที่ในการเก็บข้อมูลวิจัย

ภาคผนวก ข

ทำการยืดเหยียดร่างกายแบบมีการเคลื่อนไหว (Dynamic Stretching)

ท่าหมุนศีรษะ (Head Rolls)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ท่ากังหันลม (Windmills)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ท่าบิดลำตัวไป ด้านข้าง (Side Twists)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ท่าเดินย่อตัว (Walking Lunges)		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด

ภาคผนวก ค
 ทำการยืดเหยียดร่างกายแบบอยู่นิ่ง (Static Stretching)

ทำยืดอกกล้ามเนื้อหัวไหล่ (Arm across Chest)		
	ชาย	หญิง
ทำยืดอกกล้ามเนื้อไตรเซ็ปส์ (Triceps Stretch)		
	ชาย	หญิง
ทำยืดอกกล้ามเนื้อก้น (Glute Stretch)		
	ชาย	หญิง
ทำยืดอกกล้ามเนื้อแอดดักเตอร์ (Adductor Stretch)		
	ชาย	หญิง
ทำยืนยืดอกกล้ามเนื้อแฮมสตริง สตริงค์ (Standing Hamstring)		
	ชาย	หญิง
ทำยืนยืดอกกล้ามเนื้อควอดริเซ็ปส์ เซ็ป (Standing Quadriceps)		
	ชาย	หญิง

ภาคผนวก ง
แบบบันทึกข้อมูลพื้นฐาน

การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง
15 เมตรในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย

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

โปรดกรอกข้อมูลและตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง ข้อมูลทั้งหมดในแบบสอบถามจะถูกเก็บ
เป็น ความลับและใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

ตอนที่1: ข้อมูลทั่วไป

- 1.1 รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....
- 1.2 อายุ.....ปี.....เดือน.....วัน
- 1.3 เชื้อชาติ..... สัญชาติ..... ศาสนา.....
- 1.4 ประสบการณ์ในการปีนหน้าผาประเภทความเร็ว.....ปี
- 1.5 ปัจจุบันเป็นนักกีฬาสังกัดชมรมปีนหน้า
ผา.....
- 1.6 ปัจจุบันฝึกซ้อมกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็ว.....ครั้ง/สัปดาห์ ประมาณวันละ.....
นาที
- 1.7 เคยเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาประเภทความเร็วในนามทีมชาติไทยรายการดังต่อไปนี้

ลำดับ	ปี พ.ศ.	การแข่งขัน	ผลการแข่งขันอันดับ ที่	สถิติเวลา
ตัวอย่าง	2561	กีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 18 ณ ประเทศอินโดนีเซีย	4	5.90 s.
1				
2				
3				

1.8 ผลการแข่งขันสูงสุดในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา

ได้แก่.....

ตอนที่2: ข้อมูลทางด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

ไม่มี มี (โปรดระบุ).....

2.2 ท่านเคยมีประวัติการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อระดับรุนแรงจนได้รับการรักษาทางการแพทย์ที่มากกว่าการได้รับยาขนาดหรือไม่

ไม่เคย
 เคย (โปรดระบุ).....
 เมื่อใด (วัน/เดือน/ปี).....

2.3 ปัจจุบันท่านยังมีอาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการป็นหน้าผาประเภทความเร็วหรือไม่

ไม่มี มี (โปรดระบุ).....

ตอนที่3: สรุปคุณสมบัติ

ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย
 ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

หมายเหตุ ในกรณีผู้วิจัยพบว่าผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเลือก และอยู่ในสถานะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ทางผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพทั้งกายและจิตให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้ดำเนินการคัดเลือก.....

(นางสาวทัตพิชา พงษ์ศิริ)

ภาคผนวก จ

แบบบันทึกข้อมูลองค์ประกอบของร่างกาย และสัดส่วนของร่างกาย

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

องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition)

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

ดัชนีมวลกาย (BMI) น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.²).....

แรงบีบมือข้างซ้าย.....กิโลกรัม ข้างขวา.....กิโลกรัม

สัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry)

ความยาวของแขน

ซ้าย.....เซนติเมตร ขวา.....เซนติเมตร

ความยาวของขา

ซ้าย.....เซนติเมตร ขวา.....เซนติเมตร

ความกว้างช่วงอก.....เซนติเมตร

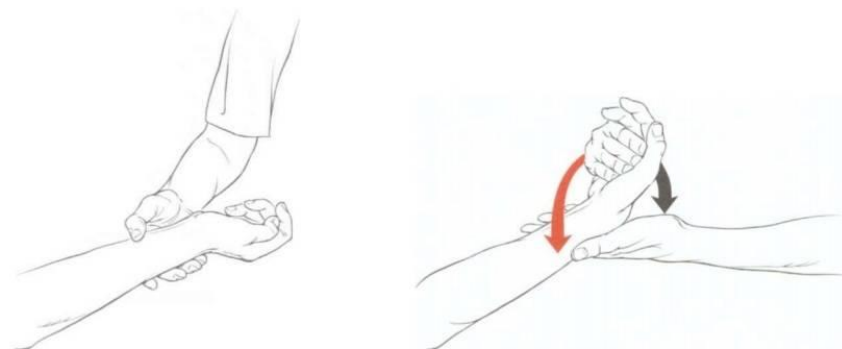
ความกว้างช่วงสะโพก.....เซนติเมตร

ภาคผนวก ฉ

การวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน (Maximal Voluntary Contraction; MVC)

การทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุดขณะสั่งการให้กล้ามเนื้อมัดนั้นทำงาน คือการทดสอบหาค่าสูงสุดการรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการเกิดกระแสประสาท (Motor Unit Action Potential; MUAP) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ซึ่งมักจะทดสอบโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยใช้แรงต้านที่คงที่ และได้ผลของการหดตัวที่ตรงกับกล้ามเนื้อที่ต้องการจะทดสอบ และทำการทดสอบโดยผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ให้แรงต้านในการเคลื่อนไหวเพื่อให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงได้สูงสุด โดยมีนักกายภาพบำบัดควบคุมดูแลการทดสอบอย่างใกล้ชิด (Hislop et al., 2013) ดังวิธีต่อไปนี้

1. กล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์



ภาพที่ 75 แสดงการทดสอบของกล้ามเนื้อริสท์ เฟลกเซอร์

กลุ่มตัวอย่าง: แขนตรง จากนั้นกลุ่มตัวอย่างพยายามออกแรงในการหมุนข้อมือเข้าหาลำตัวเพื่อต้านแรงกดให้มากที่สุด ในทิศทางตามลูกศรสีแดง

ผู้วิจัย: ผู้วิจัยยืนอยู่ด้านหน้าของมือที่ทำการทดสอบ ใช้มือข้างซ้ายประคองบริเวณแขนส่วนปลายใกล้ ๆ ข้อมือของกลุ่มตัวอย่าง และมือข้างขวาออกแรงกดต้านทานบริเวณฝ่ามือของกลุ่มตัวอย่าง ในทิศทางตามลูกศรสีเทา

2. กลุ่มเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์

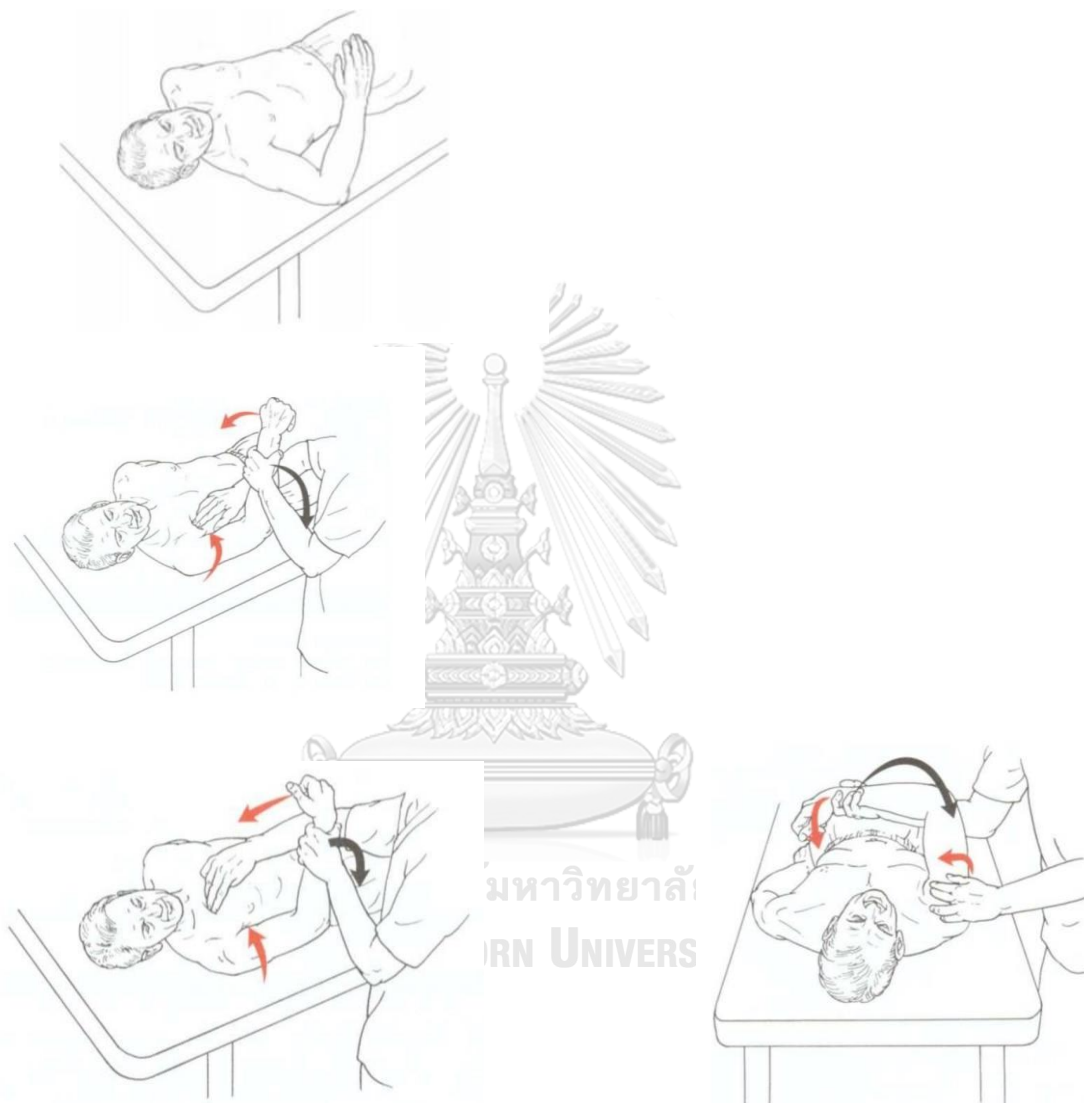


ภาพที่ 76 แสดงการทดสอบของกลุ่มเนื้อริสท์ เอกซ์เทนเซอร์

กลุ่มตัวอย่าง: ให้กลุ่มตัวอย่างนั่ง จากนั้นพับข้อศอกวางบนโต๊ะและปลายแขนคว่ำลงเหยียดสุด จากนั้นกลุ่มตัวอย่างพยายามออกแรงในการดันปลายแขนยกขึ้นเพื่อด้านแรงกดให้มากที่สุด

ผู้วิจัย: ผู้วิจัยยืนอยู่ด้านหน้าหรือด้านข้างของกลุ่มตัวอย่าง ใช้มือข้างซ้ายประคองบริเวณแขนส่วนปลายใกล้ ๆ ข้อมือของกลุ่มตัวอย่าง และมือข้างขวาออกแรงกดต้านทานบริเวณหลังมือของกลุ่มตัวอย่าง ในทิศทางตามลูกศรสีเทา

3. กล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์



ภาพที่ 77 แสดงการทดสอบของกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์

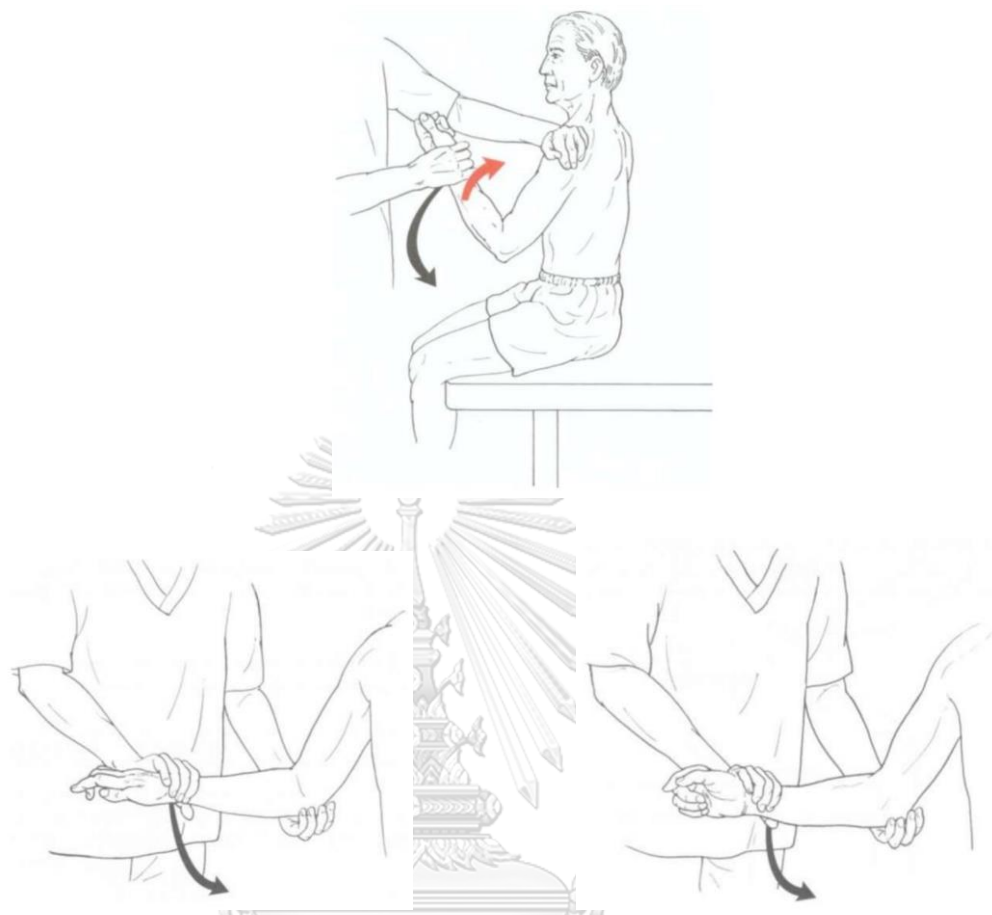
กลุ่มตัวอย่าง: ให้กลุ่มตัวอย่างนอนหงาย ไหล่กางออก 90° และงอข้อศอก 90°

ผู้วิจัย: ผู้วิจัยยืนอยู่ด้านข้างไหล่ที่จะทำการทดสอบ ใช้มือออกแรงต้านทานบริเวณแขนส่วนปลายโดยจับบริเวณใกล้ ๆ ข้อมือของกลุ่มตัวอย่าง มืออีกข้างใช้ในการตรวจสอบการทำงานของกล้ามเนื้อเพคเทอรัลลิส เมเจอร์ด้านบนหน้าอกที่อยู่ตรงกลางไปยังข้อต่อของไหล่



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกิโอ



ภาพที่ 78 แสดงการทดสอบของกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ เบรกิโอ

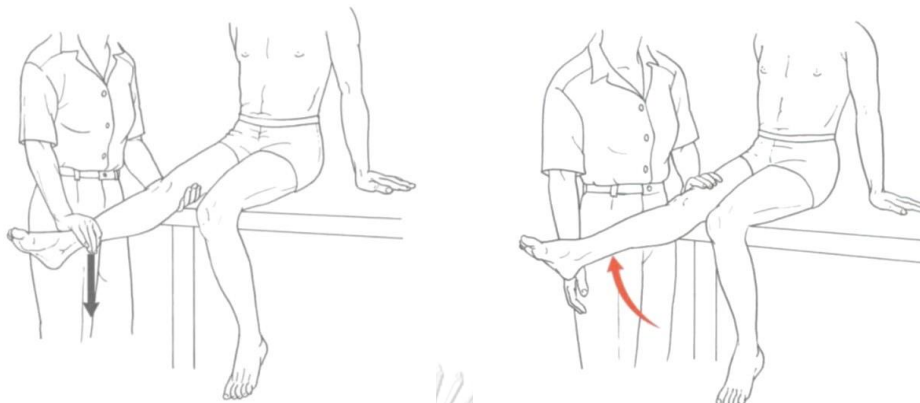
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลุ่มตัวอย่าง: นิ่งลำตัวตรง งอข้อศอก 90° จากนั้นกลุ่มตัวอย่างพยายามออกแรงงอข้อศอก เพื่อต้านแรงกดให้มากที่สุด ในทิศทางตามลูกศรสีแดง

ผู้วิจัย: ผู้วิจัยยืนอยู่ด้านที่จะทำการทดสอบ ใช้มือซ้ายประคองบริเวณข้อศอกของกลุ่มตัวอย่าง และมือข้างขวาออกแรงกดต้านทานบริเวณแขนส่วนปลาย โดยจับบริเวณใกล้ ๆ ข้อมือของกลุ่มตัวอย่าง ออกแรงต้านทานในทิศทางตามลูกศรสีเทา

5. กล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอร์ลิส

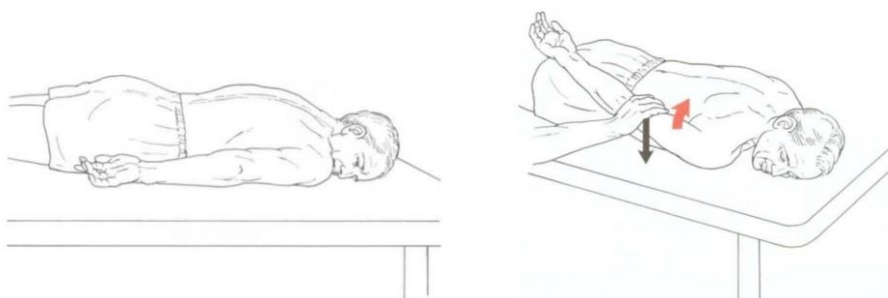


ภาพที่ 79 แสดงการทดสอบของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอร์ลิส

กลุ่มตัวอย่าง: ให้กลุ่มตัวอย่างนั่งห้อยขาบนโต๊ะ โดยให้ต้นขาวางอยู่ในแนวราบกับโต๊ะ จากนั้นกลุ่มตัวอย่างพยายามออกแรงเหยียดขาข้างที่ทดสอบ เพื่อด้านแรงกดให้มากที่สุด ในทิศทางตามลูกศรสีแดง

ผู้วิจัย: ผู้วิจัยยืนอยู่ด้านข้างขาที่จะทำการทดสอบ ใช้มือออกแรงต้านทานบริเวณขาส่วนปลายโดยจับบริเวณใกล้ ๆ ข้อเท้าของกลุ่มตัวอย่าง ออกแรงต้านทานในทิศทางกดลง (ในทิศทางลงสู่พื้น) ตามลูกศรสีเทา มีอีกข้างใช้ในการชั่งพอร์ตบริเวณใต้ข้อเท้าของกลุ่มตัวอย่าง

6. กล้ามเนื้อแลทิสสิมัส คอไซด์



ภาพที่ 80 แสดงการทดสอบของกล้ามเนื้อแลทิสสิมัส คอไซด์

กลุ่มตัวอย่าง: นอนคว่ำลำตัวตรงโดยที่มือทั้งสองข้างแนบกับลำตัว จากนั้นออกแรงดันแขนข้างที่ทำการทดสอบไปทางด้านหลัง ในทิศทางตามลูกศรสีแดง

ผู้วิจัย: ใช้มือออกแรงต้านทานบริเวณแขนส่วนต้น โดยจับบริเวณใกล้ ๆ ข้อศอกของกลุ่มตัวอย่าง ในทิศทางตามลูกศรสีเทา

7. กล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียส ในส่วนมีเดียลเฮด



ภาพที่ 81 แสดงการทดสอบของกล้ามเนื้อแกสโตรคนีเมียส ในส่วนมีเดียลเฮด

กลุ่มตัวอย่าง: ยืนเขย่งด้วยปลายเท้าในทิศทางตรงตามลูกศรสีแดง ในช่วงที่ทำการทดสอบ โดยขาอีกข้างยกขึ้นทำมุม 45° มือทั้งสองข้างจับที่ยึดเกาะเพื่อรักษาความสมดุลของกลุ่มตัวอย่าง ไม่ให้เสียทรงตัว และออกแรงได้เต็มที่

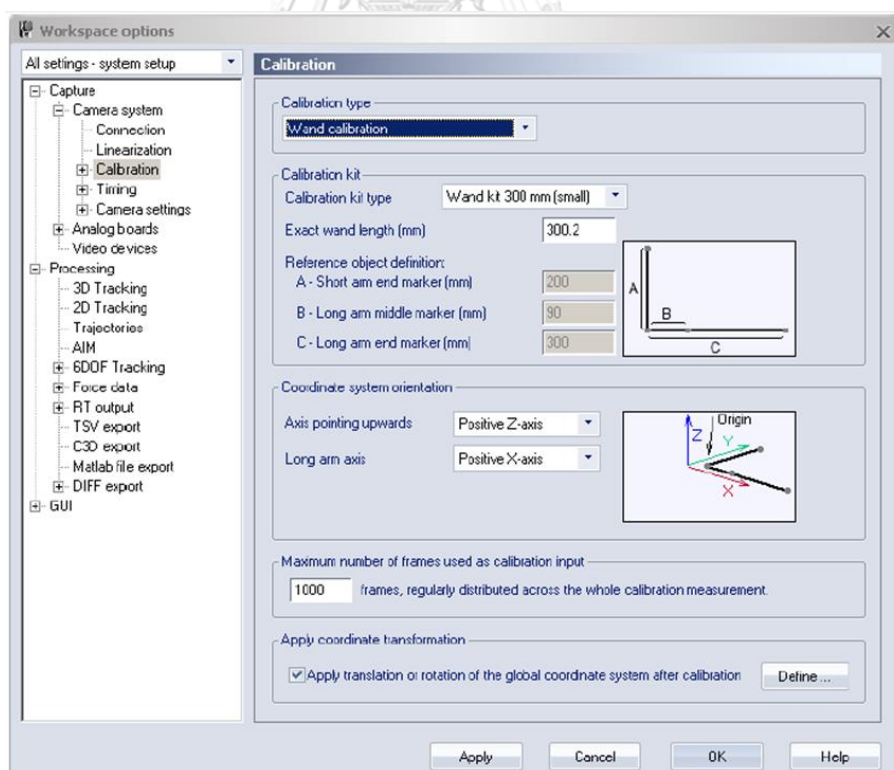
ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration)

การสอบเทียบมาตรฐานระบบ

1. วางโครงสร้างการสอบเทียบมาตรฐานในวอลุ่มการวัด (Measurement volume) เพื่อให้กล้องทั้งหมดสามารถมองเห็นมาร์กเกอร์ทั้งสี่ตัวบนโครงสร้างการสอบเทียบมาตรฐานได้
2. ตรวจสอบการตั้งค่าการสอบเทียบมาตรฐานในปุ่ม “Project options” โดยคลิกในเมนู จากนั้นคลิกการสอบเทียบมาตรฐาน ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ตั้งค่าทั้งหมดไว้ตามภาพดังต่อไปนี้แล้ว จากนั้นคลิกตกลงเพื่อกลับไปยังหน้าต่างแสดงตัวอย่าง

หมายเหตุ: ความยาวที่แน่นอนของไม้สอบเทียบความแม่นยำ เป็นของแต่ละโครงสร้างการสอบเทียบมาตรฐาน โดยการตรวจสอบแผ่นบนไม้สอบเทียบความแม่นยำนั้น ก็เพื่อให้ได้ความยาวที่แน่นอนของไม้สอบเทียบความแม่นยำ และเพื่อให้บ่อนค่าได้อย่างถูกต้อง



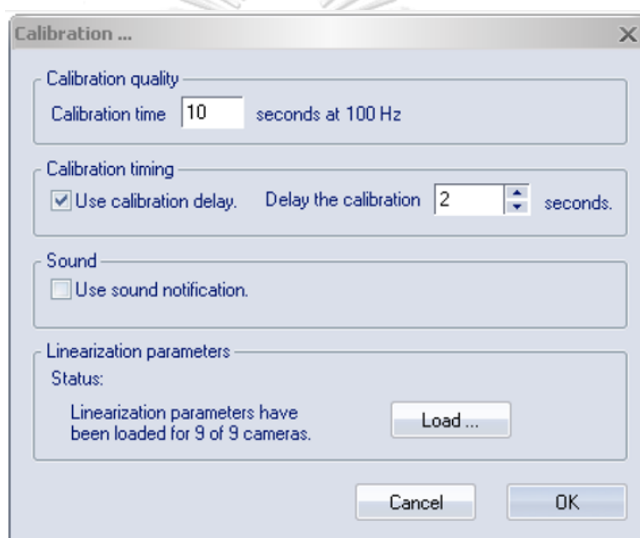
การสอบเทียบมาตรฐานโดยไม้สอบเทียบความแม่นยำ
(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

หมายเหตุ: หากแทนที่ด้วยไม้สอบเทียบความแม่นยำ 750 การตั้งค่า “Calibration kit type” จะต้องเปลี่ยนแปลงด้วย

3. คลิกไอคอนสอบเทียบมาตรฐาน หรือคลิกสอบเทียบมาตรฐานในเมนู “Capture” เพื่อเปิดไดอะล็อกสอบเทียบมาตรฐาน

4. ตรวจสอบว่าได้ติดตั้งไฟล์ลิเนียร์ไลซ์เซชัน (Linearization) ของกล้องไว้แล้วหรือไม่ โดยดูที่ส่วนบนของลิเนียร์ไลซ์เซชัน พารามิเตอร์ หากยังไม่ได้ติดตั้งไฟล์ คลิกที่โหลด และทำตามคำแนะนำในบท "Linearization of the camera"

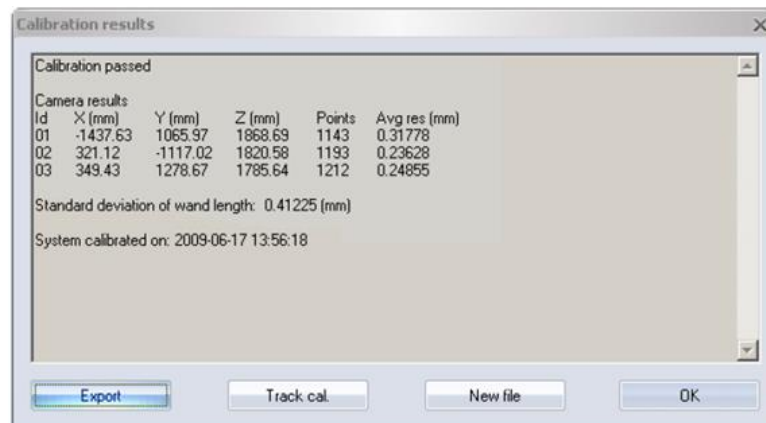
5. ป้อนเวลาในการสอบเทียบมาตรฐาน 10 วินาทีลงใต้หัวข้อ “Calibration quality” จากนั้นคลิกโอเค เพื่อเริ่ม “calibration capture” สำหรับคำอธิบายเกี่ยวกับวิธีการสอบเทียบมาตรฐาน



ประสิทธิภาพการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration quality)

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

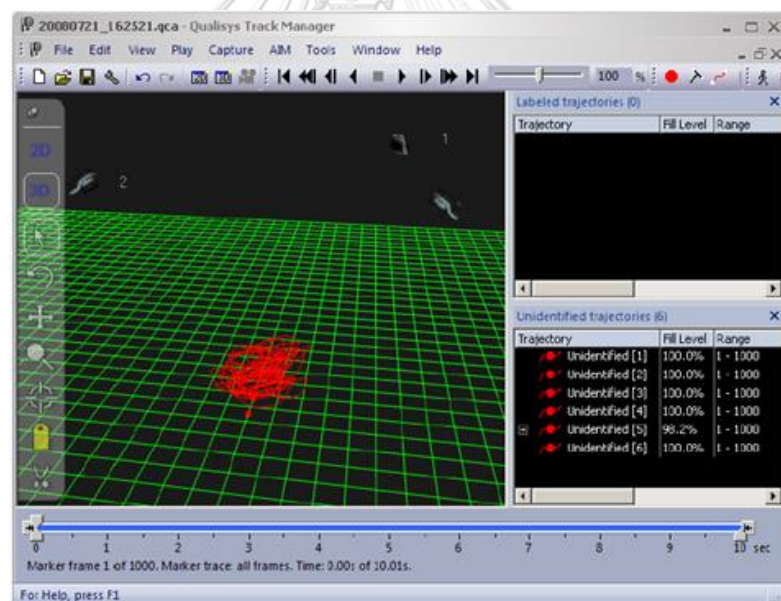
6. เมื่อการสอบเทียบมาตรฐาน เสร็จสิ้น หน้าต่างที่มีผลการสอบเทียบมาตรฐาน จะปรากฏขึ้น โดยผลการทดสอบจะแจ้งให้คุณทราบถึงการสอบเทียบมาตรฐาน ผ่าน (calibration passed) และผลการทดสอบบางอย่างของประสิทธิภาพการสอบเทียบมาตรฐาน



แสดงผลการสอบเทียบมาตรฐาน

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

7. นอกจากนี้คุณยังสามารถวอลลุ่มการวัดได้โดยคลิก “Track cal”



วอลลุ่มการวัด

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

8. ปิดไฟล์การสอบเทียบมาตรฐาน โดยการคลิกปิด (Close) ในเมนู “File” และ “Remove the calibration object” ซึ่งวอลลุ่มการวัด จะได้รับการสอบเทียบมาตรฐาน และการวัดนั้นสามารถนำมาเริ่มต้นใหม่ได้

การสอบเทียบมาตรฐาน

การสอบเทียบมาตรฐาน ประกอบด้วยการตั้งค่าการสอบเทียบมาตรฐาน ที่จำเป็นเพื่อให้เกิดความถูกต้องของการสอบเทียบมาตรฐาน ซึ่งข้อมูลที่ถูกรบกวนโดยทางอื่นจะทำให้ได้ข้อมูลการจับภาพเคลื่อนไหวที่ไม่มีคุณภาพเท่าที่ควร สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการสอบเทียบมาตรฐาน

ประเภทการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration type)

เลือกประเภทการสอบเทียบมาตรฐานที่จะใช้ โดยประเภทการสอบเทียบมาตรฐานที่สนับสนุน ได้แก่ ไม้สอบเทียบความแม่นยำในการสอบเทียบมาตรฐาน, เฟรมสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน (Frame calibration) และฟิกซ์ คาเมร่าสอบเทียบมาตรฐาน (Fixed camera calibration) ซึ่งทั้งสามแบบได้อธิบายไว้ดังนี้

ไม้สอบเทียบความแม่นยำในการสอบเทียบมาตรฐาน

ไม้สอบเทียบความแม่นยำในการสอบเทียบมาตรฐาน ใช้การสอบเทียบมาตรฐาน 2 แบบเพื่อการสอบเทียบมาตรฐาน ระบบ หนึ่งคือโครงสร้างอ้างอิงลักษณะแบบตัวแอล (L-shaped) ซึ่งมีมาร์กเกอร์สี่ตัวติดอยู่ที่โครงสร้างแบบสเตชันนารีแอล (stationary L) (เรียกว่า “reference object below”) กำหนดจุดกำเนิดและการวางแนวของระบบในพิกัดที่จะใช้กับระบบกล้อง วัตถุที่ใช้ในคาลิเบรชันอื่น ๆ เรียกว่า “calibration wand” โดยประกอบด้วยมาร์กเกอร์สองจุดที่อยู่ห่างกัน วัตถุนี้ถูกย้ายไปอยู่ในวอลุ่มการวัดเพื่อสร้างข้อมูลและกำหนดตำแหน่งทิศทางของกล้อง

อุปกรณ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration kit)

มีการกำหนดอุปกรณ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมาก โดยอุปกรณ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน ใช้สำหรับปรับขนาด และหาพิกัดในวอลุ่มการวัด จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุสองอย่างเพื่อทำการสอบเทียบมาตรฐาน ระบบ ได้แก่ ดครงสร้างอ้างอิง และไม้สอบเทียบความแม่นยำ

หมายเหตุ: วัตถุที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐาน เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์การวัด และควรได้รับการดูแลด้วยความระมัดระวัง ข้อผิดพลาดในการปรับขนาดจากการสอบเทียบมาตรฐาน ที่เสียหายจะแพร่กระจายไปทั่วทั้งการวัดและการวิเคราะห์

ประเภทอุปกรณ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน

การระบุประเภทของประเภทอุปกรณ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน ใน “drop-down block” และการระบุขนาดโครงสร้างอ้างอิงแบบลักษณะแบบตัวแอล จะมีอัลกอริทึมการสอบเทียบมาตรฐาน เพื่อหาเครื่องหมายอ้างอิงเมื่อทำการบันทึกการสอบเทียบมาตรฐาน แล้ว ซึ่งการตั้งค่าสำหรับอุปกรณ์ ในการสอบเทียบมาตรฐาน จะมีสี่ชนิดต่อไปนี้ ไม้สอบเทียบความแม่นยำขนาด 110 มิลลิเมตร, ไม้สอบเทียบความแม่นยำขนาด 300 มิลลิเมตร, ไม้สอบเทียบความแม่นยำขนาด 750 มิลลิเมตร และ คิตส์ ดีฟาย บิลอวว์ (Kit define below)

ความยาวของไม้สอบเทียบความแม่นยำ

ป้อนระยะห่างระหว่างศูนย์ของมาร์กเกอร์ที่สะท้อนแสงบนไม้สอบเทียบความแม่นยำอ้างอิง ใน “Exact wand length” ซึ่งได้รับการวัดด้วยความแม่นยำสูง และสามารถพบได้บนโครงสร้างของ ไม้สอบเทียบความแม่นยำ

การนิยามวัตถุอ้างอิง (Reference object definition)

การนิยามวัตถุอ้างอิงจะใช้เฉพาะเมื่อคิตส์ ดีฟาย บิลอวว์ เป็นชุดประเภทอุปกรณ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน แล้ว ต้องกำหนดตำแหน่งของมาร์กเกอร์สะท้อนบนโครงสร้างอ้างอิงลักษณะแบบตัวแอล เพื่อระบุเครื่องหมายเฟรมอ้างอิง โดยตำแหน่งจะถูกกำหนดเป็นระยะห่างจากมาร์กเกอร์ตำแหน่งแรก (origin marker) ไปยังมาร์กเกอร์อื่น ๆ ซึ่งดูจากแถบเครื่องมือ “Project options”

หมายเหตุ: เมื่อใช้ชุดเครื่องมือมาตรฐาน คำจำกัดความอ้างอิงจะแสดงระยะทางสำหรับชุดอุปกรณ์ที่เลือก

การวางแนวระบบพิกัด และการแปลผล (Coordinate system orientation and translation)

ภายใต้การวางแนวระบบพิกัด และการแปลผลการวางแนวระบบโคออร์ดิเนต (Coordinate) ที่จะมุ่งเน้นไปที่ระบบพิกัดของการจับการเคลื่อนไหวด้วยการเลือกทิศทางของแกน X, Y และ Z ในวอลลุ่มการวัด การวิเคราะห์ที่ตามมาจะเหมือนกันกับที่ใช้สำหรับโครงสร้างอ้างอิง

แกนชี้ขึ้น และแกนยาว (Axis pointing upwards and Long arm axis)

เป็นตัวกำหนดทิศทางของแกน เลือกแกนที่ต้องการในแต่ละการตั้งค่าเพื่อให้ได้ระบบพิกัดที่ต้องการ โดยดูรูปที่อยู่ถัดจากการตั้งค่าเพื่อให้เข้าใจถึงแกนที่ถูกปรับทิศทาง

จำนวนเฟรมสูงสุดที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าการปรับเทียบ (Maximum number of frames used as calibration input)

จำนวนเฟรมสูงสุดที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าการปรับเทียบ จะจำกัดจำนวนเฟรมที่ใช้ในกระบวนการการสอบเทียบมาตรฐาน ค่าเริ่มต้นคือ 1000 เฟรม หากจำนวนเฟรมในไฟล์การการสอบเทียบมาตรฐาน มีขนาดใหญ่กว่าการตั้งค่านี้เฟรมจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งการวัดเช่น ถ้าเวลาในการสอบเทียบมาตรฐาน ถูกตั้งไว้ที่ 20 วินาทีจะมีเฟรมประมาณ 2000 เฟรมในไฟล์การสอบเทียบมาตรฐาน จากนั้นด้วยจำนวนเฟรมเริ่มต้นครบทุกวินาทีจะถูกใช้เพื่อการสอบเทียบมาตรฐาน ระบบ

ควรลดค่านี้ลงถ้าคุณมีโทรศัพท์ข้อมูลที่คุณสามารถคาลิเบรชัน ได้ภายในประมาณ 10-15 วินาที ซึ่งจะทำให้การคำนวณเร็วขึ้นเล็กน้อย ในทางกลับกันเป็นการดีที่จะเพิ่มกระบวนการนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าโทรศัพท์ข้อมูลเป็นโทรศัพท์ข้อมูลแบบขยายซึ่งกล้องไม่สามารถดูโครงสร้างอ้างอิงการสอบเทียบมาตรฐานได้ทั้งหมด ในการทดสอบนี้จะทำให้การสอบเทียบมาตรฐาน และการทดสอบเป็นไปอย่างยาวนานด้วยจำนวนเฟรมสูงสุดที่แตกต่างกันเพื่อดูว่าผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อผลการสอบเทียบมาตรฐานอย่างไร

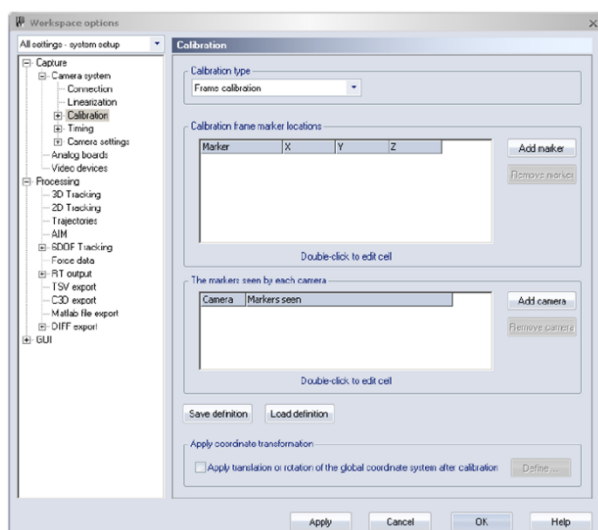
การแปลงพิกัด (Apply coordinate transformation)

การแปลงพิกัดนี้ คุณสามารถแปลและหมุนระบบพิกัดทั้งหมดไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยเลือก “Checkbox” และจากนั้นคลิก “Define” เพื่อตั้งค่าการแปลงพิกัดในหน้าการแปลง

เฟรมสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน

เฟรมสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน ใช้โครงสร้างที่เข้มงวด (มักเรียกว่า “Calibration frame”) โดยมีมาร์กเกอร์อย่างน้อยห้าตำแหน่ง ซึ่งจะต้องระบุตำแหน่งที่แน่นอนของมาร์กเกอร์ด้วยความแม่นยำสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยจะแนะนำให้วางมาร์กเกอร์ไว้ในลักษณะที่ไม่สมมาตรจุดเริ่มต้นและทิศทางของระบบพิกัดของการจับการเคลื่อนไหวจะถูกกำหนดโดยการวางกรอบการสอบเทียบมาตรฐาน ใช้การ บันทึกค่าจำกัดความ เพื่อบันทึก “current frame definition” และโหลดค่าจำกัดความที่บันทึกไว้

หมายเหตุ: การวัดควรทำภายในโดรฟ์ข้อมูลที่อยู่ภายในเฟรมสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน เนื่องจากการวัดภายนอกนี้ไม่สามารถรับประกันได้ว่ามีความแม่นยำสูง



เฟรมสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

ตำแหน่งเครื่องหมายเฟรมการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration frame marker locations)

ใช้ปุ่ม “Add marker” และ “Remove marker” เพื่อเพิ่มหรือลบเครื่องหมายของ เฟรมการสอบเทียบมาตรฐาน จากนั้นดับเบิลคลิกตำแหน่งของแกน X, Y และ Z ของแต่ละมาร์เกอร์เพื่อทำการแก้ไข

หมายเหตุ: ต้องระบุมาร์เกอร์ทั้งหมดเพื่อให้เฟรมการสอบเทียบมาตรฐาน สำเร็จ

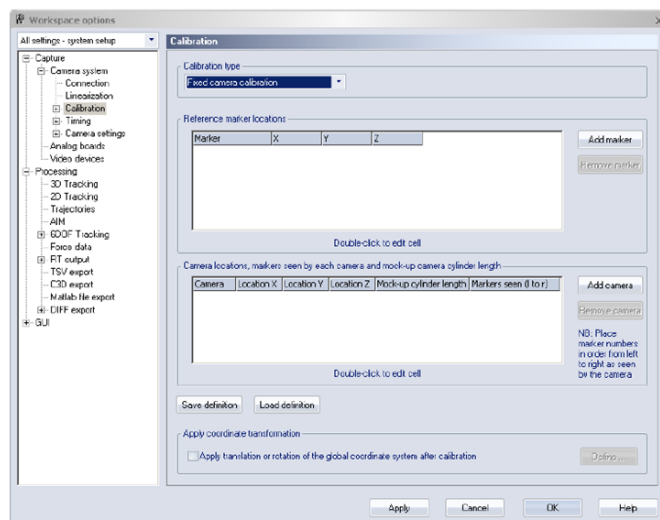
มาร์เกอร์ที่กล้องแต่ละตัวเห็น (The markers seen by each camera)

ใช้ปุ่ม “Add camera” หรือ “Remove camera” เพื่อปรับจำนวนกล้องในระบบ ป้อนหมายเลขของเครื่องหมายบนเฟรมคาลิเบรชันที่กล้องแต่ละตัวเห็น (ตัวเลขจะปรากฏในคอลัมน์แรกของคอลัมน์เครื่องหมายปรับเกณฑ์การสอบเทียบมาตรฐาน) จากนั้นแยกตัวเลขด้วยเครื่องหมายจุลภาค

หมายเหตุ: ต้องเพิ่มกล้องเข้าไปทั้งหมดเพื่อให้เฟรมคาลิเบรชันสำเร็จ

ฟิกซ์ คาเมร่าการสอบเทียบมาตรฐาน

ในหน้าการสอบเทียบมาตรฐาน สำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน กล้อง ควรป้อนข้อมูลจากการวัดแบบสำรวจ แต่หากไม่สามารถดูหน้าการสอบเทียบมาตรฐาน นี้ได้ ให้เปลี่ยนประเภทการสอบเทียบมาตรฐานเป็น “Fixed camera calibration”



พิกซ์ คาเมร่าการสอบเทียบมาตรฐาน

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

ใช้ปุ่ม “Save definition” และ “Load definition” เพื่อบันทึกตามลำดับโหลดข้อมูลสำหรับการสอบเทียบมาตรฐาน กล้อง

หมายเหตุ: ในครั้งแรกที่ป้อนข้อมูล จะต้องป้อนด้วยตนเองเท่านั้น

ตำแหน่งมาร์กเกอร์อ้างอิง (Reference marker locations)

ตำแหน่งมาร์กเกอร์อ้างอิงควรป้อนข้อมูลการสำรวจของตำแหน่งเครื่องหมายอ้างอิง ใช้เครื่องหมาย “Add marker” และ “Remove marker” เพื่อเพิ่มหรือลบตำแหน่งเครื่องหมายอ้างอิง และเพิ่มเครื่องหมายตามลำดับทางกายภาพจากซ้ายไปขวา ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถป้อนเครื่องหมายที่มองเห็นได้ง่ายขึ้น จากนั้นดับเบิลคลิกตำแหน่งของแกน X, Y และ Z ในแต่ละเครื่องหมายเพื่อแก้ไข

หมายเหตุ: ต้องป้อนตำแหน่งทั้งหมดของมาร์กเกอร์เพื่อทำการสอบเทียบมาตรฐาน กล้องให้สำเร็จ

ตำแหน่งกล้อง และมาร์กเกอร์ที่กล้องแต่ละตัวเห็นตามลำดับจากซ้ายไปขวา

ตำแหน่งกล้อง และมาร์กเกอร์ที่กล้องแต่ละตัวเห็นตามลำดับจากซ้ายไปขวา ควรป้อนข้อมูล การสำรวจของตำแหน่งกล้อง ใช้ปุ่ม “Add camera” เพื่อเพิ่มกล้องใหม่ในรายการ โดยกล้องจะต้อง ป้อนตามลำดับเดียวกับระบบกล้องต้นแบบจากเอ็ม ซี ยู (MCU) และจะไม่สามารถจัดเรียงกล้องใหม่ ได้หลังจากที่เพิ่มกล้องเข้ามาแล้ว ให้ทำการดับเบิลคลิกที่คอลัมน์เพื่อป้อนข้อมูลต่อไปนี้ ตำแหน่งแกน X, ตำแหน่งแกน Y และตำแหน่งแกน Z และการสำรวจข้อมูลการวัดของกล้อง

ความยาวมือคอปป์ ไซลินเดอร์ (Mock-up cylinder length)

ความยาวของไซลินเดอร์ที่ใช้ในกล้องถ่ายรูปเมื่อทำการสำรวจการวัด (Survey measurement)

หมายเหตุ: ความยาวนี้เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์ของกล้องกับด้านด้านหน้าของไซลินเดอร์ สำหรับโปร รีเฟล็กซ์ เอ็ม ซี ยู (Pro Reflex MCU) อยู่เสมอที่ 18 มม.

การมองเห็นมาร์กเกอร์ (Markers seen (l to r))

มาร์กเกอร์ที่มองเห็นได้จากกล้อง ป้อนข้อมูลเหล่านี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวาตามที่กล้อง มองเห็นและแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาค (ตัวเลขอ้างอิงถึงคอลัมน์แรกในรายการที่ตั้งของจุดอ้างอิง)

หมายเหตุ: ชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว โอคัส ควอลิซิส ใช้เครื่องหมายบนสุดในหน้าต่างมุมมอง “2 Dimension” เป็นมาร์กเกอร์อ้างอิง

หมายเหตุ: กล้องทั้งหมดจะต้องถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อให้การสอบเทียบมาตรฐาน กล้องสำเร็จ

ภาคผนวก ข
เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography)
รุ่น “Wave plus wireless EMG miniwave water proof: Cometa (Italy)”

คุณลักษณะทั่วไป

เป็นเครื่องวัดและติดตามสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่สามารถทำงานได้พร้อมกันไม่น้อยกว่า 16 ช่องสัญญาณ ออกแบบให้ทำงานได้ดีทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการสามารถส่งสัญญาณจากตัวเซ็นเซอร์ ไปยังตัวรับสัญญาณในระบบไร้สายได้ และวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์พร้อมส่งสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อส่งสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในรูปแบบอนาล็อกไปยังอุปกรณ์อื่น เช่น ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ เพื่อทำการบันทึกข้อมูลพร้อมกันได้

คุณลักษณะเฉพาะ

“DAQ Tools” เป็นซอฟต์แวร์ที่ให้ใช้ได้ฟรี เผยแพร่โดย โคเมต้า เอสอาร์แอล (Cometa srl) เพื่อให้ทำงานกับ “Wave plus wireless EMG, DAQ Tools” เป็นซอฟต์แวร์สำหรับรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างภาพ

คุณสมบัติของระบบโดยย่อ มีดังนี้

1. ควบคุมการใช้งานคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และตัววัดความแรงของการเคลื่อนที่และสัญญาณ “FSW” จาก “Wave plus EMG”
2. บันทึกไฟล์ในรูปแบบมาตรฐานซีพรีดี (C3D)
3. ส่งออกข้อมูลในรูปแบบเอเอสซีทู (ASCII)
4. เรียกดูข้อมูลซีพรีดีที่บันทึกไว้ ด้วยซอฟต์แวร์ “DAQ Tools”

ซอฟต์แวร์ต้องติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ที่มีระบบปฏิบัติการวินโดวส์ที่มีแรม (RAM) อย่างน้อย 1 กิกะไบต์, ซีพียูที่มีแกนประมวลผล 2 แกนอยู่ในชิปตัวเดียวกัน (Dual core) หรือสูงกว่า แนะนำให้ใช้แรม 4 กิกะไบต์ เพื่อให้สามารถใช้งานกับระบบแบบ 16 หรือ 32 ช่องสัญญาณได้ดีแนะนำให้ ใช้แรม

8 กิกะไบต์ เมื่อใช้งานกับมินิ เวฟ อินฟินิตี้ (Mini wave infinity) และการจัดการไฟล์ซีทีทีขนาดใหญ่ “DAQ Tools” และ “Wave plus driver” สามารถใช้ได้กับวินโดวส์ทุกเวอร์ชัน ตั้งแต่วินโดวส์ เอ็กซ์พี 32 บิต ขึ้นไป

ในขั้นตอนเริ่มใช้งานระบบเวฟ พลัส (Wave plus system) และซอฟต์แวร์ “DAQ Tools” โดยเลือกที่เมนู “Start/ AI programs/ Cometasrl/ DAQ Tools” ซึ่งซอฟต์แวร์ “DAQ Tools” เป็นซอฟต์แวร์ง่าย ๆ แต่มีประสิทธิภาพสูง แบ่งออกการใช้งานออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1. กลุ่มการรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูล
2. กลุ่มการเรียกดูข้อมูล

ในการรวบรวมและวิเคราะห์ของระบบจะมีตัวจับสัญญาณแรงเฉื่อย เวฟ แทร็ค (Wave track) และสามารถปรับแต่งได้ และจะมีหน้าต่างเพิ่มเติมปรากฏขึ้น เมื่อจะปรับตั้งค่าเซ็นเซอร์ให้เปลี่ยนตำแหน่งการเริ่มต้นและค่าอื่น ๆ โดยใช้ปุ่มเซ็นเซอร์ (Sensor) เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้น (เฉพาะกราฟ) และตั้งค่าเซ็นเซอร์ ในปัจจุบันหรือเซ็นเซอร์ทุกตัวใหม่ จากนั้นใช้ปุ่ม “Scene” เพื่อตั้งค่าพื้นหลังใหม่ให้อยู่ในตำแหน่งเดิม เลือกเซ็นเซอร์ที่ต้องการดูแบบเรียลไทม์ (Real time) และลากเมาส์บนพื้นหลังเพื่อเลื่อนระนาบการแสดงผล ซึ่งการแสดงผลจะอยู่ในรูปแกน w, x, y, z

การตั้งค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

1. ปรับสี และชื่อของแต่ละช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถระบุได้เองหรือเลือกโดยการลากเมาส์จากภาพกล้ามเนื้อด้านขวา
2. ระบุช่องสัญญาณ (หรือเลือกทุกช่องสัญญาณ) โดยคลิกบนปุ่ม “LED” จะมีสัญญาณไฟกระพริบ
3. เลือกด้าน
4. เปิด “ON/OFF” ของเซ็นเซอร์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแต่ละตัว
5. เลือกระดับความไวของตัววัดความเร่ง
6. เปิด “ON/OFF” ของเซ็นเซอร์ตัววัดความเร่งแต่ละตัว

7. ตรวจสอบความต้านทานของตัวจับสัญญาณ ดดยคำสั่งนี้จะทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าความต้านทานต่ำกว่าค่าที่โรงงานตั้งไว้หรือไม่ (100,000 โอห์ม)

8. การตั้งค่า “FSW” ให้เลือกสี, ชื่อ, ด้าน, รูปแบบ และระดับเทรซโฮลด์

9. การตั้งค่าตัววัดอัตราเร่งให้เลือกสี, ชื่อ, ระดับการตอบสนอง และด้าน

10. การตั้งค่าเซ็นเซอร์ วัดแรงเฉื่อย ให้เลือกสี, ชื่อ, ด้าน และประเภทการวิเคราะห์ข้อมูล

11. แผนภูมิกล้ำมเนื้อสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงได้หรือกำหนดชื่อของแต่ละช่องสัญญาณทำได้โดยการลากเมาส์บนกล้ำมเนื้อ และวางบนช่องสัญญาณนั้น

12. การตั้งค่าระบบซอฟต์แวร์รวมการทำงานเพิ่มเติมของการรวมข้อมูลในรูปแบบวิดีโอ ในกรณีนี้การตั้งค่าการจับภาพวิดีโอจะใช้งานได้ และสามารถเชื่อมต่อกับสายยูเอสบี (Universal Serial Bus; USB) ของกล่องเว็บแคมเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกวิดีโอของสัญญาณ “EMG/IMU” ที่ละเอียด 640 x 480

13. การบันทึกหรือใส่การตั้งค่าให้คลิกที่ไอคอนตามภาพด้านบน เพื่อบันทึกไฟล์การตั้งค่า (.cfg) ไว้ใช้งานในครั้งต่อไป

อุปกรณ์ของเวฟ พลัส

ส่วนประกอบหลักของเวฟ พลัส

1. สายส่งออกสัญญาณ
3. อุปกรณ์เสริมสำหรับการเชื่อมต่อ (Docking) สำหรับชาร์จไฟ
4. สายยูเอสบี
5. โมดูลคลื่นไฟฟ้ากล้ำมเนื้อ (EMG Module)
6. แหล่งจ่ายไฟ
7. สวิตช์แบบใช้เท้าเหยียบ (Footswitch)
8. เซ็นเซอร์ไพโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive)
9. ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าแบบใช้แล้วทิ้ง

อุปกรณ์มาตรฐานประกอบด้วย

1. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ, ตัววัดอัตราแรงแบบไร้สาย, ตัวต่อขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าสีขาว
2. โมดูลแบบไร้สาย 2 ตัว สำหรับเพื่อส่งสัญญาณ
3. เครื่องรับสัญญาณ
4. อุปกรณ์เสริมสำหรับการเชื่อมต่อสำหรับชาร์จโมดูลแบบไร้สายจะมีสายจะมีแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟใหม่ได้อยู่ด้านใน และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางเครื่องหลักเป็นการเชื่อมต่อแบบ 2 ทิศทาง ที่ความถี่ 2,400 เมกะเฮิร์ตซ์

ตัวจับสัญญาณแบบไร้สาย (Standard/Mini)



ภาพที่ 82 ตัวจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ตัวจับสัญญาณต้องติดกับผิวหนังของผู้ทดสอบโดยใช้กาว 2 หน้า การเชื่อมต่อระหว่างขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า 2 ตัว และกล้ามเนื้อจะทำได้โดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าคลื่นไฟฟ้าหัวใจ Electrocardiogram (ECG/EKG) แบบใช้แล้วทิ้งตำแหน่ง และการติดตัวจับสัญญาณบนร่างกายควรติดด้วยวิธีที่ช่วยลดการเคลื่อนไหว เครื่องนี้อาจจัดตัวจับสัญญาณแบบพื้นฐาน (Standard) หรือแบบมินิมาให้ทั้ง 2 ประเภทนี้ทำงานเหมือนกัน แตกต่างกัน คือ ตัวจับสัญญาณของมินิ เวฟไม่มีแบตเตอรี่แบบเปลี่ยนได้ และไม่สามารถถอดออกได้

อุปกรณ์เสริมสำหรับการเชื่อมต่อชาร์จไฟ

แบตเตอรี่สำหรับตัวจับสัญญาณแบบมาตรฐานมีอายุ 12 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง สำหรับตัวจับสัญญาณขนาดเล็ก ต้องวางตัวจับสัญญาณในกล่องช่องวางและชาร์จต่อเนื่องประมาณ 8 ชั่วโมง

เครื่องชาร์จจะหยุดทำงานอัตโนมัติหลังจาก 8 ชั่วโมง ขณะชาร์จสัญญาณไฟจะกระพริบ และหยุดเมื่อแบตเตอรี่เต็มพร้อมใช้งาน

การใช้งาน “Wave plus wireless EMG” สามารถใช้งานได้แตกต่างกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบแอนะล็อก (Analog) และแบบดิจิทัลซึ่งจะแสดงข้อมูลเวลาปัจจุบัน และเก็บสะสมข้อมูล

อุปกรณ์นี้ไม่ต้องใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเพียงพอสำหรับการเก็บข้อมูลแบบแอนะล็อก ตัวรับสัญญาณจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แอนะล็อกโดยใช้ สัญญาณแอนะล็อก จากระบบที่มีสายต่อบีเอ็นซี (BNC) ระยะห่างของสัญญาณแอนะล็อกคือ 14 มิลลิวินาที



ภาคผนวก ฉ

เครื่องมือวัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometric measurements)

1. เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) รุ่น “Body composition analyzer ioi 353” ผลิตโดยบริษัทโอมรอน เฮลแคร์ (Omron healthcare, Netherland) เพื่อวัดสัดส่วนของร่างกายดังต่อไปนี้

1.1 ความสูง (Height), น้ำหนัก (Weight)

1.2 ดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI)



วิธีการทดสอบ

1. กลุ่มตัวอย่างทำความสะอาดมือและเท้า
2. กลุ่มตัวอย่างขึ้นไปยืนบนเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกายด้วยเท้าเปล่า (ถอดถุงเท้า)
3. ผู้วิจัยจะทำการกดข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่เครื่อง เพื่อจะประมวลผลเฉพาะบุคคล
4. กลุ่มตัวอย่างจับบริเวณแขนของเครื่อง และยืนนิ่ง ๆ บนเครื่อง ประมาณ 2 นาที
5. เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย จะวิเคราะห์และประมวลผล พร้อมพิมพ์ข้อมูล



ภาพที่ 83 แสดงเครื่องมือวัดสัดส่วนของร่างกาย

2. เครื่องวัดความยาว (Segmometer) โดยใช้ สายวัด (Measurement tape)

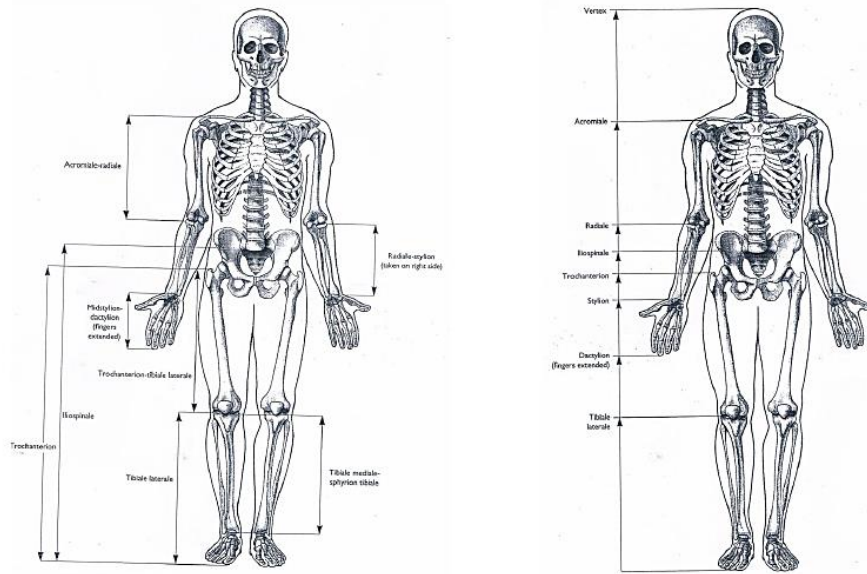
(รับประกันโดย มอก.)

วิธีการทดสอบ

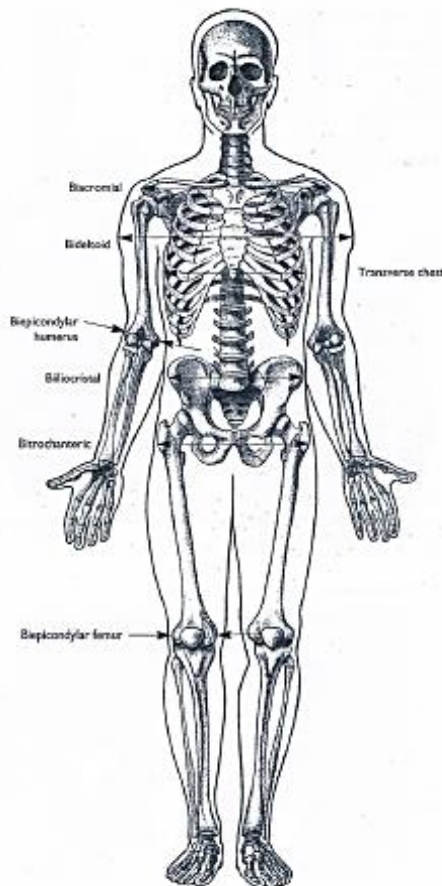
1. ความยาวของแขน (Length of arm) ทำการวัดจากตำแหน่งปุ่มกระดูกอโครเมียม โพรเซส ไปยังปุ่มกระดูกอัลนา สไตลอยด์ โพรเซส โดยให้กลุ่มตัวอย่างยืนตัวตรง ใช้เครื่องมือวัดความยาวของกระดูกระหว่างหัวไหล่และข้อมือของแขนซ้าย-ขวา
2. ความยาวของขา (Length of leg) ทำการวัดจากตำแหน่งปุ่มกระดูกเกรทเตอร์โทรเชนเตอร์ (Greater trochanter) ไปยังปุ่มกระดูกแลทเทอรัล มัลลิโอลัส ให้กลุ่มตัวอย่างยืนตัวตรง ใช้เครื่องมือวัดความยาวของกระดูกระหว่างกระดูกต้นขาและกระดูกข้อเท้า โดยจะทำการวัดด้านข้าง
3. ความกว้างช่วงอก (Chest width) ทำการวัดจากตำแหน่งแนวขวางของช่วงอก (Transverse chest) โดยวัดระหว่างกระดูกซี่โครงทั้งสองข้าง โดยจะวัดข้างหน้า ให้กลุ่มตัวอย่างยืนตัวตรง แขนทั้งสองวางออกด้านหลังเล็กน้อย
4. ความกว้างช่วงสะโพก (Hip width) ทำการวัดจากตำแหน่งความกว้างของไบโทรชานเทอริก (Bitrochanteric breadth) โดยจะวัดระหว่างสะโพกทั้งสองข้าง โดยกลุ่มตัวอย่างจะยืนลักษณะสบาย ๆ



ภาพที่ 84 แสดงสายวัดสำหรับใช้วัดความยาวของร่างกาย



ภาพที่ 85 แสดงแสดงตำแหน่งการวัดความยาวของกระดูก (Norton and Olds, 1996)



ภาพที่ 86 แสดงตำแหน่งการวัดความกว้างของกระดูก (Norton and Olds, 1996)

ภาคผนวก ญ

เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip dynamometer)

เครื่องวัดแรงบีบมือเพื่อทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือและแขนส่วนปลาย

วิธีการทดสอบ

1. กลุ่มตัวอย่างทำการวัดแรงบีบมือในท่ายืน โดยให้เท้าแยกจากกัน 25-30 เซนติเมตร
2. จัดระดับเครื่องวัดแรงบีบมือให้เหมาะสมกับผู้ถูกทดสอบโดยใช้มือข้างที่ถนัด ปล่อยแขนตามสบายข้างลำตัว มือกำที่จับห้ามแนบลำตัว หลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างออกแรงกำมือให้แรงที่สุด ค้างไว้ประมาณ 10-15 วินาที
3. ทำการทดสอบ 2 ครั้ง โดยเลือกค่าที่ทำได้มากที่สุด
4. การทดสอบที่วัดได้จะมีหน่วยเป็นกิโลกรัม



ภาพที่ 87 แสดงเครื่องวัดแรงบีบมือ

ภาคผนวก ก
หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่



ที่ อว ๖๔.๒๔/ ๐๗๕๔

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพระราม ๑ กทม. ๑๐๓๓๐

๘ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในการศึกษางานวิจัย

เรียน นายกสมาคมกีฬาป็นหน้าผาแห่งประเทศไทย (คุณสมบุรณ์ อุทัยเวียนกุล)

ด้วย นางสาวทัตพิชา พงษ์ศิริ นิสิตระดับปริญญาตรีบัณฑิต แขนงวิชาการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับอนุมัติโครงการวิทยานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการป็นหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง ๑๕ เมตร ในนักกีฬาป็นหน้าผาทีมชาติไทย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกกำลังกาย ภายใต้การควบคุมของ อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ ฤกษ์พันธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา บุญหยง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

การนี้ เพื่อให้การดาเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์สถานที่หน้าผาจำลองประเภทความเร็วระยะทาง ๑๕ เมตร ณ สมาคมกีฬาป็นหน้าผาแห่งประเทศไทย เพื่อทาการเก็บข้อมูลในการวิจัยในหัวข้อดังกล่าว ระหว่างวันที่ ๑๗ ถึงวันที่ ๓๐ ธันวาคม ๒๕๖๔ ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะเป็นผู้ประสานในรายละเอียดต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูลวิจัยดังกล่าวด้วยจักเป็นพระคุณยิ่ง และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)
คณบดี

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ
โทร ๐ ๒๒๑๘ ๑๐๔๗ , ๐๙ ๘๘๕๒ ๙๕๑๔
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Keeranana.P@chula.ac.th
ติดต่อผู้วิจัย โทร ๐๘ ๕๕๖๔ ๑๕๙๓
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ LIBERO_BB@hotmail.com

ภาคผนวก ก
หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ หน่วยปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬา โทร. 0 2218 1027
ที่ อว 64.24(ปวส)/ 081 วันที่ 6 ธันวาคม 2564
เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลงานวิจัย

เรียน คณบดี ผ่านรองคณบดี (อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช)

ด้วย ข้าพเจ้า นางสาวทัตพิชา พงษ์ศิริ นิสิตระดับดุษฎีบัณฑิต ชั้นปีที่ 4 แขนงวิชาการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การวิเคราะห์ทางคิเนมาติกส์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการปีนหน้าผาประเภทความเร็วระยะทาง 15 เมตรในนักกีฬาปีนหน้าผาทีมชาติไทย” โดยมีอาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลงานวิจัย ระหว่างวันที่ 17 ธันวาคม 2564 ถึง 31 มกราคม 2565 ณ สมาคมกีฬาปีนหน้าผาแห่งประเทศไทย สนามราชมั่งคณาภิบาลสถานการกีฬาแห่งประเทศไทย ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมวิจัยจะปฏิบัติตามมาตรการป้องกันการแพร่ระบาดของโรค COVID-19 อย่างเคร่งครัด และหากการเก็บข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหายต่ออุปกรณ์ ข้าพเจ้ายินดีรับผิดชอบค่าเสียหายที่เกิดขึ้นตามจริง (หากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม สามารถติดต่อข้าพเจ้าได้ที่ โทร. 08 5564 1593 หรืออีเมล libero_bb@hotmail.com) รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว โอคัส ควอลิซิส (Oqus Qualisys 7+ Series) ของบริษัท Qualisys Medical AB (Sweden) จำนวน 7 ตัว พร้อมชุด Calibration
2. เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) รุ่น Wave Plus wireless EMG miniwave waterproof: Cometa 16 Chanel (Italy)

การนี้ จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ทัตพิชา พงษ์ศิริ
(นายพงษ์เทพ นามศิริ)
ผู้วิจัย

Nonpms.
(อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ.ดร.เบญจพล เบญจพลการ)
ประธานแขนงวิชา

สำหรับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ	สำหรับคณบดีและรองคณบดี (พิจารณาในระบบ Lesspaper Chula)	
เรียน รองคณบดี เห็นควรอนุญาต เนื่องจาก นิสิตมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการวิจัยในช่วงเวลาดังกล่าว โดยได้รับทราบและพร้อมปฏิบัติตามประกาศ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง แนวทางการปฏิบัติงานวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาที่ต้องจบการศึกษาในปี 2563 หรือ 2564 ภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อโรค COVID-19 ระลอกใหม่อย่างเคร่งครัด (นายวีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์) วันที่ 6 ธ.ค. 2564	รองคณบดีพิจารณา เรียนคณบดี เพื่อโปรดอนุญาต Nonpms. วันที่ 06 ธ.ค. 2564	คณบดีพิจารณา อนุญาต 6 ธันวาคม 2564 เวลา 15:47

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวทัตพิชา พงษ์ศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	17 พฤศจิกายน 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดตรัง
วุฒิการศึกษา	- ปริญญาโท วท.ม. วิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่สำเร็จ 2561 - ปริญญาตรี วท.บ. วิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่สำเร็จ 2559
ที่อยู่ปัจจุบัน	114-116 ถนนบ้านโพธิ์ ตำบลทับเที่ยง อำเภอเมืองตรัง จังหวัดตรัง 92000
ผลงานตีพิมพ์	Factors Influencing the Development of Athletes' Excellence. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD). Volume 3. Issue 6, October 2019. Available Online: www.ijtsrd.com e-ISSN: 2456 – 6470 Results from exercise program with aerobic dance, exercise bike and treadmill towards body composition in over – weighted people. Journal of Kanchanaburi Rajabhat University. 2019. ISSN: 2286-7589