

การเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นที่ลาดเอียง ที่ต่างกันในนักกีฬา กอล์ฟสมัครเล่น

ชัชชานนท์ พูลสวัสดิ์ และชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Received: 29 May 2561 / Revised: 15 July 2563 / Accepted: 18 March 2564

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ระหว่างการสวิงบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงแบบขึ้นเนินและลงเนิน ในนักกีฬา กอล์ฟสมัครเล่น

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยนี้ คือนักกีฬา กอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย วัยสวิงชว จำนวน 16 คน กลุ่มตัวอย่างทำการสวิงด้วยเหล็ก 7 บนพื้นราบ พื้นเอียงแบบขึ้นเนินและพื้นเอียงแบบลงเนินท่ามุม ๓0 องศา กับแนวราบจำนวน 5 ครั้งต่อรูปแบบพื้นที่ทดสอบ บนแท่นสวิงที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วหัวไม้และอุปกรณ์วัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง เพื่อบันทึกการสวิงด้วยกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว 3 มิติ จากนั้นเลือกข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการสวิงที่มีความเร็วหัวไม้มากที่สุดของทั้ง 3 รูปแบบพื้นที่ทดสอบของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนมาวิเคราะห์ข้อมูลใน 4 เหตุการณ์ ที่ตำแหน่งจรดลูก ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด ตำแหน่งกลางของการลงไม้และตำแหน่งไม้กระทบ ลูก เพื่อหาความแตกต่างด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวแบบมีการวัดซ้ำ

ผลการวิจัย พบว่า ระยะห่างระหว่างเท้าของการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินมีค่ามากกว่าการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ การสวิงบนพื้นราบกับการสวิงบนพื้นที่

ลาดเอียงพบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งด้านเท้าที่อยู่สูงกว่าจะลดลงในขณะที่เท้าที่อยู่ต่ำกว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การจัดตำแหน่งของมุมสะโพกและมุมหัวเข่าระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงบนพื้นราบมีความแตกต่างในทุกเหตุการณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่ระหว่างการสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบ พบความแตกต่างเฉพาะบางเหตุการณ์ของการสวิงเท่านั้น จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสวิงพบว่า การสวิงแบบขึ้นเนินมีความเร็วหัวไม้และความเร็วในการหมุนลำตัวที่น้อยกว่าการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่การสวิงแบบลงเนินไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วหัวไม้และความเร็วการหมุนลำตัวเมื่อเปรียบเทียบกับ การสวิงบนพื้นราบ

สรุปผลการวิจัย การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน ควรเพิ่มระยะระหว่างเท้าให้กว้างมากขึ้นเพื่อรักษาการทรงตัวอันเนื่องมาจากน้ำหนักที่ถูกถ่ายเทลงบนเท้าที่อยู่ต่ำกว่ามากขึ้น การสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงควรรักษาลักษณะการยืนและการเคลื่อนไหวให้ใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบให้มากที่สุด เพื่อคงไว้ซึ่งความเร็วเชิงมุมในการหมุนลำตัวที่มีส่วนสำคัญต่อการสร้างความเร็วของหัวไม้

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

Chachchanon Poolsawat and Chaipat Lawsirirat

Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

Received: 29 May 2018/Revised: 15 July 2020/Accepted: 18 March 2021

Abstract

Purpose The purpose of this study was to compare the biomechanical variables of golf swing during golf shots on flat, uphill, and downhill slopes.

Methods Sixteen male amateur university golfers with right-handed volunteered to participate in the study. The participants performed 5 swings on three different slope conditions (flat, uphill and downhill). The customized swing plate was used to create uphill and downhill slopes of $\pm 10^\circ$ and was installed equipments for recording club head speed and ground reaction force. Kinematic data were collected using infra-red motion capture cameras. The biomechanical variables of highest club head speed for each participant under each condition was selected in order to specify variable's values at each event (address, top-backswing, mid-down swing and ball-impact) for statistical analysis.

Results The results revealed that the stance width was significantly wider ($p < .05$) for the uphill and downhill slopes compared to the flat condition. Compared with a flat swing condition, uphill and downhill condition

showed significantly higher and lower ($p < .05$) ground reaction force at lower foot and higher foot, respectively. For motion analysis, uphill condition showed significant differences in hip flexion and knee flexion in every swing event while there were no significant differences in knee flexion and hip flexion at some swing events for the downhill condition. Finally, performance outcomes evaluation showed significantly lower in club head speed and trunk rotation velocity between the flat and uphill conditions ($p < .05$). In contrast, there were no significant difference in trunk rotation velocity and club head speed between flat and downhill condition.

Conclusion Golf swing under uphill and downhill should stance wider for balancing against weight that transfer to the lower foot. Furthermore, Golfer should keep swing motion similar to normal swing which normally perform in the flat condition as much as possible in order to maintain trunk rotation velocity which importance to develop club head velocity.

Keywords: Golf swing/Slopes/Uphill/Downhill/Biomechanics

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หนึ่งในทักษะที่สำคัญของการเล่นกีฬากอล์ฟ คือ การสวิง ซึ่งเป็นการทำงานที่ซับซ้อนของร่างกายในการถ่ายเทแรงด้วยหลักการคิเนมาติกส์เชน (Kinetic chain principle) เพื่อเพิ่มโมเมนตัมและความเร็วของหัวไม้ พร้อมทั้งควบคุมองศาของหน้าไม้ก่อนเข้าปะทะลูก เพื่อให้ลูกกอล์ฟไปยังจุดหมายอย่างแม่นยำ (Bradshaw, Keogh, Hume, Maulder, Nortje, Marnewick., 2009; Hellstrom, 2009) ปัจจุบันมีการศึกษาและวิเคราะห์ทางด้านชีวกลศาสตร์ของการสวิงเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม การสวิงนั้นมียปัจจัยที่ไม่แน่นอนอันเป็นผลมาจากข้อจำกัดด้านร่างกายของนักกีฬาแต่ละบุคคล ตำแหน่งของเป้าหมายและสภาพแวดล้อมของสนาม (Langdown, Bridge and Li, 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสวิงกอล์ฟบนพื้นสนาม (Fairway) ที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะต้องทำการสวิงขึ้นเนิน (Uphill) หรือลงเนิน (Downhill) ในระหว่างการแข่งขัน ซึ่งอาจส่งผลต่อระยะและความแม่นยำของการสวิงได้ (Blenkinsop, Gallimore, and Hiley, 2017) จากการศึกษาผลกระทบจากความลาดเอียงบนพื้นสนามที่มีต่อการเล่นกอล์ฟในนักกีฬาอาชีพได้แสดงให้เห็นว่า นักกีฬามีโอกาสจะต้องทำการสวิงขึ้นเนินน้อยกว่าลงเนินถึง 55% และนักกีฬาจะสามารถรู้สึกถึงความลาดเอียงที่มุมของความลาดเอียงมากกว่า 2.25 องศาขึ้นไป (Peters, Smith, and Lauder, 2016) นอกจากนี้ จากการศึกษายังพบว่า กว่า 90% ของการสวิงจะมีความลาดเอียงอยู่ในช่วง 0-10 องศา (Peters, Smith and Lauder., 2016)

ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ของการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงมีจำกัด มีเพียงการศึกษาการถ่ายเทน้ำหนักระหว่างขาทั้งสองข้าง ความเร็วลูกและทิศทางการพุ่งออกของลูกขณะสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงซึ่งได้ทำการทดลองบนพื้นเอียง 5 องศา และพบว่า

มุมระหว่างแนวราบกับวิถีการพุ่งออกของลูก (Launch angle) มีค่ามากขึ้นในการสวิงขึ้นเนิน เมื่อเทียบกับการสวิงบนพื้นราบ และวิถีของลูกมีแนวโน้มไปทางด้านซ้าย (Draw side spin) โดยความลาดเอียงของพื้นที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ได้มีผลต่อความเร็วของลูกอย่างมีนัยสำคัญ (Blenkinsop, Gallimore, and Hiley, 2017) อย่างไรก็ตาม นักกีฬามีโอกาสบ่อยครั้งที่ต้องทำการสวิงบนพื้นที่ที่มีความลาดเอียงสูงถึง 10 องศา (Peters, Smith, and Lauder, 2016) ซึ่งจากการศึกษาด้านชีวกลศาสตร์ของการวิ่งบนพื้นเอียงด้านข้าง (Side sloped surface) ที่มีความลาดเอียง 10 องศา พบว่า ความลาดเอียงที่ชันถึง 10 องศา ส่งผลให้กลไกการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่าง (สะโพก หัวเข่าและข้อเท้า) เปลี่ยนไปจากเดิม (Damavandi, Eslami, and Pearsall, 2017) ซึ่งในกีฬากอล์ฟถือว่าร่างกายส่วนล่างนั้นเป็นแกนกลางในการส่งผ่านแรงสวิง (Hume, Keogh and Reid., 2005) และเป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ เช่น แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force) มุมของหัวเข่า (Knee angle) และสะโพก (Pelvic angle) ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสวิงเป็นอย่างมาก (Hume, Keogh and Reid., 2005)

จากปัญหาที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการสวิง ขึ้นเนินและลงเนินที่ทำมุมกับแนวราบ ± 10 องศา ว่าส่งผลต่อความเร็วของลูกและการเคลื่อนไหวของร่างกายหรือไม่อย่างไร โดยข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยสร้างความเข้าใจของผลกระทบจากการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินที่มีต่อการเล่นกีฬากอล์ฟให้กับนักกีฬา ซึ่งจะช่วยให้ นักกีฬาสามารถเตรียมความพร้อมฝึกซ้อม หรือแม้กระทั่งการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อบางส่วนให้สามารถทำการสวิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงสามารถวางแผนการเล่นได้อย่างถูกต้อง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงกอล์ฟบนพื้นราบและการสวิงกอล์ฟบนพื้นลาดเอียงในนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น

สมมติฐานของการวิจัย

มุมสะโพก มุมของหัวเข่า มุมข้อเท้า ระยะห่างระหว่างเท้า แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งและความเร็วหัวไม้ในการสวิงกอล์ฟระหว่างบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงมีความแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) และได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รับรองเมื่อวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2562

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ คือ นักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย วัยสวิงชวามีอายุระหว่าง 18-25 ปี โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) จากชมรมกอล์ฟของมหาวิทยาลัยต่างๆ การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีคำนวณด้วย โปรแกรม G*POWER Version 3.1.9.2 โดยกำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ที่ระดับ .80 ซึ่งค่านัยสำคัญทางสถิติ (Level of significance) ที่ระดับ .05 ($\alpha = .05$) และขนาดอิทธิพล (Effect size) ที่ระดับ 0.78 (Pichardul and Limroongreungrat, 2016) จากการคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างน้อย 15 คน เพื่อป้องกันการขาดหายไปของกลุ่มตัวอย่าง จึงได้เพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 20 รวมเป็น 18 คน ภายหลังจากเก็บข้อมูลพบค่าผิดปกติจาก

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 คน สรุปลงข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 16 คน

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

1. เป็นนักกีฬาอล์ฟสมัครเล่น เพศชาย วัยสวิงชวามีอายุระหว่าง 18-25 ปี มีแต้มน้อย 0-9 และฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
2. เคยเข้าร่วมการแข่งขันระดับสมาคม ชมรมมหาวิทยาลัย หรือระดับสูงกว่า ที่มีการจัดการแข่งขันอย่างเป็นทางการอย่างน้อย 5 ครั้ง ภายในระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมา
3. เป็นบุคคลที่มีสุขภาพดีไม่มีอาการของโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงและไม่มีปัญหาด้านการบาดเจ็บที่ส่งผลให้ไม่สามารถทำการสวิงกอล์ฟได้ตามปกติ
4. ในกรณีที่มีนักกีฬาที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมากกว่า 18 คน จะคัดเลือกตามสถิติผลการแข่งขันในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา 18 คนแรกที่มีผลการแข่งขันสูงสุด (มีแต้มน้อยในการแข่งขันน้อยที่สุด)
5. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย และลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากกรวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ
2. มีเหตุให้กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบตามรูปแบบที่กำหนด

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทำการประดิษฐ์แท่นสวิงสำหรับการวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ที่สามารถทำการสวิงได้ทั้งในแนวราบและความลาดเอียง ± 110 องศา โดยการประยุกต์ใช้เครื่องวีบาลานส์บอร์ด (Wii balance board; WBB) ในการวัดค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้น

(สามารถวัดแรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นได้เท่านั้น)

2. ทำการสอบเทียบและทดสอบมาตรฐานของแท่นสวิงโดยการเปรียบเทียบค่าแรงจากน้ำหนักทดสอบที่วัดได้ระหว่าง แผ่นวัดแรง (Force plate) รุ่น 400S (400 series performance force plate) ของบริษัท Fitness Technology ที่เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับการทดลองทางชีวกลศาสตร์ทั่วไป โดยค่าที่วัดได้จากแท่นสวิงต้องไม่ต่างจากค่าที่วัดได้จากแผ่นวัดแรงเกิน $\pm 5\%$ ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของบาร์ดเลตต์ (2014)

3. ติดตั้งแท่นสวิง ตาข่ายดักลูก และอุปกรณ์กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว จำนวน 6 ตัว แบ่งเป็นกล้อง Infrared base จำนวน 5 ตัว และกล้อง Video base จำนวน 1 ตัว สำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหว โดยจัดวางให้ครอบคลุมพื้นที่ในการวิเคราะห์ ข้อมูลตำแหน่งมาร์กเกอร์ ภาพเคลื่อนไหว และสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จากเครื่อง WBB จะใช้โปรแกรม Qualisys ในการเริ่มต้นบันทึกข้อมูลพร้อมกัน เพื่อให้สามารถระบุข้อมูลที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูลได้ (Data synchronization)

4. ทำการ Calibration ความแม่นยำของกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวโดย ซึ่งปรับให้มีความถี่ในการบันทึกข้อมูล 300 เฮิร์ต และเครื่อง WBB ที่มีความถี่ในการบันทึกข้อมูล 3000 เฮิร์ต โดยจะทำการ Calibration ทุกครั้งที่มีการเปิดระบบขึ้นใช้ใหม่

5. กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการติดมาร์กเกอร์ (Retro reflective marker) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร โดยสวมเสื้อ กางเกงขาสั้นผ้าแบบเนื้อและรองเท้าผ้าใบที่ไม่มีสีหรือวัตถุสะท้อนแสง โดยทำการติดมาร์กเกอร์ที่ตำแหน่งข้อไหล่บริเวณปุ่มกระดูกหัวไหล่ทั้งด้านซ้ายและขวา (Tip of acromion process; ACM) ข้อสะโพกบริเวณปุ่มกระดูกเชิงกราน

ด้านหน้าทั้งด้านซ้ายและขวา (Anterior Superior iliac spine; ASIS) ข้อสะโพกบริเวณปุ่มกระดูกเชิงกรานด้านหลังทั้งด้านซ้ายและขวา (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)

6. กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ และฝึกซ้อมสวิงกอล์ฟบนแท่นสวิงในทั้ง 3 รูปแบบ เป็นเวลา 25 นาที

7. กลุ่มตัวอย่างทำการจับฉลากสุ่มลำดับเลือกองศาของพื้นที่ใช้ในการทดสอบ

8. กลุ่มตัวอย่างทำการสวิง 5 ครั้งที่สุดสมบูรณ์สำหรับแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนินทำมุมกับแนวราบ ± 10 องศา ด้วยความพยายามตีลูกให้แรงและแม่นยำเสมือนการตีในสถานการณ์จริง

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

10. บันทึกค่ามุมสัดส่วนของร่างกาย ประกอบด้วย

1) มุมสะโพกของด้านเท้านำและเท้าตาม (Leading and trailing hip flexion) จากมาร์กเกอร์ตำแหน่งปุ่มกระดูกหัวไหล่ (Tip of acromion process) ปุ่มกระดูกโคนขาใหญ่ (Greater trochanter) และปุ่มด้านนอกของกระดูกต้นขา (Lateral femoral epicondyles)

2) มุมหัวเข่าของด้านเท้านำและเท้าตาม

(Leading and trailing knee flexion) จากมาร์กเกอร์ตำแหน่ง ปุ่มกระดูกโคนขาใหญ่ (Greater trochanter) ปุ่มด้านนอกของกระดูกต้นขา (Lateral femoral epicondyles) และกระดูกตาตุ่ม (Lateral malleolus)

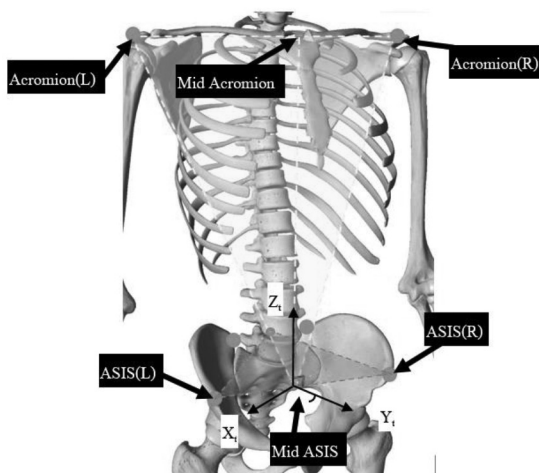
3) ระยะห่างระหว่างเท้า (Stance width; L) จากระยะระหว่างมาร์กเกอร์ตำแหน่งโคนนิ้วชี้เท้า (Dorsum of the foot at the 2nd metatarsophalangeal joint) ของเท้าทั้งสองด้าน

โดยค่าตัวแปรดังกล่าวจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการช่วยคำนวณค่า

11. บันทึกค่าความเร็วการหมุนลำตัว (Trunk rotation velocity) ใช้ความเร็วเชิงมุมที่คำนวณจากมุมในการหมุนของ (Segment coordinate system; SCS) ส่วนลำตัวรอบแกน Z ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา การระบุ SCS ส่วนลำตัว ระบุตำแหน่งจากมาร์กเกอร์ ASIS และ Acromion โดยมีจุดกำเนิดอยู่ตรงกลางระหว่างมาร์กเกอร์ ASIS ซ้ายและขวา (Mid ASIS) ทิศทางบวกของแกน Z ชี้จากจุดกำเนิดไปไปทางส่วนบนของร่างกาย ซึ่งอยู่บนแนวกึ่งกลางระหว่างมาร์ก

เกอร์ Acromion ซ้ายและขวา (Mid Acromion) และระบุทิศทางบวกของแกน Y ไปทางด้านหน้า โดยตั้งฉากกับระนาบ ASIS และ Acromion) (รูปที่ 1) การคำนวณมุมระหว่าง SCS ที่เปลี่ยนแปลงไปจะใช้หลักการหมุนแบบ Euler (ลำดับการหมุน X Y Z) ซึ่งจะใช้การเขียนสูตรคำนวณลงในโปรแกรม Matlab R2019a โดยกำหนดให้ตำแหน่ง SCS เริ่มต้นที่ตำแหน่งจรดลูกและการหมุนในทิศทางลงไม้ (Down swing) มีค่าเป็นบวก

12. นำข้อมูลการสวิงที่ได้มาคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งของเท้าหน้าและเท้าตาม (Leading and trailing foot vehicle ground reaction force) ของ 4 เหตุการณ์การสวิง ด้วยวิธีการบันทึกค่าสัญญาณในรูปแบบของความต่างศักย์จาก Load cell แต่ละตัวในเครื่อง WBB ที่แสดงผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Qualisys Motion Capture System มาคำนวณหาค่าแรงจากสมการที่ได้จากการทำการสอบเทียบ (Calibration of Load cell) ค่าแรงที่ได้จาก Load cells 4 ตัว ในเครื่อง WBB แต่ละเครื่อง จะถูกนำมาบวกกันเป็นค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งที่กระทำต่อเท้าข้างที่ยืนอยู่บนเครื่อง WBB เครื่องนั้น



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งและทิศทาง SCS ของส่วนลำตัว X_t , Y_t , Z_t

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เลือกข้อมูลการสวิงที่มีความเร็วหัวไม้สูงที่สุด 1 ครั้งของแต่ละองศาของพื้นที่ทดสอบมาแบ่งเป็นเหตุการณ์ 4 เหตุการณ์ ตามหลักเกณฑ์การแบ่งเหตุการณ์ โดยการระบุหลักเกณฑ์ที่ใช้ลงในโปรแกรม Matlab R2019a เพื่อนำค่าตัวแปรในแต่ละเหตุการณ์มาหาค่าเฉลี่ย สำหรับนำไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หลักเกณฑ์การแบ่งเหตุการณ์มีดังต่อไปนี้

1) ตำแหน่งจรดลูก (Address; AD) ระบุโดยใช้ตำแหน่งมาร์คเกอร์บริเวณโคนหัวไม้กอล์ฟเริ่มมีการเคลื่อนไหวในช่วง Backswing

2) ตำแหน่งขึ้นไม้สูงสุด (Top-Backswing; TB) ระบุโดยใช้จุดกลับตัวของความเร็วจากลดลงเป็นเพิ่มขึ้นของความเร็วมาร์คเกอร์บริเวณโคนหัวไม้กอล์ฟในช่วง Backswing ถึง Downswing

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

4) ตำแหน่งไม้ปะทะลูก (Ball impact; BI) ระบุโดยใช้ตำแหน่งลูกกอล์ฟเริ่มมีการเคลื่อนไหว

2. นำค่าตัวแปรในแต่ละเหตุการณ์ ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 16 คน ที่ได้จากการสวิงทั้ง 3 รูปแบบมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23 (Statistical Package for the Social Sciences) ดังต่อไปนี้

1) หาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และแฉับต่อ (Handicap) และข้อมูลทางชีวกลศาสตร์

2) วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้การทดสอบของโคลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) กรณีข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวแปรของการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนิน โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เมื่อมีการวัดซ้ำ (One-way repeated measure ANOVA) และใช้การปรับค่าช่วงความเชื่อมั่นของ Bonferroni analysis เพื่อเปรียบเทียบรายคู่ระหว่างตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการสวิงบนพื้น 3 รูปแบบ ในแต่ละเหตุการณ์ โดยกำหนดระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

4) กรณีข้อมูลมีการกระจายตัวไม่เป็นปกติ วิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้การทดสอบ ครัสคาลและวัลลิส (kruskal-wallis test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการสวิงบนพื้น 3 รูปแบบ โดยกำหนดระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นนักกีฬา กอล์ฟสมัครเล่นเพศชาย จำนวน 16 คน ที่มีอายุเฉลี่ย 20.95 ± 2.31 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 80.36 ± 10.95 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 177.69 ± 4.66 เซนติเมตร และแฉับต่อเฉลี่ย 3.6 ± 1.6

จากการเปรียบเทียบรายคู่ของระยะระหว่างเท้า พบว่า ระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบขึ้นเนินเพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบ 5.01 เซนติเมตร ($p=0.008$) คิดเป็น 10.58 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบลงเนินเพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบ 6.11 เซนติเมตร ($p<0.001$) คิด

เป็น 12.90 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ และระยะระหว่างเท้าของการสวิงแบบขึ้นเนินมากกว่าการสวิงแบบลงเนิน 1.09 เซนติเมตร ($p=0.775$) ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการเปรียบเทียบรายคู่ของความเร็วหัวไม้พบว่าความเร็วหัวไม้การสวิงแบบขึ้นเนินลดลงจากการสวิงบนพื้นราบ 3.58 ไมล์ต่อชั่วโมง ($p<0.001$) คิดเป็น 4.18 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ความเร็วหัวไม้การสวิงแบบลงเนินลดลงจากการสวิงบนพื้นราบ 1.31 ไมล์ต่อชั่วโมง ($p=0.11$) คิดเป็น 1.53 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบและความเร็วหัวไม้การสวิงแบบขึ้นเนินน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนิน 2.27 ไมล์ต่อชั่วโมง ($p=0.005$) คิดเป็น 2.65 เปอร์เซ็นต์ของการ

สวิงบนพื้นราบ

จากการเปรียบเทียบมุมสะโพกและมุมหัวเข้าระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงบนพื้นราบพบว่า สะโพกและมุมหัวเข้าด้านเข้าหน้าของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญในทุกเหตุการณ์ โดยมุมสะโพกลดลง 3.76 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ยและมุมหัวเข้าลดลง 7.15 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย ในขณะที่มุมสะโพกและมุมหัวเข้าด้านเข้าตามมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมุมสะโพกมีค่าเพิ่มขึ้น 1.52 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ยและมุมหัวเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น 2.25 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean \pm SD) ของอายุ (Age) น้ำหนัก (Weight) ส่วนสูง (Height) และแต้มต่อของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 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
แต้มต่อ	3.6 \pm 1.6

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของระยะระหว่างเท้าระหว่างการสวิงบนพื้นราบ สวิงขึ้นเนินและลงเนิน

	Flat (F)	Up-Hill (U)	Down-Hill (D)	Mean difference (p-value)		
	(SD)	(SD)	(SD)	F vs. U	F vs. D	U vs. D
ระยะระหว่างเท้า (เซนติเมตร)	47.37 \pm 2.33	52.38 \pm 5.39	53.47 \pm 5.51	-5.01* 0.008	-6.11* <0.001	-1.09 0.775
ความเร็วหัวไม้ (ไมล์ต่อชั่วโมง)	85.68 \pm 3.80	82.10 \pm 4.88	84.38 \pm 4.76	3.58* <0.001	1.31 0.11	-2.27* 0.005

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

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของมุมสะโพกและมุมหัวเข่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ด้านเท้าหน้าและเท้าตาม ระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

		Flat (F)	Up-Hill (U)	Down-Hill (D)	Mean difference (p-value)		
		(SD)	(SD)	(SD)	F vs. U	F vs. D	U vs. D
มุม	AD	136.16 ± 5.91	129.26 ± 5.75	137.5 ± 6.89	7.12*(<0.001)	-1.55(0.221)	-8.66*(<0.001)
สะโพก	TB	129.94 ± 6.78	125.59 ± 6.50	129.70 ± 5.68	4.35*(<0.001)	0.24(1.000)	-4.11*(<0.001)
เท้าหน้า	MD	117.34 ± 4.28	115.27 ± 3.98	129.70 ± 5.68	4.35*(<0.001)	0.24(1.000)	-3.21*(<0.001)
(องศา)	BI	125.23 ± 4.52	122.28 ± 3.98	125.41 ± 5.27	2.96*(<0.001)	-0.17(1.000)	-3.12*(<0.001)
มุม	AD	130.12 ± 6.01	133.21 ± 5.48	123.78 ± 5.34	-3.09*(0.002)	6.33*(<0.001)	9.42*(<0.001)
สะโพก	TB	134.54 ± 4.54	136.19 ± 5.89	130.47 ± 5.44	-1.65*(0.008)	4.08*(<0.001)	5.72*(<0.001)
เท้าตาม	MD	142.84 ± 4.52	143.54 ± 4.84	141.74 ± 5.29	-0.70(0.170)	1.10(0.093)	1.80*(0.021)
(องศา)	BI	140.35 ± 4.78	141.77 ± 5.14	140.03 ± 5.09	-1.42*(0.003)	0.33(1.000)	1.74*(0.050)
มุม	AD	164.67 ± 4.90	154.50 ± 5.19	164.81 ± 6.38	10.17*(<0.001)	-0.14(1.000)	-10.31*(<0.001)
หัวเข่า	TB	145.37 ± 7.63	136.42 ± 7.27	147.18 ± 7.93	8.95*(<0.001)	-1.81(0.137)	-10.76*(<0.001)
เท้าหน้า	MD	159.92 ± 3.91	148.83 ± 5.73	160.39 ± 4.55	13.64*(<0.001)	-2.73*(0.011)	-16.38*(<0.001)
(องศา)	BI	166.58 ± 3.91	153.63 ± 6.24	166.33 ± 3.80	12.95*(<0.001)	0.26(1.000)	-12.69*(<0.001)
มุมหัว	AD	159.44 ± 4.50	161.80 ± 6.35	149.99 ± 6.80	-2.36*(0.014)	9.45*(<0.001)	11.81*(<0.001)
เข่าเท้า	TB	157.18 ± 5.65	158.04 ± 6.90	148.26 ± 7.10	-0.86(0.800)	8.92*(<0.001)	9.78*(<0.001)
ตาม	MD	151.30 ± 8.54	157.15 ± 9.27	143.22 ± 7.44	-5.86*(<0.001)	8.07*(<0.001)	13.93*(<0.001)
(องศา)	BI	154.48 ± 9.91	161.04 ± 9.85	148.34 ± 7.10	-6.56*(<0.001)	6.14*(0.005)	12.70*(<0.001)
แรง	AD	53.54 ± 5.98	31.52 ± 8.01	73.10 ± 8.31	22.02*(<0.001)	-19.57*(<0.001)	-41.58*(<0.001)
ปฏิกิริยา	TB	34.25 ± 8.02	24.94 ± 8.40	51.40 ± 10.45	9.31*(<0.001)	-17.14*(<0.001)	-26.46*(<0.001)
เท้าหน้า	MD	86.71 ± 15.8	72.78 ± 23.20	102.62 ± 12.12	13.93*(0.005)	-15.91*(<0.001)	-18.70*(0.048)
(นิวตัน)	BI	70.77 ± 21.74	60.34 ± 20.30	82.07 ± 24.53	10.43* (0.034)	-11.30*(0.006)	-21.73*(0.008)
แรง	AD	47.29 ± 5.50	64.36 ± 5.47	23.03 ± 6.75	-17.07*(<0.001)	24.26*(<0.001)	41.33*(<0.001)
ปฏิกิริยา	TB	49.56 ± 11.96	54.56 ± 12.66	25.17 ± 7.71	-5.00*(0.006)	24.39*(<0.001)	29.39*(<0.001)
เท้าตาม	MD	50.56 ± 21.66	64.66 ± 18.85	22.35 ± 12.17	-14.07*(<0.001)	28.21*(<0.001)	42.28*(<0.001)
(นิวตัน)	BI	46.18 ± 23.52	58.26 ± 23.36	26.55 ± 14.69	-12.07*(0.001)	19.63*(0.006)	31.71*(<0.001)

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของความเร็วการหมุนลำตัว

		Flat (F)	Up-Hill (U)	Down-Hill (D)	Mean difference (p-value)		
		(SD)	(SD)	(SD)	F vs. U	F vs. D	U vs. D
ความเร็วการ	TB	15.04 ± 28.52	10.82 ± 19.56	14.07 ± 26.10	4.22(0.612)	0.97(1.000)	3.25(0.883)
หมุนลำตัว	MD	636.57 ± 84.40	618.68 ± 80.41	637.51 ± 95.04	17.89*(0.005)	0.94(0.912)	18.82*(0.044)
(องศา/วินาที)	BI	578.88 ± 95.40	564.99 ± 90.82	571.37 ± 98.25	13.89* (0.004)	7.51(0.208)	6.38(0.240)

จากการเปรียบเทียบมุมสะโพกและมุมหัวเข่า ระหว่างการสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบพบว่า สะโพกด้านหน้าของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าเพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น 0.61 องศาของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ยและมุมหัวเข่ามีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น 0.45 องศาของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย ในขณะที่มุมสะโพกด้านหน้าตามมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง AD และ TB แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง MD และ BI โดยรวมมีค่าลดลง 2.23 องศาของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ยและมุมหัวเข่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 5.23 องศาของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย

จากการเปรียบเทียบมุมสะโพกและมุมหัวเข่า ระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนิน พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกเหตุการณ์

จากการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงบนพื้นราบพบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านหน้าของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญในทุกเหตุการณ์ โดยรวมแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านหน้าลดลง 24.77 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย ในขณะที่เดียวกันแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านหน้าตามมีค่าลดลงจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัย

สำคัญในทุกเหตุการณ์ 25.04 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย

จากการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง ระหว่างการสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบพบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านหน้าของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าเพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญในทุกเหตุการณ์ โดยรวมแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านหน้าเพิ่มขึ้น 30.23 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย ในขณะที่เดียวกันแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้านหน้าตามมีค่าเพิ่มขึ้นจากการสวิงบนพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญในทุกเหตุการณ์ 49.72 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย

จากการเปรียบเทียบมุมสะโพกและมุมหัวเข่า ระหว่างการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนิน พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกเหตุการณ์

จากการเปรียบเทียบความเร็วการหมุนลำตัวของ การสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงบนพื้นราบพบว่า ความเร็วในการหมุนลำตัวโดยรวมของการสวิงแบบขึ้นเนินมีค่าลดลง คิดเป็น 11.09 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง MD และ BI แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง TB

จากการเปรียบเทียบความเร็วการหมุนลำตัวของ การสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบพบว่า

ความเร็วในการหมุนลำตัวโดยรวมของการสวิงแบบลงเนินมีค่าเพิ่มขึ้น คิดเป็น 2.63 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกตำแหน่งการสวิง

จากการเปรียบเทียบความเร็วการหมุนลำตัวของ การสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงแบบลงเนินพบว่าความเร็วในการหมุนลำตัวโดยรวมของการสวิงแบบขึ้นเนินน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนิน คิดเป็น 8.56 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบโดยเฉลี่ย

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาที่พบว่า ความเร็วของหัวไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับความเร็วในการหมุนลำตัวที่มีค่าลดลงและท่าทางการเคลื่อนไหวรวมถึงแรงปฏิกิริยาจาก พื้นแนวตั้งระหว่างการสวิงบนพื้นราบ การสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ การอภิปรายผลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเปรียบเทียบการสวิงแบบขึ้นเนินและการสวิงบนพื้นราบ

เมื่อต้องการสวิงแบบขึ้นเนินที่มีความลาดเอียงถึง 10 องศา นักกอล์ฟจะเพิ่มระยะห่างระหว่างเท้าประมาณ 9.4 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบพร้อมลดมุมสะโพก หัวเข่า (ย่อตัวลง) ของด้านเท้าที่อยู่สูงกว่า (ด้านเท้าหน้า) ให้ต่ำลง ในทางกลับกันด้านเท้าที่อยู่ต่ำกว่า (ด้านเท้าตาม) จะมีการเพิ่มมุมสะโพกและหัวเข่าให้สูงขึ้น (ยืดตัวขึ้น) เมื่อเทียบกับการสวิงบนพื้นราบโดยปกติ เมื่อพิจารณาลักษณะการปรับตำแหน่งของร่างกายดังกล่าวแล้วจะเห็นว่า ฐานรองรับ (Base of support) กว้างมากขึ้นจากระยะห่างระหว่างเท้าที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการย่อร่างกายด้านเท้าหน้าและยืดร่างกายด้านเท้าตามช่วยรักษาตำแหน่งอวัยวะของร่างกายให้อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางฐานรองรับมาก

ขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Hume, Keogh และ Reid (2005) ที่ได้กล่าวไว้ว่าการสวิงควรยืนให้เท้ากว้างกว่าแนวแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อจุดศูนย์กลางมวลเพื่อเพิ่มความมั่นคงของการทรงตัวขณะทำการสวิง แต่อย่างไรก็ตามจากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้ง จะเห็นได้ว่ายังคงมีการถ่ายเทน้ำหนักลงบนเท้าตามมากขึ้น ถึงแม้ว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นทั่วได้ในกรณีวิจัยนี้จะเป็แรงในแนวตั้งฉากกับพื้นแต่เมื่อพิจารณาจากหลังทางฟิสิกส์ของวัตถุบนพื้นเอียงจะเห็นได้ว่าแรงปฏิกิริยาในทิศทางตั้งฉากกับพื้นจะมีค่าเท่ากับผลคูณของน้ำหนักกับโคไซน์มุมเอียงของพื้น ซึ่งการวิจัยนี้มุมเอียงมีค่าคงที่ ทำให้สามารถคาดคะเนน้ำหนักในแนวตั้งฉากกับพื้นราบที่บอกถึงตำแหน่งของ COP ได้ โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop, Galimore, และ Hiley (2017) ที่ได้พบว่าจุดศูนย์กลางแรงรับ (Center of pressure; COP) จะเคลื่อนเข้าหาเท้าที่อยู่ต่ำกว่าขณะทำการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงที่มีความลาดเอียง 5 องศา

จากการวิเคราะห์ความเร็วหัวไม้และความเร็วการหมุนลำตัวพบว่า การสวิงแบบขึ้นเนินมีความเร็วการหมุนลำตัวโดยรวมน้อยลง 11.09 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ โดยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง MD และ BI ซึ่งส่งผลให้ความเร็วหัวไม้มีค่าน้อยลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Chu, Sell, และ Lephart (2010) ซึ่งพบว่าความเร็วการหมุนลำตัวที่ตำแหน่ง 66 เปอร์เซ็นต์ของช่วงลงไม้ (ใกล้เคียงกับตำแหน่ง MD) มีอิทธิพลต่อความเร็วลูกอย่างมา

การปรับลักษณะการเคลื่อนไหวเพื่อทำการสวิงบนพื้นลาดเอียงแบบขึ้นเนินส่งผลให้ความเร็วในการหมุนลำตัวลดน้อยลงทำให้ความเร็วหัวไม้ขณะเคลื่อนที่เข้าประทะลูกมีค่าลดลง

2. การเปรียบเทียบการสวิงแบบลงเนินและการสวิงบนพื้นราบ

เมื่อต้องการสวิงแบบลงเนินที่มีความลาด

เสียง 10 องศา นักกอล์ฟจะเพิ่มระยะห่างระหว่างเท้า ประมาณ 9.7 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ ในช่วงขึ้นไม้ (AD และ TB) การสวิงแบบลงเนิน นักกอล์ฟจะปรับชดเชยด้วยการลดมุมสะโพก มุมหัวเข่า (ย่อตัวลง) ของด้านเท้าที่อยู่สูงกว่า (ด้านเท้าตาม) ให้ต่ำลงเมื่อเทียบกับการสวิงบนพื้นราบโดยปกติ แต่ยังคงสามารถรักษามุมสะโพกและมุมหัวเข่าทางด้านเท้า นำให้ใกล้เคียงการสวิงบนพื้นราบ เมื่อเข้าสู่ช่วงลงไม้ มุมสะโพกและมุมหัวเข่าทั้งสองด้านจะสามารถปรับกลับมาอยู่ในลักษณะใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบ โดยปกติได้

จะเห็นได้ว่าการปรับชดเชยของการสวิงแบบลงเนินจะสามารถรักษาตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของร่างกายไว้ให้ใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบได้มากกว่า การสวิงแบบขึ้นเนิน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสวิงจะเห็นได้ว่า การหมุนลำตัวและความเร็วของหัวไม้ของการสวิงบนพื้นราบและการสวิงแบบลงเนินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง ต่างจากการสวิงแบบขึ้นเนินที่มีการปรับชดเชยมุมสะโพกและมุมหัวเข่าตลอดการเคลื่อนไหว ซึ่งทำให้ความเร็วของหัวไม้ลดลงถึง 4.18 เปอร์เซ็นต์ของการสวิงบนพื้นราบ จึงทำให้เชื่อได้ว่าการรักษามุมสะโพกและมุมหัวเข่าให้มีค่าใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบจะช่วยให้สามารถคงความเร็วหัวไม้และการหมุนลำตัวให้ใกล้เคียงการสวิงบนพื้นราบโดยปกติได้

3. การเปรียบเทียบการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน

จากการวิเคราะห์ข้อมูล ระยะระหว่างเท้าของการสวิงบนทั้งสองพื้นทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะเห็นได้ว่ามุมสะโพกและมุมหัวเข่าทั้งสองด้านมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมุมสะโพกและมุมหัวเข่าด้านเท้าหน้าของการสวิงแบบขึ้นเนินจะมีค่าน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนิน ในทางกลับกันมุมสะโพกและมุมหัวเข่าด้านเท้าตามของการสวิงแบบขึ้น

เนินจะมีค่ามากกว่าการสวิงแบบลงเนิน ทั้งนี้เกิดจากการเอียงตัวของพื้นไปทางตรงกันข้ามทำให้ลักษณะการจัดตำแหน่งของร่างกายให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางของฐานรองรับมีลักษณะตรงกันข้าม เช่นเดียวกับการถ่ายเทน้ำหนักอันแสดงจากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งที่การสวิงแบบขึ้นเนินน้ำหนักถ่ายเทมายังเท้าตามในขณะที่การสวิงแบบลงเนิน น้ำหนักถ่ายเทมายังเท้าหน้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blenkinsop, Gallimore, และ Hiley (2017) ที่พบว่า จุดศูนย์กลางแรงรับจะเคลื่อนเข้าหาเท้าที่อยู่ต่ำกว่าเมื่อทำการสวิงบนพื้นลาดเอียงทำมุม 5 องศา กับแนวราบ จากการการศึกษาความเร็วหัวไม้และความเร็วการหมุนลำตัวพบว่า ความเร็วในการหมุนลำตัวของ การสวิงแบบขึ้นเนินที่ตำแหน่ง MD มีค่าน้อยกว่าการสวิงแบบลงเนินซึ่งส่งผลให้ความเร็วหัวไม้มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากลักษณะการปรับมุมสะโพกและมุมหัวเข่าของการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนินที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการสวิงแบบขึ้นเนินไม่สามารถปรับมุมสะโพกและมุมหัวเข่าให้ใกล้เคียงกับการสวิงบนพื้นราบได้นั้น อาจเป็นผลมาจากการสร้างแรงปฏิกิริยาจากพื้นแนวตั้งโดยการตีบเท้าหน้าให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มพูนความเร็วหัวไม้ในช่วงลงไม้ ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบของการสร้างแรงปฏิกิริยาจากพื้นขณะทำการสวิงที่เคยมีการศึกษาค้นพบมาแล้วอย่างแพร่หลายเช่น การศึกษาของ Wang, Yan, และ Shiang, (2007) และเมื่อพิจารณาทิศทางของแรงที่ตั้งฉากกับพื้นที่ทำมุม 10 องศา กับแนวราบจะเห็นว่าทิศทางผลกดันร่างกายหรือจุดศูนย์กลางมวลที่อยู่ใกล้เท้าที่อยู่ต่ำกว่าให้ออกนอกระบบรองรับ ซึ่งแตกต่างจากการสวิงแบบลงเนินที่มีทิศทางผลกดันร่างกายหรือจุดศูนย์กลางมวลที่อยู่ใกล้เท้าที่อยู่ต่ำกว่าเข้าสู่กึ่งกลางฐานรองรับ

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการปรับขนาดเขยของการสวิงแบบขึ้นเนินและลงเนิน ซึ่งควรมีการยืนให้ระยะห่างระหว่างเท้ากว้างมากขึ้น พร้อมทั้งปรับการยืนในลักษณะย่อสัดส่วนของลำตัวด้านเท้าที่อยู่สูงกว่าให้ต่ำลง ในทางกลับกันด้านเท้าที่อยู่ต่ำกว่าจะมีการยืดสัดส่วนของลำตัวให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการสวิงบนพื้นราบโดยปกติ ทั้งนี้เพื่อรักษาการทรงตัวอันเนื่องมาจากจุดศูนย์กลางมวลที่เคลื่อนเข้าหาเท้าที่อยู่ต่ำกว่ามากขึ้น อย่างไรก็ตามนักกอล์ฟควรปรับขนาดเขยให้น้อยที่สุดหรือมีการเคลื่อนไหวให้ใกล้เคียงการสวิงบนพื้นราบให้มากที่สุด เพื่อคงไว้ซึ่งความเร็วเชิงมุมในการหมุนลำตัวที่มีส่วนสำคัญต่อการสร้างความเร็วของหัวไม้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เนื่องจากประสิทธิภาพของการสวิงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของหัวไม้เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับทิศทางของการสวิง งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ที่ส่งผลต่อการสร้างความเร็วของหัวไม้เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยครั้งต่อไปจึงควรศึกษาผลจากการสวิงบนพื้นที่ลาดเอียงที่มีต่อทิศทางของการสวิง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทดลองเป็นอย่างดีและผู้ช่วยวิจัยที่คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลจนสำเร็จลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

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.

Blenkinsop, G. M., Gallimore, N. J., and Hiley, M. J. (2017). Weight transfer changes during golf shots from different lies. *Paper presented at the International Society of Biomechanics in Sports conference proceedings archive*, 35(1), 77.

Bradshaw, E. J., Keogh, J. W. L., Hume, P. A., Maulder, P. S., Nortje, J., and 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.

Chu, Y. C., Sell, T. C., and 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., and Pearsall, D. J. (2017). Side-sloped surfaces substantially affect lower limb running kinematics. *Sports Biomechanics*, 16(1), 1-12.

Hellström, J. (2009). Competitive elite golf. *Sports Medicine*, 39(9), 723-741.

Hume, P. A., Keogh, J., and Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, 35(5), 429-449.

Langdown, B. L., Bridge, M., and Li, F. X. (2012). Movement variability in the golf swing. *Sports Biomechanics*, 11(2), 273-287.

- Peters, R., Smith, N., and Lauder, M. (2016). Quantifying the gradients exposed to a professional golfer during a round of golf. *Paper presented at the International Society of Biomechanics in Sports conference proceedings archive.*
- Pichardul, K., and Limroongreungrat, W. (2016). Kinematic of two golf swing conditions in competitively professional golfers. *Journal of Sports Science and Technology*, 16(1), 1-10.
- Wang, J.-J., Yan, P.-F., and 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.