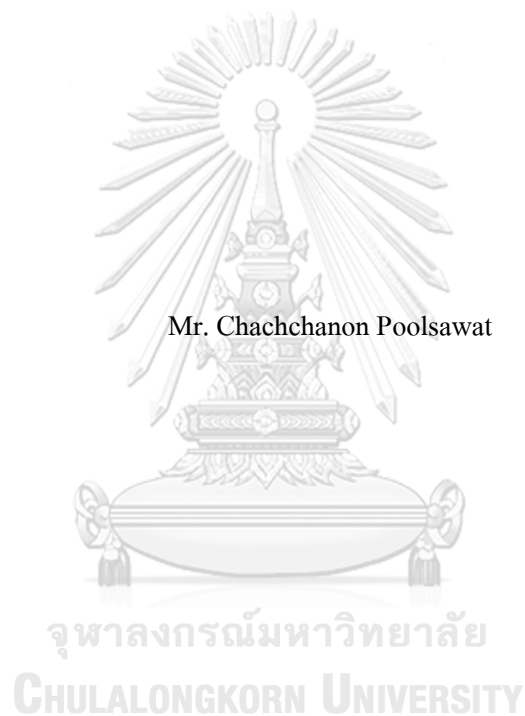


การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงที่ต่างกันใน
นักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES OF GOLF SWING AMONG
DIFFERENT SLOPES IN AMATEUR GOLFERS



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

Common Course

Faculty of Sports Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิง
กอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงที่ต่างกันในนักกีฬาอาชีพ
สมัครเล่น

โดย

นายชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิฯ พงษ์พิบูลย์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิต คณิงสุขเกษม)

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(อาจารย์ ดร.นงนภัศ เจริญพานิช)

กรรมการ

.....
(ดร.สุวัตร สิทธิหล่อ)

กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์ : การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงที่ต่างกันในนักกอล์ฟสมัครเล่น. (A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES OF GOLF SWING AMONG DIFFERENT SLOPES IN AMATEUR GOLFERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ระหว่างการสวิงบนพื้นราบและบนพื้นที่ลาดเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนิน ในนักกอล์ฟสมัครเล่น

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยนี้คือ นักกอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย วงสวิงขวา จำนวน 16 คน กลุ่มตัวอย่างทำการสวิงด้วยเหล็ก 7 บนพื้น 3 รูปแบบ ได้แก่ พื้นราบ พื้นเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนิน ซึ่งทำมุม ± 10 องศา กับแนวราบ เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของร่างกายแรงปฏิกิริยาจากพื้นและความเร็วหัวไม้ แล้วจึงเลือกข้อมูลใน 4 เหตุการณ์ ได้แก่ ตำแหน่งจรดลูก ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด ตำแหน่งกลางของการลงไม้และตำแหน่งไม้กระทบลูก เพื่อหาความแตกต่างด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวแบบวัดซ้ำ

ผลการวิจัย พบว่า การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินมีระยะระหว่างเท้าเพิ่มจากสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินมีความแตกต่างของการเคลื่อนไหวและประสิทธิภาพที่ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบและการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การสวิงแบบลงเนินมีประสิทธิภาพและการเคลื่อนไหวบางช่วงไม่แตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินควรเพิ่มระยะระหว่างเท้าให้กว้างมากขึ้นเพื่อรักษาการทรงตัว การสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงควรรักษาลักษณะการยืนและการเคลื่อนไหวให้ใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบให้มากที่สุด เพื่อคงไว้ซึ่งความเร็วเชิงมุมในการหมุนลำตัวและสะโพกที่สำคัญต่อการสร้างความเร็วหัวไม้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิติต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6078306739 : MAJOR SPORTS SCIENCE

KEYWORD: golf swing, slopes, uphill, downhill, biomechanics

Chachchanon Poolsawat : A COMPARISON OF BIOMECHANICAL VARIABLES
OF GOLF SWING AMONG DIFFERENT SLOPES IN AMATEUR GOLFERS.

Advisor: Asst. Prof. CHAIPAT LAWSIRIRAT, Ph.D.

Purpose: To compare the biomechanical variables of golf swing among different types of slopes, i.e., flat, uphill and downhill.

Methods: Sixteen right-handed amateur male university golfers volunteered to participate in the study. The participants performed 5 swings on three different slope conditions, i.e., flat, uphill and downhill. The uphill and downhill slopes were +10 and -10 degrees from flat slope, respectively. Kinematic and kinetic analysis were collected using Qualisys System and performed using MATLAB. ANOVA with repeated measures was utilized to find statistical difference among the three slopes at level of significance of .05.

Results: Based on the flat swing condition, the stance width during uphill and downhill was found to be significantly wider. Performance outcomes of uphill swing were statistically different from those of flat and downhill swing while there was no significant difference in motion and performance outcomes for the downhill condition.

Conclusion: Golf swing under uphill and downhill should stance wider for balancing against the weight that transfers to the lower foot. The golfer should keep swing motion similar to normal swing as performed on the flat condition as much as possible in order to maintain trunk rotation velocity which is the key to develop club head velocity.

Field of Study: Sports Science

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิชิต คณิงสุขเกษม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. นงนภัศ เจริญพานิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. สุวัตร สิทธิหล่อ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ในการศึกษาค้างนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่ได้อำนวยความสะดวก และขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการพัฒนากีฬา คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่กรุณาให้ยืมเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณนักกีฬาทุกคนทุกท่านที่ให้ความเสียสละเวลามาเป็นผู้เข้าร่วมวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฉุ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
ปัญหาในการวิจัย	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย	4
คำจำกัดความของการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
กีฬากอล์ฟ.....	8
การสวิงกอล์ฟ (Golf swing)	9
หลักการและเครื่องมือทางชีวกลศาสตร์ (Principles of biomechanics)	16
การวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยเครื่อง Wii Balance Board (WBB).....	31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	36
การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย	37
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	38
สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล	39
ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล	39
ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	49
การวิเคราะห์ข้อมูล	50
บทที่ 4	52
ลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมงานวิจัย	52
ผลการเปรียบเทียบความเร็วหัวไม้ ระยะระหว่างเท้า	53
ผลการเปรียบเทียบมุมระหว่างแนวหัวไม้กับแนวสะโพก (X-factor)	54
ผลการเปรียบเทียบความเร็วการหมุนลำตัวและความเร็วการหมุนสะโพก	57
ผลการเปรียบเทียบมุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้า	61
ผลการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้น	73
บทที่ 5	79
สรุปผลการศึกษา	79
อภิปรายผลการศึกษา	82
ข้อจำกัดในการวิจัย	88
ข้อเสนอแนะ	88
บรรณานุกรม	89
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก	94
ภาคผนวก ข	102
ภาคผนวก ค	103

ภาคผนวก ง.....	105
ภาคผนวก จ	111
ภาคผนวก ฉ	114
ภาคผนวก ช	117
ประวัติผู้เขียน	125



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างพื้นที่ทดสอบ	51
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean \pm SD) ของอายุ (Age) น้ำหนัก (Weight) ส่วนสูง (Height) และเด็มต่อของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 16 คน	52
ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของความเร็วหัวไม้ที่ได้จากการสวิงและระยะระหว่างเท้าระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การแบบสวิงขึ้นเนินและลงเนิน	53
ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ X-factor ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน	54
ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ ความเร็วการหมุนลำตัวและความเร็วการหมุนสะโพก ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน	57
ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ มุมสะโพก ด้านเท่านั้นและเท้าตาม ระหว่าง.....	61
ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ แรงปฏิกิริยาจากพื้น ด้านเท่านั้นและเท้าตาม ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน	73
ตารางที่ 8 ตารางสรุปผลการศึกษการเปรียบเทียบระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน	79
ตารางที่ 9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่อง WBB1 และ แผนวัดแรง	100
ตารางที่ 10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่อง WBB2 และ แผนวัดแรง	101

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ช่วงขึ้นไม้ของการสวิง.....	10
รูปที่ 2 ช่วงลงไม้ของการสวิง.....	11
รูปที่ 3 Ground reaction force (GRF).....	13
รูปที่ 4 ทิศทางการเคลื่อนไหวของหัวเข้าขณะสวิง.....	13
รูปที่ 5 การระบุตำแหน่งของ LCS และ SCS ของสะโพกและลำตัว.....	14
รูปที่ 6 การระบุมุม X-factor จากแนวเส้นตรงของสะโพกและหัวไหล่.....	15
รูปที่ 7 Segment coordinate system ของสะโพก (X_p, Y_p, Z_p) และลำตัว (X_T, Y_T, Z_T).....	15
รูปที่ 8 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหว.....	17
รูปที่ 9 พื้นฐานการเคลื่อนไหวแบบต่างของอวัยวะในร่างกาย.....	18
รูปที่ 10 ระบบแกน GCS.....	19
รูปที่ 11 ระบบแกน SCS หรือ LCS.....	19
รูปที่ 12 รูปแบบแกนเสมือน JCS.....	20
รูปที่ 13 เวกเตอร์ที่ใช้บอกตำแหน่งของมาร์กเกอร์.....	21
รูปที่ 14 แสดงเวกเตอร์ C ที่เกิดจากผลลบระหว่างเวกเตอร์ A และ B	22
รูปที่ 15 แสดงเวกเตอร์ C ที่เกิดจากผลลบระหว่างเวกเตอร์ A และ $-B$	22
รูปที่ 16 แสดงเวกเตอร์ C ที่เกิดจากผลลบระหว่างเวกเตอร์ A และ B	22
รูปที่ 17 การ Dot product.....	23
รูปที่ 18 การบอกทิศทางของเวกเตอร์ที่ได้จากการ Cross product ด้วยกฎมือขวา.....	24
รูปที่ 19 การหมุนรอบแกนที่มีลำดับการหมุนเป็น Y, Z, X.....	26
รูปที่ 20 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลด้วยวิธี Moving Average.....	30
รูปที่ 21 ตัวอย่างวิธีการชั่งน้ำหนักที่ทราบค่าอยู่แล้วบน Sensor.....	32

รูปที่ 22	การระบุ SCS ของส่วนลำตัวและส่วนสะโพก และการระบุค่ามุม X – factor.....	43
รูปที่ 23	เงื่อนไขการหาค่าผลลัพธ์ด้วย atan2.....	45
รูปที่ 24	ตำแหน่งของการสวิงทั้ง 4 เหตุการณ์.....	48
รูปที่ 25	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	49
รูปที่ 26	กราฟค่าเฉลี่ย X-factor ของการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ.....	56
รูปที่ 27	กราฟค่าเฉลี่ย ความเร็วการหมุนลำตัวและสะโพก ของการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ	59
รูปที่ 28	กราฟค่าเฉลี่ยมุมสะโพก มุมหัวเข้า มุมข้อเท้าด้านเท่านั้นและเท้าตามทั้ง 3 การทดสอบ ...	71
รูปที่ 29	กราฟค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านเท่านั้นและเท้าตามของการสวิงบนพื้นราบ.....	76
รูปที่ 30	กราฟค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นเท่านั้น ของการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ.....	77
รูปที่ 31	แสดงวงจรถายสัญญาณที่ใช้ใน Load cell แต่ละตัว.....	94
รูปที่ 32	แสดงรูปแบบการต่อวงจรจาก Load cell ไปยัง Computer.....	95
รูปที่ 33	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 1/1	96
รูปที่ 34	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 2/1	96
รูปที่ 35	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 3/1	97
รูปที่ 36	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 4/1	97
รูปที่ 37	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 5/2	98
รูปที่ 38	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 6/2	98
รูปที่ 39	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 7/2	99
รูปที่ 40	กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 8/2	99
รูปที่ 41	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จาก WBB1, แผ่นวัดแรงและแรงจากน้ำหนักจริง ..	100
รูปที่ 42	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จาก WBB2, แผ่นวัดแรงและแรงจากน้ำหนักจริง ..	101
รูปที่ 43	แสดงตำแหน่งการวางกล้องและอุปกรณ์การทดลอง	102
รูปที่ 44	แสดง Calibration quality.....	103
รูปที่ 45	แสดง Calibration quality.....	104

รูปที่ 46 แสดงตำแหน่งการติดมาร์กเกอร์ของผู้ใช้บริการทดลอง111



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬากอล์ฟ เป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เพราะนอกจากจะช่วยให้มีสุขภาพที่ดีแล้ว ยังเป็นกีฬาที่สามารถแข่งขันกันได้ทุกเพศทุกวัย โดยการใช้ระบบแต้มต่อ (Handicap system) เพื่อลดความได้เปรียบและเสียเปรียบระหว่างนักกีฬา อีกทั้งยังมีเสน่ห์การเล่นที่แตกต่าง จากกีฬานิกอื่น ๆ ที่นอกจากจะต้องแข่งขันกับตนเองและผู้เข้าแข่งขันท่านอื่นแล้ว ยังต้องแข่งขันกับสภาพแวดล้อมที่มีความไม่แน่นอนและเป็นอุปสรรค ซึ่งนักกีฬาจะต้องมีความเข้าใจ รู้เท่าทันถึงผลจากสภาพแวดล้อมเหล่านั้น เพื่อวางแผนการเล่นรวมถึงการฝึกซ้อมให้เหมาะสมกับสถานการณ์

กีฬากอล์ฟมีทักษะสำคัญที่ใช้ในการเล่นอยู่สองลักษณะ คือ การสวิง ซึ่งนักกีฬาจะสามารถเลือกใช้เหล็ก (Iron) หรือหัวไม้ (Wood) ที่ใช้สำหรับการตีในระยะไกล และการพัตต์ ซึ่งใช้พัตเตอร์ (Putter) สำหรับการเล่นบนกรีน (Green golf) (Hume, Keogh, & Reid, 2005) จากที่กล่าวมา จะเห็นว่าหนึ่งในทักษะที่สำคัญในการเล่นกีฬากอล์ฟ คือ การสวิง ซึ่งเป็นการทำงานที่ซับซ้อนของร่างกายในการถ่ายเทแรงด้วยหลักการคิเนมาติกส์เชน (Kinetic chain principle) เพื่อเพิ่มโมเมนตัมและความเร็วของหัวไม้ พร้อมทั้งควบคุมองศาของหน้าไม้ก่อนเข้าปะทะลูก เพื่อให้อูทกอล์ฟไปยังจุดหมายอย่างแม่นยำ (Bradshaw et al., 2009; Hellstrom, 2009) และเนื่องจากเป้าหมายในการแข่งขันกีฬากอล์ฟ คือ การตีลูกให้ลงหลุมด้วยจำนวนครั้งในการตีที่น้อยที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ ทำให้การสวิงมีผลต่อชัยชนะเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ นักกีฬาจึงพยายามฝึกซ้อมควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายในการสวิงนั้นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้เกิดความชำนาญและทำให้หัวสวิงนั้นมีความแน่นอนและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด (Wren, 1990) ปัจจุบันมีการศึกษาและวิเคราะห์ทางด้านชีวกลศาสตร์ของการสวิงเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้มาซึ่งวงสวิงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการสวิงนั้นก็มีปัจจัยที่ไม่แน่นอนอันเป็นผลมาจากข้อจำกัดด้านร่างกายของนักกีฬาแต่ละบุคคล ตำแหน่งของเป้าหมายและสภาพแวดล้อมของสนาม (Langdown, Bridge, & Li, 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสวิงกอล์ฟบนพื้นสนาม (Fairway) ที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะต้องทำการสวิงขึ้นเนิน (Uphill) หรือลงเนิน (Downhill) ในระหว่างการแข่งขัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระยะและความแม่นยำของการสวิงได้ (Blenkinsop, Gallimore, & Hiley, 2017) จากการศึกษาผลกระทบจากความลาดเอียงบนพื้นสนาม

ที่มีต่อการเล่นกอล์ฟในนักกีฬาอาชีพได้แสดงให้เห็นว่า นักกีฬามีโอกาสจะต้องทำการสวิงขึ้นเนิน บ่อยกว่าลงเนินถึง 55% และนักกีฬาจะสามารถรู้สึกถึงความลาดเอียงที่มุมของความลาดเอียง มากกว่า 2.25 องศาขึ้นไป นอกจากนี้ จากการศึกษายังพบว่ามากกว่า 90% ของการสวิงจะมีความ ลาดเอียงอยู่ในช่วง 0 - 10 องศา (Peters, Smith, & Lauder, 2016)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า นักกีฬาจะต้องเผชิญกับความลาดเอียงของพื้นที่เป็น อุปสรรคต่อการสวิงอยู่ตลอดเวลาที่ทำการแข่งขัน ซึ่งในปัจจุบันการฝึกสอนการเล่นกีฬากอล์ฟได้ ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง อย่างเช่น ควรจะมีการปรับมุมของหัวเข่า ตำแหน่ง ของลำตัวและความอ่อนตัวของร่างกาย (Madonna, 2001) แต่คำแนะนำเหล่านี้ไม่ได้มีข้อพิสูจน์ ทางวิทยาศาสตร์ใด ๆ ในการอธิบายถึงผลที่มีต่อการสวิงของนักกีฬาไว้อย่างชัดเจน นอกจากนี้แล้ว ยังพบว่าในหลาย ๆ คำแนะนำของโค้ชหรือผู้ฝึกสอนกีฬากอล์ฟยังคงมีความแตกต่างกัน เช่น ควร ยืนให้ร่างกายตั้งฉากกับพื้นและยืนให้ขากว้างมากขึ้นเพื่อรักษาความมั่นคงของร่างกาย (Hunter, 1996) ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำหนักตัวของนักกีฬาถูกถ่ายเทมายังเท้าที่อยู่ต่ำกว่าสำหรับการสวิงขึ้นเนิน แต่ในขณะเดียวกัน เล็ดเบตเตอร์ (Leadbetter, 1993) กลับให้คำแนะนำว่าไม่ควรยืนให้ร่างกาย เอียงตามการเอียงของพื้นนั้นและถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าที่อยู่สูงกว่า รวมถึงแนะนำให้จัดตำแหน่ง ของลูกกอล์ฟให้อยู่ใกล้เท้าที่อยู่สูงกว่าและหมุนตัวให้น้อยลง เพื่อรักษาสมดุล จึงเห็นได้ว่าปัจจุบัน ยังคงมีข้อขัดแย้งระหว่างเทคนิคการตีกอล์ฟบนพื้นเอียงระหว่างผู้ฝึกสอนหรือโปรกอล์ฟ ดังนั้น จึงจำเป็นจะต้องมีการศึกษาทางชีวกลศาสตร์เพื่อให้ได้เทคนิคการตีที่ถูกต้อง

ในปัจจุบันมีการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ของการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงอยู่ไม่มากนัก มี เพียงการศึกษาถึงผลจากการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงที่ส่งผลถึง การถ่ายเทน้ำหนัก ความเร็วลูก และ ทิศทางการพุ่งออกของลูก ซึ่งได้ทำการทดลองบนพื้นเอียง 5 องศา และพบว่า มุมระหว่าง แนวราบกับวิถีการพุ่งออกของลูก (Launch angle) มีค่ามากขึ้นในการสวิงขึ้นเนิน เมื่อเทียบกับการ สวิงบนพื้นราบ และวิถีของลูกมีแนวโน้มไปทางด้านซ้าย (Draw side spin) ในกลุ่มนักกอล์ฟที่ ถนัดวงสวิงขวา โดยความลาดเอียงของพื้นที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ได้มีผลต่อความเร็วของลูกอย่างมี นัยสำคัญ (Blenkinsop et al., 2017) อย่างไรก็ตาม นักกีฬายังมีโอกาสบ่อยครั้งที่ต้องทำการสวิงบน พื้นที่ที่มีความลาดเอียงสูงถึง 10 องศา (Peters et al., 2016) ซึ่งจากการศึกษาด้านชีวกลศาสตร์ของ การวิ่งบนพื้นเอียงด้านข้างทั้งด้านซ้ายและขวา (Side sloped surface) ที่มีความลาดเอียง 10 องศา พบว่า ความลาดเอียงที่ชันถึง 10 องศา ส่งผลให้กลไกการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่าง (สะโพก, หัวเข่าและข้อเท้า) เปลี่ยนไปจากเดิม (Damavandi, Eslami, & Pearsall, 2017) ซึ่งใน กีฬากอล์ฟถือว่าร่างกายส่วนล่างนั้นเป็นแกนกลางในการส่งผ่านแรงสวิง (Hume et al., 2005) และ เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ เช่น มุมเอ็กซ์แฟกเตอร์ (X-Factor) แรงปฏิกิริยาจาก

พื้น (Ground reaction force) มุมของหัวเข่า (Knee angle) และสะโพก (Pelvic angle) ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสวิงเป็นอย่างมาก (Ball & Best, 2012; Blenkinsop et al., 2017; Bradshaw et al., 2009; Choi, Sim, & Mun, 2016; Chu, Sell, & Lephart, 2010; Healy et al., 2011; Hume et al., 2005; Joyce, 2017; Sim et al., 2017; Wang, Yan, & Shiang, 2007)

จากความสำคัญที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาคำแนะนำทางชีวกลศาสตร์ของการสวิงระหว่างขึ้นเนินและลงเนินที่ทำมุมกับแนวราบ ± 10 องศา ว่าส่งผลต่อความเร็วหัวไม้และการเคลื่อนไหวของร่างกายหรือไม่อย่างไร โดยข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยสร้างความเข้าใจของผลกระทบจากการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินที่มีต่อการเล่นกีฬากอล์ฟให้กับนักกีฬา ซึ่งจะช่วยให้ นักกีฬาสามารถเตรียมความพร้อมฝึกซ้อม หรือแม้กระทั่งการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อบางส่วนให้สามารถทำการสวิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงสามารถวางแผนการเล่นได้อย่างถูกต้อง

ปัญหาในการวิจัย

ความเร็วหัวไม้ ระยะระหว่างเท้า มุมเอ็กซ์เฟกเตอร์ ความเร็วการหมุนลำตัว ความเร็วการหมุนสะโพก มุมสะโพก มุมของหัวเข่า มุมข้อเท้าและแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ของการสวิงกอล์ฟระหว่างบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงมีความแตกต่างกันหรือไม่

สมมุติฐานของการวิจัย

มุมเอ็กซ์เฟกเตอร์ มุมสะโพก มุมของหัวเข่า มุมข้อเท้า ระยะระหว่างเท้า แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ความเร็วการหมุนลำตัว ความเร็วการหมุนสะโพกและความเร็วหัวไม้ของการสวิงกอล์ฟระหว่างบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงมีความแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นราบและการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงในนักกีฬากอล์ฟสมัครเล่น
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสวิงจาก ความเร็วการหมุนลำตัว ความเร็วการหมุนสะโพกและความเร็วหัวไม้ ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นราบและการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงในนักกีฬากอล์ฟสมัครเล่น

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาและวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งและความเร็วหัวไม้ขณะทำการสวิงบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

2. งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบท่าทางการเคลื่อนไหว ความเร็วหัวไม้และแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งขณะทำการสวิงบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

3. ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ นักกอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย จากชมรมกอล์ฟของมหาวิทยาลัยต่างๆ ที่มีแต้มต่อ 0 ถึง 9 วงสวิงขวา มีอายุระหว่าง 18-25 ปี

4. ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้

4.1 ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent variable)

4.1.1 ความลาดเอียงของพื้น

1) พื้นราบ

2) พื้นลาดเอียงแบบขึ้นเนิน ทำมุม 10 องศา จากแนวราบ

3) พื้นลาดเอียงแบบลงเนิน ทำมุม -10 องศา จากแนวราบ

4.2 ตัวแปรควบคุม (Control variable)

4.2.1 ทำการสวิงโดยใช้เหล็กกอล์ฟ เบอร์ 7 เครื่องหมายการค้า TaylorMade รุ่น P790 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2.2 ลูกกอล์ฟ เครื่องหมายการค้า Titleist ProV1x ติด Retro reflective tape

4.2.3 ทำการเก็บข้อมูลในห้องทดลอง

4.3 ตัวแปรตาม (Dependent variable)

4.3.1 มุมระหว่างแนวหัวไม้กับแนวสะโพก (X-factor)

4.3.2 มุมสะโพกของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing hip flexion)

4.3.3 มุมหัวเข่าของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing knee flexion)

4.3.4 มุมข้อเท้าของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing ankle flexion)

4.3.5 ความเร็วการหมุนลำตัว (Trunk rotation velocity)

4.3.6 ความเร็วการหมุนสะโพก (Hip rotation velocity)

4.3.7 แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing foot vertical ground reaction force)

4.3.8 ระยะระหว่างเท้า (Stance width)

4.3.9 ความเร็วหัวไม้ (Club head speed)

คำจำกัดความของการวิจัย

พื้นที่ลาดเอียง (Sloping ground) หมายถึง พื้นเรียบที่มีการเอียงตัวทำมุม ± 10 องศา กับ Transverse plane

ตำแหน่งจรดลูก (Address; AD) หมายถึง ท่ายืนจัดเตรียมตำแหน่งของร่างกายก่อนการสวิง ระบุโดยใช้ตำแหน่งก่อนที่มาร์กเกอร์คอหัวไม้เริ่มมีการเคลื่อนไหวในช่วงขึ้นไม้ (Backswing)

ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing; TB) หมายถึง ขณะที่ปลายไม้มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากช่วงขึ้นไม้ (Backswing) เป็นช่วงลงไม้ (Downswing) ระบุโดยใช้ตำแหน่งที่มาร์กเกอร์คอหัวไม้มีความเร็วต่ำสุดในของการสวิง

ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (Mid-Downswing; MD) คือ ขณะที่ก้านไม้ขนานกับพื้นในช่วงลงไม้ ระบุโดยใช้แนวเส้นตรงระหว่างมาร์กเกอร์บริเวณคอหัวไม้กับกลางไม้ โดยเส้นตรงทำมุมวัดตามเข็มนาฬิกา 0 องศา กับแนวราบ (กรณีสวิงบนพื้นราบ) ทำมุม 10 องศา กับแนวราบ (กรณีสวิงขึ้นเนิน) ทำมุม -10 องศา กับแนวราบ (กรณีสวิงลงเนิน)

ตำแหน่งไม้กระทบลูก (Ball-impact; BI) หมายถึง ขณะที่หน้าไม้กระทบลูกกอล์ฟ ระบุโดยใช้ตำแหน่งที่ความเร็วลูกเปลี่ยนแปลงจากหยุดนิ่ง

ช่วงขึ้นไม้ (Back swing) หมายถึง ช่วงเริ่มการเคลื่อนไหวในการลากไม้จากตำแหน่งจรดลูก (Address) จนถึงตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing)

ช่วงลงไม้ (Down swing) หมายถึง ช่วงเริ่มลากไม้ลงมาจากตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing) จนกระทั่งถึงตำแหน่งไม้กระทบลูก (Ball-impact)

ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical variables) หมายถึง มุมระหว่างแนวหัวไหล่กับแนวสะโพก มุมสะโพก มุมหัวเข้า มุมข้อเท้า ความเร็วการหมุนสะโพก ความเร็วการหมุนลำตัว ระยะระหว่างเท้าและแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว

มุมระหว่างแนวหัวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor; α) หมายถึง การบิดแนวหัวไหล่ออกจากแนวสะโพก ซึ่งการวิจัยนี้ใช้หลักการการวัดมุมข้อต่อ (Joint angle) โดยคำนวณจากการหมุนของระบบพิกัดสัดส่วน (Segment coordinate system; SCS) ของสะโพกเทียบกับลำตัว รอบแกน Z มีหน่วยเป็นองศา (degree) ซึ่งกำหนดให้ค่ามุม X-factor ที่มีการวัดไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากทางศีรษะเป็นค่าบวก (Back swing) โดย SCS ของส่วนสะโพก จะระบุจากตำแหน่งของมาร์กเกอร์บริเวณปุ่มกระดูกสะโพกด้านหน้าข้างขวาและซ้าย (ASIS: anterior superior iliac spine) และปุ่มกระดูกสะโพกด้านหลัง (PSIS: posterior superior iliac spine) และ SCS ของส่วนลำตัวจะระบุจากตำแหน่งของมาร์กเกอร์บริเวณ ASIS และปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Tip of acromion process) (วิธีการวัดหน้า 44 – 46)

มุมสะโพก (Hip flexion; θ_h) หมายถึง มุมภายในที่เกิดจากการทำมุมกันระหว่างลำตัวและต้นขา โดยวัดจากมุมระหว่างเส้นตรงสองเส้น คือ เส้นตรงที่ลากจากมาร์กเกอร์บริเวณ Tip of acromion process ไปยังมาร์กเกอร์บริเวณปุ่มกระดูกใหญ่ด้านนอกกระดูกต้นขา (Greater trochanter) และเส้นตรงที่ลากจากมาร์กเกอร์บริเวณ Greater trochanter ไปยังปุ่มด้านนอกของกระดูกต้นขา (Lateral femoral epicondyle) มีหน่วยเป็นองศา (degree) (วิธีการวัดหน้า 46)

มุมหัวเข่า (Knee flexion; θ_k) หมายถึง มุมภายในที่เกิดจากการทำมุมกันระหว่างต้นขาและหน้าแข้ง โดยวัดจากมุมระหว่างเส้นตรงสองเส้น คือ เส้นตรงที่ลากจากมาร์กเกอร์บริเวณ Greater trochanter ไปยังมาร์กเกอร์บริเวณ Lateral femoral epicondyle และเส้นตรงที่ลากจากมาร์กเกอร์ Lateral femoral epicondyle ไปยังกระดูกตาตุ่มด้านนอก (Lateral malleolus) มีหน่วยเป็น องศา (degree) (วิธีการวัดหน้า 46)

มุมข้อเท้า (Ankle flexion; θ_a) หมายถึง มุมภายในที่เกิดจากการทำมุมกันระหว่างหน้าแข้งกับเท้า โดยวัดจากมุมระหว่างเส้นตรงสองเส้น คือ เส้นตรงที่ลากจากมาร์กเกอร์บริเวณ Lateral femoral epicondyle ไปยังมาร์กเกอร์บริเวณ Lateral malleolus และเส้นตรงที่ลากจากมาร์กเกอร์บริเวณ Lateral malleolus ไปยังมาร์กเกอร์บริเวณหลังเท้าบนข้อโคนนิ้วชี้เท้า (Dorsum of the foot at the 2nd metatarsophalangeal joint) มีหน่วยเป็นองศา (degree) (วิธีการวัดหน้า 46)

ความเร็วการหมุนลำตัว (Trunk rotation velocity; T_v) หมายถึง ความเร็วเชิงมุมของ SCS ส่วนลำตัวที่หมุนรอบแกน Z มีหน่วยเป็นองศาต่อวินาที (degree/s) ซึ่งกำหนดให้ความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากทางศีรษะเป็นค่าบวก (วิธีการวัดหน้า 47)

ความเร็วการหมุนสะโพก (Hip rotation velocity; H_v) หมายถึง ความเร็วเชิงมุมของ SCS ส่วนสะโพกที่หมุนรอบแกน Z มีหน่วยเป็นองศาต่อวินาที (degree/s) ซึ่งกำหนดให้ความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากทางศีรษะเป็นค่าบวก (วิธีการวัดหน้า 47)

ระยะระหว่างเท้า (Stance width; L) หมายถึง ความกว้างของการยืนตำแหน่งจรดลูก ซึ่งวัดระหว่างจุดข้อโคนนิ้วชี้เท้าซ้ายและขวา มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm) (วิธีการวัดหน้า 45)

ความเร็วหัวไม้ (Club head speed; V) หมายถึง ความเร็วสัมบูรณ์ที่เกิดจากการกระจัดของหัวไม้ที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลาในช่วงที่หัวไม้เข้าปะทะลูกกอล์ฟ มีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง (mph) (วิธีการวัดหน้า 45)

วงสวิงขวา (Right-handed) หมายถึง วงสวิงของผู้ที่ถนัดขวา

เท้านำ (Leading foot) หมายถึง เท้าที่อยู่ใกล้เป้าหมาย (เนื่องจากวงสวิงที่ทำการศึกษานในงานวิจัยนี้คือ วงสวิงขวาดังนั้นเท้านำคือเท้าซ้าย)

เท้าตาม (Trailing foot) หมายถึง เท้าที่อยู่ไกลจากเป้าหมาย

ประสิทธิภาพการสวิง (Swing efficiency) หมายถึง เร็วของหัวไม้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นักกีฬาอล์ฟและผู้ฝึกสอนทราบถึงผลจากการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินและสามารถวางแผนการเล่นได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งช่วยสร้างความได้เปรียบให้กับตัวนักกีฬา
2. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาให้กับผู้ที่สนใจในการพัฒนางสวิงด้วยหลักการทางชีวกลศาสตร์ต่อไป



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นราบ และการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงในนักกีฬาگอล์ฟสมัครเล่น ผู้วิจัยได้ศึกษาและทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงแนวคิดและคำแนะนำจากบทความที่เขียนจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. กีฬากอล์ฟ (Golf)
2. การสวิงกอล์ฟ (Golf swing)
3. หลักการและเครื่องมือทางชีวกลศาสตร์ (Principles of biomechanics)
4. การวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยเครื่องไวบาลานส์บอร์ด (Wii balance board)
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 5.1 งานวิจัยในประเทศ
 - 5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

กีฬากอล์ฟ

กีฬากอล์ฟถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกที่ประเทศสกอตแลนด์ในศตวรรษที่ 15 และได้มีคานิยมอย่างแพร่หลายอย่างรวดเร็ว โดยสนามกอล์ฟแห่งแรกถูกสร้างขึ้นในปี 1744 ชื่อว่า The Honorable Company of Edinburgh Golfers ต่อมาการแข่งขันกอล์ฟอาชีพ Professional golf association (PGA) ก็ได้ถูกจัดตั้งขึ้นในปี 1916 (Nelson, 2018) กีฬากอล์ฟได้ถูกบรรจุในการแข่งขันในกีฬาโอลิมปิก เป็นครั้งแรกในปี 1900 ที่ปารีส ครั้งที่สองในปี 1904 ที่เซนต์หลุยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา และได้กลับมาบรรจุในกีฬาโอลิมปิกอีกครั้งในปี 2016 ที่รีโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล โดยอนุญาตให้นักกอล์ฟอาชีพสามารถเข้าร่วมการแข่งขันได้ (มดิชน, 2016)

กีฬากอล์ฟเป็นกีฬาประเภทบุคคล ซึ่งนักกีฬาจะใช้เหล็ก หัวไม้ และพัตเตอร์ในการตีลูกกอล์ฟจากทีออฟ (Tee off) ไปยังหลุม (Hole) ด้วยจำนวนครั้งในการตีที่น้อยที่สุด กีฬากอล์ฟนั้นนิยมเล่นทั้งเพื่อการแข่งขันและเพื่อการผ่อนคลายในลักษณะของกิจกรรมกลางแจ้ง พื้นที่สำหรับการเล่นกอล์ฟหรือสนามกอล์ฟ (Golf course) นั้น มีความแตกต่างจากสนามกีฬาประเภทอื่นอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากสนามไม่ได้มีการกำหนดขนาดไว้อย่างเป็นมาตรฐานโดยสภาพสนามนั้นจะ

เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง และการออกแบบขึ้นอยู่กับสภาพทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นเสน่ห์อย่างหนึ่งของกีฬากอล์ฟที่ทำให้เป็นที่นิยมอย่างมาก นักกอล์ฟจะสนุกสนานและเพื่อเติมประสบการณ์ใหม่ๆ ของการเล่นที่มีความแตกต่างไปตามสภาพภูมิประเทศของสนาม โดยปกติแล้วสนามกอล์ฟจะมีจำนวนหลุมทั้งหมด 18 หลุม โดยในแต่ละหลุมนั้นนักกอล์ฟจะต้องทำการตีครั้งแรกจากบริเวณ Tee off ไปยังหลุม ซึ่งบริเวณรอบ ๆ หลุมนั้นจะถูกปกคลุมไปด้วยหญ้าที่สั้นและมีความเรียบเนียนที่เรียกว่า กรีน (Green) เมื่อลูกกอล์ฟถูกตีมาอยู่บน green แล้ว นักกีฬาจะใช้พัตเตอร์ (Putter) ในการฝึกคั่น หรือพัตต์ (Putt) ลูกกอล์ฟให้ลงหลุม หลังจากนั้นจำนวนครั้งทั้งหมดตั้งแต่การตีจาก Tee off จนกระทั่งลูกลงหลุมจะถูกนับ และจดบันทึกลงบัตรคะแนน (Score card) เมื่อนักกีฬาเล่นครบทุกหลุมแล้ว จำนวนครั้งทั้งหมดของแต่ละหลุมจะถูกรวม และผู้เล่นที่มีจำนวนรวมน้อยที่สุดจะเป็นผู้ชนะ (Nelson, 2018; Wiren, 1990) เสน่ห์อีกอย่างหนึ่งของกีฬากอล์ฟ คือ การที่นักกอล์ฟทุกเพศทุกวัย หรือแม้กระทั่งระดับอาชีพกับระดับสมัครเล่นก็สามารถแข่งขันกันได้โดยมีระบบแต้มต่อ (Handicap system) ซึ่งช่วยให้การแข่งขันมีความยุติธรรมและยังช่วยให้นักกอล์ฟสามารถประเมินความสามารถของตนเองและยังเป็นตัวชี้วัดระดับของนักกีฬาเบื้องต้นได้

กีฬากอล์ฟมีทักษะสำคัญที่ใช้ในการเล่นอยู่สองลักษณะ คือ การสวิง ซึ่งนักกีฬาจะสามารถเลือกใช้เหล็ก (Iron) หรือหัวไม้ (Wood) ที่ใช้สำหรับการตีในระยะไกล และการพัตต์ซึ่งใช้พัตต์เตอร์ (Putter) สำหรับการเล่นบนกรีน (Green golf) (Hume et al., 2005)

หนึ่งในทักษะที่สำคัญของการเล่นกีฬากอล์ฟ คือ การสวิง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ผู้ที่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบนและล่าง ที่สามารถสวิงลูกให้มีความเร็วที่สูงและไปได้ในระยะไกลจะช่วยลดจำนวนครั้งในการตีได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Torres และคณะพบว่า ปัจจัยด้านการทำระยะในการสวิงมีอิทธิพลต่อจำนวนแต้มต่อของนักกีฬากอล์ฟถึง 68.7% (Torres-Ronda, Delextrat, & Gonzalez-Badillo, 2014)

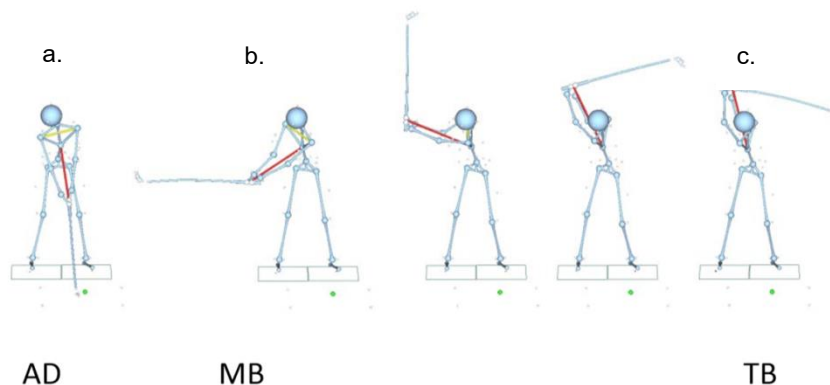
การสวิงกอล์ฟ (Golf swing)

การสวิง คือ การทำงานที่ซับซ้อนของร่างกายในการถ่ายเทแรง ด้วยหลักการคิเนมาติกส์เชน (Kinetic chain principle) เพื่อเพิ่มโมเมนตัมและความเร็วของหัวไม้ พร้อมทั้งควบคุมองศาของหน้าไม้ก่อนเข้าปะทะลูก เพื่อให้ลูกกอล์ฟสามารถเข้าสู่จุดหมายอย่างแม่นยำ (Bradshaw et al., 2009; Hellström, 2009) ซึ่งการที่จะสร้างความเร็วของหน้าไม้ให้มากที่สุดนั้น การเคลื่อนที่จะเริ่มจากการหมุนของแกนกลางลำตัว (สะโพกและลำตัว) แล้วจึงส่งผ่านไปยังส่วนปลาย (ต้นแขน ท่อนแขนและมือ) โดยความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยการทำงานของกล้ามเนื้อ ในการเคลื่อนที่ของข้อต่อ

ต่างๆ ตามหลักผลรวมของความเร็ว (Summation of speed) (Hume et al., 2005) การศึกษาทางชีวกลศาสตร์ของการสวิงกอล์ฟสามารถแบ่งช่วงในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ได้ดังนี้

1. การแบ่งช่วงการสวิง

1.1 ช่วงขึ้นไม้ (Backswing) คือ ช่วงเริ่มการเคลื่อนไหวในการลากไม้จากตำแหน่งจรดลูก (Address) ไปถึงตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing) (ดังรูปที่ 1)



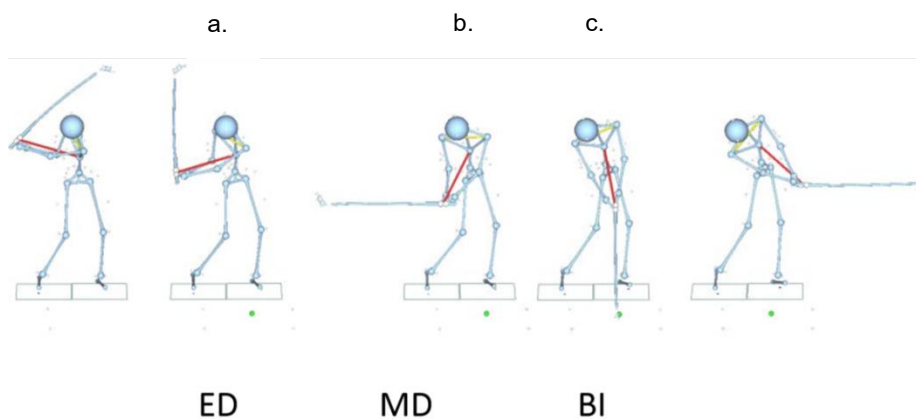
รูปที่ 1 ช่วงขึ้นไม้ของการสวิง

(Han, 2016)

ตำแหน่งจรดลูก (Address; AD) คือ ขณะยืนจัดเตรียมตำแหน่งของร่างกายก่อนการสวิง โดยจะวางเท้าประมาณช่วงไหล่ ทิ้งน้ำหนักลงที่เท้าทั้งสองข้าง โดยให้ลำตัว สะโพก เข่า และข้อเท้าองลงเล็กน้อย โดยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่บนฐานรองรับ (Base of support) (ดังรูปที่ 1a)

ตำแหน่งกลางการขึ้นไม้ (Mid-Backswing; MB) คือ ขณะที่ไม้ขนานกับแนวราบ ระหว่างการขึ้นไม้ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing; TB) คือ ขณะที่ไม้เริ่มมีการเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่จากช่วงขึ้นไม้ (Backswing) เป็นลงไม้ (Downswing) (ดังรูปที่ 1b)

1.2 ช่วงลงไม้ (Downswing) คือ ช่วงเริ่มลากไม้ลงมาจากตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing) จนกระทั่งถึงตำแหน่งไม้กระทบลูก (Impact) (ดังรูปที่ 1c)



รูปที่ 2 ช่วงลงไม้ของการสวิง

(Han, 2016)

ตำแหน่งเริ่มลงไม้ (Early down swing; ED) คือ ขณะที่ไม้ตั้งฉากกับแนวราบ ในช่วงของการลงไม้ (ดังรูปที่ 2a)

ตำแหน่งกลางการลงไม้ (Mid-Downswing; MD) คือ ขณะที่ไม้ขนานกับแนวราบ ในช่วงของการลงไม้ (ดังรูปที่ 2b)

ตำแหน่งไม้ปะทะลูก (Ball impact; BI) คือ ขณะที่หน้าไม้เข้ากระทบลูก (ดังรูปที่ 2c)

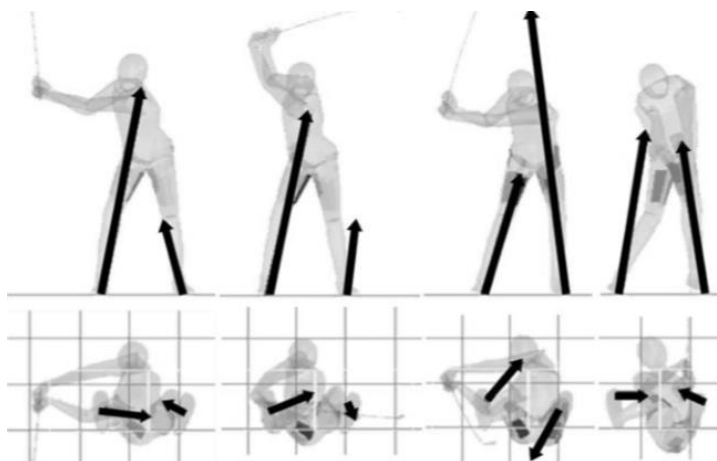
2. ปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ที่กำหนดประสิทธิภาพของการสวิง

การนำเอาความรู้ทางด้านชีวกลศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในกีฬากอล์ฟ คือ การนำเอาหลักการและความรู้ทางกลศาสตร์มาปรับปรุงการเคลื่อนไหวร่างกายของนักกอล์ฟ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งหมายถึง ความเร็วของหน้าไม้ที่ทำให้ระยะการสวิงไกลไปในทิศทางที่ถูกต้องและมีความแน่นอน (Hume et al., 2005) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการศึกษาจำนวนมากที่ต้องการหาตัวแปรหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพของการสวิง ซึ่งได้มีการศึกษาไว้อย่างกว้างขวางและพบตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่

- 1) แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force, GRF) และการถ่ายน้ำหนัก (Weight transfer) GRF
- 2) การเคลื่อนไหวของรยางค์ล่าง (Lower limb)
- 3) วงจรเหยียดลำตัวออก-หดตัวสั้นเข้า (Stretch-shorten cycle) หรือ X-factor

2.1 แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force, GRF) และการถ่ายน้ำหนัก (Weight transfer) GRF คือ แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับฝ่าเท้าทั้งสองข้างของนักกอล์ฟ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่สามของนิวตัน โดยแรงปฏิกิริยารวมหรือแรงลัพธ์ (Resultant force) จะประกอบไปด้วย แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งและแนวนอน (Bourgain, Sauret, Rouillon, Thoreux, &

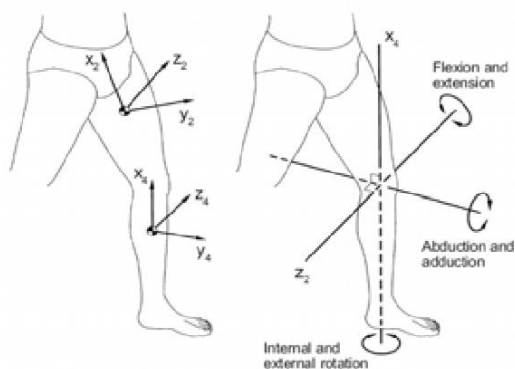
Rouch, 2017) ขณะทำการสวิงนักกอล์ฟจะถ่ายเทแรงไปยังพื้นผ่านขาและฝ่าเท้าทั้งสองข้าง เพื่อเคลื่อนไหวร่างกาย (Hellström, 2009; Hume et al., 2005) เมื่อเข้าสู่ช่วงลงไม้ แรงปฏิกิริยาจากขาทั้งสองข้างจะก่อให้เกิดโมเมนต์ในการหมุนตัวและหัวไม้ (ดังรูปที่ 3) (McNitt-Gray, Munaretto, Zaferiou, Requejo, & Flashner, 2013) จากการศึกษาของ Wang (2007) พบอีกว่า การสวิงที่สร้างแรงปฏิกิริยาแนวตั้งสูงสุดที่เข่ามาก่อนช่วงหน้าไม้ปะทะลูกจะช่วยให้สามารถเพิ่มระยะทางของลูกได้มากขึ้น (Wang et al., 2007) นอกจากนี้ GRF ยังแสดงให้เห็นถึงลักษณะการถ่ายเทน้ำหนักหรือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงลัพท์ (Center of pressure; COP) ที่เคลื่อนที่ระหว่างเท้าทั้งสองข้างขณะที่นักกอล์ฟทำการสวิง ซึ่งส่งผลต่อการรักษาการทรงตัวของร่างกายขณะเคลื่อนไหว (Dynamic balance) ให้สามารถควบคุมการทำงานร่วมกันระหว่างส่วนต่างๆของร่างกาย (Human segments) และข้อต่อ (Joints) ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสามารถช่วยอธิบาย การเคลื่อนไหว เช่น การโน้มเอียงตัวทางด้านข้างขณะสวิงได้มากขึ้น โดยพบว่า ในกลุ่มนักกอล์ฟอาชีพจะมีการโน้มเอียงของลำตัวน้อยกว่าในนักกอล์ฟสมัครเล่นในทุกๆ ทิศทาง (Choi et al., 2016) จากงานวิจัยของ Kavin ball (2012) ได้พบว่า การถ่ายเทน้ำหนักที่มากขึ้นระหว่างการสวิงจะมีอิทธิพลที่ส่งผลให้ความเร็วหัวไม้เพิ่มมากขึ้น (Ball & Best, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Queen และ Robin (2013) ซึ่งได้กล่าวว่า ในกลุ่มนักกีฬาที่มีแต้มต่อต่ำจะมีการถ่ายเทน้ำหนักสูงสุดจากเท้าตามไปยังเท้าในในช่วงลงไม้ (Down swing) มากกว่ากลุ่มนักกีฬาอาชีพที่มีแต้มต่อสูง (Queen, Butler, Dai, & Barnes, 2013) จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า GRF และการถ่ายเทน้ำหนักนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสวิงอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง ซึ่งจากการศึกษาของ Blenkinsop และคณะ (2017) พบว่า มีการเลื่อนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงลัพท์หรือ COP ในการสวิง ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน ซึ่งจะเลื่อนไปทางเท้าที่อยู่ต่ำกว่าในทุกเหตุการณ์ที่มีการเก็บข้อมูล โดยการสวิงแบบขึ้นเนินจะมีการเลื่อนของ COP ที่น้อยกว่าการสวิงลงเนินที่ 8.9% และ 9.4% ตามลำดับ (Blenkinsop et al., 2017)



รูปที่ 3 Ground reaction force (GRF)

(McNitt-Gray, Munaretto, Zaferiou, Requejo, & Flashner, 2013)

2.2 การเคลื่อนไหวของรยางค์ล่าง (Lower limb) คือ การเคลื่อนไหวของรยางค์ล่างเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการสวิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มกล้ามเนื้อ Hip extensor และ Knee extensor ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างโมเมนต์ของการหมุนรยางค์ล่าง และการเพิ่มความเร็วของหัวไม้ (Han, 2016) นอกจากนี้แล้ว การศึกษาที่ได้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหัวเข้าขณะทำการสวิงในนักกีฬาอาชีพและนักกีฬาสมัครเล่น พบว่า ในกลุ่มนักกีฬาอาชีพจะมีมุมของหัวเข้า (Knee flexion) ด้านเท้านำในขณะหน้าไม้ปะทะลูกน้อยกว่า และมีความเร็วในการหมุนออกและเข้าของหัวเข้า (External/Internal rotation) (ดังรูปที่ 4) ในช่วงลงไม้ที่มากกว่าในนักกีฬาสมัครเล่น แต่ในขณะเดียวกันไม่พบความแตกต่างของการเคลื่อนไหวของเข่าด้านเท้าตามแต่อย่างใด (Somjarod & Tanawat, 2011) จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การเคลื่อนไหวของรยางค์ล่างอาจเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการสวิงได้

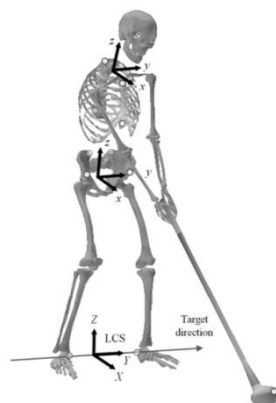


รูปที่ 4 ทิศทางการเคลื่อนไหวของหัวเข้าขณะสวิง

(Somjarod & Tanawat, 2011)

2.3 วงจรเหยียดตัวออก-หดตัวสั้นเข้า Stretch-shorten cycle (SSC) และ X-factor กระบวนการ SSC เกิดจากการที่กล้ามเนื้อมีการยืดออกสุด (Eccentric) ในช่วงขึ้นไม้ และหดเข้าอย่างรวดเร็ว (Concentric) ในช่วงลงไม้ ผลคือ งานและประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพลังงานศักย์ยืดหยุ่นที่ถูกสะสมในกล้ามเนื้อ จากการศึกษาพบว่า ในช่วงขึ้นไม้ของกลุ่มนักกอล์ฟอาชีพจะกว้างกว่าและใช้เวลาในการสวิงน้อยกว่าของกลุ่มนักกีฬาสมัครเล่น ซึ่งเป็นผลมาจากการยืดเหยียดออกของกล้ามเนื้อ หัวไหล่ ลำตัว และสะโพก จึงทำให้นักกอล์ฟสามารถทำ SSC ได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการขึ้นไม้ที่มากขึ้น อาจไม่สามารถสรุปได้ว่า SSC เพิ่มมากขึ้น จากผลการศึกษาจากหลายงานวิจัยที่ได้วิเคราะห์ผลต่างของการหมุนแนวสะโพกและหัวไหล่ หรือ X-factor พบว่า X-factor ในตำแหน่ง Top-Backswing มีความสำคัญมากกว่าการหมุนของหัวไหล่โดยรวม และยังพบว่าในกลุ่มนักกอล์ฟที่ตีไกลจะทำการหมุนสะโพกกลับก่อนที่หัวไหล่จะขึ้นไม้สูงสุด ซึ่งจะเป็นผลทำให้ X-factor มีค่ามากขึ้น (Chu et al., 2010; Hellstrom, 2009; Hume et al., 2005; Joyce, 2017; Sim et al., 2017) โดยวิธีการวัดค่า X-factor นั้น จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของเวกเตอร์ (Vector mechanics) ซึ่งจะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อหลักการและเครื่องมือทางชีวกลศาสตร์ (Principle of Biomechanics) ปัจจุบันค่า X-factor นั้น ถูกวัดด้วยวิธีการหลายรูปแบบซึ่งได้ค่าผลลัพธ์ออกมาแตกต่างกัน และไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ระหว่างแต่ละวิธีการวัดวิธีการวัดที่เป็นที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีการ ได้แก่

1) การวัดโดยระบบแกนสามมิติ (Segment coordinate system, SCS) ของช่วงลำตัว (Thorax) และสะโพก (Pelvis) โดยการคำนวณจากตำแหน่งของมาร์คเกอร์ (Marker) แล้วใช้มุมระหว่าง X-axis ของทั้งสองมุมสามมิติที่โปรเจกต์ลงบนระนาบแนวนอนของระบบแกนสามมิติร่วม (Local coordinate system, LCS) เป็นค่า X-factor (ดังรูป 5) (Horan, Evans, Morris, & Kavanagh, 2010)

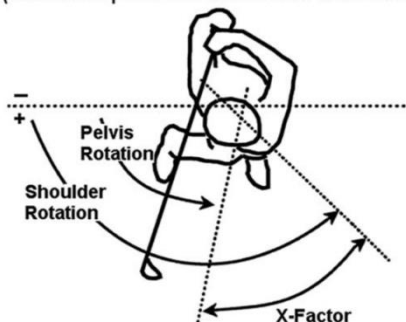


รูปที่ 5 การระบุตำแหน่งของ LCS และ SCS ของสะโพกและลำตัว

(Horan et al., 2010)

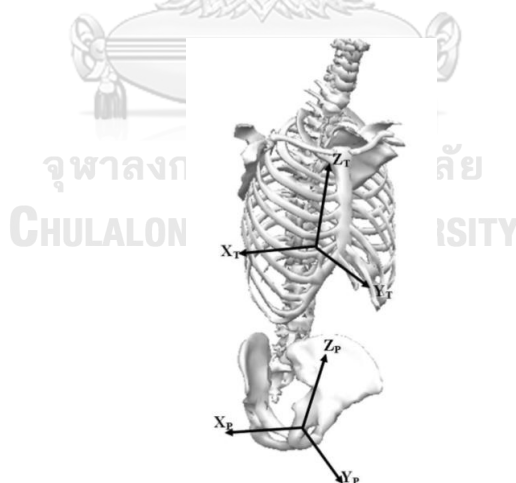
2) การใช้มุมระหว่างแนวเส้นตรงหัวไหล่และแนวสะโพกที่ถูกกำหนดด้วยมาร์กเกอร์สองตัว โดยโปรเจกชันบนระนาบแนวนอน (Transvers plane) เป็นค่ามุม X-factor (ดังรูปที่ 6) (Chu et al., 2010)

(Transverse plane view at the finish of the swing)



รูปที่ 6 การระบุมุม X-factor จากแนวเส้นตรงของสะโพกและหัวไหล่
(Chu et al., 2010)

3) การใช้ค่ามุมของการหมุนระหว่าง SCS ของหัวไหล่และสะโพก รอบ Z-axis เป็นค่ามุม X-factor โดยใช้หลักการหมุนแบบออยเลอร์ (Euler) ที่ใช้ลำดับการหมุน X, Y, Z (Brown et al., 2011) (ดังรูปที่ 7)



รูปที่ 7 Segment coordinate system ของสะโพก (X_p, Y_p, Z_p) และลำตัว (X_T, Y_T, Z_T)
(Brown, Selbie, & Wallace, 2013)

จากการศึกษาของ Brown, Selbie, และ Wallace (2013) ที่ได้ประเมินและเปรียบเทียบรูปแบบในการวัดค่า X-factor แบบต่าง ๆ พบว่า การใช้ค่ามุมของการหมุนระหว่าง SCS ของหัวไหล่และสะโพก รอบ Z-axis นั้น มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าที่ได้มีความคงเส้นคงวา

ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสวิงมากกว่าวิธีอื่น และยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการทำ SSC ของลำตัวได้อย่างถูกต้อง (Brown, Selbie, & Wallace, 2013)

สรุป ปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสวิง ประกอบด้วย 1) แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำต่อเท้าทั้งสองข้างขณะทำการสวิง ซึ่งจะสามารอธิบายลักษณะการถ่ายเทน้ำหนัก, การโน้มตัวหรือทรงตัวระหว่างการสวิง ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง 2) การเคลื่อนไหวของรยางค์ล่าง ซึ่งจะช่วยอธิบายลักษณะการเคลื่อนไหวของการสวิงในการสร้างแรงเหวี่ยงจากการหมุนร่างกาย ด้วยการงอข้อเท้า หัวเข่าและสะโพกทั้งสองข้างขณะทำการสวิง 3) ผลต่างของการหมุนแนวสะโพกและหัวไหล่ หรือ X-factor ซึ่งเป็นปัจจัยที่บอกถึงการสร้างแรงบิดจากการทำ SSC ของลำตัวเพื่อเพิ่มพลังในการสวิง ปัจจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้นจำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านชีวกลศาสตร์ในวิเคราะห์ และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องมีการปฏิบัติให้ถูกต้องและเลือกใช้ให้เหมาะสม ซึ่งได้มีการศึกษาและสรุปในหัวข้อหลักการและเครื่องมือทางชีวกลศาสตร์

หลักการและเครื่องมือทางชีวกลศาสตร์ (Principles of biomechanics)

ชีวกลศาสตร์ คือ ศาสตร์ที่ว่าด้วยการศึกษาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต โดยการประยุกต์ใช้หลักกลศาสตร์ร่วมกับความรู้ด้านชีววิทยาและสรีรวิทยา ในการอธิบายและทำความเข้าใจถึง การทำงานร่วมกันของกระดูก ข้อต่อ เอ็นและกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวงการกีฬาในด้าน การพัฒนาประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของนักกีฬา รวมถึงการป้องกันอาการบาดเจ็บตลอดจนการพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการกีฬา (Firestein et al., 2016)

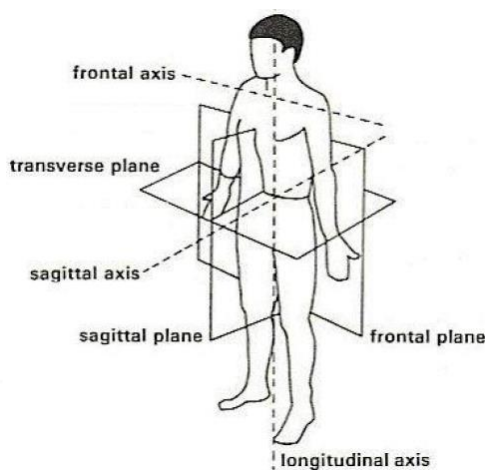
1. ระนาบและแกนการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Planes and axes of body movement) (ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

ระนาบและแกนการเคลื่อนไหวของร่างกายจะช่วยให้ นักชีวกลศาสตร์มีความเข้าใจที่ตรงกัน ในร่างกายมนุษย์สามารถแบ่งระนาบการเคลื่อนไหวของร่างกายออกได้ 3 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้ (ดังรูปที่ 8)

1.1 ระนาบแบ่งซ้าย – ขวา (Sagittal หรือ median plane) เทียบได้กับการมองภาพจากด้านข้าง (Side view) จะมีแกนข้าง (Frontal หรือ Bilateral axis) ตั้งฉากกับระนาบ

1.2 ระนาบแบ่งหน้า – หลัง (Frontal หรือ coronal plane) เทียบได้กับการมองภาพจากด้านหน้าไปด้านหลัง (Front view) จะมีแกนหน้า - หลัง (Sagittal หรือ Anteroposterior axis) ตั้งฉากกับระนาบ

1.3 ระนาบแบ่งบน – ล่าง (Transverse หรือ horizontal plane) เทียบได้กับการมองภาพด้านบนไปด้านล่าง (Top view หรือ bird-eye view) จะมีแกนแนวตั้ง (Vertical หรือ Longitudinal axis) ตั้งฉาก



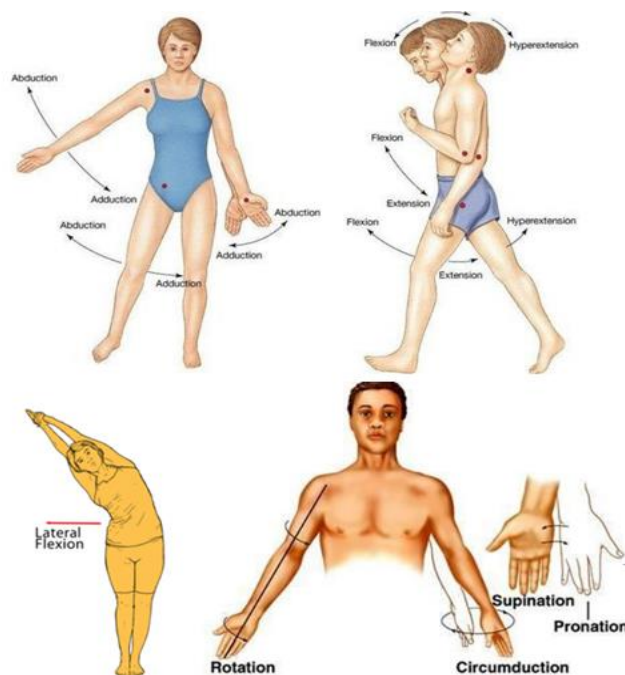
รูปที่ 8 ระนาบและแกนการเคลื่อนไหว

(ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

2. ลักษณะการเคลื่อนไหวพื้นฐานของอวัยวะ

ในการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนที่ต่าง ๆ จำเป็นต้องจำแนกท่าทางต่าง ๆ เป็นการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่เป็นท่วงท่าสั้น ๆ ซึ่งท่าทางต่าง ๆ ที่พบจะมีลักษณะคล้ายกับท่าทางการเคลื่อนไหวพื้นฐานของอวัยวะต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วท่าทางพื้นฐานเหล่านั้นก็จะเกิดจากการเปลี่ยนมุมของข้อต่อต่าง ๆ ของร่างกาย (ดังรูปที่ 9)

Flexion	การงอ	Extension	การเหยียด
Abduction	การกาง	Adduction	หุบ
Pronation	คว่ำ นอนคว่ำ	Supination	หงาย นอนหงาย
Rotation	หมุนซิดลำตัว	Circumduction	การหมุนแขนข้างลำตัว
Inversion	การบิดปลายเท้าเข้าด้านใน	Eversion	การบิดปลายเท้าออกด้านนอก
Elevation	ขากรรไกรดันขึ้นข้างบน	Depression	การรองลงของขากรรไกรล่าง
Retraction	ขากรรไกรล่างกลับเข้าด้านหลัง	Dorsiflexion	การงอข้อเท้า งามปลายเท้า



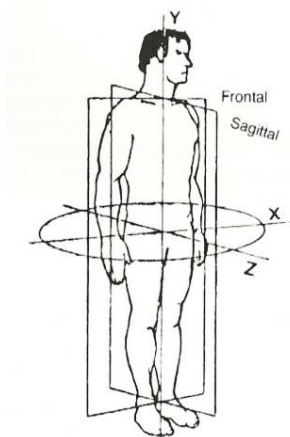
รูปที่ 9 พื้นฐานการเคลื่อนไหวแบบต่างของอวัยวะในร่างกาย
(ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

3. การระบุพิกัดการเคลื่อนที่

การระบุพิกัดการเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ มีระบบการระบุพิกัดการเคลื่อนที่อยู่ 3 ระบบที่สำคัญ (ดังรูปที่ 10) ได้แก่

3.3.1 Global Coordinate System (GCS)

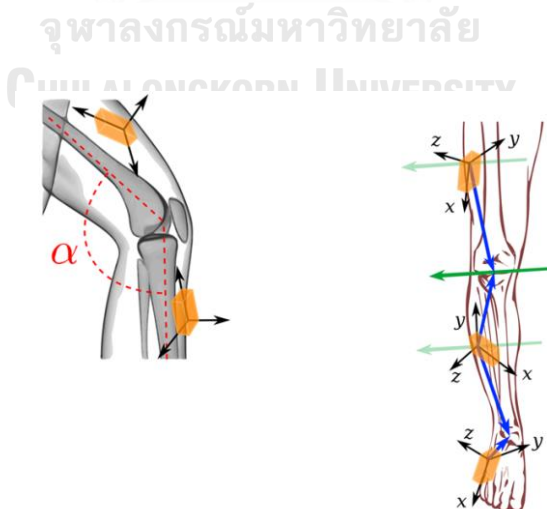
ระบบพิกัดแบบ GCS เป็นการระบุพิกัดการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง (Reference point) ที่กำหนดขึ้นเอง โดยการกำหนดตำแหน่งต่างๆ ในพิกัด รวมไปถึงมุมมองการเคลื่อนที่เทียบกับแกนอ้างอิงที่กำหนดไว้ ระบบพิกัดแบบ GCS ที่รู้จักกันดีในเชิงคณิตศาสตร์ คือ ระบบพิกัดแบบคาทีเซียน (Cartesian Coordinate System) หรือที่รู้จักกันในรูปแบบพิกัด (x, y, z) โดยจุดอ้างอิงคือจุด $(0, 0, 0)$ International Society of Biomechanics (ISB) นิยามรูปแบบแกนอ้างอิง (รูปที่ 10) ซึ่งการตั้งแกนดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎมือขวา โดยแกน x แสดงพิกัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ แกน y แสดงพิกัดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ในขณะที่แกน z จะแสดงพิกัดการเคลื่อนที่แบบ Proximal และ Distal



รูปที่ 10 ระบบแกน GCS
(ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

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

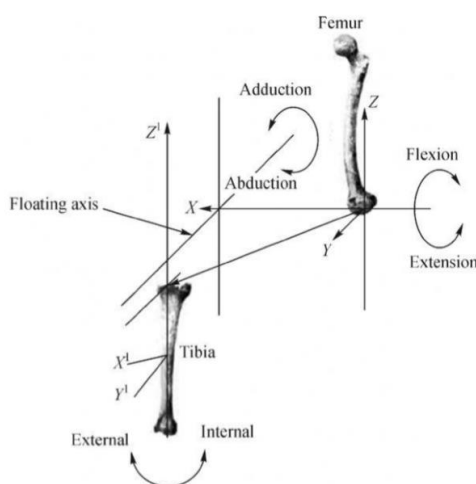
ระบบพิกัดแบบ SCS เป็นการอ้างอิงการเคลื่อนที่จากแนว Proximal/distal ของ Segment เพื่อเป็นตัวกำหนดพิกัด (x, y, z) ในหนังสือชีวกลศาสตร์บางเล่มอาจเรียก Segment Coordinate System ว่า Local Coordinate System (LCS) ในเชิงปฏิบัติการกำหนดจุดอ้างอิงของ SCS หรือ LCS สามารถกำหนดได้ตามใจชอบ (ดังรูปที่ 11) แต่อย่างไรก็ตาม มักกำหนดจุดอ้างอิงของ LCS มักกำหนด ณ จุดศูนย์กลางมวลของ Segment หรือ ณ จุดปลาย (Distal) ของ Segment ที่สนใจ เหตุผลหลักในการกำหนดพิกัดแบบ LCS เนื่องจากในบางกรณีการอ้างอิงพิกัดแบบ GCS ไม่สมเหตุสมผลในการอธิบายตัวแปรเชิงคิเนมาติกส์ในรูปแบบการเคลื่อนไหวนั้น ๆ



รูปที่ 11 ระบบแกน SCS หรือ LCS
(Seel, Raisch, & Schauer, 2014)

3.3 Joint Coordinate System (JCS)

ระบบพิกัดแบบ JCS เป็นการตั้งแกนเสมือน (Floating axis) โดยลากเส้นแกนระหว่างวัตถุหรือข้อต่อ 2 อันเข้าด้วยกัน เมื่อสร้างแกนเสมือนขึ้นมาแล้ว นักชีวกลศาสตร์สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ เช่น การเคลื่อนที่แบบ Adduction/abduction การหมุนแบบ External/internal รอบแกนเสมือนดังกล่าว เพื่อให้สามารถสื่อสารและเข้าใจรูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อได้ง่ายขึ้น (ดังรูปที่ 12)



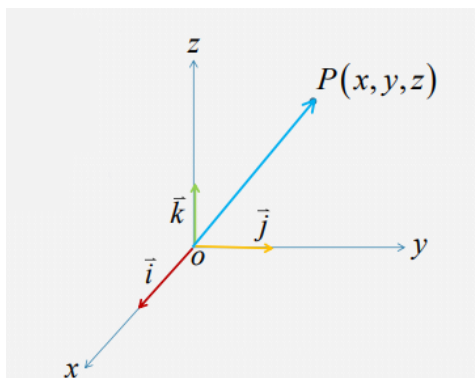
รูปที่ 12 รูปแบบแกนเสมือน JCS

(ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

4. กลศาสตร์ของเวกเตอร์ (Vector mechanics) (กวีวัฒน์ เดชาอภิรักษ์, 2016)

เวกเตอร์ คือ ปริมาณทางฟิสิกส์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง เช่น ความเร็ว, แรง เป็นต้น สามารถแทนเวกเตอร์ในเชิงเรขาคณิตได้ด้วยส่วนของเส้นตรงและลูกศร โดยที่ทิศทางของลูกศรแทนทิศทางของเวกเตอร์, ความยาวของลูกศรแทนขนาดของเวกเตอร์, หางลูกศร เรียกว่า จุดเริ่มต้นของเวกเตอร์ และหัวลูกศร เรียกว่า จุดสิ้นสุดของเวกเตอร์

4.1 การกำหนดตำแหน่งของมาร์กเกอร์ด้วยเวกเตอร์ จากคุณสมบัติของเวกเตอร์ที่สามารถบอกได้ทั้งขนาดและทิศทาง การระบุตำแหน่งของมาร์กเกอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสามมิติ (Cartesian coordinate system) จึงสามารถทำได้โดยเขียนในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้ (ดังรูปที่ 13)



รูปที่ 13 เวกเตอร์ที่ใช้บอกตำแหน่งของมาร์กเกอร์

กำหนดให้จุด P เป็นตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่อ้างอิงจากจุด O ดังนั้น เวกเตอร์ระบุตำแหน่งของมาร์กเกอร์ ณ จุด P จะเขียนได้ว่า

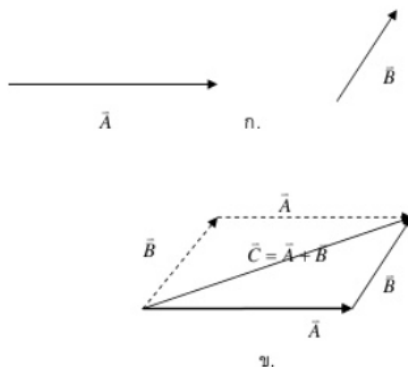
$$\vec{OP} = X\vec{i} + Y\vec{j} + Z\vec{k}$$

โดยค่า X เป็นระยะห่างจากจุด O ในทิศทางแกน X มีหน่วยของเวกเตอร์เป็น \vec{i} ค่า Y เป็นระยะห่างจากจุด O ในทิศทางแกน Y มีหน่วยของเวกเตอร์เป็น \vec{j} และค่า Z เป็นระยะห่างจากจุด O ในทิศทางแกน Z มีหน่วยของเวกเตอร์เป็น \vec{k} ซึ่งสามารถคำนวณระยะกระจัดได้จาก

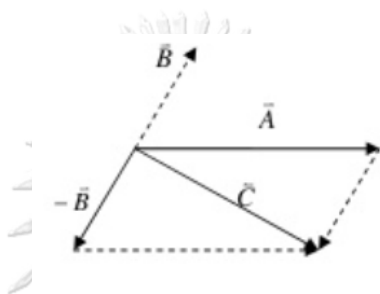
$$|OP| = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

4.4.2 การบวกเวกเตอร์และการลบเวกเตอร์ สามารถทำได้โดยการหาผลรวมหรือผลต่างของขนาดที่มีหน่วยของเวกเตอร์เดียวกัน เช่น กำหนดให้ (ดูรูปที่ 14 และ 15 ประกอบ)

$$\begin{aligned}\vec{A} &= a_1\vec{i} + a_2\vec{j} + a_3\vec{k} \text{ และ } \vec{B} = b_1\vec{i} + b_2\vec{j} + b_3\vec{k} \\ \vec{C} &= \vec{A} + \vec{B} = (a_1 + b_1)\vec{i} + (a_2 + b_2)\vec{j} + (a_3 + b_3)\vec{k} \\ \vec{C} &= \vec{A} - \vec{B} = (a_1 - b_1)\vec{i} + (a_2 - b_2)\vec{j} + (a_3 - b_3)\vec{k}\end{aligned}$$



รูปที่ 14 แสดงเวกเตอร์ \vec{C} ที่เกิดจากผลบวกระหว่างเวกเตอร์ \vec{A} และ \vec{B}

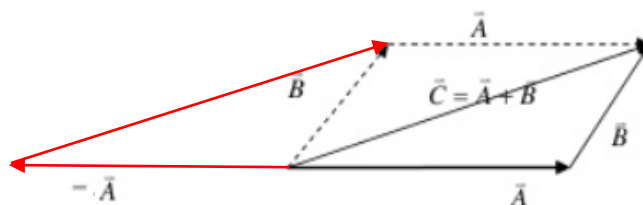


รูปที่ 15 แสดงเวกเตอร์ \vec{C} ที่เกิดจากผลบวกระหว่างเวกเตอร์ \vec{A} และ $-\vec{B}$

ในการวิจัยครั้งนี้ การบวกและการลบเวกเตอร์จะเป็นประโยชน์ในการหาเวกเตอร์จากจุดที่ไม่ใช่จุด Origin ไปยังมาร์กเกอร์ตัวหนึ่งในการสร้าง Vector component ของ SCS ซึ่งจากสมบัติการบวกและการลบของเวกเตอร์จะหาเวกเตอร์ \vec{B} ได้โดย (ดูรูปที่ 16 ประกอบ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{ถ้า } \vec{C} = \vec{A} + \vec{B} \text{ ดังนั้น } \vec{B} = \vec{C} - \vec{A}$$



รูปที่ 16 แสดงเวกเตอร์ \vec{C} ที่เกิดจากผลลบระหว่างเวกเตอร์ \vec{A} และ \vec{B}

4.3 การคูณเวกเตอร์ด้วยสเกลาร์

กำหนดให้ \vec{B} เป็นผลคูณจากการคูณเวกเตอร์ \vec{A} ด้วยสเกลาร์ m จะเขียนสมการได้ว่า

$$\vec{B} = m\vec{A}$$

ผลคูณจะเกิดขึ้นได้สองกรณี คือ

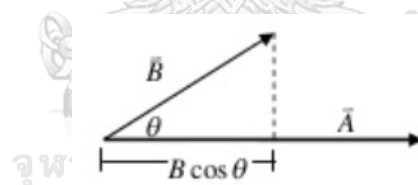
ถ้า $m > 0$ ขนาดของเวกเตอร์ \vec{B} เท่ากับ m เท่าของขนาดเวกเตอร์ \vec{A} มีทิศทางเดียวกัน

ถ้า $m < 0$ ขนาดของเวกเตอร์ \vec{B} เท่ากับ m เท่าของขนาดเวกเตอร์ \vec{A} มีทิศทางตรงกันข้าม

ถ้า $m = 0$ ขนาดของเวกเตอร์ \vec{B} เท่ากับ 0

4.4 ผลการคูณเชิงสเกลาร์

ผลการคูณเชิงสเกลาร์ (Scalar product) หรือผลคูณจุด (Dot product) ของ 2 เวกเตอร์ \vec{A} และ \vec{B} จะเขียนเป็น $\vec{A} \cdot \vec{B}$ ซึ่งเท่ากับผลคูณของขนาดเวกเตอร์ทั้งสองคูณกับ โคไซน์ (Cosine) ของมุมระหว่างเวกเตอร์ทั้งสอง (ดังรูปที่ 17) และผลคูณจะเป็นปริมาณสเกลาร์



รูปที่ 17 การ Dot product

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta$$

สมบัติการพื้นฐานของผลคูณสเกลาร์

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = (\vec{A} \cdot \vec{B}) + (\vec{A} \cdot \vec{C})$$

$$k(\vec{A} \cdot \vec{B}) = (k\vec{A}) \cdot \vec{B} = \vec{A} \cdot (k\vec{B})$$

เมื่อ k เป็นปริมาณสเกลาร์

ในการวิจัยครั้งนี้ สมการของการ Dot product จะสามารถนำมาใช้ในการหาค่ามุมระหว่าง 2 เวกเตอร์ เช่น มุมข้อเท้า มุมหัวและมุมสะโพกได้โดยใช้เวกเตอร์ของมาร์กเกอร์

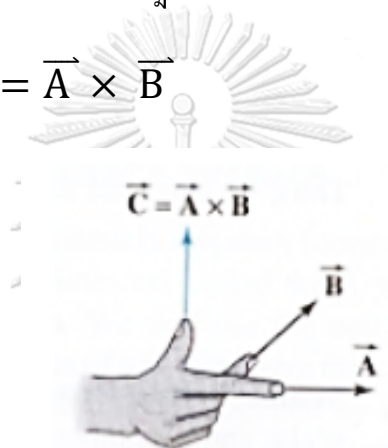
4.5 ผลคูณเชิงเวกเตอร์

เวกเตอร์ (Vector product) หรือผลคูณไขว้ (Cross product) ของ 2 เวกเตอร์ \vec{A} และ \vec{B} จะเขียนเป็น $\vec{A} \times \vec{B}$ มีนิยามว่า เป็นเวกเตอร์ที่เกิดจากผลคูณของขนาดของสองเวกเตอร์กับไซน์ (Sine) ของมุมระหว่างเวกเตอร์ทั้งสอง

$$\vec{A} \times \vec{B} = |AB \sin \theta| \hat{n}$$

เมื่อ \hat{n} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย แสดงทิศทางของผลคูณของเวกเตอร์ทั้งสอง ซึ่งจะตั้งฉากกับระนาบ \vec{A} และ \vec{B} ตามกฎมือขวาจาก \vec{A} ไป \vec{B} (ดังรูปที่ 18)

$$\text{เมื่อ } \vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$



รูปที่ 18 การบอกทิศทางของเวกเตอร์ที่ได้จากการ Cross product ด้วยกฎมือขวา

กระบวนการ Cross product สามารถทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ด้วยวิธีการเมตริกซ์และดีเทอร์มิแนนต์ (Matrix and Determinants) ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\vec{A} = a_1\vec{i} + a_2\vec{j} + a_3\vec{k} \quad \text{และ} \quad \vec{B} = b_1\vec{i} + b_2\vec{j} + b_3\vec{k}$$

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = \det \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix} = (a_1b_3 - a_3b_1)\vec{i} + (a_3b_1 - a_1b_3)\vec{j} + (a_1b_2 - a_2b_1)\vec{k}$$

การวิจัยครั้งนี้สามารถนำกระบวนการ Cross product มาใช้ในการสร้าง SCS จาก 2 Vector component ที่ตั้งฉากกัน ซึ่งได้จากการบวกลบเวกเตอร์ของตำแหน่งของมาร์กเกอร์ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าตัวแปร X-factor ได้ต่อไป

4.6 การหมุนแกนแบบในสามมิติ (อรรถวิทย์ สุดแสง, 2003)

สำหรับการหมุนรอบจุดกำเนิดในสามมิตินั้น องศาเสรี (Degree of freedom) ของการหมุนรอบจุดกำเนิดในสามมิติมีค่าเท่ากับสาม การหมุนในสามมิติ สามารถเขียนได้เป็นเมทริกซ์การหมุน โดยในกรณีนี้เมทริกซ์การหมุนจะมีขนาดสามคูณสาม การสร้างเมทริกซ์การหมุนรอบแกนใดๆ เริ่มด้วยการพิจารณาเมทริกซ์สำหรับหมุนรอบแกนหลัก X,Y,Z ดังต่อไปนี้

1) เมทริกซ์การหมุนรอบแกน Z ด้วยมุม θ คือ

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

และเนื่องจากเป็นการหมุนรอบแกน Z ผลของการหมุนจะไม่ทำให้พิกัดในแนวแกน Z เปลี่ยนและทิศทางของการหมุนเป็นไปตามกฎมือขวา

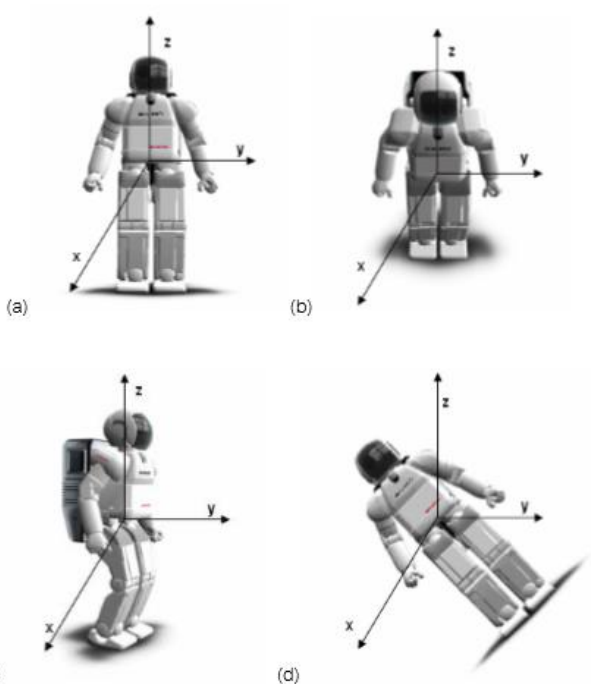
2) เมทริกซ์การหมุนรอบแกน Y ด้วยมุม θ คือ

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

3) เมทริกซ์การหมุนรอบแกน X ด้วยมุม θ คือ

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

ดูตัวอย่างการหมุนในรูปที่ 21 โดยเริ่มต้นหมุนอยู่ในสภาพตามรูปที่ 21 (a) ในรูปที่ 21 (b) แสดงผลของการหมุน 45 องศารอบแกน Y รูปที่ 21 (c) แสดงผลของการหมุน 45 องศารอบแกน Z, 21 (d) แสดงผลของการหมุนจากสภาพเริ่มต้นไปเป็นมุม 45 องศารอบแกน X



รูปที่ 19 การหมุนรอบแกนที่มีลำดับการหมุนเป็น Y, Z, X

การหมุนรอบแกนหลักนี้สามารถนำมาเขียนเรียงต่อกันเป็นการหมุนที่มีองศาเสรีครบสาม วิธีการเขียนมีสองแบบคือ 1. เขียนจากขวาไปซ้ายเป็นการหมุนเฟรมวัตถุเทียบกับเฟรมหลักที่อยู่นิ่ง (เหมือน pre-multiplication) โดยจะหมุนรอบแกน X ก่อนแล้วหมุนรอบแกน Y จากนั้นหมุนรอบแกน Z การหมุนแบบนี้ถูกเรียกว่า X, Y, Z fixed angles หรือ roll, pitch, yaw เมทริกซ์การหมุนที่ได้คือ

$$R_{XYZ}(\gamma, \beta, \alpha) = R_Z(\alpha)R_Y(\beta)R_X(\gamma)$$

$$R_{XYZ} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

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

การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ค่ามุมของการหมุนระหว่าง SCS ของหัวไหล่และสะโพก รอบ Z-axis เป็นค่ามุม X-factor โดยใช้หลักการหมุนแบบออยเลอร์ (Euler) ที่ใช้ลำดับ

การหมุน X, Y, Z ตามการวิจัยของ Brown, Selbie, และ Wallace (2013) คำนวณหาค่าตัวแปร X-factor ซึ่งเป็นมุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z นั่นคือมุม α

5. การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Movement Analysis) (ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

การวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกวิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวที่ใช้วีดิโอมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่เคลื่อนไหว ซึ่งในทางชีวกลศาสตร์การกีฬาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ อาจจะเป็นข้อต่อต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ข้อศอก หัวไหล่ หัวเข่า ข้อเท้า ข้อมือ หรืออาจจะเป็นตำแหน่งของกระดูกข้อต่อต่าง ๆ ที่กระดูกสันหลัง เป็นต้น เมื่อทราบตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของข้อต่อต่าง ๆ ที่บันทึกได้ จะทำให้นักชีวกลศาสตร์สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลา รวมถึงวิเคราะห์หาความเร็วและความเร่งของข้อต่อต่าง ๆ ได้ ในกระบวนการการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวประกอบไปขึ้นตอนต่างๆที่สำคัญดังนี้

3.5.1 การเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ใช้วีดิโอ

3.5.2 การประมวลผลข้อมูล ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) การทำ Digitization หมายถึง การระบุตำแหน่งหรือพิกัดของข้อต่อหรือตำแหน่งที่สนใจ

2) การทำความสะอาดข้อมูลที่ได้จากการทำ Digitization เช่น การทำ Data smoothing เป็นต้น

3) การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำความสะอาดข้อมูล

4) การแปลผล

3.5.3 การเขียนรายงานผล เริ่มจากการอธิบายการเก็บข้อมูลโดยใช้ระบบวีดิโอ โดยจะเน้นการอธิบายให้เห็นถึงการจัดการกับอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการเก็บข้อมูลเป็นหลัก จากนั้นจึงจะอธิบายถึงกระบวนการในการจัดการข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย การทำ Digitization การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลก่อนที่จะกล่าวถึงการเขียนรายงานผลต่อไป

6. อุปกรณ์ที่สำคัญในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

6.1 กล้องวีดิโอ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหว มีองค์ประกอบที่สำคัญในการเลือกกล้อง วีดิโอ ได้แก่

- คุณภาพของภาพที่ถ่าย (Picture quality)
- อัตราเฟรม (Frame rate หรือ Sampling frequency)
- ความเร็วของชัตเตอร์ (Shutter speed)
- การปรับขนาดรูรับแสง (Aperture adjustment)

- เทคโนโลยีที่ช่วยในการซ้ภาพจากวิดีโอหลาย ๆ ตัว (Genlock)
- อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูล เช่น Memory card หรือ Hard disk เป็นต้น

6.2 มาร์คเกอร์ (Marker) ใช้ในการระบุตำแหน่งของข้อต่อ

6.3 เครื่องเล่นวิดีโอหรือโปรแกรมสำหรับชมวิดีโอ

6.4 โปรแกรมสำหรับแปลงพิกัดภาพในวิดีโอให้เป็นพิกัดที่เกิดขึ้น (Coordinate Digitizer)

6.5 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

7. การตั้งกล้อง (Camera setup)

7.1 ตำแหน่งของการตั้งกล้องและการเลือกชนิดของเลนส์กล้องมีผลโดยตรงต่อปริมาตร (Performance volume) หรือพื้นที่ขอบเขตที่ให้นักกีฬาแสดงทักษะ เนื่องจากพื้นที่สำหรับการแสดงทักษะของนักกีฬาสัมพันธ์กับความละเอียดของภาพถ่าย โดยที่พื้นที่สำหรับการแสดงทักษะที่เพิ่มขึ้นก็ต้องการความละเอียดของภาพที่มากขึ้น ดังนั้นนักชีวกลศาสตร์จึงควรจำกัดพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่การแสดงทักษะของนักกีฬาให้น้อยที่สุด แต่ในขณะเดียวกันขนาดของพื้นที่ต้องครอบคลุมให้กล้องสามารถจับภาพการแสดงทักษะตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด

7.2 จำนวนกล้องที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์ จะขึ้นอยู่กับจำนวนมาร์คเกอร์และความซับซ้อนของทักษะที่ต้องการวิเคราะห์ หลักการโดยทั่วไปคือ ถ้าจำนวนมาร์คเกอร์เยอะและทักษะที่ต้องการวิเคราะห์ซับซ้อนจะต้องการจำนวนกล้องที่มาก โดยปกติแล้วการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ อาศัยกล้องอย่างน้อย 2 ตัว แต่การใช้กล้องเพียง 2 ตัว จะจำกัดการเคลื่อนไหว เนื่องจากกล้องทั้ง 2 ตัว จะต้องเห็นมาร์คเกอร์ทุกตัว ซึ่งในการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนอาจจะเป็นไปได้ยาก แต่จำนวนกล้องที่มากเกินไปอาจทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น ดังนั้น นักชีวกลศาสตร์จะต้องเลือกจำนวนกล้องให้สัมพันธ์กับงานที่ตนจะวิเคราะห์ ปัจจุบันห้องปฏิบัติการด้านชีวกลศาสตร์มักจะใช้กล้องอย่างน้อย 6-8 ตัว สำหรับการวิเคราะห์ทักษะของนักกีฬา

8. การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดต่าง ๆ

การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดต่าง ๆ ทั้งการวัดตัวแปรด้านชีวกลศาสตร์ เช่น การวัดแรงของแผ่นวัดแรง (Force plate) เข้ากับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของนักกีฬา ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ Sampling rate สูงกว่า Sampling rate ของกล้องถ่ายภาพ ดังนั้นทุกครั้งที่ทำการเชื่อมต่อนักชีวกลศาสตร์ต้องมั่นใจว่าอุปกรณ์ทุกชิ้นเริ่มทำงานพร้อมกัน

9. การเตรียมตัวกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งในการบันทึกภาพ

9.1 การกำหนดจำนวนครั้งในการบันทึกภาพ นักชีวกลศาสตร์จะต้องมั่นใจว่าภาพที่บันทึกมาสามารถเป็นตัวแทนของทักษะที่ต้องการวิเคราะห์สำหรับนักกีฬาหรือกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้ นักชีวกลศาสตร์อาจจะเก็บข้อมูลของนักกีฬาที่มีทักษะสูง ๆ เช่น นักกีฬาทีมชาติ อาจจะน้อยกว่าการเก็บข้อมูลของนักกีฬาใหม่หรือผู้ที่เริ่มเล่นได้ เนื่องจาก การแสดงทักษะของนักกีฬาที่มีทักษะสูง ๆ จะมีความสม่ำเสมอมากกว่าการแสดงทักษะของนักกีฬาที่เพิ่งจะเริ่มเล่นใหม่

9.2 การติดตั้งมาร์กเกอร์ วิธีการติดมาร์กเกอร์และเลือกมาร์กเกอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ได้แก่

1) ในการกำหนดตำแหน่งของ Segment ที่สนใจ จะต้องใช้มาร์กเกอร์อย่างน้อย 3 ตัว และต้องติดมาร์กเกอร์ 3 ตัวนี้ไม่ให้อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน เพื่อให้มองเห็นการเคลื่อนไหวเชิงเส้น และการเคลื่อนไหวเชิงมุมใน Segment ที่ต้องการ

2) มาร์กเกอร์ทุกตัวจะต้องเห็นโดยกล้องอย่างน้อย 2 ตัว

3) พยายามทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของผิวหนัง (Skin movement) น้อยที่สุด หรือการติดมาร์กเกอร์จะต้องไม่ขัดขวางการเคลื่อนไหว หรือทำให้การเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงไป

4) ขนาดของมาร์กเกอร์ มาร์กเกอร์ขนาดใหญ่ทำให้กล้องเห็นชัด และครอบคลุมหลาย Pixel ในภาพก็จะทำให้ได้ตำแหน่งที่แม่นยำ แต่ถ้ามาร์กเกอร์ใหญ่ไปก็อาจจะทำให้เกะกะและ เคลื่อนไหวไม่สะดวกได้

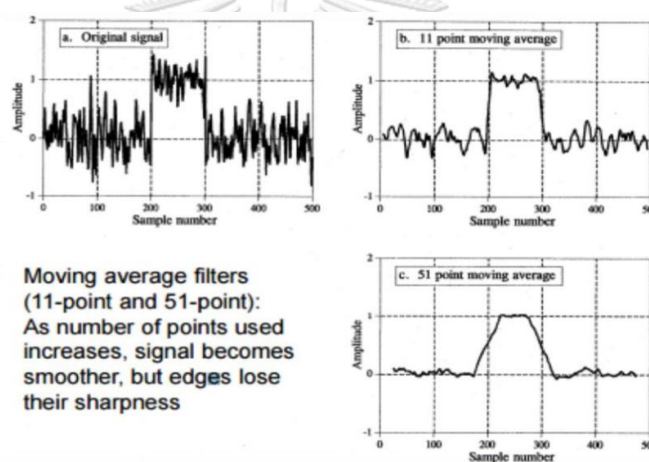
5) การติดมาร์กเกอร์เข้ากับกลุ่มตัวอย่าง ก็เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่สำคัญ นักชีวกลศาสตร์จะต้องติดมาร์กเกอร์ไม่ให้หลุดง่าย แต่ในขณะที่เดียวกันก็ต้องทำให้กลุ่มตัวอย่างไม่รู้สึกรำคาญจนกวนสมาธิหรือการเคลื่อนไหวของกลุ่มตัวอย่างได้

ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้จากการตำแหน่งของมาร์กเกอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสัมพัทธ์หรือความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ ความคลาดเคลื่อนแบบสัมพัทธ์ หมายถึง ตำแหน่งของมาร์กเกอร์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับตำแหน่งมาร์กเกอร์ตัวอื่น ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ หมายถึง ตำแหน่งของมาร์กเกอร์ของ Bone landmark เปลี่ยนตำแหน่งไปจากที่เดิม การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของมาร์กเกอร์จะเกิดจากการเคลื่อนที่ของเนื้อเยื่ออ่อน (Soft tissue)

9.3 กระบวนการเลือกชุดมาร์กเกอร์ (Marker set) เป็นกระบวนการที่สำคัญ ซึ่งจะต้องพิจารณาจากตำแหน่งข้อต่อ หรือ Anatomical landmark ที่ต้องการพิจารณาชุดมาร์กเกอร์มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งการเลือกใช้ชุดมาร์กเกอร์สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกตำแหน่งมาร์กเกอร์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแปรที่ต้องการทำการศึกษา

10 การประมวลผลข้อมูล (ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์, 2016)

10.1 การทำความสะอาด (Clean) ข้อมูล เนื่องจากในการ Digitize ข้อมูลนั้น ข้อมูลที่ได้จะประกอบไปด้วย สัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนที่ความถี่สูง (High frequency errors) (รูปที่ 22) จึงจำเป็นที่จะต้องทำความสะอาดข้อมูล หรืออาจเรียกว่า การ Smooth data เป็นการปรับค่าข้อมูลดิบให้เป็นค่าที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ตัวแปรต่อไป วิธีการทำความสะอาดข้อมูลทางชีวกลศาสตร์นิยมใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ เช่น Digital Filters การทำการ Smooth data ถ้าทำไม่เหมาะสมอาจทำให้สัญญาณรบกวน (Noise) ยังมีอยู่มาก หรือบางครั้งถ้าทำมากเกินไปก็อาจทำให้ข้อมูลจริงหายไปได้ การวิจัยครั้งนี้สามารถทำ Smooth data ได้ด้วย โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System ซึ่งเป็นการทำ Smooth data แบบ Butterworth Filter



รูปที่ 20 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลด้วยวิธี Moving Average

10.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพิกัดของการเคลื่อนไหวการเคลื่อนไหวของข้อต่อ หรือ Segment ที่สนใจรวมไปถึงการเคลื่อนไหวโดยรวม จะต้องกำหนดตัวแปรสำคัญที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อที่จะได้วางแผนการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและการนำเสนอข้อมูลที่เหมาะสม ซึ่งหลักการที่สำคัญของการนำเสนอสำหรับการลงตีพิมพ์ในวารสารอาจต้องการข้อมูลที่ละเอียด ทั้งนี้ วิธีการนำเสนอข้อมูลตัวแปรทางคินเมติกส์สามารถนำเสนอในรูปแบบตัวเลข เช่น ค่ามุมสูงสุด ความเร็วสูงสุด มุมเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย เป็นต้น หรือนำเสนอข้อมูลโดยใช้กราฟ เช่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา ในขณะที่การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของพิกัดของข้อต่อ หรือของ Segment ต่าง ๆ นิยมใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม – มุม หรือ ความเร็วเชิงมุม – ความเร็วเชิงมุม (Phase plot)

สรุป องค์ความรู้ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์มีดังต่อไปนี้ 1) กระบวน Vector mechanics ที่ใช้คำนวณหาค่าตัวแปรที่จะศึกษาจากข้อมูลตำแหน่งของมาร์กเกอร์ ที่ได้จากการบันทึกภาพเคลื่อนไหว 2) การเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องวิดีโอที่มีการจัดวางให้บันทึกข้อมูลได้ครอบคลุมพื้นที่การเคลื่อนไหว และทำการ Calibration กล้อง รวมถึงอุปกรณ์วัดที่เชื่อมต่อต่าง ๆ ซึ่งต้องสามารถเริ่มบันทึกค่าพร้อมกันได้ 3) การติดชุดมาร์กเกอร์ที่เหมาะสมกับการอธิบายการเคลื่อนไหวของ Segment ที่ต้องการทำการศึกษา โดยคำนึงถึงขนาดและการติดมาร์กเกอร์ให้กล้องสามารถบันทึกภาพได้ชัดเจนโดยไม่รบกวนสมาธิของกลุ่มตัวอย่าง 4) ทำการ Smooth data เพื่อลดข้อมูลการเคลื่อนไหวของมาร์กเกอร์ที่ไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของ Segment ที่ทำการศึกษา 5) การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลทางสถิติหรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ

การวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยเครื่อง Wii Balance Board (WBB)

การวิจัยนี้จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่มีลักษณะเป็นพื้นลาดเอียง ซึ่งแผ่นวัดแรง (Force plate) ที่มีใช้ในห้องทดลองไม่รองรับการปรับความลาดเอียงได้ การวิจัยครั้งนี้จึงได้มีศึกษาเพิ่มเติมเพื่อออกแบบอุปกรณ์สำหรับใช้วัดค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวตั้งจากกับพื้น ซึ่งได้เลือกใช้ เครื่องเล่นเกม WBB มาดัดแปลงให้เหมาะสมกับการทดลอง เนื่องจากมีการใช้ในการวิจัยมีการใช้อย่างแพร่หลาย และมีโครงสร้างรวมถึงรูปแบบการใช้งานที่สอดคล้องกับการวิจัยนี้

เครื่อง WBB ประกอบด้วย แผงวงจรที่มี Transducers จำนวน 4 ตัว ติดตั้งไว้บริเวณขาตั้งของบอร์ดทั้งสี่ด้าน Transducers ที่ใช้เป็นชนิด Load cell ที่ประกอบด้วย แท่งโลหะ Cantilevered metal bar แปะติดกับ Strain Gauges ซึ่งจะเปลี่ยนความต่างศักย์ไปตามแรงรับในแนวตั้ง จากนั้นสัญญาณความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปจะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลเพื่อทำการคำนวณหาค่าแรงรับจากความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไป แล้วจึงส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สาย (Wireless) ไปยังตัวรับสัญญาณอื่น ๆ

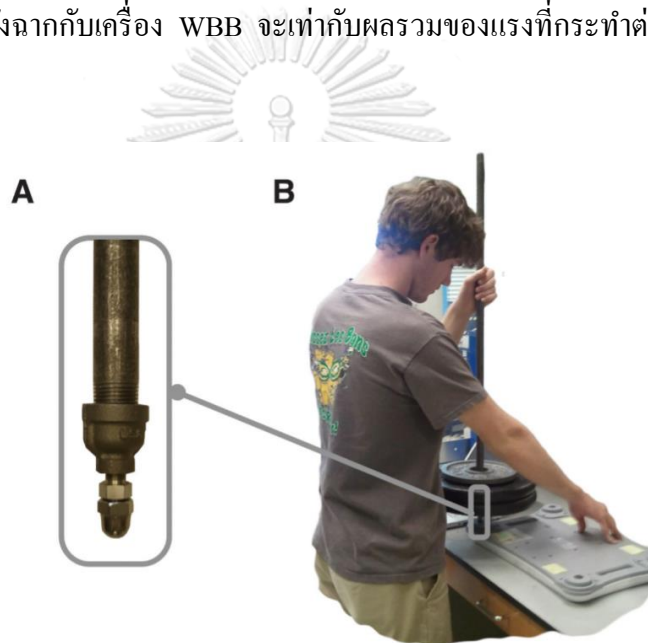
1 วิธีการบันทึกข้อมูลจากเครื่อง WBB (Bartlett, 2014)

การบันทึกข้อมูลจากเครื่อง WBB ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1.1 ผ่านระบบไร้สาย Bluetooth HID (Human Interface Device Profile) โดยข้อมูลที่ได้จาก Sensor ของ WBB จะถูกส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล (Digital) ขนาด 16 บิต 4 ช่องสัญญาณ ด้วยความถี่ 100 เฮิรตซ์ ซึ่งมีความละเอียดมากพอสำหรับการวิเคราะห์

การเคลื่อนไหวของร่างกายที่มีความเร็วสูงแต่ amplitude ต่ำ (Gudavalli, DeVocht, Tayh, & Xia, 2013) ข้อมูลที่ถูกส่งมา สามารถบันทึกและประมวลผลข้อมูลได้ด้วยโปรแกรมที่ถูกเขียนด้วยภาษา Java (Oracle) และ Matlab (Mathworks, Natick, MA) เพื่อรับข้อมูลและแสดงผลหรือวิเคราะห์ข้อมูลได้

1.2 ผ่านระบบสายส่งสัญญาณ landline โดยข้อมูลที่ได้จาก Sensor ของ WBB จะถูกส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของข้อมูลอนาล็อก (Analog) 4 ช่องสัญญาณ ด้วยความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ซึ่งสามารถบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของ Sensor แต่ละตัวเพื่อนำไปคำนวณเปลี่ยนเป็นค่าแรง โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์กับแรงของน้ำหนักที่ทราบค่าก่อนแล้ว โดยแรงรับที่ตั้งฉากกับเครื่อง WBB จะเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำต่อ Sensor ทั้ง 4 ตัว



รูปที่ 21 ตัวอย่างวิธีการชั่งน้ำหนักที่ทราบค่าอยู่แล้วบน Sensor

(Bartlett et al., 2014)

จากการศึกษาของ Bartlett, Ting, & Bingham, (2014) ถึงค่าความแม่นยำในการวัดแรงและตำแหน่งของ COP ของเครื่อง WBB ด้วยกระบวนการ Uncertainty analysis โดยการเปรียบเทียบกับแผ่นวัดแรง (AMTI force plate) ที่มีความแม่นยำสูงและนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการพบว่า เครื่อง WBB ใช้การได้ดีและมีความตรงภายใน ซึ่งไม่พบค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นของการวัดในเครื่องเดียวกันและประสิทธิภาพไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้วัดกับของที่มีน้ำหนักมากและความตรงภายนอก หรือการทดสอบความเที่ยงตรงระหว่างเครื่องมีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงลัพธ์ และตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงลัพธ์อยู่ที่ ± 9.1 นิวตัน ± 4.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากแผ่นวัดแรง force plate ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 1.1 นิวตัน ± 3.5 มิลลิเมตร จาก

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สรุปและให้คำแนะนำไว้ว่า เครื่อง WBB เหมาะสำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูงมากนัก เช่น วิเคราะห์การทรงตัวของมนุษย์ (Bartlett et al., 2014)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ

กิตติพงษ์ พิชาตฤ และ วิวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2016) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบคิเนมาติกส์ ของกอล์ฟสวิงสองประเภท คือ การสวิงด้วยความเร็วสูงสุดเพื่อให้ได้ระยะทางที่ไกลที่สุด และการตีแบบควบคุมความเร็วเพื่อเน้นความแม่นยำในนักกีฬาอาชีพระดับแข่งขัน จำนวน 15 คน อายุ 22 – 27 ปี โดยใช้การบันทึกวีดิโอและโปรแกรม Visual 3D ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านชีวกลศาสตร์ของ

การสวิงด้วยความเร็วสูงสุด 6 ครั้ง และการสวิงแบบควบคุมความเร็ว 6 ครั้งด้วยหัวไม้หนึ่งที นักกอล์ฟเตรียมมาเอง ซึ่งการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลของมุมข้อต่อที่แบ่งแยกกันระหว่างร่างกายส่วนบนและร่างกายส่วนล่าง (X-Factor) มุมและความเร็วเชิงมุมของสะโพก ลำตัว ข้อศอกและข้อมือ ใน 3 เหตุการณ์ คือ จังหวะสูงสุดของการขึ้นไม้ขณะที่ก้านไม้ขนานกับพื้นตอนสวิงลง และจังหวะไม้กระทบลูกกอล์ฟ ข้อมูลคิเนมาติกส์จะถูกคัดเลือกจากการสวิงที่ดีที่สุด 3 ครั้ง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก คือ ความเร็วของหัวไม้ที่สูงสุดไปในทิศทางที่นักกีฬาต้องการ และตรงความตั้งใจและความรู้สึกของตัวนักกีฬาสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Paired T – test และ Wilcoxon Signed - Rank จากผลการศึกษาพบว่า ทั้งมุมและความเร็วเชิงมุมของทุก ๆ สัดส่วนจากทั้งสองรูปแบบ

การสวิงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นความเร็วเชิงมุมของข้อศอก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนักกีฬาต้องการสวิงให้ได้ระยะมากที่สุดช่วงของการเคลื่อนไหวร่างกาย (Range of motion) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เช่น มีการพับข้อมือน่าขึ้นและ X-factor ขณะยกไม้สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และยังสามารถอธิบายได้อีกว่าในกลุ่มนักกอล์ฟอาชีพจะเพิ่มความเร็วของทุก ๆ สัดส่วนของร่างกายในปริมาณที่เหมาะสมแทนที่จะเพิ่มเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งเหมือนนักกีฬาสมัครเล่น

2 งานวิจัยต่างประเทศ

Chu และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านชีวกลศาสตร์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการสวิงกอล์ฟ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาอาชีพที่มีแต้มต่ออยู่ในช่วง 8.4 ± 8.4 จำนวน 308 คน เป็นเพศชาย 266 และเพศหญิง 46 คน อายุ 43.2 ± 15.6 โดยทำการเก็บข้อมูลคิเนมาติกส์ของการสวิงด้วยหัวไม้หนึ่งด้วยกล้องบันทึกวีดิโอ และข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยแผ่นวัดแรงกด (Force plate) ปัจจัยทางด้านชีวกลศาสตร์ที่ได้ทำการศึกษาในการวิจัย ประกอบด้วย มุมเอียงของลำตัวไปทางด้านหน้าและด้านข้าง ความเร็ว

เชิงมุมในการเอียงตัวไปทางด้านข้าง ระยะและความเร็วในการยกตัวขึ้นและลง X-factor มุมและความเร็วเชิงมุมในการหมุนลำตัวส่วนบน มุมของแขนด้านนำ มุมและความเร็วเชิงมุมของข้อมือ มุมของหัวเข่าด้านเท้าหน้า แรงปฏิกิริยาของเท้าหน้า และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงปฏิกิริยาจากเท้าทั้งสองข้าง ซึ่งปัจจัยหรือตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมานั้นจะถูกบันทึกใน 4 เหตุการณ์ คือ ช่วงการขึ้นไม้สูงสุด ช่วงก้านไม้ขนานกับพื้นตอนสวิงลง ช่วง 40 มิลลิวินาทีก่อนหน้าไม้ปะทะลูก และขณะหน้าไม้ปะทะลูก นักกีฬากอล์ฟทั้งหมดจะทำการสวิงคนละ 10 ครั้ง แล้วใช้การสวิง 5 ครั้งที่ได้ความเร็วสูงสุดในการวิเคราะห์ การวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างทั้ง 4 เหตุการณ์ของการสวิงและตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ที่มีอิทธิพลต่อความเร็วของลูกกอล์ฟ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในแต่ละเหตุการณ์มีอิทธิพลต่อความเร็วของลูกกอล์ฟ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (Coefficient of Multiple Determination) ในช่วงยกไม้สูงสุด 43.7% ช่วงก้านไม้ขนานกับพื้นตอนสวิงลง 66.0% ช่วง 40 มิลลิวินาทีก่อนหน้าไม้ปะทะลูก 73.5% และขณะหน้าไม้ปะทะลูก 50.5% นอกจากนี้ยังพบว่า X-factor มุมและความเร็วเชิงมุมของข้อมือ แขนและลำตัว รวมถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้นมีความสัมพันธ์ต่อความเร็วของลูกกอล์ฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Peters และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาถึงโอกาสที่จะต้องทำการสวิงบนพื้นลาดเอียงในค่าความชันต่าง ๆ ระหว่างการออกรอบของนักกีฬากอล์ฟอาชีพชาย จำนวน 22 คน อายุ 26.67 ± 45.47 ที่มีความถนัดซ้าย ซึ่งได้ใช้เครื่องมาตรวัดการเอียง (Inclinometer) ติดตั้งภายในรองเท้าของนักกีฬา จากนั้นจึงออกรอบโดยให้นักกอล์ฟเล่นเต็มความสามารถ การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลจาก 16 สนามภายในสามเมืองของประเทศอังกฤษ โดยเล่น 18 หลุมในทุก ๆ สนาม ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นจะไม่รวมการตีจากทีออฟ (Tee off) และการเล่นบนกรีน (Green golf) จากการศึกษพบว่า มากกว่า 90% ของการสวิงมีความลาดเอียงอยู่ในช่วง 0 ± 10 องศา โดย 62% ของพื้นลาดเอียงทางด้านหน้าหลังของนักกอล์ฟเป็นการเอียงที่ลูกอยู่สูงกว่าเท้า และ 55% ของพื้นลาดเอียงทางด้านข้างของนักกอล์ฟเป็นการเอียงแบบเท้าหน้าสูงกว่าเท้าตาม และยังได้กล่าวไว้อีกว่านักกอล์ฟจะรู้สึกได้ถึงความลาดเอียงและเริ่มมีการปรับชดเชยที่ความลาดเอียง 2.24 องศา

Blenkinsop และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทน้ำหนักระหว่างเท้าทั้งสองข้าง ขณะทำการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนินที่ทำมุมกับแนวราบ 5 องศา และการสวิงบนพื้นราบในนักกอล์ฟสมัครเล่นชายที่มีแต้มต่อโดยเฉลี่ย 1.6 ± 2.4 อายุ 26 ± 9 ซึ่งทำการเก็บข้อมูลคิเนมาติกส์ด้วยกล้องดีวีไอ ความเร็วต้น มุมออกตัวระหว่างแนวราบ มุมอซิมุท (Azimuth) ความเร็วการหมุนของลูกทางด้านข้าง และระยะห่างตั้งฉากจากเส้นแนวเป้าหมายด้วยเครื่อง Launch monitor และจุดศูนย์กลางแรงลัพธ์ (Center of pressure) ด้วยสเตอร

เกจ (Strain gauge) โดยนักกอล์ฟจะทำการสวิงไปยังตะขำรับลูกที่อยู่ห่างออกไป 2 เมตร ทั้งหมด 30 ครั้ง 10 ครั้งในแต่ละความลาดเอียงของพื้น ซึ่งทำการสวิงลูกกอล์ฟด้วยเหล็ก 6 ที่รองด้วยพื้นหญ้าเทียม การเก็บข้อมูลถูกแบ่งเป็นแต่ละเหตุการณ์ คือ เริ่มต้นยกไม้ ตอนกลางของการยกไม้ก่อนการยกไม้สูงสุด ยกไม้สูงสุด เริ่มการลงไม้ ตอนกลางของการลงไม้ ไม้ปะทะลูก และหลังจากไม้ปะทะลูกแล้ว จากการศึกษาพบว่า มีการเลื่อนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงลัพธ์ หรือ COP ในการสวิงที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน ซึ่งจะเลื่อนไปทางเท้าที่อยู่ต่ำกว่าในทุกเหตุการณ์ที่มีการเก็บข้อมูล โดยการสวิงแบบขึ้นเนินจะมีการเลื่อนของ COP ที่น้อยกว่าการสวิงลงเนินที่ 8.9% และ 9.4% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง 5 องศาไม่ส่งผลต่อความเร็วของลูกอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งมุมออกตัวระหว่างแนวราบของลูก การหมุนและระยะห่างตั้งฉากจากแกนแนวเป้าหมายโดยการสวิงขึ้นเนิน ทิศทางการออกตัวของลูกจะทำมุมกับแนวราบมากขึ้น และทิศทางของลูกมีแนวโน้มไปทางด้านซ้าย (Straight draw) แต่ในทางกลับกัน การสวิงลงเนินมุมกับแนวราบจะมีค่าน้อยลง และทิศทางของลูกจะไปทางด้านขวามากขึ้น (Straight fade) และยังพบว่า การหมุนของลูกทางด้านข้างยังส่งผลต่อทิศทางของลูกด้วยเช่นกัน โดยกรณีการสวิงขึ้นเนินนักกีฬาควรพยายามดีให้ลูกหมุนไปทางด้านซ้าย เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกไปทางซ้ายมากเกินไป (Hooking)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า ปัจจุบันงานวิจัยที่ผ่านมาได้บอกถึงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการสวิง เช่น มุม X-factor แรงปฏิกิริยาจากพื้น และมุมสะโพกและมุมหัวเข่าที่เปลี่ยนไปในแต่ละเหตุการณ์ของการสวิง รวมถึงความเร็วในการหมุนสะโพกและลำตัว แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาอยู่บนพื้นฐานของการสวิงบนพื้นราบ มีเพียงการศึกษาของ Blenkinsop และคณะ (2017) ที่ทำการศึกษากการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง แต่ก็มิได้มุ่งเน้นที่จะอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนไหวของร่างกาย ด้วยเหตุนี้การวิจัยครั้งนี้จะเป็นการศึกษาที่จะเข้ามาเพิ่มเติมความเข้าใจกลไกการเคลื่อนไหวของการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง ซึ่งจะช่วยให้ นักกีฬาสามารถฝึกซ้อมและวางแผนการเล่นได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นราบ และการสวิงกอล์ฟขึ้นเนินในนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในช่วง 4 เหตุการณ์ที่สำคัญ ของการสวิงระหว่าง การสวิงกอล์ฟบนพื้นราบและบนพื้นที่ลาดเอียงที่ทำมุม ± 10 องศา กับแนวราบ ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรสำหรับงานวิจัยนี้ คือ นักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย ที่มีอายุระหว่าง 18 - 25 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ คือ นักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย วัยสวิงขวา ที่มีอายุระหว่าง 18 – 25 ปี โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง Purposive sampling จากชมรมกอล์ฟ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลและสมาคมกอล์ฟสิงห์ การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีคำนวณด้วย โปรแกรม G*POWER Version 3.1.9.2 โดยใช้ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ที่ระดับ .80 ซึ่งกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติ (Level of significance) ที่ระดับ .05 ($\alpha = .05$) และกำหนดขนาดอิทธิพล (Effect size) ที่ระดับ 0.78 (Pichardul & Limroongreungrat, 2016) จากการคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 15 คน เพื่อป้องกันการขาดหายไปของกลุ่มตัวอย่าง จึงได้เพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 20 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 18 คน ภายหลังการเก็บข้อมูลพบค่าผิดปกติจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 คน สรุปใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 16 คน

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้ารวมการวิจัย (Inclusion Criteria)

1. เป็นนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย มีอายุระหว่าง 18-25 ปี

2. นักกอล์ฟมีแถมต่อ 0 - 9 โดยการรับรองจากสมาคมนักกอล์ฟแห่งประเทศไทยและฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
3. เคยเข้าร่วมการแข่งขันระดับสมาคม ชมรม มหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า ที่มีการจัดการแข่งขันอย่างเป็นทางการอย่างน้อย 5 ครั้ง ภายในระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมา
4. นักกอล์ฟวงสวิงขวา
5. เป็นบุคคลที่มีสุขภาพดีไม่มีอาการของโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงและไม่มีปัญหาด้านการบาดเจ็บที่ส่งผลให้ไม่สามารถทำการสวิงกอล์ฟได้ตามปกติ
6. ในกรณีที่มีนักกีฬาที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมากกว่า 18 คน จะคัดเลือกตามสถิติผลการแข่งขันในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา 18 คนแรกที่มีผลการแข่งขันสูงสุด (มีแถมต่อในการแข่งขันน้อยที่สุด)
7. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย และลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (ภาคผนวก ก)

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย (Exclusion Criteria)

มีเหตุให้กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบตามรูปแบบที่กำหนด

เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย (Subject withdrawal criteria)

กลุ่มตัวอย่างเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุหรือมีอาการเจ็บป่วยกะทันหัน เป็นต้น

การพิทักษ์สิทธิของผู้เข้าร่วมวิจัย

การวิจัยนี้เมื่อผู้วิจัยทำการคัดกรองกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลที่ตอบกลับมาจากการติดต่อประชาสัมพันธ์จนเสร็จสิ้นแล้ว ผู้วิจัยจะพบผู้เข้าร่วมวิจัยและแนะนำตัว อธิบายวัตถุประสงค์และขั้นตอนในการทำวิจัย และชี้แจงให้ทราบว่า การเข้าร่วมในการวิจัยเป็นการเข้าร่วมโดยสมัครใจ การปฏิเสธหรือตอบรับครั้งนี้ จะไม่มีผลต่อผู้เข้าร่วมวิจัย และผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ ข้อมูลทุกอย่างของผู้เข้าร่วมงานวิจัยถือเป็นความลับผู้ช่วยวิจัยหรือบุคคลภายนอกจะไม่สามารถเข้าถึงได้และนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น โดยภาพและข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะถูกลบทำลายทั้งหมดหลังเสร็จสิ้นกระบวนการวิจัย การวิจัยนี้มีอาสาสมัครเข้าร่วมเป็นผู้ช่วยงานวิจัยจำนวน 3 ท่านซึ่งมีบทบาทหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. นายวรวรรณ บุษดี ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์การกีฬา หน้าที่ ดิทมาร์เกอร์

2. นายวุฒพล มาเพ็ง ปรินญาตรี วิทยาศาสตร์การกีฬา หน้าที่ เคลื่อนย้ายอุปกรณ์
3. นางสาวทัตพิชา พงษ์ศิริ ปรินญาโท วิทยาศาสตร์การกีฬา หน้าที่ ปฐมพยาบาล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว รุ่น โอคัส ควอลิซิส เอบี (Oqus Qualisys AB) ของบริษัท Qualisys Medical AB (Sweden) จำนวน 6 ตัว เป็น Infrared base จำนวน 5 ตัว และ Video base (กล้องสำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหว) จำนวน 1 ตัว ประเทศผู้ผลิตประเทศสวีเดน
2. เครื่องและโปรแกรมวิเคราะห์ Program: P3ProSwing Golf Simulator ยี่ห้อ P3 ProSwing ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องวัดบาลานซ์บอร์ด (Wii balance board) ของบริษัท นินเทนโด (Nintendo) จำนวน 2 เครื่อง รุ่น RVL021 ประเทศผู้ผลิตประเทศญี่ปุ่น
4. บอร์ดอนาฬิกาแบบ Single ended ของบริษัท Qualisys Medical AB (Sweden) รุ่น S/N8417 ประเทศผู้ผลิตประเทศสวีเดน
5. ชุดสายไฟส่งสัญญาณพื้นที่หน้าตัด 0.2 ตารางมิลลิเมตร (Multicores shielded 0.2 mm²) ยี่ห้อ Phelps dodge รุ่น 60227 IEC 53 ประเทศผู้ผลิตประเทศจีน
6. ตัวขยายสัญญาณแบบ (Instrumentation amplifier) บริษัท Texas instruments รุ่น INA125 ประเทศผู้ผลิตสหรัฐอเมริกา
7. พื้นลาดเอียงที่สามารถปรับมุมได้ 0 และ 10 องศา กับแนวราบ ตั้งทำพิเศษโดยช่างไม้ภายในประเทศ
8. เหล็กกอล์ฟ เบอร์ 7 เครื่องหมายการค้า TaylorMade ประเทศผู้ผลิตสหรัฐอเมริกา ติดมาร์กเกอร์ด้วยเทปบริเวณกลางไม้และคอหัวไม้
9. ลูกกอล์ฟ เครื่องหมายการค้า Titleist รุ่น ProV1x ประเทศผู้ผลิตสหรัฐอเมริกา
10. พื้นหญ้าเทียม ประเทศผู้ผลิตประเทศจีน
11. ตาข่ายดักลูก หน้ากว้าง 3 x 3 ฟุต ประเทศผู้ผลิตประเทศจีน
12. มาร์กเกอร์ (Retro reflective marker) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จำนวน 14 ตัว ยี่ห้อ Motion sports ประเทศผู้ผลิตประเทศจีน
13. เทป (Retro reflective tape) ยี่ห้อ Motion sports ประเทศผู้ผลิตประเทศจีน
14. แอลกอฮอล์และสำลี

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย

1.1 ศึกษาค้นคว้า ทฤษฎี บทความ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อมูลคุณลักษณะและวิธีการใช้ของเครื่องมือ พร้อมทั้งทดลองใช้ให้เกิดความชำนาญ

1.2 ทำการออกแบบและประดิษฐ์แท่นสวิงสำหรับการวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น ที่สามารถทำการสวิงได้ทั้งในแนวราบและความลาดเอียง 10 องศา โดยการประยุกต์ใช้เครื่องไวบาลานซ์บอร์ด (Wii balance board) ในการวัดค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้น

1.3 ทำการสอบเทียบและทดสอบมาตรฐานของแท่นสวิงโดยการเปรียบเทียบค่าแรงจากน้ำหนักทดสอบที่วัดได้ระหว่าง แผ่นวัดแรง (Force plate) รุ่น 400S (400 series performance force plate) ของบริษัท Fitness Technology ที่เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับการทดลองทางชีวกลศาสตร์ทั่วไป โดยค่าที่วัดได้จากแท่นสวิงต้องไม่ต่างจากค่าที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงเกิน $\pm 5\%$ (Bartlett, 2014) (ภาคผนวก ก)

1.4 นำเสนอโครงการวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาทางจริยธรรมต่อคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ กลุ่มสหสถาบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประชาสัมพันธ์ไปยังชมรมกีฬาออลส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อรับสมัครกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย โดยติดต่อทางโทรศัพท์ที่ประกอบด้วยส่งใบประชาสัมพันธ์สำหรับการตีพิมพ์ไปยังผู้ฝึกสอนหรือผู้ดูแลรับผิดชอบในการประชาสัมพันธ์และขอทราบขนาดเท้าและรอบเอวเพื่อจัดเตรียมกางเกงขาสั้นและรองเท้าสำหรับใส่เก็บข้อมูล จากนั้นผู้มีส่วนร่วมแต่ละคนต้องถูกคัดกรองโดยการตอบแบบสอบถาม ซึ่งใช้เวลา 5 นาที ณ ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยจะเป็นผู้คัดกรองด้วยตัวเอง

1.6 ผู้วิจัยทำการอธิบายชี้แจงจุดประสงค์งานวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติอย่างละเอียดต่อ ผู้ช่วยวิจัยและกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดลองจริง เพื่อให้รับทราบและเข้าใจถึงวัตถุประสงค์วิธีการปฏิบัติอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีการอธิบายถึงสิทธิในการยินยอม หรือปฏิเสธในการเข้าร่วมวิจัย ให้กลุ่มตัวอย่างรับทราบและเซ็นยินยอมเข้าร่วมวิจัย

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ติดตั้งแท่นสวิง ตาข่ายดักลูก เครื่องและโปรแกรมวิเคราะห์ P3ProSwing Golf Simulator และอุปกรณ์กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว จำนวน 6 ตัว ซึ่งแบ่งการใช้งานออกเป็น กล้อง Infrared base จำนวน 5 ตัว สำหรับบันทึกตำแหน่งมาร์กเกอร์ และ Video base จำนวน 1 ตัว สำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหว โดยจัดวางให้ครอบคลุมพื้นที่ในการวิเคราะห์ (ภาคผนวก ข) ข้อมูลตำแหน่งของมาร์กเกอร์ ภาพเคลื่อนไหวจากกล้องและสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดจาก เครื่อง WBB จะใช้โปรแกรม Qualisys ในการเริ่มต้นบันทึกข้อมูลพร้อมกัน เพื่อให้สามารถระบุ ข้อมูลที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูลได้ (Data synchronization) และใช้การจด บันทึกความเร็วหัวไม้จากโปรแกรมวิเคราะห์ P3ProSwing Golf Simulator

2.2 ทำการสอบเทียบ Calibration ความแม่นยำของกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (ภาคผนวก ค) ซึ่งปรับให้มีความถี่ในการบันทึกข้อมูล 300 เฮิร์ต และทำการสอบเทียบเครื่อง WBB (ภาคผนวก ก) ที่มีความถี่ในการบันทึกข้อมูล 3000 เฮิร์ต โดยจะทำการ Calibration ทุก ครั้งที่มีการเปิดอุปกรณ์ขึ้นใช้ใหม่

2.3 เก็บข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและดั้มต่อ ซึ่ง กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้กรอกข้อมูลเองในแบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (ภาคผนวก ง) พร้อม อธิบายขั้นตอนวัตถุประสงค์ของการทดลอง ใช้เวลา 10 นาที

2.4 กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการติดมาร์กเกอร์ (Retro reflective marker) ที่มีเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร โดยสวมเสื้อ กางเกงขาสั้นผ้าแนบเนื้อและรองเท้าผ้าใบที่ไม่มีลวดหรือวัสดุ สะท้อนแสง โดยผู้วิจัยจะจัดเตรียมไว้ให้ ซึ่งจะได้รับการทำความสะอาดโดยการซักทุกครั้งก่อน นำมาใช้ซ้ำ จากนั้นจะทำความสะอาดตำแหน่งที่ต้องการติดมาร์กเกอร์โดยการเช็ดด้วยสำลีชุบ แอลกอฮอล์ และทำการติดมาร์กเกอร์ที่ตำแหน่งข้อไหล่บริเวณปุ่มกระดูกหัวไหล่ทั้งด้านซ้ายและขวา (Tip of acromion process; ACM) ข้อสะโพกบริเวณปุ่มกระดูกเชิงกรานด้านหน้าทั้งด้านซ้ายและขวา (Anterior Superior iliac spine; ASIS) ข้อสะโพกบริเวณปุ่มกระดูกเชิงกรานด้านหลังทั้งด้านซ้ายและ ขวา (Posterior Superior iliac spine; PSIS) ปุ่มกระดูกโคนขาใหญ่ทั้งด้านซ้ายและขวา (Greater trochanter; GT) ปุ่มด้านนอกของกระดูกต้นขาทั้งด้านซ้ายและขวา (Lateral femoral epicondyles; LFE) กระดูกตาตุ่ม (Lateral malleolus; LM) และบริเวณข้อโคนนิ้วชี้เท้า (Dorsum of the foot at the 2nd metatarsophalangeal joint; DMJ) (ภาคผนวก จ) ซึ่งผู้ติดมาร์กเกอร์คือผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย โดยใช้ เวลาในการติดมาร์กเกอร์ประมาณ 20 นาที

2.5 กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของ ร่างกายเป็นเวลา 10 นาที (ภาคผนวก ฉ)

2.6 ทำการฝึกซ้อมสวิงกอล์ฟบนแท่นสวิงในทั้ง 3 รูปแบบขององศาพื้นที่ทดสอบ ระยะเวลาประมาณรูปแบบละ 5 นาที รวมเวลาทั้งสิ้น 15 นาที

2.7 กลุ่มตัวอย่างทำการจับฉลาก สุ่มลำดับเลือกพื้นที่ทดสอบ

2.8 กลุ่มตัวอย่างทำการสวิง 5 ครั้งที่สมบูรณ์ สำหรับแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย การสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนินทำมุมกับแนวราบ ± 10 องศา รวมทั้งสิ้น 15 ครั้ง ด้วยความพยายามตีลูกให้แรงและแม่นยำเสมือนการตีในสถานการณ์จริง ซึ่งการสวิงที่สมบูรณ์ หมายถึง มาร์กเกอร์ทุกตัวถูกบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยกล้องอย่างน้อยสามตัว โดยไม่มีมาร์กเกอร์ตัวใดหลุดจากตำแหน่งที่ติด และเป็นการสวิงที่มีช่วงเหตุการณ์ครบทั้ง 4 เหตุการณ์ (รูปที่ 23) อันได้แก่

2.8.1 ตำแหน่งจรดลูก (Address; AD)

2.8.2 ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing; TB)

2.8.3 ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (Mid-Downswing; MD)

2.8.4 ตำแหน่งไม้ปะทะลูก (Ball impact; BI)

โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยมีเวลาสำหรับการสวิงและพักแต่ละครั้ง 1 นาทีระหว่างพักสามารถซ้อมสวิงได้ และระหว่างการเปลี่ยนองศาของพื้นที่ทดสอบผู้เข้าร่วมการวิจัยจะมีเวลาพัก 5 นาที รวมเวลาสำหรับการเก็บข้อมูล 25 นาที ซึ่งรวมเป็นเวลาที่ใช้เข้ารับการทดสอบทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 20 นาที

3. ขั้นตอนการบันทึกข้อมูล

การวิจัยนี้จะมีการบันทึกข้อมูลจาก 4 แหล่งข้อมูล คือ ภาพเคลื่อนไหวจากกล้อง Video bas ตำแหน่งของ Retro reflective tape บนลูกกอล์ฟ และ Retro reflective marker บนไม้กอล์ฟและร่างกายของกลุ่มตัวอย่างจากกล้อง Infrared base สัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดจากเครื่อง WBB และความเร็วม้วนไม้จากโปรแกรมวิเคราะห์ P3ProSwing Golf Simulator โดยมีวิธีการบันทึกดังต่อไปนี้

3.1 บันทึกค่าความเร็วหัวไม้ (Club head speed; V) โดยวัดด้วยเครื่องและโปรแกรมวิเคราะห์ Program: P3ProSwing Golf Simulator

3.2 บันทึกค่าตำแหน่งของมาร์กเกอร์ของทั้ง 4 เหตุการณ์การสวิงที่อยู่บนร่างกายผู้เข้ารับการทดสอบ บนไม้กอล์ฟบริเวณกลางไม้และคอหัวไม้ รวมถึงความเร็วลูกกอล์ฟที่ถูกปะ Retro reflective tape ทั่วทั้งลูก (ภาคผนวก ข) ด้วยกล้อง Infrared base ด้วยความถี่ในการบันทึกข้อมูล 300 เฮิรท์ เพื่อนำมาหาค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System และ โปรแกรม Matlab R2019a ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้

- 3.3.1 มุมระหว่างแนวหัวไหล่กับแนวสะโพก (X-factor)
- 3.3.2 มุมสะโพกของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing hip flexion)
- 3.3.3 มุมหัวเข่าของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing knee flexion)
- 3.3.4 มุมข้อเท้าของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing ankle flexion)
- 3.3.5 ความเร็วการหมุนลำตัว (Trunk rotation velocity)
- 3.3.6 ความเร็วการหมุนสะโพก (Hip rotation velocity)

3.3 บันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้อง Video bas จำนวน 1 ตัว ที่มีความถี่ในการบันทึกข้อมูล 24 เฮิร์ต เพื่อนำภาพเคลื่อนไหวที่ได้มาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 บันทึกสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดจาก Load cell ในเครื่อง WBB ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System ในโหมดการบันทึกสัญญาณ Analog ด้วยความถี่ในการบันทึกข้อมูล 3000 เฮิร์ตเพื่อนำค่าสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้มาเทียบหาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยกราฟ Calibration of load cell ภายหลัง (การวิจัยนี้ใช้เครื่อง WBB จำนวน 2 เครื่อง สำหรับวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้นของเท้าซ้ายและขวา เครื่อง WBB ประกอบด้วย Load cell จำนวน 4 ตัว รวมช่องสัญญาณจาก Load cell ทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณ)

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 รวบรวมข้อมูลลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมงานวิจัย อันได้แก่ อายุ (ปี) น้ำหนัก (กิโลกรัม) ส่วนสูง (เซนติเมตร) และแต่้มต่อ

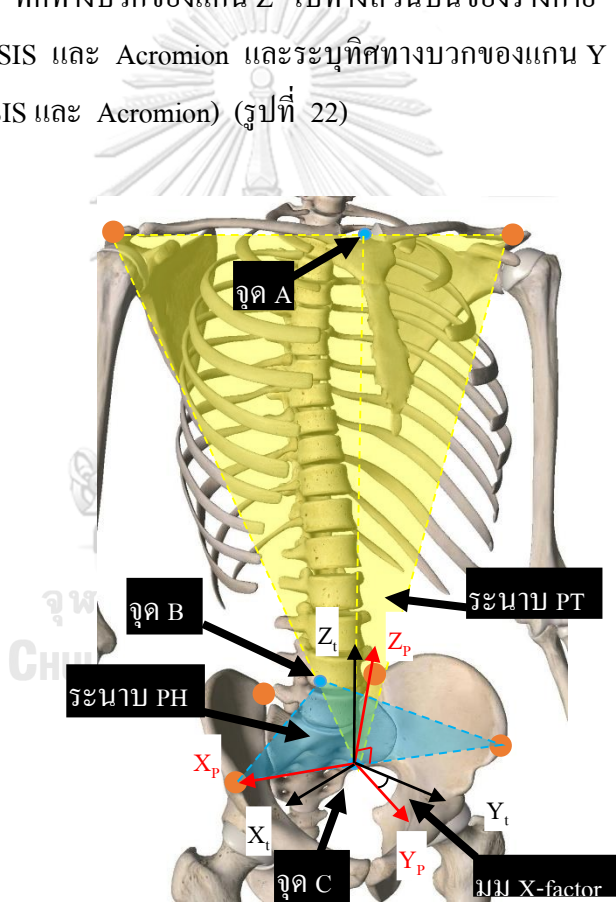
4.2 หาค่าความเร็วหัวไม้ (Club head speed; V) โดยวัดด้วยเครื่องและโปรแกรมวิเคราะห์ Program: P3ProSwing Golf Simulator

4.3 หาค่าระยะระหว่างเท้า (Stance width; L) จากระยะระหว่างมาร์กเกอร์ตำแหน่ง Dorsum of the foot at the 2nd metatarsophalangeal joint ของเท้าทั้งสองด้าน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการช่วยคำนวณค่า

4.4 คำนวณหาค่ามุมระหว่างหัวไหล่และสะโพก (X-factor; α) ของ 4 เหตุการณ์การสวิงโดยใช้วิธีวัดมุมระหว่าง SCS ด้วยหลักการหมุนแบบ Euler ในการหาค่ามุมระหว่าง SCS ของลำตัว และ SCS ของสะโพก (มีลำดับการหมุนเป็น X, Y, Z) ค่า X-factor จะเป็นค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ในการหมุนลำดับสุดท้าย โดยใช้ในการเขียนฟังก์ชันการคำนวณในโปรแกรม Matlab R2019a (ภาคผนวก ข) และมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

4.4.1 ระบุ SCS ส่วนสะโพก ระบุตำแหน่งจากมาร์กเกอร์ ASIS และ PSIS โดยมีจุดกำเนิด (Origin point) อยู่ตรงกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS (ดังรูปที่ 22) มีทิศทางจากทางด้านซ้ายไปขวา เป็นค่าบวกของแกน X มีทิศทางบวกของแกน Z ไปทางส่วนบนของร่างกาย ซึ่งตั้งฉากกับระนาบที่เกิดจากมาร์กเกอร์ ASIS และจุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ PSIS และระบุทิศทางบวกของแกน Y ได้จากการทำครอสโปรดักต์ (Cross product) ระหว่างแกน X และแกน Z (รูปที่ 22)

4.4.2 ระบุ SCS ส่วนลำตัว ระบุตำแหน่งจากมาร์กเกอร์ ASIS และ Acromion โดยมีจุดกำเนิดอยู่ตรงกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS ซ้ายและขวา (เป็นจุดเดียวกันกับ SCS ของสะโพก) (ดังรูปที่ 22) ทิศทางบวกของแกน Z ไปทางส่วนบนของร่างกาย ซึ่งอยู่บนแนวกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS และ Acromion และระบุทิศทางบวกของแกน Y ไปทางด้านหน้า โดยตั้งฉากกับระนาบ ASIS และ Acromion) (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 การระบุ SCS ของส่วนลำตัวและส่วนสะโพก และการระบุค่ามุม X-factor

จุด A คือ จุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ Acromion

จุด B คือ จุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ PSIS

จุด C คือ จุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS

ระนาบ PT คือ ระนาบที่เกิดจากมาร์กเกอร์ Acromion และจุดกึ่งกลางระหว่าง มาร์กเกอร์ ASIS

ระนาบ PH คือ ระนาบที่เกิดจากมาร์กเกอร์ ASIS และจุดกึ่งกลางระหว่างมาร์กเกอร์ PSIS

X_t, Y_t, Z_t คือ Components ของ SCS ส่วนลำตัว

X_h, Y_h, Z_h คือ Components ของ SCS ส่วนสะโพก

4.1.3 การคำนวณหาค่า X-factor

1) สร้าง Matrix ของ SCS ส่วนสะโพก (Matrix H_a) และ SCS ส่วนลำตัว (Matrix T_a) จาก Unit vector components X_h, Y_h, Z_h และ X_t, Y_t, Z_t ที่ได้จากวิธีการในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2

กำหนดให้ α เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง N เมื่อกำหนดให้ N คือจำนวนจุดข้อมูล (Frame index) ตั้งแต่ตำแหน่ง AD ถึง BI

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

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

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

3) จากสูตรของ Rotation matrix ที่มีลำดับการหมุนเป็น X, Y, Z (R_{xyz}) (ที่มาของสูตรหน้า 25) จะสามารถหาค่ามุมหมุนรอบแกน Z ที่ถูกกำหนดให้เป็นค่า X-factor (α) ด้วยสมการดังต่อไปนี้

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

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

$$X - \text{factor} = \alpha_a = \text{atan2}(r12, r11) \times 180/\pi$$

หมายเหตุ: atan2 ใช้ในกรณีที่ฟังก์ชัน arctan อาจมีค่าเป็นลบซึ่งอยู่ในช่วง $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ โดยจะสามารถอธิบายเงื่อนไขการหาค่าผลลัพธ์ด้วย atan2 ได้ (ดังรูปที่ 23)

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

รูปที่ 23 เงื่อนไขการหาค่าผลลัพธ์ด้วย atan2

4.5 หาค่าความเร็วการหมุนลำตัว (Trunk rotation velocity; T_v) และความเร็วการหมุนสะโพก (Hip rotation velocity; H_v) ของ 4 เหตุการณ์การสวิง ด้วยหลักการ SCS ที่เปลี่ยนหมุนไปตามเวลา โดยใช้การเขียนฟังก์ชันการคำนวณในโปรแกรม Matlab R2019a (ภาคผนวก ช) และมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

4.5.1 สร้าง Matrix ของ SCS ส่วนสะโพก (H_a) และ SCS ส่วนลำตัว (T_a) จาก Unit vector components X_h, Y_h, Z_h และ X_t, Y_t, Z_t ที่ได้จากวิธีการในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 ของทุกจุดข้อมูลตั้งแต่ตำแหน่ง AD ถึงตำแหน่ง BI

กำหนดให้ a เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง N เมื่อกำหนดให้ N คือจำนวนจุดข้อมูล (Frame index) ตั้งแต่ตำแหน่ง AD ถึง BI

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

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

4.5.2 หาค่ามุมของ SCS ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจุดข้อมูล ด้วยหลักการหมุนแบบ Euler (มีลำดับการหมุนเป็น X, Y, Z) และใช้ค่ามุมที่เกิดจากการหมุนรอบแกน Z ในการหมุนลำดับสุดท้าย โดยการเริ่มจากการหาค่าเมทริกซ์การหมุนส่วนลำตัว (TR_a) ส่วนสะโพก (PR_a) และคำนวณหาค่ามุมจากเมทริกซ์การหมุนดังกล่าวตามการดังต่อไปนี้

กำหนดให้ a เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง N เมื่อกำหนดให้ N คือจำนวนจุดข้อมูล (Frame index) ตั้งแต่ตำแหน่ง AD ถึง BI

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

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

$$\text{เมื่อ } TR_a = \begin{bmatrix} r11 & r12 & r13 \\ r21 & r22 & r23 \\ r31 & r32 & r33 \end{bmatrix} \quad HR_a = \begin{bmatrix} r11 & r12 & r13 \\ r21 & r22 & r23 \\ r31 & r32 & r33 \end{bmatrix}$$

$$T\delta_a = \text{atan2}(r12, r11) * 180/\pi$$

$$H\delta_a = \text{atan2}(r12, r11) * 180/\pi$$

เมื่อ $T\delta_a$ คือมุมของ SCS ลำตัวที่เปลี่ยนแปลงจากตำแหน่ง AD ไปยังแต่ละจุดข้อมูล

เมื่อ $H\delta_a$ คือมุมของ SCS สะโพกที่เปลี่ยนแปลงจากตำแหน่ง AD ไปยังแต่ละจุดข้อมูล

4.6.2 คำนวณความเร็วการหมุนลำตัว (T_v) และความเร็วการหมุนสะโพก (H_v) เมื่อความถี่ในการบันทึกข้อมูลเท่ากับ 300 เฮิรตซ์ จะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

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

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

4.6 หาค่ามุมสัดส่วนของร่างกาย ประกอบด้วย

1) มุมสะโพกของด้านเท้านำและเท้าตาม (Leading and trailing hip flexion) จากมาร์กเกอร์ตำแหน่ง Tip of acromion process, Greater trochanter และ Lateral femoral epicondyles

2) มุมหัวเข่าของด้านเท้านำและเท้าตาม (Leading and trailing knee flexion) จากมาร์กเกอร์ตำแหน่ง Greater trochanter, Lateral femoral epicondyles และ Lateral malleolus

3) มุมข้อเท้าของด้านเท้านำและเท้าตาม (Leading and trailing ankle flexion) จากมาร์กเกอร์ตำแหน่ง Lateral femoral epicondyles, Lateral malleolus, Dorsum of the foot at the 2nd metatarsophalangeal joint

โดยค่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการช่วยคำนวณหาค่า

4.7 คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาพื้นแนวตั้งของเท้านำและเท้าตาม (Leading and trailing foot vehicle ground reaction force) ด้วยวิธีการบันทึกค่าสัญญาณในรูปแบบของความต่างศักย์จาก Load cell แต่ละตัวในเครื่อง WBB ที่แสดงผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Qualisys Motion Capture System มาคำนวณค่าแรงจากสมการที่ได้จากการทำการสอบเทียบ (Calibration of Load cell) ค่าแรงที่ได้จาก Load cell 4 ตัว ในเครื่อง WBB แต่ละเครื่องจะถูกนำมาบวกกันเป็นค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งที่กระทำต่อเท้าข้างที่ยืนอยู่บนเครื่อง WBB เครื่องนั้น

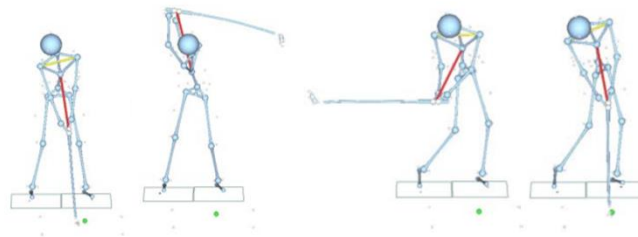
4.8 ระบุตำแหน่งของเหตุการณ์เพื่อนำค่าตัวแปรในเหตุการณ์นั้นๆ ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 23)

4.8.1 ตำแหน่งจรดลูก (Address; AD) ระบุโดยใช้ตำแหน่งมาร์กเกอร์บริเวณคอหัวไม้กอล์ฟเริ่มมีการเคลื่อนไหวในช่วง Backswing

4.8.2 ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing; TB) ระบุโดยใช้จุดกลับตัวของความเร็วจากลดลงเป็นเพิ่มขึ้นของความเร็วมาร์กเกอร์บริเวณคอหัวไม้กอล์ฟในช่วง Backswing ถึง Downswing

4.8.3 ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (Mid-Downswing; MD) ระบุโดยใช้แนวเส้นตรงระหว่างมาร์กเกอร์บริเวณคอหัวไม้กับกลางไม้ โดยเส้นตรงทำมุมวัดตามเข็มนาฬิกา 0 องศา กับแนวราบ (กรณีสวิงบนพื้นราบ) ทำมุม 10 องศา กับแนวราบ (กรณีสวิงขึ้นเนิน) ทำมุม -10 องศา กับแนวราบ (กรณีสวิงลงเนิน)

4.8.4 ตำแหน่งไม้ปะทะลูก (Ball impact; BI) ระบุโดยใช้ตำแหน่งลูกกอล์ฟเริ่มมีการเคลื่อนไหว



AD

TB

MD

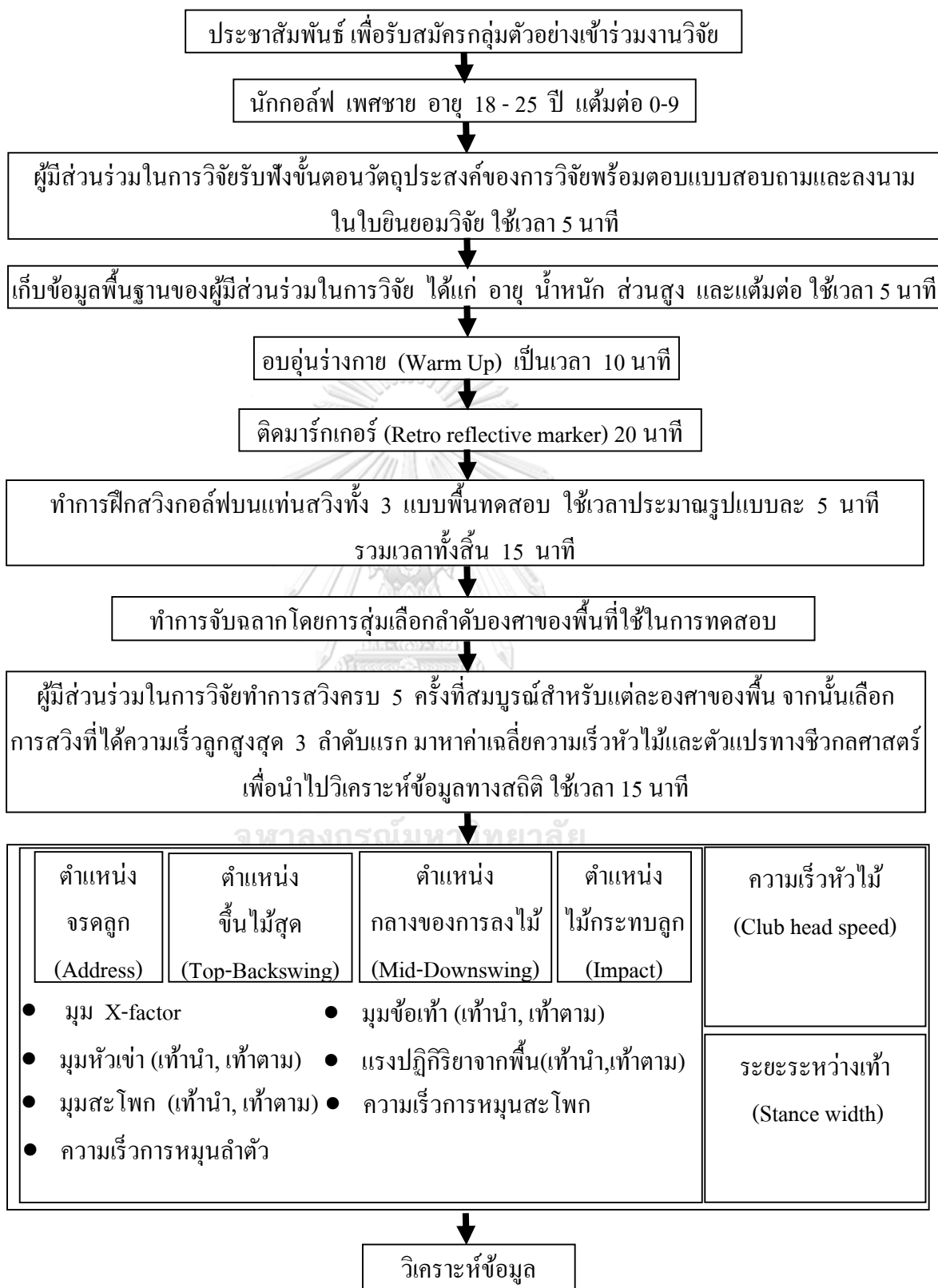
BI

รูปที่ 24 ตำแหน่งของการสวิงทั้ง 4 เหตุการณ์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 25 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เลือกการสวิงที่สามารถทำความเร็วหัวไม้ได้สูงสุด 3 ลำดับแรกจากการสวิงทั้งหมด 5 ครั้งในแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบ (Normal swing, Uphill swing และ Downhill swing) เพื่อนำข้อมูลความเร็วหัวไม้มาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ผู้เข้ารับการทดสอบแต่ละคนสามารถสวิงได้ในแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบ สำหรับนำไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2. นำค่าระยะระหว่างเท้าของการสวิงทั้ง 3 ครั้งของแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบ ที่เลือกในข้อ 1 มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความกว้างในการยืนสวิงของผู้เข้ารับการทดสอบแต่ละคน สำหรับนำไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3. นำข้อมูลการสวิง 3 ครั้งของแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบที่เลือกในข้อ 1 มาแบ่งเป็นเหตุการณ์ 4 เหตุการณ์ ตามหลักเกณฑ์การแบ่งเหตุการณ์ (ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลข้อ 4.5) โดยการระบุหลักเกณฑ์และวิธีคำนวณค่าที่ใช้ลงในโปรแกรม Matlab R2019a เพื่อนำค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ (X-factor มุมสะโพกของเท้านำและเท้าตาม มุมหัวเข่าของเท้านำและเท้าตาม มุมข้อเท้าของเท้านำและเท้าตาม ความเร็วการหมุนลำตัว ความเร็วการหมุนสะโพก และแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวดิ่งของเท้านำและเท้าตาม รวมทั้งหมด 11 ค่าต่อ 1 เหตุการณ์) ของแต่ละเหตุการณ์มาหาค่าเฉลี่ย สำหรับนำไปเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ

4. นำข้อมูลค่าเฉลี่ยตัวแปรที่ได้จากข้อ 1 2 และ 3 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 18 คน มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23 (Statistical Package for the Social Sciences) โดยวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

4.1 หาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและแถมต่อ (Handicap) และข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ ได้แก่ X-factor มุมสะโพกของเท้านำและเท้าตาม มุมหัวเข่าของเท้านำและเท้าตาม มุมข้อเท้าของเท้านำและเท้าตาม ความเร็วการหมุนลำตัว ความเร็วการหมุนสะโพก และแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวดิ่งของเท้านำและเท้าตาม ระยะระหว่างเท้าและความเร็วหัวไม้

4.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้การทดสอบของโคโมโกรอฟ - สเมอรนอฟ (Kolmogorov - Smirnov Test) ซึ่งกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.2.1 กรณีข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ วิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One - way repeated measure ANOVA) และใช้การปรับค่าช่วงความเชื่อมั่นของ บอนเฟอโรน (Bonferroni analysis post hoc) เพื่อเปรียบเทียบรายคู่

ระหว่างตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการสวิงบนพื้น 3 รูปแบบในแต่ละเหตุการณ์ โดยกำหนดระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 ซึ่งประกอบด้วย (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างพื้นที่ทดสอบ

		Flat(F) (SD)	Up hill (SD)	Down hill (SD)	ANOVA	Mean difference		
						p-value		
						F vs. U	F vs. D	U vs. D
11 Variables ↓	AD							
	TB							
	MD							
	BI							

Note: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ANOVA ระบุโดย *($p < 0.05$)



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์และแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเร็วหัวไม้ขณะทำการสวิงบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่ทำมุมกับพื้นราบ ± 10 องศา ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นนักกอล์ฟมือสมัครเล่นจำนวน 18 คน ตัดออก 2 คน เนื่องจากมีน้ำหนักและส่วนสูงที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยอย่างมาก รวมใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 16 คน การวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลและดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำเสนอในรูปแบบของตารางประกอบความเรียงและแผนภูมิกราฟ ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมงานวิจัย
2. ผลการเปรียบเทียบความเร็วหัวไม้ ระยะระหว่างเท้า
3. ผลการเปรียบเทียบมุมระหว่างแนวหัวไม้หลักกับแนวสะโพก (X-factor)
4. ผลการเปรียบเทียบความเร็วการหมุนลำตัวและความเร็วการหมุนสะโพก
5. ผลการเปรียบเทียบมุมสะโพก มุมหัวเข้าและมุมข้อเท้า
6. ผลการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง

ลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean \pm SD) ของอายุ (Age) น้ำหนัก (Weight) ส่วนสูง (Height) และแถมต่อของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 16 คน

กลุ่มตัวอย่าง (N = 16)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อายุ (ปี)	21.4 \pm 2.4
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	80.36 \pm 10.95
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	177.69 \pm 4.66
แถมต่อ	3.6 \pm 1.6

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นนักกีฬาออลิंपส์สมัครเล่นเพศชาย จำนวน 16 คน อายุเฉลี่ย 21.4 ± 2.4 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 80.36 ± 10.95 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 177.69 ± 4.66 เซนติเมตรและแต้มต่อเฉลี่ย 3.6 ± 1.6

ผลการเปรียบเทียบความเร็วหัวไม้ ระยะระหว่างเท้า

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของความเร็วหัวไม้ที่ได้จากการสวิงและระยะระหว่างเท้าระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การแบบสวิงขึ้นเนินและลงเนิน

	Flat (F) (SD)	Up-hill (U) (SD)	Down-hill (D) (SD)	ANOVA F statistic p-value	Mean difference		
					F vs. U	F vs. D	U vs. D
ระยะ ระหว่างเท้า (cm)	47.37 ± 2.33	52.38 ± 5.39	53.47 ± 5.51	15.11 <0.001 ^a	-5.01*	-6.11*	-1.09
ความเร็วหัวไม้ (mph)	85.68 ± 3.80	82.10 ± 4.88	84.38 ± 4.76	21.77 <0.001	3.58*	1.31	-2.27*

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย *($p < 0.05$) ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย ^a

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ระยะระหว่างเท้า ของการสวิงบนพื้นราบมีค่า 47.37 ± 2.33 เซนติเมตร (26.66 เปอร์เซ็นต์ของความสูง) การสวิงขึ้นเนินมีค่า 52.38 ± 3.91 เซนติเมตร (29.48 เปอร์เซ็นต์ของความสูง) และการสวิงลงเนินมีค่า 53.47 ± 5.51 เซนติเมตร (30.09 เปอร์เซ็นต์ของความสูง) จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ ระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบขึ้นเนินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 5.01 เซนติเมตร ($p = 0.008$) คิดเป็น 10.58 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบลงเนินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 6.11 เซนติเมตร ($p < 0.001$) คิดเป็น 12.90 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ และระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.775$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วหัวไม้ของการสวิงบนพื้นราบมีค่า 85.67 ± 3.80 ไมล์ต่อชั่วโมง การสวิงขึ้นเนินมีค่า 82.10 ± 4.88 ไมล์ต่อชั่วโมง และการสวิงลงเนินมีค่า 84.38 ± 4.76 ไมล์ต่อชั่วโมง จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ ความเร็วหัวไม้การสวิงแบบขึ้น

เนินลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 3.58 ไมล์ต่อชั่วโมง ($p < 0.001$) คิดเป็น 4.18 เปอร์เซ็นต์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ความเร็วหัวไม้การสวิงแบบลงเนินไม่แตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.11$) และความเร็วหัวไม้การสวิงแบบขึ้นเนินน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 2.27 ไมล์ต่อชั่วโมง ($p = 0.005$) คิดเป็น 2.65 เปอร์เซ็นต์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ

ผลการเปรียบเทียบมุมระหว่างแนวหัวไม้กับแนวสะโพก (X-factor)

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ X-factor ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

		Flat	Up-hill	Down-hill	ANOVA	Mean difference		
		(F)	(U)	(D)	F statistic	p-value		
		(SD)	(SD)	(SD)	p-value	F vs. U	F vs. D	U vs. D
X-factor (องศา)	AD	-6.00 ±6.08	-2.15 ±5.46	-9.56 ±4.76	85.57 <0.001	-3.85* <0.001	3.55* <0.001	7.41* <0.001
	TB	46.48 ±11.70	47.72 ±11.44	45.75 ±11.59	6.75 0.010 ^a	-1.25 0.186	0.72 0.810	1.97* <0.001
	MD	38.73 ±7.37	36.58 ±6.64	38.06 ±7.76	8.86 =0.001	2.16* 0.001	0.68 0.66	-1.48 0.061
	BI	30.93 ±5.89	29.80 ±5.23	30.57 ±6.29	1.59 0.220	1.13 0.253	0.36 1.000	0.77 1.000

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย * ($p < 0.05$) ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย ^a

ค่ามุมติดลบแสดงการบิดแนวหัวไม้ในทิศตามเข็มนาฬิกา (Back swing)

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

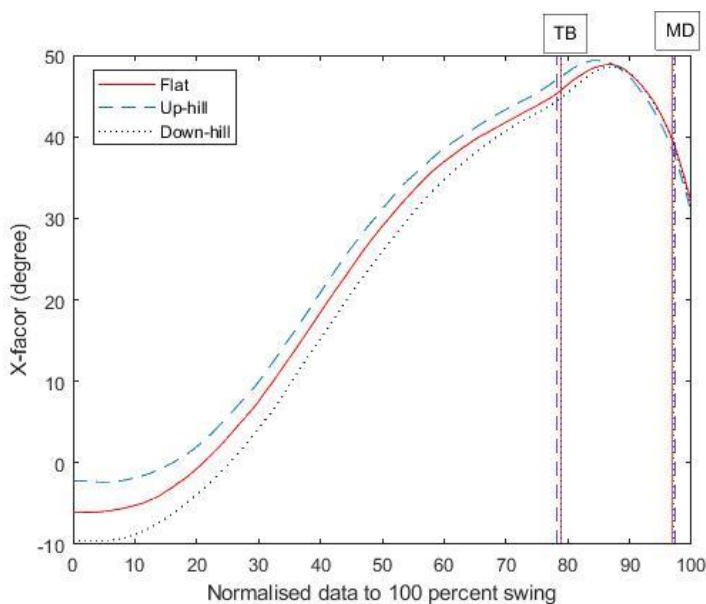
จากตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ X-factor ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า -6.00 ± 6.08 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า -2.15 ± 5.46 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า -9.56 ± 4.76 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงบนพื้นราบค่า X-factor

แสดงการบิดลำตัวไปทาง Back swing น้อยกว่าการสวิงแบบขึ้นเนินอย่างมีนัยสำคัญ 3.85 องศา ($p < 0.001$) แต่มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 3.55 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่า X-factor แสดงการบิดลำตัวไปทิศทาง Back swing น้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 7.41 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า X-factor ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 46.48 ± 11.70 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 47.72 ± 11.44 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 45.75 ± 11.59 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.010$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงบนพื้นราบค่า X-factor ไม่แตกต่างจากการสวิงแบบขึ้นเนินอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.186$) และไม่แตกต่างจากการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.810$) และการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่า X-factor แสดงการบิดลำตัวไปทิศทาง Back swing มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 1.97 องศา ($p < 0.001$) คิดเป็น 4.24 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า X-factor ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 38.73 ± 7.37 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 36.58 ± 6.64 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 38.06 ± 6.29 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงบนพื้นราบมีค่า X-factor แสดงการบิดลำตัวไปทิศทาง Back swing มากกว่าการสวิงแบบขึ้นเนินอย่างมีนัยสำคัญ 2.16 องศา ($p = 0.001$) คิดเป็น 5.58 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงบนพื้นราบมีค่า X-factor ไม่แตกต่างจากการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.657$) และการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่า X-factor ไม่แตกต่างจากการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.061$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า X-factor ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 30.93 ± 5.89 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 29.80 ± 5.23 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 30.57 ± 6.29 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.220$)



รูปที่ 26 กราฟค่าเฉลี่ย X-factor ของการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ

จากรูปที่ 25 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยของมุม X-factor หรือ มุมระหว่างแนวหัวไหล่กับแนวสะโพกที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ ซึ่งทำการปรับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกัน (Normalization data) คือ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของการสวิง โดยที่ตำแหน่ง 0 คือตำแหน่ง AD และ 100 คือตำแหน่ง BI จากกราฟค่าเฉลี่ยตำแหน่ง TB ของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินจะอยู่ที่ 78.94 78.18 และ 78.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง MD จะอยู่ที่ 96.98 97.35 และ 97.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบความเร็วการหมุนลำตัวและความเร็วการหมุนสะโพก

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ ความเร็วการหมุนลำตัวและความเร็วการหมุนสะโพก ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

	(F) Flat (SD)	(U)	(D)	ANOVA F statistic p-value	Mean difference			
		Up- hill (SD)	Down-hill (SD)		p-value			
					F vs. U	F vs. D	U vs. D	
ความเร็วการ หมุนลำตัว (องศา/วินาที)		15.04	10.82	14.07	1.07	4.22	0.97	3.25
	TB	±28.52	±19.56	±26.10	0.356	0.612	1.000	0.883
		636.57	618.68	637.51	3.91	17.89*	0.94	18.82*
	MD	±84.40	±80.41	±95.04	0.042 ^a	0.005	0.912	0.044
ความเร็วการ หมุนสะโพก (องศา/วินาที)		578.88	564.99	571.37	3.81	13.89*	7.51	6.38
	BI	±95.40	±90.82	±98.25	0.040 ^a	0.004	0.208	0.240
		71.79	67.37	69.84	0.26	4.42	1.94	-2.48
	TB	±37.96	±29.80	±35.57	0.747 ^a	1.000	1.000	1.000
ความเร็วการ หมุนสะโพก (องศา/วินาที)		473.15	443.71	461.44	11.01	29.44*	11.71	-17.73*
	MD	±76.92	±67.61	±88.38	0.002 ^a	<0.001	0.091	0.039
		323.04	322.89	316.08	0.543	4.13	6.98	6.81
	BI	±78.43	±76.28	±81.79	0.519 ^a	1.000	1.000	1.000

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย * ($p < 0.05$) ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย ^a

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

จากตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วการหมุนลำตัว ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 15.04 ± 28.52 องศาต่อวินาที การสวิงขึ้นเนินมีค่า 10.82 ± 19.56 องศาต่อวินาทีและการสวิงลงเนินมีค่า 14.07 ± 26.10 องศาต่อวินาที จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.356$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วการหมุนลำตัว ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 636.57 ± 84.40 องศาต่อวินาที การสวิงขึ้นเนินมีค่า 618.68 ± 80.41 องศาต่อวินาทีและการสวิงลงเนินมีค่า 637.51 ± 95.04 องศาต่อวินาทีจากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.042$) โดยมีผล

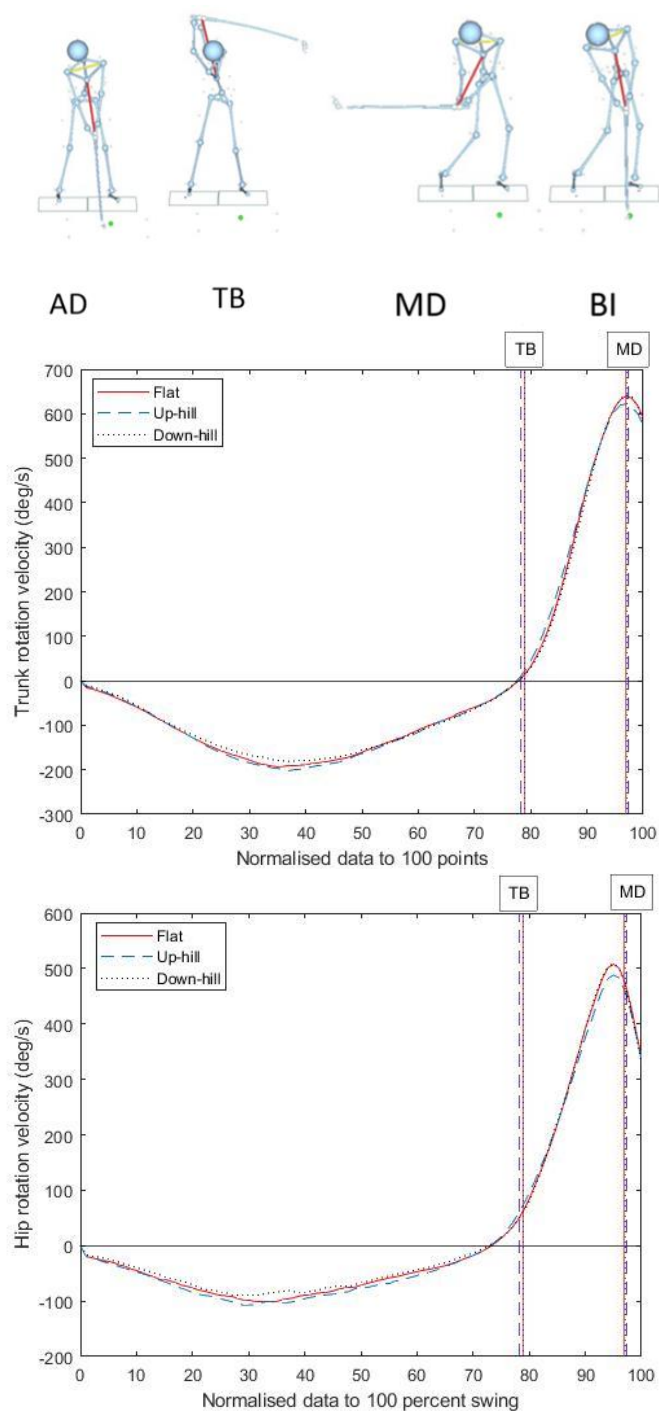
การเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน ความเร็วการหมุนลำตัว ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 17.89 องศาต่อวินาที ($p=0.005$) คิดเป็น 2.81 เปอร์เซ็นต์ของการสวิตช์บนพื้นราบ การสวิตช์แบบลงเนิน ความเร็วการหมุนลำตัว ไม่แตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.912$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน ความเร็วการหมุนลำตัวน้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 18.82 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p=0.044$) คิดเป็น 2.96 เปอร์เซ็นต์ของการสวิตช์บนพื้นราบ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วการหมุนลำตัว ตำแหน่งไม้ปะทะลูก (BI) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 578.88 ± 95.40 องศาต่อวินาที การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 564.99 ± 90.82 องศาต่อวินาทีและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 571.37 ± 98.25 องศาต่อวินาที จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.040$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน ความเร็วการหมุนลำตัว ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 13.89 องศาต่อวินาที ($p=0.004$) คิดเป็น 2.40 เปอร์เซ็นต์ของการสวิตช์บนพื้นราบ การสวิตช์แบบลงเนิน ความเร็วการหมุนลำตัว ไม่แตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.208$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน ความเร็วการหมุนลำตัว ไม่แตกต่างจากการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.240$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วการหมุนสะโพก ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 71.79 ± 37.96 องศาต่อวินาที การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 67.37 ± 29.80 องศาต่อวินาทีและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 69.84 ± 35.57 องศาต่อวินาที จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.747$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วการหมุนสะโพก ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 473.15 ± 76.92 องศาต่อวินาที การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 443.71 ± 76.92 องศาต่อวินาทีและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 461.44 ± 88.38 องศาต่อวินาทีจากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.002$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน ความเร็วการหมุนสะโพก ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 29.44 องศาต่อวินาที ($p<0.001$) คิดเป็น 6.22 เปอร์เซ็นต์ของการสวิตช์บนพื้นราบ การสวิตช์แบบลงเนิน ความเร็วการหมุนสะโพก ไม่แตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.091$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน ความเร็วการหมุนสะโพกน้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 17.73 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p=0.039$) คิดเป็น 3.75 เปอร์เซ็นต์ของการสวิตช์บนพื้นราบ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความเร็วการหมุนสะโพก ตำแหน่งไม้ปะทะลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 323.04 ± 78.43 องศาต่อวินาที การสวิงขึ้นเนินมีค่า 322.89 ± 76.28 องศาต่อวินาทีและการสวิงลงเนินมีค่า 316.08 ± 81.79 องศาต่อวินาที จากการเปรียบเทียบระหว่าง ทั้ง 3 การทดสอบไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.519$)



รูปที่ 27 กราฟค่าเฉลี่ย ความเร็วการหมุนลำตัวและสะโพก ของการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ

จากรูปที่ 26 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยของ ความเร็วการหมุนลำตัวและความเร็วการหมุนสะโพก ที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการสวิงบนพื้นทั้ง 3 การทดสอบ ซึ่งจัดทำกรปรับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันคือ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของการสวิง โดยที่ตำแหน่ง 0 คือตำแหน่ง AD และ 100 คือตำแหน่ง BI จากกราฟค่าเฉลี่ยตำแหน่ง TB ของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบ ขึ้นเนินและลงเนินจะอยู่ที่ 78.94 78.18 และ 78.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง MD จะอยู่ที่ 96.98 97.35 และ 97.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าตลอดทั้งช่วงการเคลื่อนไหวของทั้ง 3 การทดสอบจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าความเร็วการหมุนลำตัวและสะโพกสูงสุดที่ตำแหน่ง MD จนถึงตำแหน่ง BI ของการสวิงแบบขึ้นเนินจะมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่าทั้ง 3 การทดสอบ ความเร็วการหมุนลำตัวมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเร็วการหมุนเพิ่มขึ้นในทางลบ ซึ่งแสดงทิศทางการหมุนในช่วงขึ้นไม้และลดลงจนเท่ากับ 0 ก่อนมีการกลับตัวของทิศทางการหมุนเป็นช่วงลงไม้ จากนั้นความเร็วการหมุนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุดใกล้ตำแหน่ง MD และลดลงเล็กน้อยที่ตำแหน่ง BI

ผลการเปรียบเทียบมุมสะโพก มุมหัวเข้าและมุมข้อเท้า

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ มุมสะโพก ด้านเท่านั้นและเท้าตาม ระหว่าง การสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

		Flat	Up-hill	Down-hill	ANOVA	Mean difference		
		(F)	(U)	(D)	F statistic	p-value		
		(SD)	(SD)	(SD)	p-value	F vs. U	F vs. D	U vs. D
มุม สะโพก		136.16	129.26	137.50	87.64	7.12*	-1.55	-8.66*
	AD	±5.91	±5.75	±6.89	<0.001	<0.001	0.221	<0.001
	TB	±6.78	±6.50	±5.68	<0.001	<0.001	1.000	<0.001
เท้าหน้า (องศา)		117.34	115.27	118.48	21.88	2.06*	-1.14	-3.21*
	MD	±4.28	±3.98	±4.33	<0.001	<0.001	0.189	<0.001
	BI	±4.52	±3.98	±5.27	<0.001 ^a	<0.001	1.000	<0.001
มุม สะโพก		130.12	133.21	123.78	114.98	-3.09*	6.33*	9.42*
	AD	±6.01	±5.48	±5.34	<0.001	0.002	<0.001	<0.001
	TB	±4.54	±5.89	±5.44	<0.001	0.008	<0.001	<0.001
เท้าตาม (องศา)		142.84	143.54	141.74	4.50	-0.70	1.10	1.80*
	MD	±4.52	±4.84	±5.29	0.025 ^a	0.170	0.093	0.021
	BI	±4.78	±5.14	±5.09	0.013 ^a	0.003	1.000	0.050

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย *($p < 0.05$) ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย^a

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

จากตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมสะโพกด้านเท่านั้น ตำแหน่งจรด ลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 136.16 ± 5.91 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 129.26 ± 5.75 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 137.50 ± 6.89 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน

มุมสะโพกด้านเท่านั้น ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 7.12 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบ มุมสะโพกด้านเท่านั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.221$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น น้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 8.66 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมสะโพกด้านเท่านั้น ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 129.94 ± 6.78 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 125.59 ± 6.50 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 129.70 ± 5.68 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 4.35 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบ มุมสะโพกด้านเท่านั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 1.000$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น น้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 4.11 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมสะโพกด้านเท่านั้น ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 117.34 ± 4.28 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 115.27 ± 3.97 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 118.48 ± 4.33 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 2.061 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น ไม่แตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.189$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น น้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 3.21 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมสะโพกด้านเท่านั้น ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 125.23 ± 4.52 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 122.28 ± 3.98 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 125.41 ± 5.27 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท่านั้น ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 2.96 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบ มุมสะโพกด้านเท่านั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p=1.000$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนิน อย่างมีนัยสำคัญ 3.12 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมสะโพกด้านเท้าตาม ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 130.12 ± 6.01 องศา การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 133.21 ± 5.48 องศา และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 123.78 ± 5.35 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 3.09 องศา ($p=0.002$) การสวิตช์แบบลงเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 6.33 องศา ($p<0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม มากกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 9.42 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมสะโพกด้านเท้าตาม ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 134.54 ± 4.54 องศา การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 136.19 ± 5.89 องศา และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 130.47 ± 5.44 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 1.64 องศา ($p=0.008$) การสวิตช์แบบลงเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 4.08 องศา ($p<0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม มากกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 5.72 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมสะโพกด้านเท้าตาม ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 142.84 ± 4.52 องศา การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 143.55 ± 4.84 องศา และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 141.74 ± 5.29 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.025$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม ไม่แตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.170$) การสวิตช์แบบลงเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม ไม่แตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.093$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม มากกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 1.8 องศา ($p=0.021$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมสะโพกด้านเท้าตาม ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 140.35 ± 4.78 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 141.77 ± 5.14 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 140.03 ± 5.09 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.013$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 1.42 องศา ($p=0.003$) การสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบ มุมสะโพกด้านเท้าตาม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=1.000$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมสะโพกด้านเท้าตามมีค่าน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 1.74 องศา ($p=0.050$)



ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ มุมหัวเข้า ระหว่างการสวิงบนพื้นราบด้านเท่านั้น และเท้าตาม ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

		Flat	Up-hill	Down-hill	ANOVA	Mean difference		
		(F)	(U)	(D)	F statistic	p-value		
		(SD)	(SD)	(SD)	p-value	F vs.U	F vs. D	U vs. D
มุมหัวเข้า เท่านั้น (องศา)		164.67	154.50	164.81	133.44	10.17*	-0.14	-10.31*
	AD	±4.90	±5.19	±6.38	<0.001 ^a	<0.001	1.000	<0.001
	TB	±7.63	±7.27	±7.93	<0.001 ^a	<0.001	0.137	<0.001
	MD	±3.91	±5.73	±4.55	<0.001	<0.001	1.00	<0.001
มุมหัวเข้า เท้าตาม (องศา)		166.58	153.63	166.33	147.91	12.95*	0.26	-12.69*
	AD	±3.91	±6.24	±3.80	<0.001 ^a	<0.001	1.000	<0.001
	TB	±4.50	±6.35	±6.80	<0.001	0.014	<0.001	<0.001
	MD	±8.54	±9.27	±7.44	<0.001 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
มุมหัวเข้า เท้าตาม (องศา)		159.44	161.80	149.99	130.22	-2.36*	9.45*	11.81*
	AD	±4.50	±6.35	±6.80	<0.001	0.014	<0.001	<0.001
	TB	±5.65	±6.90	±7.10	<0.001 ^a	0.800	<0.001	<0.001
	MD	±8.54	±9.27	±7.44	<0.001 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
มุมหัวเข้า เท้าตาม (องศา)		151.30	157.15	143.22	77.90	-5.86*	8.07*	13.93*
	BI	±9.91	±9.85	±7.10	<0.001 ^a	<0.001	0.005	<0.001

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย *($p < 0.05$), ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย ^a

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

จากตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมหัวเข้าเท่านั้นตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 164.67 ± 4.90 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 154.50 ± 5.19 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 164.81 ± 6.38 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 10.17 องศา ($p < 0.001$) การสวิง

แบบลงเนินและการสวิตช์บนพื้นราบมุมหัวเข้าเท่านั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=1.000$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 10.31 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมหัวเข้าเท่านั้น ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 145.37 ± 7.63 องศา การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 136.42 ± 7.27 องศา และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 147.18 ± 7.93 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 8.95 องศา ($p<0.001$) การสวิตช์แบบลงเนินและการสวิตช์บนพื้นราบ มุมหัวเข้าเท่านั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.137$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 10.76 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมหัวเข้าเท่านั้นตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 159.92 ± 3.91 องศา การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 148.83 ± 5.73 องศา และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 160.39 ± 4.55 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 11.089 องศา ($p<0.001$) การสวิตช์แบบลงเนินมุมหัวเข้าด้านเท่านั้นไม่แตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=1.000$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนินมุมหัวเข้าเท่านั้นน้อยกว่าการสวิตช์ลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 11.56 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมหัวเข้าเท่านั้นตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 166.58 ± 3.91 องศา การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 153.63 ± 6.24 องศา และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 166.33 ± 3.80 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 12.95 องศา ($p<0.001$) การสวิตช์แบบลงเนินและการสวิตช์บนพื้นราบ มุมหัวเข้าเท่านั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=1.000$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท่านั้น น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 12.69 องศา ($p<0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมหัวเข้าเท้าตาม ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 159.44 ± 4.50 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 161.80 ± 6.35 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 149.99 ± 6.80 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 2.36 องศา ($p = 0.014$) การสวิงแบบลงเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 9.45 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงขึ้นเนินมุมหัวเข้าเท้าตามมากกว่าการสวิงลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 11.81 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมหัวเข้าเท้าตาม ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 157.18 ± 4.50 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 161.80 ± 6.35 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 148.26 ± 7.10 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงบนพื้นราบและการสวิงแบบขึ้นเนินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.800$) การสวิงแบบลงเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 8.92 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 9.78 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมหัวเข้าเท้าตาม ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 151.30 ± 8.54 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 157.15 ± 9.27 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 143.22 ± 7.44 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 5.86 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 8.07 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 13.93 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมหัวเข้าเท้าตาม ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 154.48 ± 9.91 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 161.04 ± 9.85 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 148.34 ± 7.10 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุม

หัวเข้าเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 6.56 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 6.14 องศา ($p = 0.005$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมหัวเข้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 12.70 องศา ($p < 0.001$)

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ มุมข้อเท้า ระหว่างการสวิงบนพื้นราบด้านเท้าหน้าและเท้าตาม ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

		Flat	Up-hill	Down-hill	ANOVA	Mean difference		
		(F)	(U)	(D)	F statistic	p-value		
		(SD)	(SD)	(SD)	p-value	F vs. U	F vs. D	U vs. D
มุมข้อเท้า เท้าหน้า (องศา)		98.29	93.72	99.44	130.50	4.57*	-1.16*	-5.73*
	AD	±2.08	±1.80	±1.96	<0.001 ^a	<0.001	0.003	<0.001
		81.85	77.71	84.83	124.21	4.14*	-2.98*	-7.12*
	TB	±3.38	±3.74	±3.17	<0.001 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
		98.60	91.40	101.76	227.52	7.20*	-3.16*	-10.36*
	MD	±2.71	±2.67	±2.94	<0.001 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
มุมข้อเท้า เท้าตาม (องศา)		101.71	92.81	103.75	140.57	8.90*	-2.04*	-10.94*
	BI	±4.08	±2.80	±4.04	<0.001 ^a	<0.001	0.01	<0.001
		96.37	96.45	93.20	28.82	-0.078	3.17*	3.25*
	AD	1.91	2.98	3.47	<0.001	1.000	<0.001	<0.001
		100.66	100.92	96.82	81.53	-0.25	3.84*	4.09*
	TB	±2.63	±2.71	±3.03	<0.001	1.000	<0.001	<0.001
มุมข้อเท้า เท้าตาม (องศา)		95.89	97.63	88.75	37.41	-1.74	7.15*	8.88*
	MD	±6.81	±7.41	±6.14	<0.001 ^a	0.641	<0.001	<0.001
		99.56	101.16	95.05	7.75	-1.60	4.51*	6.11*
BI	±7.85	±9.21	±9.26	0.006 ^a	1.000	0.002	0.024	

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย * ($p < 0.05$), ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย ^a

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

จากตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าหน้า ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 98.29 ± 2.08 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 93.72 ± 1.80 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 99.44 ± 1.96 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 4.57 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 1.16 องศา ($p = 0.003$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 5.73 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าหน้า ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 81.85 ± 3.38 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 77.71 ± 3.73 องศา และการสวิงลงเนินมีค่า 84.83 ± 3.17 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 4.41 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 2.98 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 7.12 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าหน้า ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 98.60 ± 2.71 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 91.40 ± 2.67 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 101.76 ± 2.94 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 7.20 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 3.16 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงขึ้นเนินมุมข้อเท้าเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิงลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 10.359 องศา ($p < 0.001$)

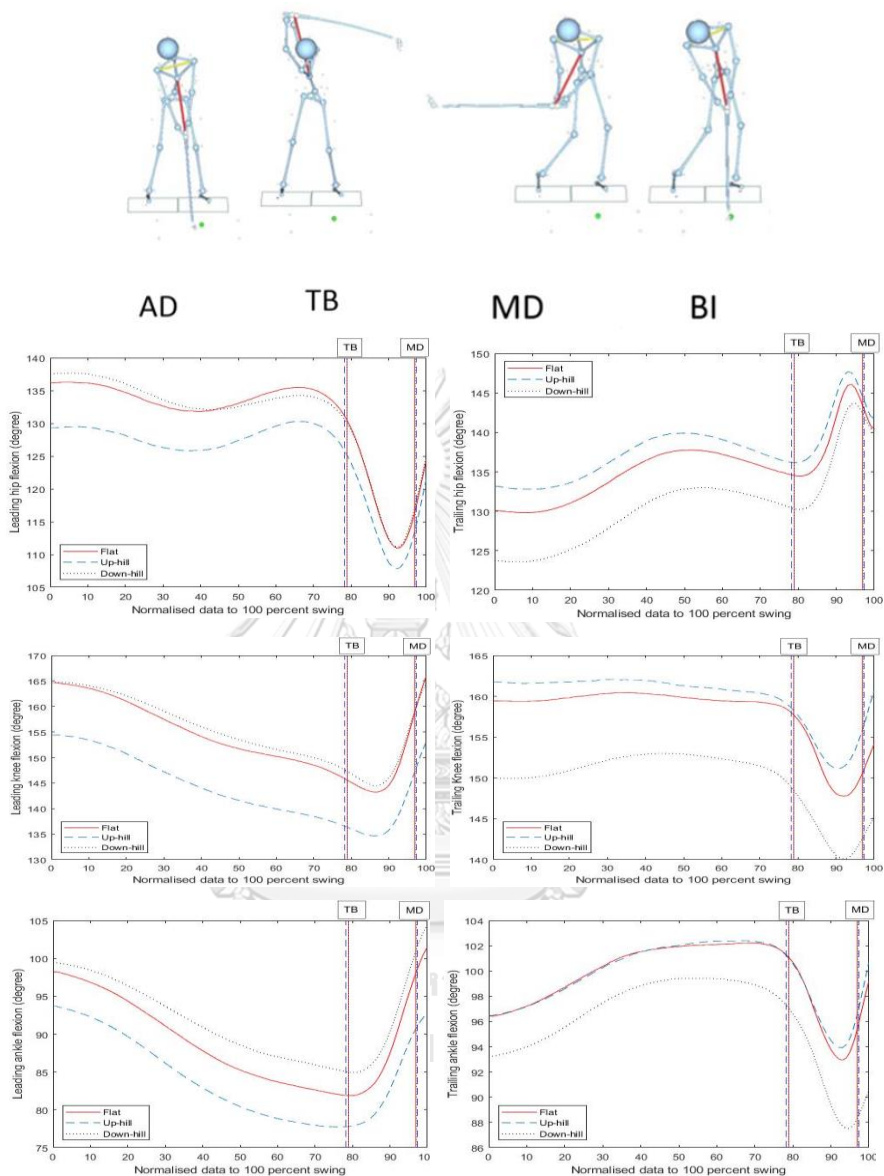
ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าหน้า ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 101.71 ± 4.08 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 92.81 ± 2.80 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 103.75 ± 4.04 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 8.90 องศา ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 2.04 องศา ($p = 0.010$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิงลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 10.94 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าตาม ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 96.37 ± 1.91 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 96.45 ± 2.98 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 93.20 ± 3.47 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการสวิงบนพื้นราบ ($p = 1.000$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 3.17 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 3.25 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าตาม ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 100.66 ± 2.63 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 100.92 ± 2.71 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 96.82 ± 3.03 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการสวิงบนพื้นราบ ($p = 1.000$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 3.84 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 4.09 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าตาม ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 95.89 ± 6.81 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 97.63 ± 7.41 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 88.75 ± 6.14 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการสวิงบนพื้นราบ ($p = 0.641$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 7.15 องศา ($p < 0.001$) และการสวิงขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 8.88 องศา ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ มุมข้อเท้าเท้าตาม ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 99.56 ± 7.85 องศา การสวิงขึ้นเนินมีค่า 101.16 ± 9.21 องศาและการสวิงลงเนินมีค่า 95.05 ± 9.26 องศา จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.006$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการสวิงบนพื้นราบ ($p = 1.000$) การสวิงแบบลงเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 4.51 องศา ($p = 0.002$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน มุมข้อเท้าเท้าตาม มากกว่าการสวิงลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 6.11 องศา ($p = 0.024$)



รูปที่ 28 กราฟค่าเฉลี่ยมุมสะโพก มุมหัวเข่า มุมข้อเท้าด้านเท้านำและเท้าตามทั้ง 3 การทดสอบ

จากรูปที่ 28 ค่าเฉลี่ยมุมสะโพก มุมหัวเข่า มุมข้อเท้าด้านเท้านำและเท้าตามของทั้ง 3 การทดสอบ ซึ่งทำการปรับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันคือ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของการสวิง โดยที่ตำแหน่ง 0 คือตำแหน่ง AD และ 100 คือตำแหน่ง BI จากกราฟค่าเฉลี่ยตำแหน่ง TB ของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินจะอยู่ที่ 78.94 78.18 และ

78.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง MD จะอยู่ที่ 96.98 97.35 และ 97.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการสวิงบนพื้นราบ (กราฟเส้นทึบ) จะสามารถอธิบายกลไกการเคลื่อนไหวของการสวิงได้ว่า ในช่วงขึ้นไม้ขึ้น มุมสะโพกด้านเท้านำจะลดลง ในขณะที่มุมสะโพกด้านเท้าตามจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งพื้นตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด มุมหัวเข่าด้านเท้านำจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มุมหัวเข่าด้านเท้าตามจะมีค่าค่อนข้างคงที่จนกระทั่งใกล้ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด มุมข้อเท้าเท้านำจะปรับลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มุมข้อเท้าด้านเท้าตามมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งใกล้ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด เมื่อเข้าสู่ช่วงลงไม้ มุมสะโพกด้านเท้านำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่มุมสะโพกด้านเท้าตามจะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งไม้เข้าปะทะลูก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าทั้งสองด้านจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการถิ่บตัวขึ้นก่อนหน้าไม้ปะทะลูก

เมื่อพิจารณาการสวิงแบบขึ้นเนิน (กราฟเส้นประ) จะเห็นว่ามีการเคลื่อนไหวแบบเดียวกันกับการสวิงบนพื้นราบ อันแสดงให้เห็นจากการเปลี่ยนแปลงของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน แต่จะแตกต่างตรงที่ตลอดทั้งช่วงการเคลื่อนไหวนั้น มุมสะโพก มุมหัวเข่า และมุมข้อเท้าด้านเท้านำจะมีค่าน้อยลงกว่าการสวิงบนพื้นราบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการย่อตัวด้านเท้านำที่เป็นด้านเท้าที่อยู่สูงกว่าให้ต่ำลงและมีมุมสะโพก มุมหัวเข่า ด้านเท้าตามที่สูงขึ้น อันแสดงให้เห็นถึงการยืดตัวด้านเท้าตามซึ่งเป็นเท้าที่อยู่ต่ำกว่าให้สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาจะเห็นว่าการสวิงแบบขึ้นเนิน (กราฟเส้นจุดไข่ปลา) จะเห็นว่ามีการเคลื่อนไหวแบบเดียวกันกับการสวิงบนพื้นราบ อันแสดงให้เห็นจากการเปลี่ยนแปลงของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน แต่จะแตกต่างตรงที่ตลอดทั้งช่วงการเคลื่อนไหวนั้น มุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าด้านเท้าตามจะมีค่าน้อยลงกว่าการสวิงบนพื้นราบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการย่อตัวด้านเท้าตามที่เป็นด้านเท้าที่อยู่สูงกว่าให้ต่ำลง ในขณะที่มุมสะโพก มุมหัวเข่าด้านเท้านำจะยังคงมีค่าใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบโดยปกติและมุมข้อเท้าด้านเท้านำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการยืดตัวด้านเท้านำให้สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย

ผลการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้น

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของ แรงปฏิกิริยาจากพื้น ด้านเท้าหน้าและเท้าตาม ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

		Flat	Up-hill	Down-hill	ANOVA	Mean difference		
		(F)	(U)	(D)	F statistic	p-value		
		(SD)	(SD)	(SD)	p-value	F vs. U	F vs. D	U vs. D
แรง		53.54	31.52	73.10	141.33	22.02*	-19.57*	-41.58*
	AD	±5.98	±8.01	±8.31	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	TB	±8.02	±8.40	±10.45	<0.001 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
เท้าหน้า (นิวตัน)		86.71	72.78	102.62	31.07	13.93*	-15.91*	-29.84*
	MD	±15.8	±23.20	±12.12	<0.001 ^a	0.005	<0.001	<0.001
	BI	±21.74	±20.30	±24.53	0.002 ^a	0.034	0.002	0.003
แรง		47.29	64.36	23.03	232.35	-17.07*	24.26*	41.33*
	AD	±5.50	±5.47	±6.75	<0.001 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
	TB	±11.96	±12.66	±7.71	<0.001 ^a	0.006	<0.001	<0.001
เท้าตาม (นิวตัน)		50.56	64.66	22.35	111.49	-14.07*	28.21*	42.28*
	MD	±21.66	±18.85	±12.17	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	BI	±23.52	±23.36	±14.69	<0.001 ^a	0.001	0.006	<0.001

หมายเหตุ: ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระบุโดย *($p < 0.05$) ปรับค่าด้วย Greenhouse-Geisser ระบุโดย ^a

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

จากตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 53.54 ± 5.94 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิงขึ้นเนินมีค่า 31.52 ± 8.01 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและการสวิงลงเนินมีค่า 73.10 ± 8.31 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า

ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 22.02 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 19.57 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 40.83 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 34.25 ± 8.02 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 24.94 ± 8.40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 51.40 ± 10.45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 9.31 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 17.14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 26.46 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 86.71 ± 15.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 72.78 ± 23.20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 102.62 ± 12.12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 13.93 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p = 0.005$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 15.91 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 29.84 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.048$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ตำแหน่งไม้กระทบลูก (BI) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 70.81 ± 21.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 58.14 ± 20.12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และการสวิตช์ลงเนินมีค่า 81.18 ± 24.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.002$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบ 10.43 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p = 0.034$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 11.30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

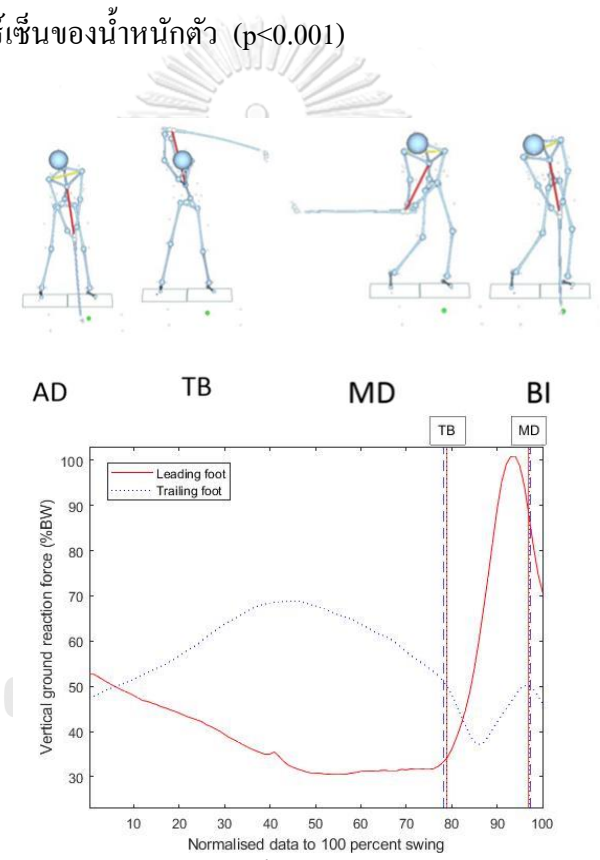
($p=0.002$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า น้อยกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 21.73 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p=0.003$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ตำแหน่งจรดลูก (AD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 47.29 ± 5.50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 64.36 ± 5.47 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 23.03 ± 6.75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 17.07 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 24.26 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม มากกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 41.33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (TB) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 49.56 ± 11.96 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 54.56 ± 12.66 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 25.17 ± 7.71 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 5.00 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p = 0.006$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 24.39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม มากกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 29.39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ตำแหน่งกลางของการลงไม้ (MD) ในการสวิตช์บนพื้นราบมีค่า 50.56 ± 21.66 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิตช์ขึ้นเนินมีค่า 66.29 ± 17.71 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและการสวิตช์ลงเนินมีค่า 20.83 ± 10.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 14.07 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) การสวิตช์แบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ลดลงจากการสวิตช์บนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 28.21 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิตช์แบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม มากกว่าการสวิตช์แบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 42.28 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ตำแหน่งไม้กระทบ ลูก (BI) ในการสวิงบนพื้นราบมีค่า 46.18 ± 23.52 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว การสวิงขึ้นเนินมีค่า 58.26 ± 23.36 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และการสวิงลงเนินมีค่า 26.55 ± 14.68 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 การทดสอบพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีผลการเปรียบเทียบรายคู่ดังนี้ การสวิงแบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม เพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ 12.07 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) การสวิงแบบลงเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบ 19.63 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$) และการสวิงแบบขึ้นเนิน แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าตาม มากกว่าการสวิงแบบลงเนินอย่างมีนัยสำคัญ 31.71 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ($p < 0.001$)

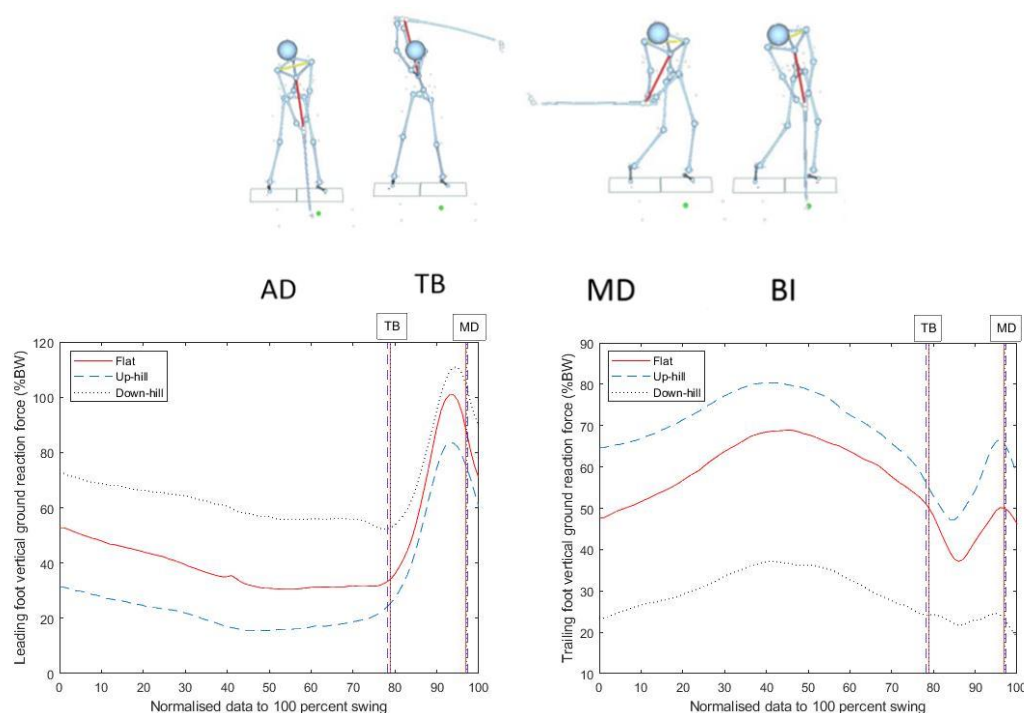


รูปที่ 29 กราฟค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านเท้าหน้าและเท้าตามของการสวิงบนพื้นราบ

จากรูปที่ 28 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านเท้าหน้าและเท้าตามของการสวิงบนพื้นราบซึ่งทำการปรับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันคือ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของการสวิง โดยที่ตำแหน่ง 0 คือตำแหน่ง AD และ 100 คือตำแหน่ง BI จากกราฟค่าเฉลี่ยตำแหน่ง TB ของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินจะอยู่ที่ 78.94 78.18 และ

78.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง MD จะอยู่ที่ 96.98 97.35 และ 97.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากกราฟแสดงให้เห็นถึงลักษณะแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านเท้าหน้าและเท้าตามขณะทำการสวิงบนพื้นราบ แรงปฏิกิริยาด้านเท้าตามเพิ่มขึ้นและแรงปฏิกิริยาด้านเท้าตามนำลดลงในช่วงขึ้นไม้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการถ่ายน้ำหนักไปยังเท้าตาม จากนั้นเท้าหน้าจะสร้างแรงถีบสูงสุดในช่วงลงไม้ ก่อนตำแหน่งไม้ปะทะลูก



รูปที่ 30 กราฟค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ของการสวิงทั้ง 3 การทดสอบ

จากรูปที่ 34 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าหน้า ที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการสวิงบนพื้นทั้ง 3 การทดสอบ ซึ่งแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและจัดทำกรปรับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันคือ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของการสวิง โดยที่ตำแหน่ง 0 คือตำแหน่ง AD และ 100 คือตำแหน่ง BI จากกราฟค่าเฉลี่ยตำแหน่ง TB ของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินจะอยู่ที่ 78.94 78.18 และ 78.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยตำแหน่ง MD จะอยู่ที่ 96.98 97.35 และ 97.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากกราฟจะเห็นว่ารูปแบบการสร้างแรงปฏิกิริยาจากพื้นทั้ง 3 การทดสอบมีลักษณะเดียวกัน อันแสดงให้เห็นจากการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งแรงปฏิกิริยา

จากพื้นเท่านั้นของการสวิงแบบขึ้นเนินน้อยกว่าการสวิงบนพื้นราบและการสวิงบนพื้นราบน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินตลอดทั้งช่วงของการเคลื่อนไหว ในขณะที่เดียวกันแรงปฏิกิริยาจากพื้นเท่าตามของการสวิงแบบขึ้นเนินมากกว่าการสวิงบนพื้นราบและการสวิงบนพื้นราบมีค่ามากกว่าการสวิงแบบลงเนินตลอดทั้งช่วงของการเคลื่อนไหว โดยจะเห็นได้ว่าทั้ง 3 การทดสอบ แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท่านั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ รวมถึงประสิทธิภาพของการสวิงจากความเร็วหัวไม้ขณะทำการสวิงบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนินที่มีความลาดเอียง 10 องศา ด้วยเหล็ก 7 ในนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่นเพศชาย ที่มีแต้มต่อ 0-9 จำนวน 16 คน

การศึกษาการสวิงครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากตำแหน่งของมาร์กเกอร์ แล้วนำมาคำนวณด้วยหลักการของเวกเตอร์เพื่อหาค่ามุมและความเร็วเชิงมุมของสัดส่วนต่างๆ ประกอบกับการวัดค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งด้วยแท่นสวิงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังแต่ตำแหน่งจรดลูกถึงตำแหน่งไม้ปะทะลูกและประเมินประสิทธิภาพของการสวิงจากความเร็วหัวไม้ การศึกษานี้มุ่งเน้นอธิบายความแตกต่างของการเคลื่อนไหวที่มีการปรับขนาดเขยอันเนื่องมาจากการยืนบนพื้นที่ลาดเอียง โดยอ้างอิงจากการสวิงบนพื้นราบที่เป็นการสวิงโดยปกติ เพื่อให้ทราบถึงผลจากความลาดเอียงของพื้นที่ที่มีต่อการสวิง

สรุปผลการศึกษา

ตารางที่ 8 ตารางสรุปผลการศึกษการเปรียบเทียบระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

ตัวแปร	เหตุการณ์	F vs. U	F vs. D	U vs. D
ความเร็วหัวไม้	BI	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
ระยะระหว่างเท้า	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
X-factor	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	BI	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
ความเร็วการหมุนลำตัว	TB	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง

ความเร็วการ หมุนลำตัว	TB	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
มุมสะโพก เท่านั้น	AD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
มุมสะโพก เท่านั้น	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
มุมหัวเข่า เท่านั้น	AD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
มุมหัวเข่า เท้าตาม	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
มุมหัวข้อเท้า เท่านั้น	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
มุมหัวข้อเท้า เท่านั้น	AD	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง

แรงปฏิกิริยาจาก พื้นแนวตั้ง เท้าหน้า	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
แรงปฏิกิริยาจาก พื้นแนวตั้ง เท้าตาม	AD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	TB	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	MD	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง
	BI	แตกต่าง	แตกต่าง	แตกต่าง

AD: Address, TB: Top-backswing, MD: Mid-downswing, BI: Ball impact

จากการศึกษาพบว่า การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินยังคงมีรูปแบบการเคลื่อนไหวแบบเดียวกับสวิงบนพื้นราบ ซึ่งเห็นได้จากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ต่างๆ ขณะทำการสวิงที่ไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์มุมสะโพก มุมหัวเข้าและมุมข้อเท้า ด้านเท้าหน้าและเท้าตามขณะทำการสวิงพบว่า เมื่อนักกอล์ฟต้องการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียง นักกอล์ฟจะมีการยื่นให้ระยะระหว่างเท้ากว้างมากขึ้นและมีการยื่นในลักษณะย่อสัดส่วนของร่างกายด้านเท้าที่อยู่สูงกว่าให้ต่ำลง ในทางกลับกันด้านเท้าที่อยู่ต่ำกว่าจะมีการยืดสัดส่วนของร่างกายให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับสวิงบนพื้นราบ โดยปกติ ทั้งนี้เพื่อรักษาการทรงตัวอันเนื่องมาจากจุดศูนย์กลางมวลที่เคลื่อนเข้าหาเท้าที่อยู่ต่ำกว่ามากขึ้น

จากการประเมินประสิทธิภาพของการสวิงพบว่า ความเร็วหัวไม้ของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบ ในขณะที่การสวิงแบบลงเนินยังคงมีความเร็วหัวไม้ไม่แตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบ โดยปกติ ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วการหมุนลำตัวและสะโพกช่วงลงไม้ของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าลดลง ในขณะที่การสวิงแบบลงเนินยังคงสามารถรักษาความเร็วในการหมุนสะโพกและลำตัวไว้ให้ใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบได้ เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบมุมสัดส่วนต่างๆของร่างกายขณะทำการสวิงจะเห็นว่า การสวิงแบบขึ้นเนินมีการบิดลำตัว (X-factor) ช่วงลงไม้ที่ลดลงและมีการเคลื่อนไหวของสัดส่วนต่างๆ ของร่างกายแตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบ ในขณะที่การสวิงแบบลงเนินสามารถรักษาความสามารถในการบิดลำตัวและการเคลื่อนไหวของร่างกายบางสัดส่วนให้เคลื่อนไหวใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบได้ ด้วยเหตุนี้ แม้ว่าการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงอาจมีความจำเป็นในการปรับชดเชยท่าทางการเคลื่อนไหวเพื่อให้สามารถทำการสวิงได้อย่างมั่นคง แต่อย่างไรก็ตามนักกอล์ฟควรปรับชดเชยให้น้อยที่สุดหรือมี

การเคลื่อนไหวให้ใกล้เคียงการสวิงบนพื้นราบให้มากที่สุด เพื่อคงไว้ซึ่งความเร็วเชิงมุมในการหมุนสะโพกและลำตัวที่มีส่วนสำคัญต่อการสร้างความเร็วของหัวไม้

อภิปรายผลการศึกษา

การเปรียบเทียบระหว่างการสวิงบนพื้นราบและการสวิงแบบขึ้นเนิน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสวิงพบว่า ความเร็วหัวไม้ของการสวิงบนพื้นราบมีค่า 85.68 ± 3.80 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือประมาณ 37.6 ± 1.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งใกล้เคียงกับผลจากงานวิจัยของ Healy และคณะ (2011) ที่ความเร็วหัวไม้มีค่า 38.2 ± 1.7 เมตรต่อวินาที จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าเมื่อทำการสวิงแบบขึ้นเนินประสิทธิภาพลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากความเร็วหัวไม้ที่ลดลง 4.18 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ

จากการวิเคราะห์ความเร็วการหมุนลำตัวพบว่า การสวิงบนพื้นราบในการศึกษานี้มีค่าความเร็วการหมุนลำตัว (MD) 636.57 ± 84.40 องศา/วินาที (BI) 578.88 ± 95.40 องศา/วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับจากผลการศึกษาของ กิตติพงษ์ พิชาดล และ วิวัฒน์ ลิ่มรุ่งเรืองรัตน์ (2016) ที่วัดค่าความเร็วการหมุนลำตัวได้ (MD) 688.08 ± 81.31 องศา/วินาที (BI) 544.13 ± 109.97 องศา/วินาที และจากการวิเคราะห์ความเร็วการหมุนสะโพกของการสวิงบนพื้นราบในการศึกษานี้มีค่า (MD) 473.15 ± 76.92 องศา/วินาที (BI) 323.04 ± 78.43 องศา/วินาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลจากการศึกษาของ กิตติพงษ์ พิชาดล และ วิวัฒน์ ลิ่มรุ่งเรืองรัตน์ (2016) ซึ่งวัดค่าความเร็วการหมุนสะโพกได้ (MD) 520.38 ± 63.06 องศา/วินาที (BI) 446.67 ± 197.82 องศา/วินาที ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการศึกษาของ กิตติพงษ์ พิชาดล และ วิวัฒน์ ลิ่มรุ่งเรืองรัตน์ (2016) ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาอาชีพ ซึ่งต่างจากการวิจัยครั้งนี้ที่ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาสมัครเล่นที่สามารถสร้างความเร็วการหมุนสะโพกได้น้อยกว่านักกีฬาอาชีพ จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าเมื่อทำการสวิงแบบขึ้นเนินความเร็วการหมุนลำตัวลดลง (MD) 2.81 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบและ (BI) 2.40 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ และความเร็วการหมุนสะโพกลดลง 6.22 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ

จากการวิเคราะห์ค่ามุม X-factor พบว่า การสวิงแบบขึ้นเนินมีค่ามุม X-factor ที่ตำแหน่ง (MD) ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบ โดยการศึกษาครั้งนี้ค่ามุม X-factor ของการสวิงบนพื้นราบที่ตำแหน่ง (MD) มีค่า 38.73 ± 7.37 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวิจัยของ Chu และคณะ (2010) ที่มีค่ามุม X-factor ที่ตำแหน่ง 66 เปอร์เซ็นต์ของช่วงลงไม้ (ใกล้เคียงกับตำแหน่ง MD) มีค่า 37.3 ± 10.4 องศา จากการวิเคราะห์การสวิงแบบขึ้นเนินมุม X-factor ที่ตำแหน่ง (MD) พบว่า มีค่าลดลง 5.58 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ และจากการลักษณะกราฟของทั้ง 3

การทดสอบ (รูปที่ 25) จะเห็นได้ว่ามีค่าเริ่มต้นของการบิดลำตัวที่แตกต่างกัน แต่ยังคงมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกัน โคนมีการบิดลำตัวเพิ่มขึ้นในช่วงขึ้นไม้โดยมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่างตำแหน่ง TB และ MD นอกจากนี้จะสังเกตว่าเส้นกราฟของการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินจะปรับตัวเข้าหาเส้นกราฟของการสวิงบนพื้นราบมากขึ้นเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่ง BI มากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความเร็วหัวไม้ ความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวรวมถึงค่ามุม X-factor สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วหัวไม้ที่ลดลงเป็นผลมาจากความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวที่ลดลงในช่วงลงไม้ (ดังรูปที่ 27) ซึ่งเป็นไปตามหลักการสวิงที่ Hume และคณะ (2005) ได้อธิบายไว้ว่า การสร้างความเร็วของหัวไม้จะเริ่มจากการหมุนแกนกลางลำตัว (สะโพกและลำตัว) แล้วจึงส่งผ่านไปยังส่วนปลาย (Proximal to distal) ดังนั้นเมื่อส่วนกลางลำตัวหมุนช้าลง ความเร็วหัวไม้จึงมีค่าลดลงตามหลักผลรวมของความเร็ว (Summation of speed) นอกจากนี้แล้วค่ามุม X-factor ที่ตำแหน่ง (MD) ที่ลดลง (ดังรูปที่ 26) ยังสะท้อนให้เห็นถึงระยะการเคลื่อนไหว (length of motion) ของการบิดลำตัวที่ลดลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Chu และคณะ (2010) ซึ่งพบว่า X-factor ที่ตำแหน่ง 66 เปอร์เซ็นต์ของช่วงลงไม้ (ใกล้เคียงกับตำแหน่ง MD) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความเร็วลูก ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าแปรผันตามความเร็วของหัวไม้

จากการวิเคราะห์ระยะระหว่างเท้าพบว่า ระยะระหว่างเท้าของการสวิงบนพื้นราบในการวิจัยครั้งนี้มีค่า 47.37 ± 2.33 เซนติเมตร และเมื่อต้องทำการสวิงแบบขึ้นเนินที่มีความลาดเอียงถึง 10 องศา นักกอล์ฟจะเพิ่มระยะห่างระหว่างเท้าเพิ่มขึ้นประมาณ 10.58 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop (2017) ที่พบว่า มีระยะระหว่างเท้าของการสวิงบนพื้นราบอยู่ที่ 47.13 ± 4.21 เซนติเมตร และเมื่อทำการสวิงแบบขึ้นเนินที่ทำมุม 5 องศา นักกอล์ฟจะยืนกว้างขึ้นประมาณ 2.58 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระยะระหว่างเท้านั้นพบว่ามีน้อยกว่าการวิจัยในครั้งนี้ จึงอาจสรุปได้ว่าระยะระหว่างเท้าเพิ่มขึ้นตามองศาการเอียงของพื้น

จากการวิเคราะห์มุมสะโพก หัวเข่าและข้อเท้าพบว่า นักกอล์ฟปรับมุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าในลักษณะย่อตัวด้านหน้าลงและยืดตัวด้านเท้าที่อยู่ต่ำกว่าขึ้น (ยกเว้นมุมข้อเท้า) ตลอดช่วงการเคลื่อนไหวดังที่เห็นได้จากกราฟ (รูปที่ 27) เมื่อพิจารณาลักษณะการปรับตำแหน่งของร่างกายดังกล่าวแล้วจะเห็นว่าแกนกลางของร่างกายจะตั้งฉากกับแนวราบมากขึ้น ส่งผลให้จุดศูนย์กลางมวล (Center of gravity; CG) ของร่างกายอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางฐานรองรับมากขึ้น สอดคล้องกับคำแนะนำของ Hume และคณะ (2005) ที่ได้กล่าวไว้ว่าการสวิงควรยื่นให้แนวแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายเคลื่อนอยู่ระหว่างฐานรองรับเพื่อเพิ่มความมั่นคงขณะทำการสวิง

จากการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งของการสวิงแบบขึ้นเนิน จะเห็นได้ว่าแรงปฏิกิริยาด้านเท้าตามมีค่าเพิ่มขึ้นและแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านเท้านำมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบโดยปกติตลอดช่วงการเคลื่อนไหว ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการถ่ายน้ำหนักไปยังเท้าตามเพิ่มขึ้นเมื่อต้องทำการสวิงแบบขึ้นเนิน โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop (2017) ที่ได้พบว่า COP จะเคลื่อนเข้าหาเท้าตามขณะทำการสวิงแบบขึ้นเนินที่มีความลาดเอียง 5 องศา การถ่ายน้ำหนักไปยังเท้าตามแสดงให้เห็นว่าจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายยังคงอยู่เอียงไปทางเท้าตาม ซึ่งสะท้อนภาพการโยนสวิงที่ยังคงเอียงตัวตามการเอียงของพื้น

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ ระยะระหว่างเท้า มุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้ารวมถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้น จะสามารถสรุปได้ว่า เมื่อต้องทำการสวิงแบบขึ้นเนินที่ทำมุมเอียง 10 องศา นักกอล์ฟจำเป็นต้องทำการปรับชดเชยเพื่อให้สามารถทำการสวิงได้อย่างความมั่นคง โดยเพิ่มระยะระหว่างเท้าและพยายามยืนเอียงตามการเอียงของพื้นตามคำแนะนำของ Hunter (1996) ซึ่งเห็นได้จากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่แสดงการถ่ายน้ำหนักไปยังเท้าตาม แต่จากผลการวิเคราะห์ มุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าจะเห็นว่า นักกอล์ฟยังคงต้องปรับการยืนโดยการย่อตัวด้านเท้านำและยืดตัวด้านเท้าตามเพื่อให้ร่างกายตั้งตรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งตรงกับคำแนะนำของ Leadbetter (1993) จึงทำให้เข้าใจได้ว่าเมื่อนักกอล์ฟยืนตามการเอียงของพื้นแล้วไม่สามารถทำการสวิงได้อย่างมั่นคง นักกอล์ฟอาจเลือกที่จะปรับการยืนโดยการย่อตัวด้านเท้านำและยืดตัวด้านเท้าตามเพื่อให้ CG อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางฐานรองรับอันจะช่วยให้สามารถทำการสวิงได้มั่นคงมากยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและบนพื้นราบ แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกราฟของมุมสัดส่วนต่างๆ และแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ทั้งด้านเท้านำและเท้าตามที่เปลี่ยนแปลงไปขณะทำการสวิงจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันหรือกล่าวได้ว่ามีรูปแบบการสวิงที่เหมือนกัน

การเปรียบเทียบระหว่างการสวิงบนพื้นราบและการสวิงแบบลงเนิน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสวิงพบว่า ความเร็วหัวไม้ของการสวิงแบบลงเนินไม่แตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เป็นเพราะความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวรวมถึงค่ามุม X-factor ในช่วงลงไม้ (ดังรูปที่ 26) ที่ไม่พบความแตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลไกการเคลื่อนไหวหรือปัจจัยที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพของการสวิงยังคงเป็นไปตามการสวิงบนพื้นราบโดยปกติ โดยความเร็วการหมุนแกนกลางที่จะส่งผ่านไปยังส่วนปลาย ตามหลักการสวิงที่ Hume และคณะ (2005) ได้อธิบายไว้ยังคงเดิมและค่ามุม X-factor ไม่สะท้อนให้เห็นถึงระยะการเคลื่อนไหว (length of motion) การบิดลำตัวที่ลดลง

ดังนั้นประสิทธิภาพการสวิงจึงไม่แตกต่างจากการสวิงบนพื้นราบ ซึ่งต่างจากที่พบในการสวิงแบบขึ้นเนิน

จากการวิเคราะห์ระยะระหว่างเท้าพบว่า ระยะระหว่างเท้าของการสวิงบนพื้นราบในการวิจัยครั้งนี้มีค่า 47.37 ± 2.33 เซนติเมตร และเมื่อต้องทำการสวิงแบบลงเนินที่มีความลาดเอียงถึง 10 องศา นักกอล์ฟจะเพิ่มระยะห่างระหว่างเท้าเพิ่มขึ้นประมาณ 12.90 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop (2017) ที่พบว่า มีระยะระหว่างเท้าของการสวิงบนพื้นราบอยู่ที่ 47.13 ± 4.21 เซนติเมตร และเมื่อทำการสวิงแบบลงเนินที่ทำมุม 5 องศา นักกอล์ฟจะยืนกว้างขึ้นประมาณ 2.73 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระยะระหว่างเท้านั้นพบว่าน้อยกว่าการวิจัยในครั้งนี้ จึงอาจสรุปได้ว่า ระยะระหว่างเท้าเพิ่มขึ้นตามองศาการเอียงของพื้น เช่นเดียวกับการสวิงแบบขึ้นเนิน

จากการวิเคราะห์มุมสะโพก หัวเข่าและข้อเท้าพบว่า นักกอล์ฟปรับมุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าในลักษณะย่อตัวด้านเท้าตามลง (ย่อโดยลดมุมข้อเท้าเพียงส่วนเดียว) และยืดตัวด้านเท้าหน้าขึ้น ดังที่เห็นได้จากกราฟ (รูปที่ 27) เมื่อพิจารณาลักษณะการปรับตำแหน่งของร่างกายดังกล่าวแล้วจะเห็นว่าแกนกลางของร่างกายจะตั้งฉากกับแนวราบมากขึ้น ส่งผลให้จุดศูนย์กลางมวล (Center of gravity; CG) ของร่างกายอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางฐานรองรับมากขึ้น สอดคล้องกับคำแนะนำของ Hume และคณะ (2005) ที่ได้กล่าวไว้ว่าการสวิงควรยื่นให้แนวแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายเคลื่อนอยู่ระหว่างฐานรองรับเพื่อเพิ่มความมั่นคงขณะทำการสวิง

จากการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งของการสวิงแบบลงเนิน จะเห็นได้ว่าแรงปฏิกิริยาด้านเท้าหน้ามีค่าเพิ่มขึ้นและแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านเท้าตามมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบโดยปกติดตลอดช่วงการเคลื่อนไหว (ดังรูปที่ 30) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าหน้าเพิ่มขึ้นเมื่อต้องทำการสวิงแบบลงเนิน โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop (2017) ที่ได้พบว่า COP จะเคลื่อนเข้าหาเท้าหน้าขณะทำการสวิงแบบลงเนินที่มีความลาดเอียง 5 องศา การถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าตามแสดงให้เห็นว่าจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายยังคงอยู่เอียงไปทางเท้าหน้า ซึ่งสะท้อนภาพการขึ้นสวิงที่ยังคงเอียงตัวตามการเอียงของพื้น

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ ระยะระหว่างเท้า มุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้ารวมถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้น จะสามารถสรุปได้ว่า เมื่อต้องทำการสวิงแบบลงเนินที่ทำมุมเอียง 10 องศา นักกอล์ฟจำเป็นต้องทำการปรับขนาดเขยเพื่อให้อาจสามารถทำการสวิงได้อย่างมั่นคง โดยเพิ่มระยะระหว่างเท้าและพยายามยืนเอียงตามการเอียงของพื้นตามคำแนะนำของ Hunter (1996) ซึ่งเห็นได้จากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่แสดงการถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าหน้า (ดังรูปที่ 30) แต่จากผล

การวิเคราะห์มุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าจะเห็นว่า นักกอล์ฟยังคงต้องปรับการขึ้น โดยการย่อตัวด้านเท้าตามและยืดตัวด้านเท้านำเพื่อให้ร่างกายตั้งตรงมากยิ่งขึ้น (ไม่มากเท่าการสวิงแบบขึ้นเนิน) (ดังรูปที่ 28) ซึ่งตรงกับคำแนะนำของ Leadbetter (1993) จึงทำให้เข้าใจได้ว่าเมื่อนักกอล์ฟขึ้นตามการเอียงของพื้นแล้วไม่สามารถทำการสวิงได้อย่างมั่นคง นักกอล์ฟอาจเลือกที่จะปรับการขึ้น โดยการย่อตัวด้านเท้าตามและยืดตัวด้านเท้านำเพื่อให้ CG อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางฐานรองรับอันจะช่วยทำให้สามารถทำการสวิงได้มั่นคงมากยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและบนพื้นราบ แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกราฟของมุมสัดส่วนต่างๆ และแรงปฏิกิริยาจากพื้น ทั้งด้านเท้านำและเท้าตามที่เปลี่ยนแปลงไปขณะทำการสวิงจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันหรือกล่าวได้ว่ามีรูปแบบการสวิงที่เหมือนกัน

การเปรียบเทียบการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนิน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสวิงพบว่า ความเร็วหัวไม้ของการสวิงแบบลงเนินมากกว่าการสวิงแบบลงเนิน 2.65 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวรวมถึงค่ามุม X-factor จะเห็นว่าการสวิงแบบลงเนินมีความเร็วการหมุนลำตัวมากกว่าการสวิงแบบขึ้นเนินอยู่ (MD) 2.96 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ความเร็วในการหมุนสะโพกมากกว่า (MD) 3.75 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบและค่ามุม X-factor มากกว่า 4.24 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบจะเห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการสวิงของการสวิงแบบลงเนินที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความเร็วลูก มีค่ามากกว่าการสวิงแบบขึ้นเนิน โดยความเร็วการหมุนแกนกลางที่มากกว่าจะส่งผลให้ความเร็วส่วนปลายมีค่ามากกว่าตามหลักการสวิงที่ Hume และคณะ (2005) ได้อธิบายไว้และค่ามุม X-factor สะท้อนให้เห็นถึงระยะการเคลื่อนไหว (length of motion) ของการบิดลำตัวของสวิงแบบลงเนินที่มากกว่าการสวิงแบบขึ้นเนิน ด้วยเหตุนี้การสวิงแบบลงเนินจึงมีประสิทธิภาพที่มากกว่าการสวิงแบบขึ้นเนิน

จากการวิเคราะห์ข้อมูล ระยะระหว่างเท้า มุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้ารวมถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้น จะเห็นได้ว่าระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากความลาดเอียงของพื้นมีค่าเท่ากันคือ 10 องศา แต่จะเห็นได้ว่ามุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าทั้งสองด้านมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าด้านเท้านำของการสวิงแบบขึ้นเนินจะมีค่าน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนิน ในทางกลับกันมุมสะโพก มุมหัวเข่าและมุมข้อเท้าด้านเท้าตามของการสวิงแบบขึ้นเนินจะมีค่ามากกว่า

การสวิตช์แบบลงเนิน ดังที่เห็นได้จากกราฟ (รูปที่ 28) ทั้งนี้เกิดจากการเอียงตัวของพื้นไปทางตรงกันข้ามทำให้ลักษณะการจัดตำแหน่งของร่างกายให้ CG อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางของฐานรองรับตามคำแนะนำของ Hume และคณะ (2005) ที่ได้กล่าวไว้ว่าการสวิตช์ควรยื่นให้แนวแรงดึงคูดของโลกที่กระทำต่อจุดศูนย์กลางมวลของร่างกายเคลื่อนอยู่ระหว่างฐานรองรับเพื่อเพิ่มความมั่นคงขณะทำการสวิตช์นั้น มีลักษณะตรงกันข้าม เช่นเดียวกันการถ่ายเทน้ำหนักอันแสดงจากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่การสวิตช์แบบขึ้นเนินน้ำหนักถ่ายเทมาอย่างเท่าตามในขณะที่การสวิตช์แบบลงเนินน้ำหนักถ่ายเทมาอย่างเท่า นำ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการยื่นเอียงตัวไปตามการเอียงของพื้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop (2017) ที่ทำการเปรียบเทียบการสวิตช์แบบขึ้นเนินและลงเนินที่มีความลาดเอียง 5 องศา และพบว่าน้ำหนักจะถ่ายเทไปยังเท้าที่อยู่ต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาลักษณะการสวิตช์แบบลงเนินแล้วจะเห็นว่ามุมสะโพกและมุมหัวเข่าด้านเท้าหน้านั้น ไม่มีความแตกต่างจากการสวิตช์บนพื้นราบในขณะที่มุมสะโพกด้านเท้าตามในช่วงลงไม้นั้นก็พบความแตกต่างกับการสวิตช์บนพื้นราบเช่นกัน ดังที่เห็นได้จากกราฟ (รูปที่ 27) จากข้อมูลนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการสวิตช์แบบขึ้นเนินสามารถยื่นให้ร่างกายเอียงตามการเอียงของพื้นที่เป็นคำแนะนำของ Hunter (1996) ได้ ในขณะที่การสวิตช์แบบขึ้นเนินกลับต้องปรับมุมสะโพกและมุมหัวเข่าให้แตกต่างไปจากการสวิตช์บนพื้นราบโดยย่อตัวด้านเท้าหน้าและยืดตัวด้านเท้าตามซึ่งเป็นตำแหน่งของร่างกายที่ไม่คุ้นเคยจากการฝึกซ้อม ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุให้มุม X-factor ความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวของการสวิตช์แบบขึ้นเนินมีค่าลดลงและส่งผลให้ความเร็วของหัวลดลงด้วย เมื่อพิจารณาตามหลักการสวิตช์ของ Hume และคณะ (2005)

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของการปรับมุมสะโพกและมุมหัวเข่าซึ่งเป็นตำแหน่งของร่างกายที่ไม่คุ้นเคยของการสวิตช์แบบขึ้นเนินนั้น อาจเป็นผลมาจากการถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าตามเพิ่มขึ้นในช่วงขึ้นไม้ดังที่แสดงให้เห็นจากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้น ซึ่งทำให้จุดศูนย์กลางแรงรับที่อยู่ใกล้เท้าตามอยู่แล้วเคลื่อนออกนอกฐานรองรับได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hellstrom 2009 ที่ได้กล่าวไว้ว่านักกอล์ฟอาจต้องเอียงตัวไปทางด้านเท้าตามในช่วงขึ้นไม้มากขึ้นซึ่งส่งผลให้จุดศูนย์กลางแรงรับเคลื่อนที่ไปยังเท้าตามอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้แล้วในช่วงลงไม้การสร้างแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งโดยการถีบเท้าหน้าให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มพูนความเร็วหัวไม้ในช่วงลงไม้ ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบของการสร้างแรงปฏิกิริยาจากพื้นขณะทำการสวิตช์ที่เคยมีการศึกษาค้นพบมาแล้วอย่างแพร่หลายเช่น การศึกษาของ Wang (2007) และเมื่อพิจารณาทิศทางของแรงที่ตั้งฉากกับพื้นที่ทำมุม 10 องศากับแนวราบจะเห็นว่าทิศทางผลัดคั้นร่างกายหรือ CG ที่อยู่ใกล้เท้าตามอยู่แล้วให้ออกนอกฐานรองรับ ด้วยเหตุนี้การสวิตช์แบบขึ้นเนินจึงจำเป็นต้องปรับการยื่นให้ CG อยู่ใกล้กึ่งกลางของฐานรองรับมากยิ่งขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการสวิตช์แบบลงเนินที่จุด CG อยู่ใกล้เท้าหน้าและมีการถ่ายเท

น้ำหนักไปยังเท้าหลังในช่วงขึ้นไม้ที่ช่วย CG เข้าหาจุดกึ่งกลางฐานรองรับมากยิ่งขึ้น อีกทั้งแรงถีบของเท้าหน้าช่วงลงไม้มีทิศทางผลัก CG ที่อยู่ใกล้เท้าหน้าให้เข้าหาจุดกึ่งกลางฐานรองรับ ด้วยเหตุนี้การสวิงแบบลงเนินจึงอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตำแหน่งของร่างกายเพื่อเพิ่มความมั่นคงในช่วงลงไม้เหมือนกับการสวิงแบบขึ้นเนิน

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่า การสวิงแบบขึ้นเนินมีประสิทธิภาพที่ลดลงจากการสวิงบนพื้นราบและการสวิงแบบลงเนิน อันเนื่องมาจากการปรับชดเชยมุมสะโพก มุมหัวเข่าและข้อเท้าที่แตกต่างกันไปจากการสวิงบนพื้นราบโดยปกติน้อยมาก (มากกว่าการสวิงแบบลงเนิน) เพื่อลดผลจากการถ่ายเทน้ำหนักไปเท้าตามในช่วงขึ้นไม้และแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ผลัดจากด้านเท้าหน้าในช่วงลงไม้ที่อาจทำให้ CG ตกออกนอกฐานรองรับทางด้านเท้าตาม ทำให้ไม่สามารถสวิงได้อย่างมั่นคง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การบิดลำตัว (X-factor) ลดลงรวมถึงความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวที่ลดลง ดังนั้นนักกอล์ฟจึงควรเพิ่มระยะระหว่างเท้าให้กว้างขึ้น ปรับการยืนให้เอียงตามความลาดเอียงของพื้นที่มากที่สุดโดยที่ยังคงสามารถสวิงได้อย่างมั่นคง ซึ่งจะช่วยให้สามารถรักษาความเร็วการหมุนสะโพกและลำตัวให้คงเดิมและสวิงได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบ

ข้อจำกัดในการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ มีการใช้อุปกรณ์วัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่มีสภาพพื้นผิวสำหรับการยืนที่แตกต่างไปจากสภาพสนามจริง จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสวิงกอล์ฟ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากประสิทธิภาพของการสวิงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของหัวไม้เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับทิศทางของการสวิง งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ที่ส่งผลต่อการสร้างความเร็วของหัวไม้เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยครั้งต่อไปจึงควรศึกษาผลจากการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงที่มีต่อทิศทางของการสวิง

บรรณานุกรม

- กวีวัฒน์ เดชาอภินันท์. (2016). พีชคณิตเวกเตอร์ (ออนไลน์). แหล่งที่มา:
<https://www.slideshare.net/GawewatDechaapinun/1-58130240> [10 กันยายน 2561]
- ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์. (2016). เอกสารคำสอนชีวกลศาสตร์การกีฬาขั้นสูง: คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มดิชน. (2016). กีฬาอล์ฟในโอลิมปิก (ออนไลน์). แหล่งที่มา:
https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1452709374 [10 กันยายน 2561]
- อรรถวิทย์ สุดแสง. (2003). การหมุน (ออนไลน์). แหล่งที่มา:
<https://www.cp.eng.chula.ac.th/~attawith/class/rotate.pdf> [15 กันยายน 2561]
- Ball, K., & Best, R. (2012). Centre of pressure patterns in the golf swing: individual-based analysis. *Sports Biomechanics, 11*(2), 175-189.
- Bartlett, H. L., Ting, L. H., & Bingham, J. T. (2014). Accuracy of force and center of pressure measures of the Wii Balance Board. *Gait & posture, 39*(1), 224-228.
- Bartlett, R. (2007). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*: Routledge.
- Blenkinsop, G. M., Gallimore, N. J., & Hiley, M. J. (2017). Weight transfer changes during golf shots from deffernt lies. *ISBS Proceedings Archive, 35*(1), 77.
- Bourgain, M., Sauret, C., Rouillon, O., Thoreux, P., & Rouch, P. (2017). Contribution of vertical and horizontal components of ground reaction forces on global motor moment during a golf swing: a preliminary study. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 20*(sup1), 29-30.
- Bradshaw, E. J., Keogh, J. W. L., Hume, P. A., Maulder, P. S., Nortje, J., & Marnewick, M. (2009). The effect of biological movement variability on the performance of the golf swing in high- and low-handicapped players. *Research quarterly for exercise and sport, 80*(2), 185-196.
- Brown, S. J., Nevill, A. M., Monk, S. A., Otto, S. R., Selbie, W. S., & Wallace, E. S. (2011). Determination of the swing technique characteristics and performance outcome relationship in golf driving for low handicap female golfers. *Journal of Sports Sciences, 29*(14), 1483-1491.

- Brown, S. J., Selbie, W. S., & Wallace, E. S. (2013). The X-Factor: An evaluation of common methods used to analyse major inter-segment kinematics during the golf swing. *Journal of Sports Sciences, 31*(11), 1156-1163.
- Burr-browb. (1998). Instrumentation amplifier with precision voltage reference. *Texas Instruments*. Retrieved from <http://www.ti.com/amplifier-circuit/overview.html> [14 September 2018]
- Choi, A., Sim, T., & Mun, J. H. (2016). Improved determination of dynamic balance using the centre of mass and centre of pressure inclination variables in a complete golf swing cycle. *Journal of Sports Sciences, 34*(10), 906-914.
- Chu, Y. C., Sell, T. C., & Lephart, S. M. (2010). The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences, 28*(11), 1251-1259.
- Damavandi, M., Eslami, M., & Pearsall, D. J. (2017). Side-sloped surfaces substantially affect lower limb running kinematics. *Sports Biomechanics, 16*(1), 1-12.
- Gray, W. (2011). Golf warm up. *Wells performance consulting*. Retrieved from http://www.rcga.org/uploads/documents/Warming_Up_For_Golf_2012_EN.PDF [20 September 2018]
- Gudavalli, M. R., DeVocht, J., Tayh, A., & Xia, T. (2013). Effect of sampling rates on the quantification of forces, durations, and rates of loading of simulated side posture high-velocity, low-amplitude lumbar spine manipulation. *Journal of manipulative and physiological therapeutics, 36*(5), 261-266.
- Han, K. H. (2016). *Lower body mechanics of golf swing and its association with maximum clubhead speed in skilled golfers*. Texas Woman's University,
- Healy, A., Moran, K. A., Dickson, J., Hurley, C., Smeaton, A. F., O'Connor, N. E., . . . Chockalingam, N. (2011). Analysis of the 5 iron golf swing when hitting for maximum distance. *Journal of Sports Sciences, 29*(10), 1079-1088.
- Hellström, J. (2009). Competitive elite golf. *Sports Medicine, 39*(9), 723-741.
- Horan, S. A., Evans, K., Morris, N. R., & Kavanagh, J. J. (2010). Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *Journal of Biomechanics, 43*(8), 1456-1462.

- Hume, P. A., Keogh, J., & Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, 35(5), 429-449. Hunter, R. (1996). Lesson 7: Awkward Lies - Uphill & Downhill Shots / Ball Above & Below the Feet. Retrieved from www.golftoday.co.uk/junior_golf/hunter/lesson_2-7.html [16 September 2018]
- Joyce, C. (2017). An examination of the correlation amongst trunk flexibility, x-factor and clubhead speed in skilled golfers. *Journal of Sports Sciences*, 35(20), 2035-2041.
- Langdown, B. L., Bridge, M., & Li, F. X. (2012). Movement variability in the golf swing. *Sports Biomechanics*, 11(2), 273-287.
- Leach, J. M., Mancini, M., Peterka, R. J., Hayes, T. L., & Horak, F. B. (2014). Validating and calibrating the Nintendo Wii balance board to derive reliable center of pressure measures. *Sensors*, 14(10), 18244-18267.
- Leadbetter, D. (1993). *Faults and fixes: The golfer's essential problem-solving manual*. London: Collins Willow.
- Madonna, B. (2001). *Coaching golf successfully: Human Kinetics*.
- McNitt-Gray, J., Munaretto, J., Zaferiou, A., Requejo, P., & Flashner, H. (2013). Regulation of reaction forces during the golf swing. *Sports Biomechanics*, 12(2), 121-131.
- Nelson, K. (2018). Golf: Learn all about the sport of Golf. Retrieved from <https://www.ducksters.com/sports/golf.php> [14 September 2018]
- Peters, R., Smith, N., & Lauder, M. (2016). Quantifying the gradients exposed to a professional golfer during a round of golf. Paper presented at the ISBS-Conference Proceedings Archive.
- Pichardul, K., & Limroongreungrat, W. (2016). Kinematic of two golf swing conditions in competitively professional golfers. *Journal of Sports Science and Technology*, 16(1), 1-10.
- Queen, R. M., Butler, R. J., Dai, B., & Barnes, C. L. (2013). Difference in peak weight transfer and timing based on golf handicap. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2481-2486.
- Seel, T., Raisch, J., & Schauer, T. (2014). IMU-based joint angle measurement for gait analysis. *Sensors*, 14(4), 6891-6909.
- Sim, T., Yoo, H., Choi, A., Lee, K. Y., Choi, M. T., Lee, S., & Mun, J. H. (2017). Analysis of Pelvis-Thorax Coordination Patterns of Professional and Amateur Golfers during Golf Swing. *Journal of Motor Behavior*, 49(6), 668-674.

- Somjarod, M., & Tanawat, V. (2011). The analysis of knee joint movement during golf swing in professional and amateur golfers. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 5(5), 545-548.
- Firestein, G. S., Budd, R., Gabriel, S. E., McInnes, I. B., & O'Dell, J. R. (2016). Kelley and Firestein's Textbook of Rheumatology E-Book: Elsevier Health Sciences.
- Torres-Ronda, L., Delextrat, A., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2014). The relationship between golf performance, anthropometrics, muscular strength and power characteristics in young elite players. *International SportMed Journal*, 15(2), 156-164.
- Wang, J.-J., Yan, P.-F., & Shiang, T.-Y. (2007). A kinetic analysis on golf swings to know what skill can increase club head speed and impact accuracy. *Journal of Biomechanics*, 40, S765.
- Wren, G. (1990). *Laws, principles and preferences: a teaching model*. Paper presented at the Science and Golf: Proceedings of the first world scientific congress of golf.



ภาคผนวก

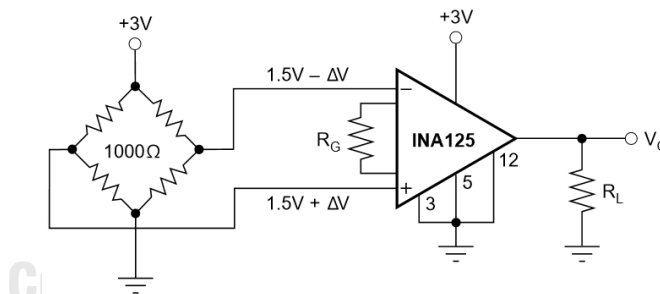
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการติดตั้งและ Calibration เครื่อง WBB

การวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบวัดค่าสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากแรงกระทำจากเท้าทั้งสองข้างบนเครื่อง WBB ให้สามารถเริ่มบันทึกข้อมูลพร้อมกันกับการบันทึกภาพจากกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีให้ทั้งสองระบบนี้ส่งข้อมูลเข้า Analog board ตัวเดียวกัน ก่อนส่งข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์และใช้โปรแกรม Qualisys ในการออกคำสั่งเริ่มบันทึกข้อมูลทั้งสองพร้อมกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่อง WBB ให้สามารถส่งข้อมูลที่มีขนาดอยู่ในช่วงความละเอียด (Resolution) ของ Analog แล้วจึงทำการ Calibration ต่อไป โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. เพิ่มวงจรขยายสัญญาณ (Instrumentation amplifier circuit) ให้ขยายสัญญาณจาก Load cell ที่มีขนาด 0.2-4.4 mV เพิ่มขึ้นอีก 1000 เท่า เป็น 0-5 V ซึ่งอยู่ในช่วงที่ Analog board รองรับคือ $\pm 15V$ โดยมีการเลือกใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบ INA125 ซึ่งต่อวงจรและคำนวณหาค่าความต้านทานภายในวงจรขยายสัญญาณด้วยสมการดังต่อไปนี้ (ใช้ไฟกระแสสลับที่มีแรงดัน 220V)

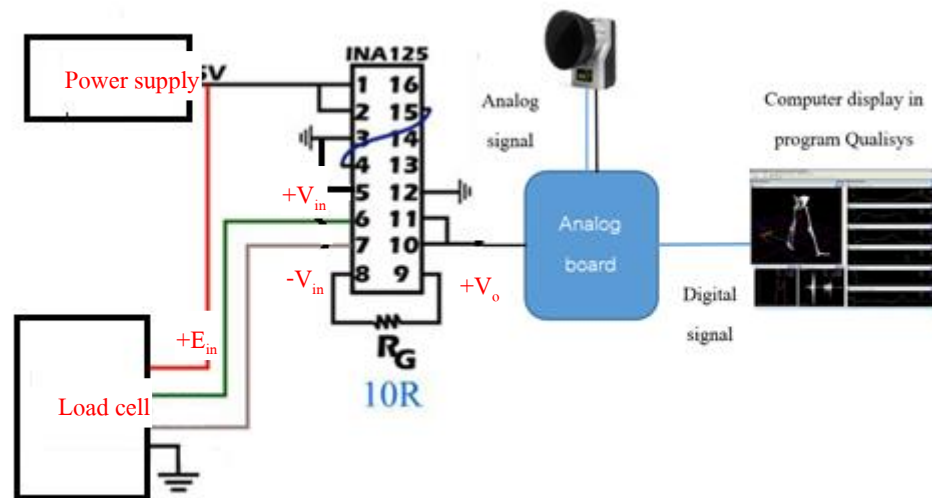


รูปที่ 31 แสดงวงจรขยายสัญญาณที่ใช้ใน Load cell แต่ละตัว

(Burr-browb, 1998)

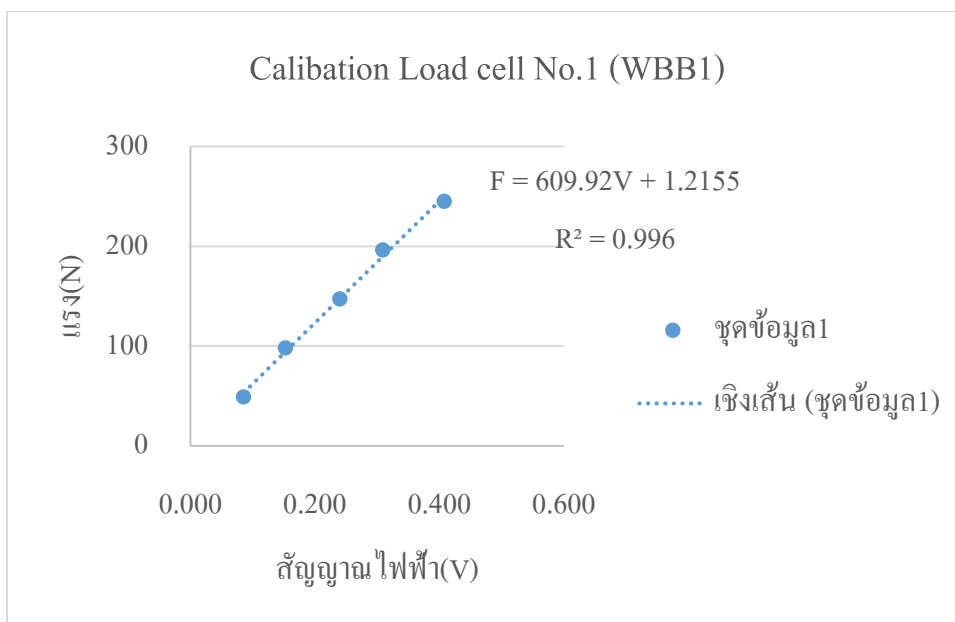
$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_g} \text{ เมื่อต้องการ } G = 1000 ; R_g = 60\Omega$$

2. ทำการต่อสายส่งสัญญาณจาก Load cell แต่ละตัว ตัวจากเครื่อง WBB เข้าผ่านวงจรขยายสัญญาณ (Load cell หนึ่งตัวต่อวงจรขยายสัญญาณ 1 วงจร) เข้าสู่ Analog board เพื่อแปลงสัญญาณเป็นระบบสัญญาณ Digital ก่อนส่งเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีรูปแบบการต่อวงจรดังนี้ (รูปที่ 39)

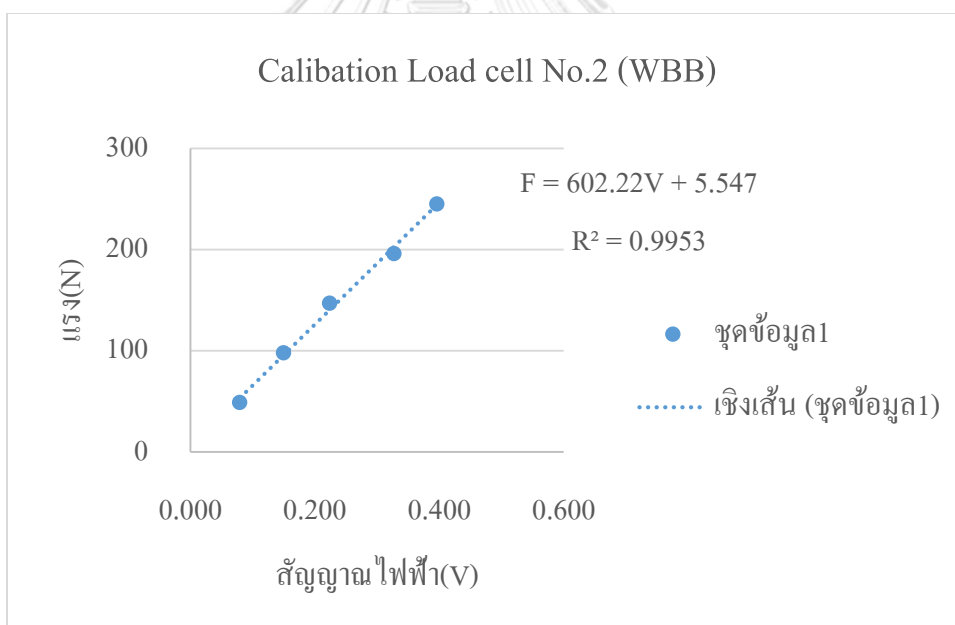


รูปที่ 32 แสดงรูปแบบการต่อวงจรจาก Load cell ไปยัง Computer

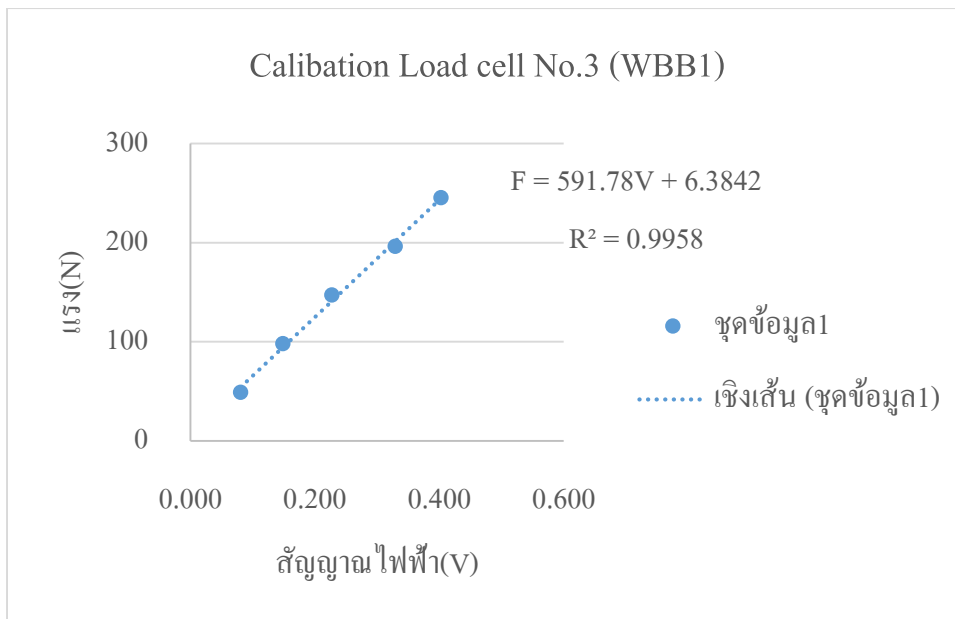
2. ทำการปรับตั้งค่าของโปรแกรม Qualisys ให้สามารถบันทึกสัญญาณและแสดงผลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก Load cell ทั้ง 8 ตัว
3. ตรวจสอบสัญญาณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แสดงผลใน โปรแกรมแล้วปรับค่าสัญญาณค่าเริ่มต้นขณะไม่มีน้ำหนักบนเครื่อง WBB ให้เป็นค่า 0
4. ใช้ชุดทดสอบน้ำหนักที่มีค่า 5 10 15 20 25 30 35 กิโลกรัมวางลงบนตำแหน่ง Load cell ทีละตัว เพื่อจดบันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้
5. นำค่าที่วัดได้มา plot graph สร้างสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าความชันของเส้นตรง สำหรับใช้เทียบหาค่าแรงขณะทำการเก็บข้อมูลจริงต่อไป
6. ทำขั้นตอนที่ 4 และ 5 กับ Load cell ทีเหลือจนครบ 8 ตัว



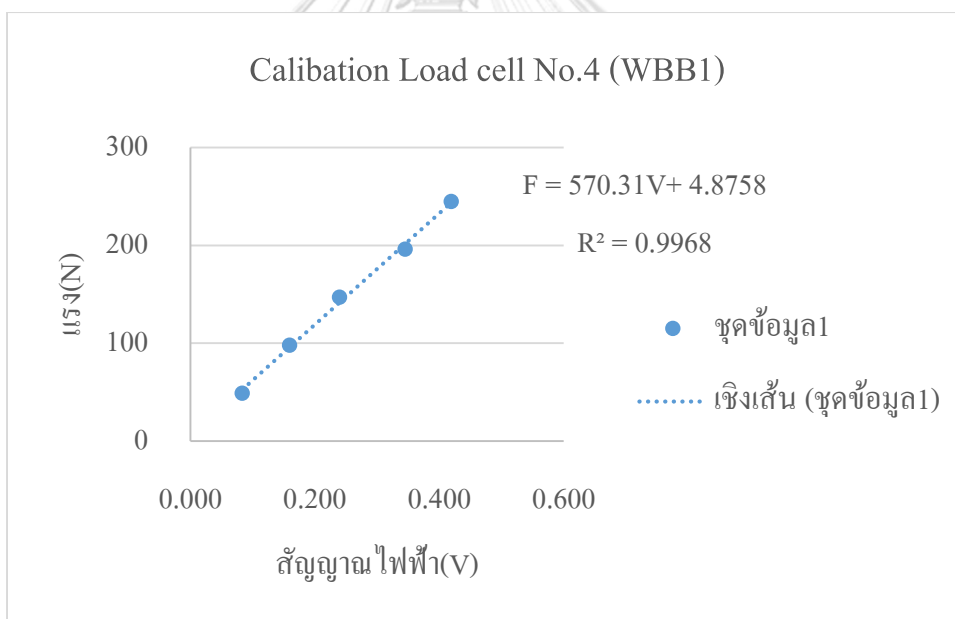
รูปที่ 33 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 1/1



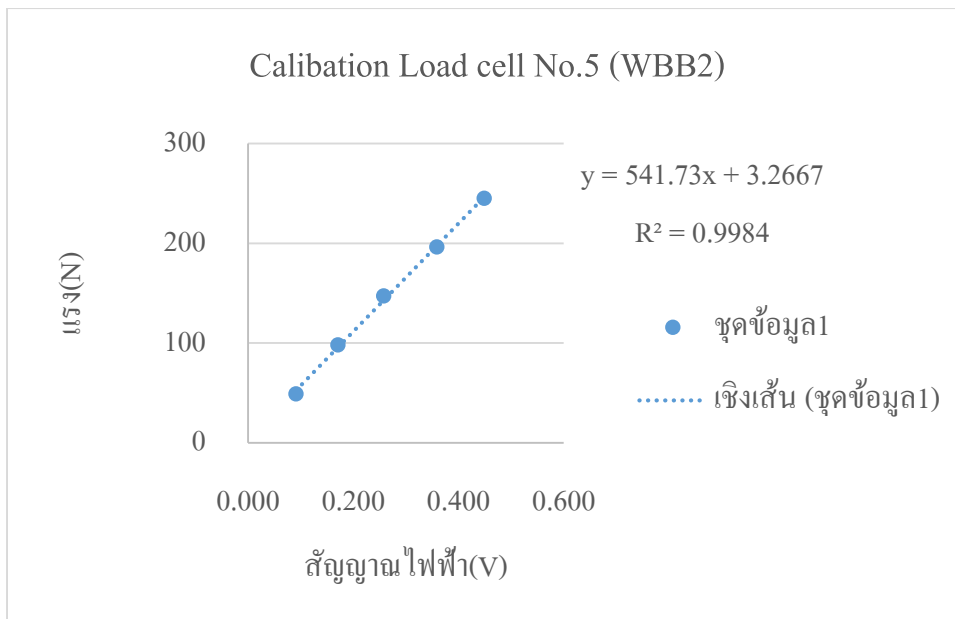
รูปที่ 34 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 2/1



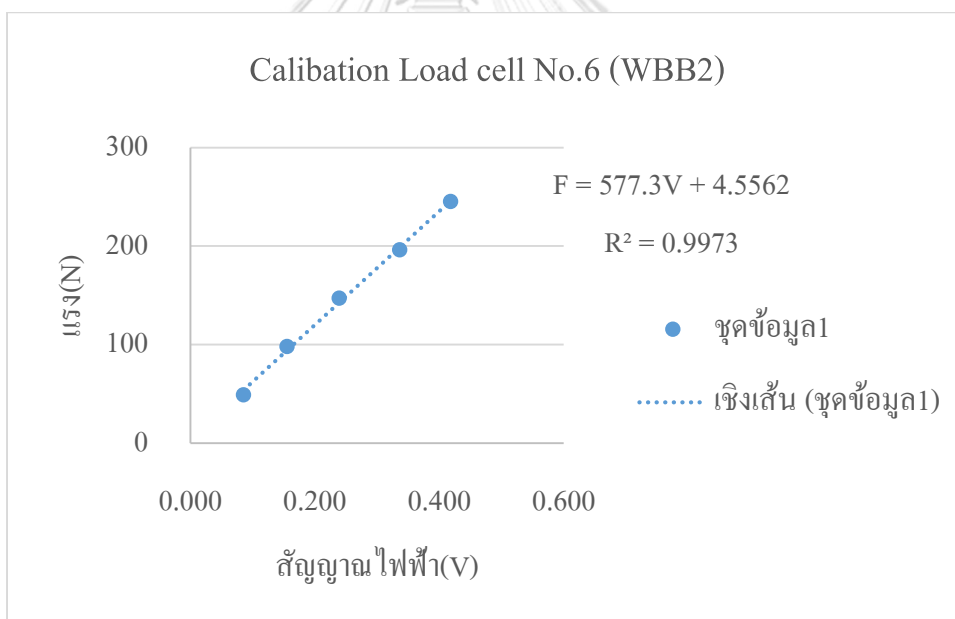
รูปที่ 35 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 3/1



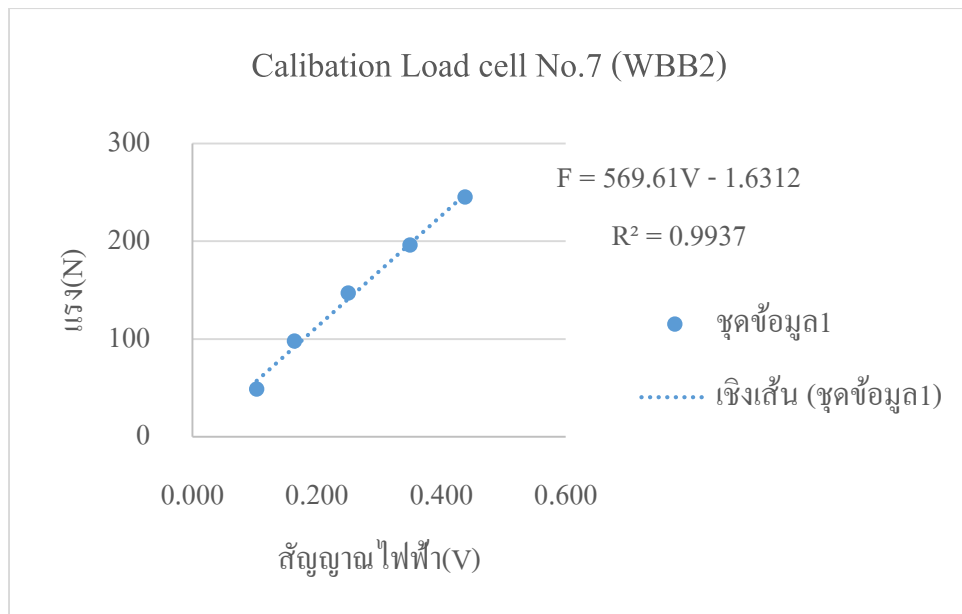
รูปที่ 36 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 4/1



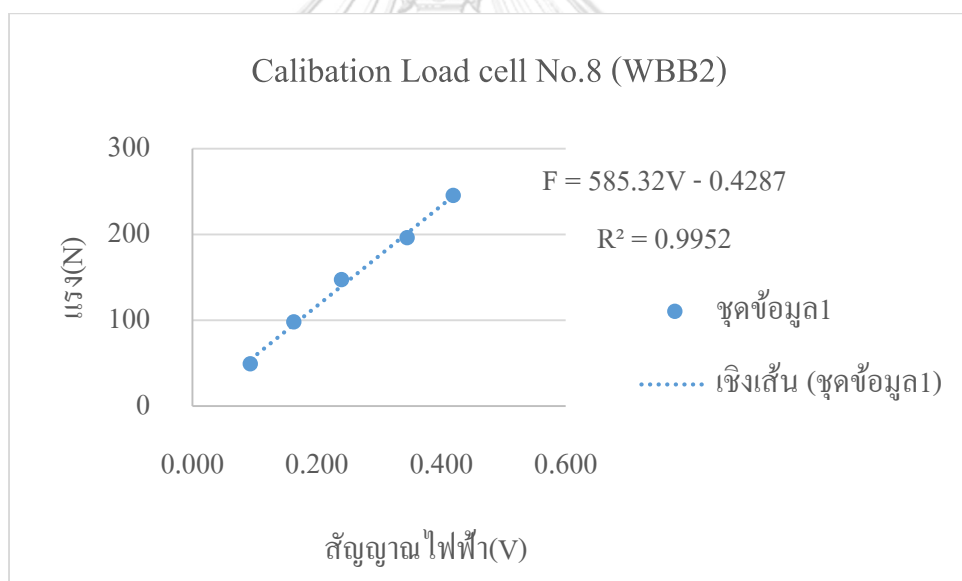
รูปที่ 37 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 5/2



รูปที่ 38 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 6/2

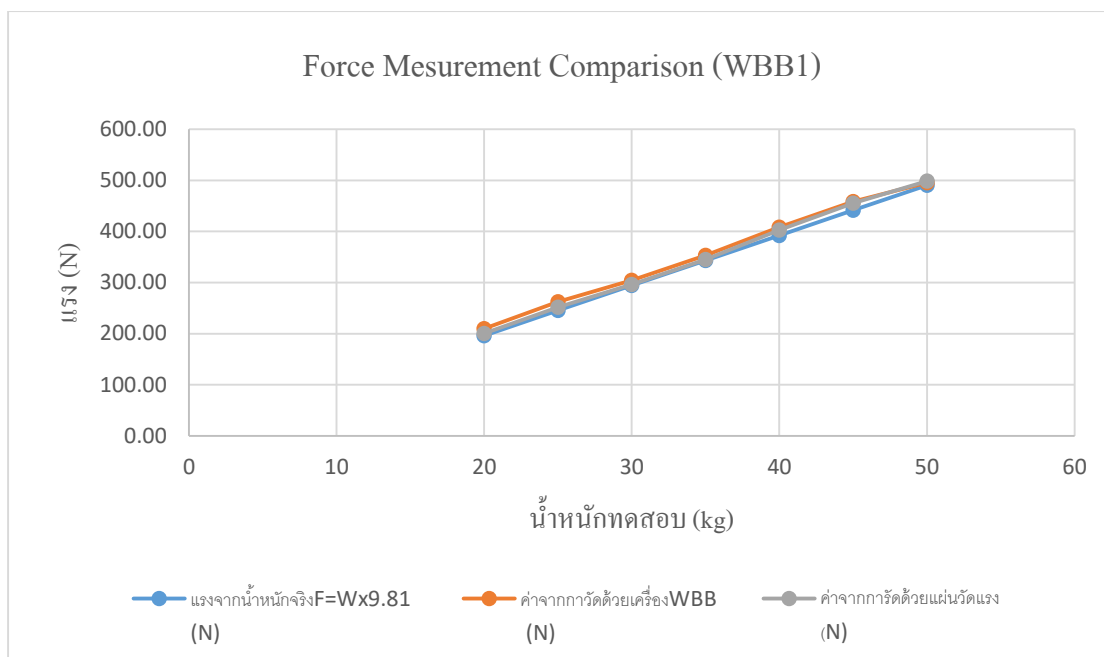


รูปที่ 39 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 7/2



รูปที่ 40 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัญญาณไฟฟ้าของโหลดเซลล์ 8/2

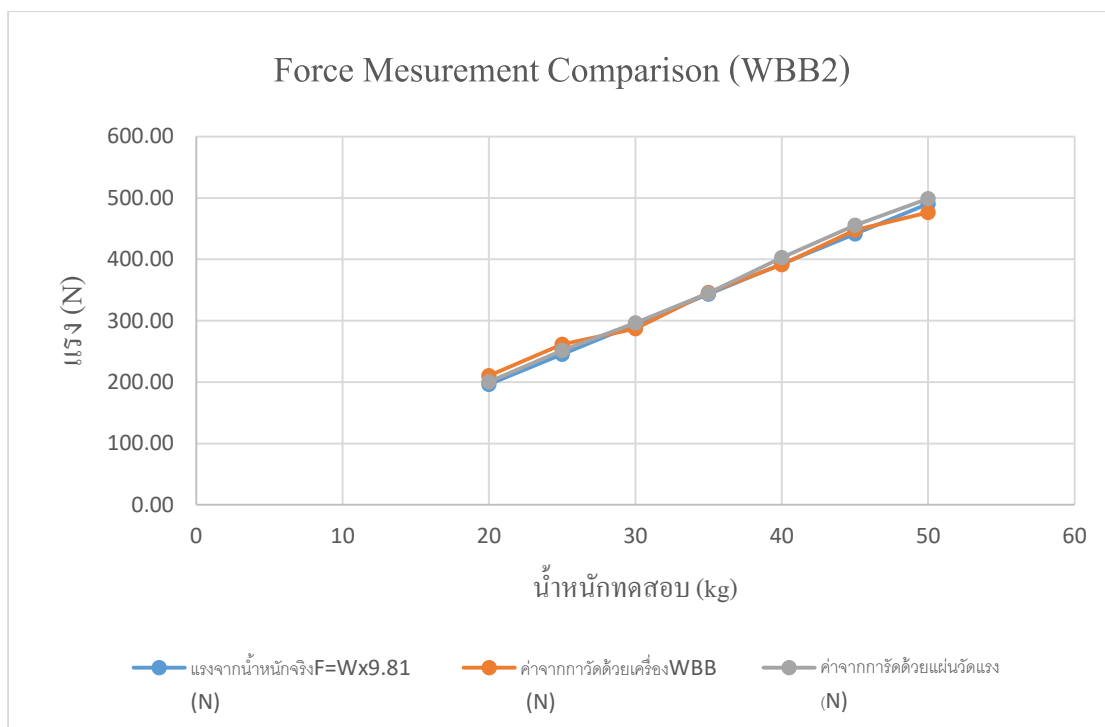
7. ทดสอบมาตรฐานของแท่นสวิงโดยการเปรียบเทียบค่าแรงจากน้ำหนักทดสอบที่วัดได้ระหว่างแผ่นวัดแรง (Force plate) ที่เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับการทดลองทางชีวกลศาสตร์ทั่วไป โดยค่าที่วัดได้จากแท่นสวิงต้องไม่ต่างจากค่าที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงเกิน $\pm 5\%$



รูปที่ 41 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จาก WBB1, แผ่นวัดแรงและแรงจากน้ำหนักจริง

ตารางที่ 9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่อง WBB1 และ แผ่นวัดแรง

น้ำหนักทดสอบ (Kg)	แรงจากน้ำหนักจริง $F=W \times 9.81$ (N)	ค่าจากกาวัดด้วยเครื่อง WBB1 (N)	ค่าจากการวัดด้วยแผ่นวัดแรง (N)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่อง WBB1 และ แผ่นวัดแรง
20	196.20	210.01	200.58	4.70
25	245.25	262.60	251.44	4.44
30	294.30	304.59	296.18	2.84
35	343.35	352.97	345.03	2.30
40	392.40	408.55	403.00	1.38
45	441.45	458.78	455.71	0.67
50	490.50	495.46	498.62	-0.63

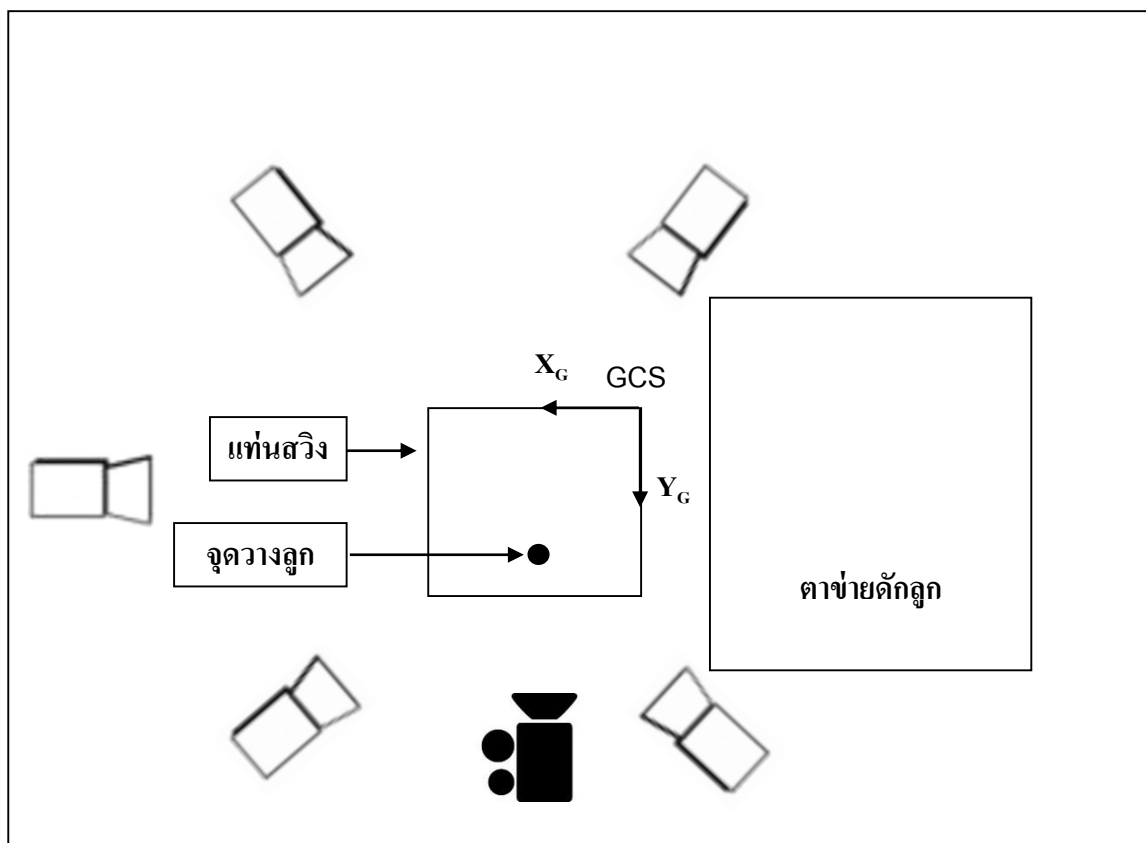


รูปที่ 42 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จาก WBB2, แผ่นวัดแรงและแรงจากน้ำหนักจริง

ตารางที่ 10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่อง WBB2 และ แผ่นวัดแรง

น้ำหนักทดสอบ (Kg)	แรงจากน้ำหนักจริง $F=W \times 9.81$ (N)	ค่าจากการวัดด้วยเครื่อง WBB2 (N)	ค่าจากการวัดด้วยแผ่นวัดแรง (N)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่อง WBB2 และ แผ่นวัดแรง
20	196.20	210.14	200.58	4.77
25	245.25	261.66	251.44	4.06
30	294.30	287.07	296.18	-3.07
35	343.35	345.86	345.03	0.23
40	392.40	391.35	403.00	-2.89
45	441.45	447.89	455.71	-1.71
50	490.50	476.40	498.62	-4.46

ภาคผนวก ข
ตำแหน่งการวางกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว



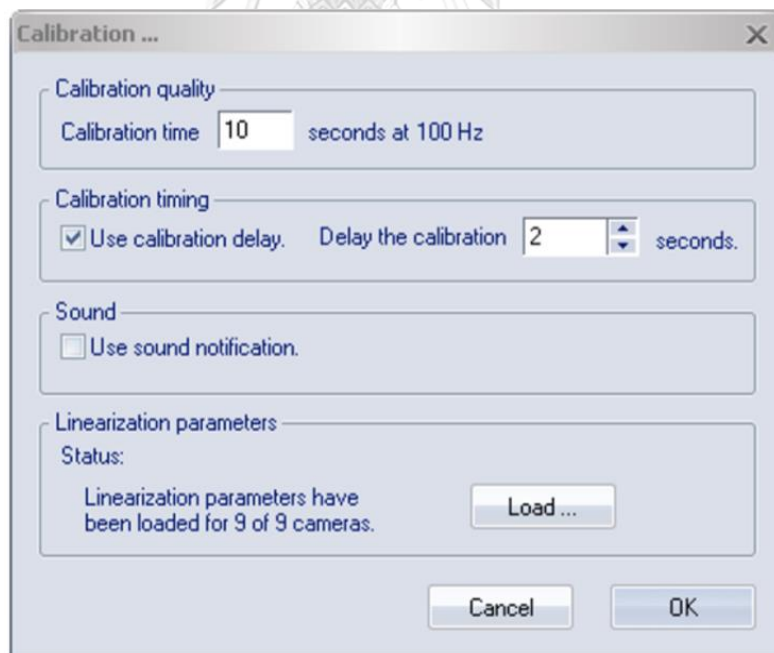
รูปที่ 43 แสดงตำแหน่งการวางกล้องและอุปกรณ์การทดลอง

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการทำ Calibration กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

งานวิจัยนี้ใช้การ Calibration แบบ Wand calibration ซึ่งมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลงานวิจัยทั้งหมด และจัดวางตำแหน่งกล้องทั้ง 5 ตัว ในจุดที่เหมาะสมและสามารถมองเห็น markers ให้ได้มากที่สุด
2. เริ่มทำ Static calibration วางโครงสร้าง L-shaped บนพื้นบริเวณที่ต้องการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวของผู้เข้ารับการทดสอบ โดยวาง L-shaped ตามทิศทางของ Coordinate system ที่ได้ระบุไว้ และควรวางให้กล้องทุกตัวสามารถมองเห็น markers ทุกตัวของ L-shaped เพื่อให้การเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพสูงสุด
3. คลิกไอคอน Calibration หรือคลิก Calibrate ในเมนู Capture เพื่อเปิดไดอะล็อก Calibration
4. ป้อน Calibration times 10 วินาที ลงใต้หัวข้อ Calibration quality จากนั้นคลิก OK เพื่อเริ่ม Calibration capture



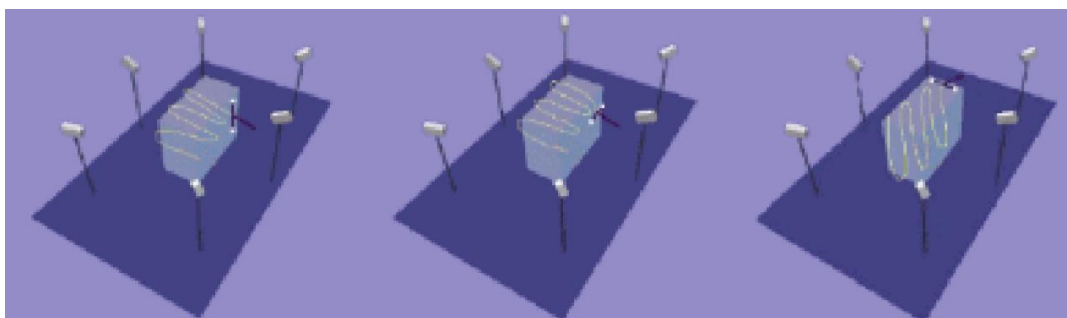
รูปที่ 44 แสดง Calibration quality

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

5. เริ่มทำ Calibration capture โดยนำไม้ Calibration wand เข้ามาทำการหมุนในบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูล จนกระทั่งสิ้นสุดสัญญาณ 2 นาที ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นการทำให้โปรแกรมสามารถแยกแยะตำแหน่งและทิศทางของกล้อง โดยควรหมุนไม้ Calibration wand ดังนี้

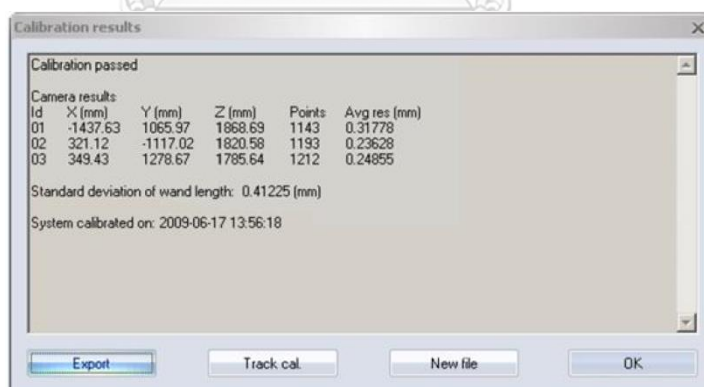
5.1 หมุนให้อยู่ในระดับต่ำมากติดกับพื้นมากที่สุด และหมุนให้ส่วนของหน้าไม้ตั้งฉากกับพื้น

5.2 ไม้ Calibration wand ไปรอบ ๆ บริเวณให้เต็มพื้นที่และไม่ควรหมุนเร็วจนเกินไป



รูปที่ 35 แสดง Wand calibration (QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

6. เมื่อการ calibration เสร็จสิ้น หน้าต่างที่มีผลการ calibration จะปรากฏขึ้น โดยผลการทดสอบจะแจ้งให้ทราบถึงตำแหน่งและมุมของกล้องแต่ละตัว รวมถึง calibration quality



รูปที่ 45 แสดง Calibration quality

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)



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

AF 01-12

COA No. 024/2562

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 283.2/61 : การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงที่ต่างกันในนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น
ผู้วิจัยหลัก : นายชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์
หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ The International Conference on Harmonization – Good Clinical Practice (ICH-GCP) อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทศนประดิษฐ์)

ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)

กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 28 มกราคม 2562

วันหมดอายุ : 27 มกราคม 2563

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

- 1) โครงการวิจัย
- 2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
- 3) ผู้วิจัย
- 4) แบบสอบถาม
- 5) ใบประชาสัมพัน์



เลขที่โครงการวิจัย..... 283.2/61
วันที่รับรอง..... 28 ม.ค. 2562
วันหมดอายุ..... 27 ม.ค. 2563

เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการคิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ
2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้า ไม่น้อยกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น
5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ
7. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 03-12) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

แบบคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้เข้ารับการทดสอบ เลขที่.....

การวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียงที่
ต่างกันในนักกีฬาگอล์ฟสมัครเล่น

โปรดกรอกข้อมูลและตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง ข้อมูลทั้งหมดใน
แบบสอบถาม
จะถูกเก็บเป็นความลับ และใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

วันที่...../...../.....

1. ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....

เซนติเมตร

นักกอล์ฟมีแต้มต่อ..... ประสบการณ์ในการเล่นกีฬา

กอล์ฟ.....ปี

ประสบการณ์ในการแข่งขัน

กอล์ฟ.....

ปัจจุบันความถี่ในการฝึกซ้อม.....ครั้ง/สัปดาห์ ประมาณวันละ.....นาที่

วงสวิงเป็นแบบ วงขวา วงซ้าย

2. ข้อมูลทางด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

ไม่มี

มี (โปรด

ระบุ).....

2.2 ท่านเคยมีประวัติการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อระดับรุนแรงจนได้รับการ
รักษาทางการแพทย์ที่ มากกว่าการได้รับยาฉีดยาหรือไม่

ไม่เคย

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

2.3 ปัจจุบันท่านยังมีอาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการสวิตกอล์ฟอยู่หรือไม่

ไม่มี

มี (โปรด

ระบุ).....

3. สรุปคุณสมบัติ

ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าร่วมงานวิจัย

ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าร่วมงานวิจัย

ลงนามผู้คัดกรอง.....

(นายชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์)

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent form)

สถานที่.....

วันที่.....เดือน.....

พ.ศ.

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียง

ที่ต่างกันบนนักกีฬาอาชีพสมัครเล่น

ชื่อผู้วิจัย

นาย ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์

ที่อยู่ติดต่อ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์

092-5054141 E-mail : P.chachanon@gmail.com

วิธีการคัดกรองผู้เข้าร่วมการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ประชาสัมพันธ์ไปยังชมรมกีฬาฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ สถาบันการพลศึกษา ทั้ง 17 วิทยาเขต เพื่อรับสมัครกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย โดยติดต่อทางโทรศัพท์ประกอบกับส่งใบประชาสัมพันธ์สำหรับการติดประกาศไปยังผู้ฝึกสอนหรือผู้ดูแลรับผิดชอบในการประชาสัมพันธ์ ผู้มีส่วนร่วมแต่ละคนต้องถูกคัดกรองโดยการตอบแบบสอบถาม ณ ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยจะเป็นผู้คัดกรองด้วยตัวเอง

ข้าพเจ้า ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และได้รับคำอธิบายจากผู้วิจัย จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอม เข้าร่วมการปฏิบัติและการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ได้รับการติชมาร์กเกอร์ตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
2. ทำการอบอุ่นร่างกาย

3. ทำท่าทางการเคลื่อนไหวของการสวิง โดยทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 สรุปรวมใช้เวลาทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 20 นาที

ข้าพเจ้ามีสิทธิถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจง ผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า และเมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้าในการวิจัยจะถูกทำลายทิ้งไป

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(นายชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์) (.....)

ผู้วิจัยหลัก

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

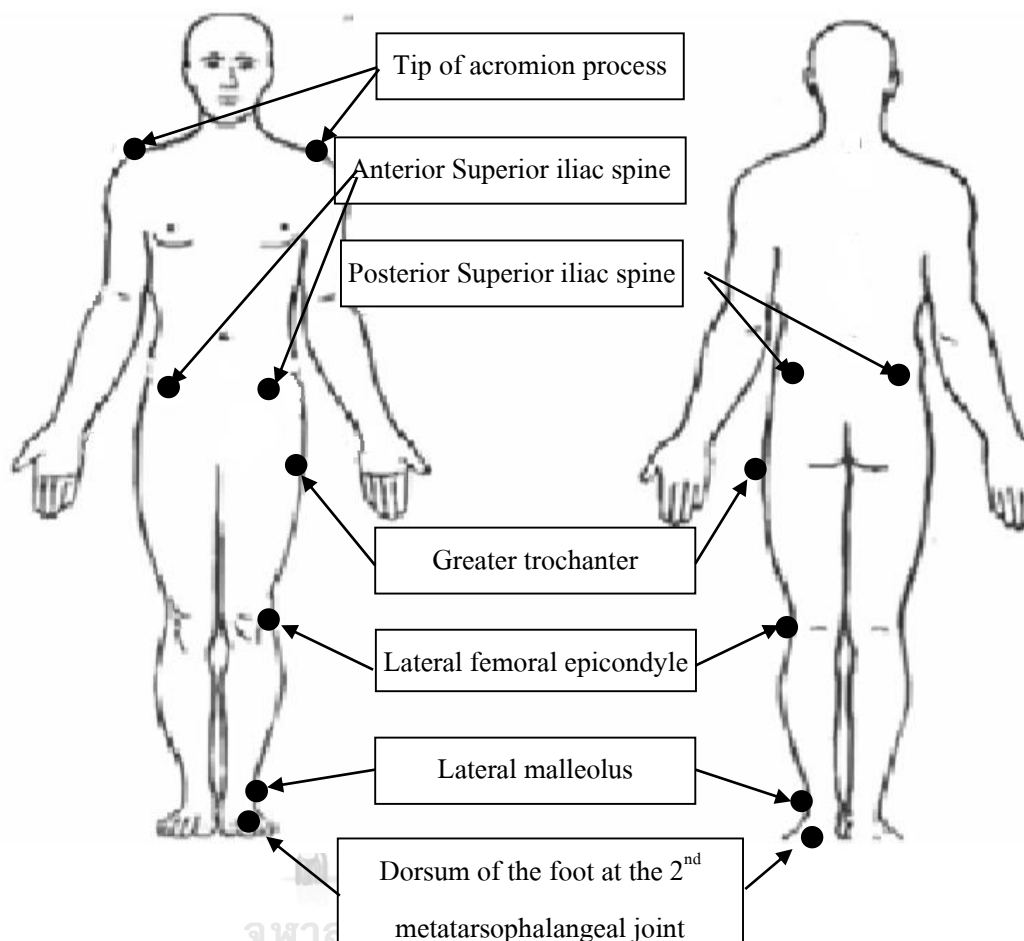
ลงชื่อ.....

(.....)

พยาน

ภาคผนวก จ

ตำแหน่งการติดมาร์กเกอร์ (Retro reflective marker)



รูปที่ 46 แสดงตำแหน่งการติดมาร์กเกอร์ของผู้เข้ารับการทดลอง

การอบอุ่นร่างกาย

ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที ด้วยวิธี Dynamic stretching (Greg Wells, 2011)

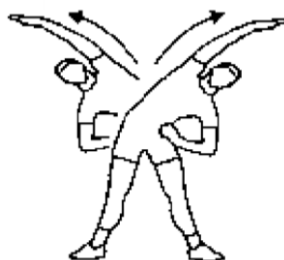
1. ทำ Lunges: 20 ครั้ง ต่อข้างหรือเดินสองขาสลับกัน



2. ทำ Truck rotation: 10 ครั้ง หมุนซ้ายและขวาเต็มช่วงการหมุน นับ 1 ครั้ง ความเร็ว 2 - 3 วินาที



3. ทำ Chest opening swings: 20 ครั้ง เหวี่ยงแขนเข้าและออก นับ 1 ครั้ง



4. ทำ Side opening stretch: 3 - 5 ครั้งต่อหนึ่งข้าง ค้างไว้ 5 วินาที



5. ทำ Hamstring and low back stretch: 3 ครั้ง ค้างไว้ 10–20 วินาที



6. ทำ Chest opening: 3 ครั้งต่อแขนหนึ่งข้าง ค้างไว้ 10–20 วินาที



ภาคผนวก จ
รูปภาพเครื่องมือการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว 3 มิติ



2. เครื่องและโปรแกรมวิเคราะห์ P3ProSwing Golf Simulator



3. แสดงลักษณะตาข่ายดักลูกกอล์ฟที่ใช้ในงานวิจัย



4. แสดงตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบต่างๆของแท่นสวิง



5. Marker ขนาด 1.5 cm. จำนวน 16 ตัว



6. ลูกกอล์ฟแปะ Retro reflective tape ที่วั้งลูก



7. เหล็กกอล์ฟ เบอร์ 7 เครื่องหมายการค้า TaylorMade รุ่น P790



ภาคผนวก ข

ชุดคำสั่ง Matlab การคำนวณค่ามุม X-factor ความเร็วการหมุนสะโพกและการหมุนลำตัว พร้อมตัวอย่างการใช้งาน

ชุดคำสั่งที่ 1 คำนวณค่ามุม X-factor (ชื่อไฟล์: XF)

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

ชุดคำสั่งที่ 2 คำนวณความเร็วการหมุนสะโพก (ชื่อไฟล์: hipV)

```
function [Vh] = hipV(asisL,asisR,psisL,psisR,acmL,acmR)
    % Create vector components for SCS Pelvis
asisC=0.5*(asisR+asisL);
psisC=0.5*(psisR+psisL);
    % Create SCS Pelvis
[m,n]=size(asisL);
```



```

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

```

ชุดคำสั่งที่ 4 เงื่อนไขระบุเหตุการณ์ (ชื่อไฟล์: event)

```

function [ad,tb,md,bi] = event(vel,Angle,Bvel,asisL)
% Identify events
[m,n]=size(asisL);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Address%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=2:m;
    if vel(i,1)>500;
        ad=i-1;
        break
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Mid back swing%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
H=find(diff(sign(Angle)))+1;
mb=H(1,:)-1;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Top back swing%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
[pks,locs] = max(vel);
V=vel(mb:locs,:);
[minV,tbi]=min(V);
tb=tbi+mb-1;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Mid down swing%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
md=H(2,:)-2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Ball Impact%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=2:m;
    if (Bvel(i,1)-Bvel(i-1,1))>1800;
        bi=i-1;
        break
    end
end
end

```

ชุดคำสั่งที่ 5 หาค่า X-factor แต่ละเหตุการณ์และ Normalization Data (ชื่อไฟล์: xfnor)

```

function [Gxf,Pxf] = xfnor(xf,ad,tb,md,bi)
AD=xf(ad,1);
TB=xf(tb,1);
MD=xf(md,1);
BI=xf(bi,1);
Pxf=[AD TB MD BI]

```

```

gxf=xf(ad:bi);
[j,k]=size(gxf);
% Normalization Data
for f=1:102
    Pf=((f-1)*(bi-ad))/101;
    Pfp(f,:)=Pf;
    vq1 = interp1(1:j,gxf,Pf);
    Gxf1(f,:)=vq1;
end
Gxf=Gxf1(2:102);

```

ชุดคำสั่งที่ 6 หาค่า ความเร็วการหมุนสะโพก แต่ระเหตุการณ์และ Normalization Data

(ชื่อไฟล์: vhnor)

```

function [GVh,PVh] = Vhnor(Vh,ad,tb,md,bi)
AD=Vh(ad,1);
TB=Vh(tb,1);
MD=Vh(md,1);
BI=Vh(bi,1);
PVh=[AD TB MD BI]
VhG=Vh(ad:bi);
[V,v]=size(VhG);
% Normalization Data
for f=1:102
    Pf=((f-1)*(bi-ad))/101;
    Pfp(f,:)=Pf;
    vq2 = interp1(1:V,VhG,Pf);
    GVh1(f,:)=vq2;
end
GVh=GVh1(2:102);

```

ชุดคำสั่งที่ 7 หาค่า ความเร็วการหมุนลำตัว แต่ระเหตุการณ์และ Normalization Data

(ชื่อไฟล์: vtnor)

```

function [GVt,PVt] = Vtnor(Vt,ad,tb,md,bi)
AD=Vt(ad,1);
TB=Vt(tb,1);
MD=Vt(md,1);
BI=Vt(bi,1);
PVt=[AD TB MD BI]
VTG=Vt(ad:bi);
[V,v]=size(VTG);
for f=1:102
    Pf=((f-1)*(bi-ad))/101;
    Pfp(f,:)=Pf;
    vq3 = interp1(1:V,VTG,Pf);
    GVt1(f,:)=vq3;
end
GVt=GVt1(2:102);

```

ชุดคำสั่งที่ 8 เรียกใช้งานโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าและวาดกราฟ (ชื่อไฟล์: command)

```

xf = XF(asisL,asisR,psisL,psisR,acmL,acmR);
Vh = hipV(asisL,asisR,psisL,psisR,acmL,acmR);

```

```

Vt = trunkV(asisL, asisR, psisL, psisR, acmL, acmR);
[ad, tb, md, bi] = event(vel, Angle, Bvel, asisL);
[Gxf, Pxf] = xfnor(xf, ad, tb, md, bi);
[GVh, PVh] = Vhnor(Vh, ad, tb, md, bi);
[GVt, PVt] = Vtnor(Vt, ad, tb, md, bi);
x=[0:100]';
figure(1)
h1=plot(x, Gxf, 'r-');
xlabel('Normalised data to 100 percent swing');
ylabel('X-facor (degree)');
legend('Flat', 'Location', 'northwest');
figure(2)
h1=plot(x, GVh, 'r-');
xlabel('Normalised data to 100 percent swing');
ylabel('Hip rotation velocity (deg/s)');
legend('Flat', 'Location', 'northwest');
figure(3)
h1=plot(x, GVt, 'r-');
xlabel('Normalised data to 100 percent swing');
ylabel('Trunk rotation velocity (deg/s)');
legend('Flat', 'Location', 'northwest');

```

ตัวอย่างการใช้โปรแกรม

1. บันทึกชุดคำสั่งที่ 1 ถึง 8 ลงใน Folder ของโปรแกรม Matlab พร้อมตั้งชื่อตามที่ระบุไว้
2. นำเข้าข้อมูล Input data ของตำแหน่งมาร์คเกอร์ในระบบพิกัด X, Y, Z เป็นประเภทข้อมูลแบบ Matrix ขนาด (Nx3) และกำหนดชื่อตัวแปรดังนี้ และค่ามุมระหว่างไม้กอล์ฟกับแนวราบเป็นประเภทข้อมูลแบบ Matrix ขนาด (Nx1) เมื่อ N เป็นจำนวนข้อมูล

asisL คือ Anterior Superior iliac spine (Left)

asisR คือ Anterior Superior iliac spine (Right)

psisL คือ Posterior Superior iliac spine (Left)

psisR คือ Posterior Superior iliac spine (Right)

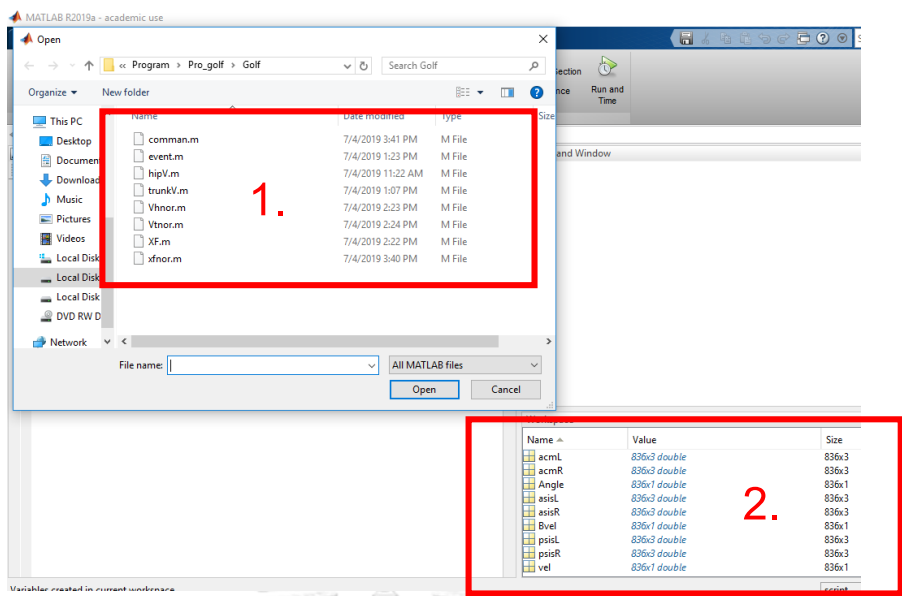
acmL คือ Tip of acromion process (Left)

acmR คือ Tip of acromion process (Right)

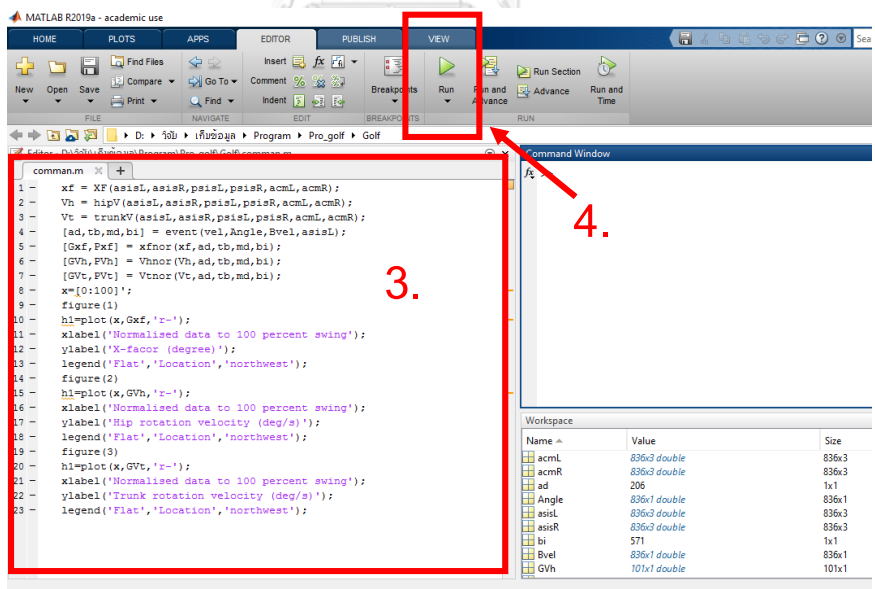
vel คือ มาร์คเกอร์บริเวณคอไม้กอล์ฟ

Bvel คือ ลูกกอล์ฟพื้นเทพสะท้อนแสง

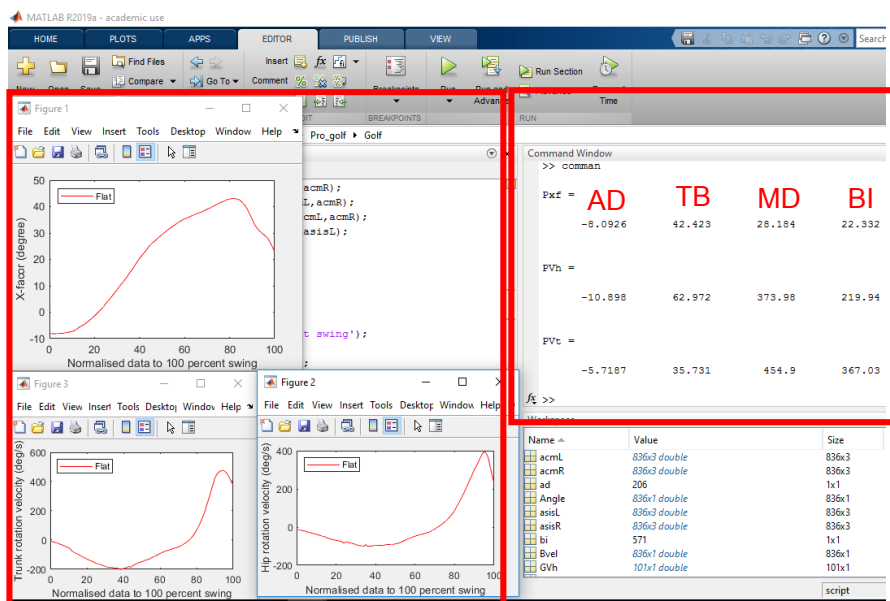
Angle คือ ค่ามุมระหว่างไม้กอล์ฟกับแนวราบ



3. เปิดชุดคำสั่งที่ 8 (command) ขึ้นบนหน้าต่าง Script ของโปรแกรม Matlab
4. กด F5 หรือ คลิกที่ปุ่ม RUN เพื่อให้โปรแกรมเริ่มคำนวณคำนวณค่า



5. โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างกราฟค่ามุม X-factor ความเร็วการหมุนสะโพก และความเร็วการหมุนลำตัว ประกอบกับแสดงค่าที่คำนวณได้ในแต่ละเหตุการณ์บนหน้าต่าง Command window



4. ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณจะแสดงอยู่ในหน้าต่าง Workspace โดยมีชื่อไฟล์ดังนี้
- ผลรับค่ามุม X-factor ไฟล์ Metrix ขนาด (Nx1) ชื่อไฟล์ xf
 - ผลรับค่ามุม X-factor แต่ละเหตุการณ์ ไฟล์ Metrix ขนาด (Nx1) ชื่อไฟล์ Pxf
 - ผลรับค่าความเร็วการหมุนสะโพก ไฟล์ Metrix ขนาด (Nx1) ชื่อไฟล์ PVh
 - ผลรับค่าความเร็วการหมุนสะโพก แต่ละเหตุการณ์ ไฟล์ Metrix ขนาด (Nx1) ชื่อไฟล์ PVh
 - ผลรับค่าความเร็วการหมุนลำตัว ไฟล์ Metrix ขนาด (Nx1) ชื่อไฟล์ Vt
 - ผลรับค่าความเร็วการหมุนลำตัว แต่ละเหตุการณ์ ไฟล์ Metrix ขนาด (Nx1) ชื่อไฟล์ PVt



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นาย ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์
วัน เดือน ปี เกิด	05 สิงหาคม 2533
สถานที่เกิด	พิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย พิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ปี การศึกษา 2555 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์การกีฬา แขนง วิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560
ที่อยู่ปัจจุบัน	128 ถนน นิกรเกษม อำเภอ เมือง จังหวัด สุโขทัย 64000