

Original article

BALANCE SCORE FROM KR BALANCE KIT TO IDENTIFY A RISK OF CHRONIC ANKLE INSTABILITY

Tiwa KOSOL^{1,3,*}, Anchana ANANTI¹, Piyachat CHOMSRI¹, Nitchanan POOLJAN¹, Warisareya PHOTHITA¹,
Wisan TANGWONGCHAROEN^{2,3}, Chorphaka DAMRONGTHAI^{1,3}, and Nalut UTSAHACHANT^{1,3}

¹*Faculty of Physical Therapy and Sports Medicine, Rangsit University, Pathum Thani, THAILAND*

²*Department of Computer Science, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, THAILAND*

³*KR Health Research and Information Unit, Rangsit University, Pathum Thani, THAILAND*

ABSTRACT

Chronic Ankle Instability (CAI) is the most common injury among athletes and active population which may consequently impair balance and lead to falls. The KR balance kit, a device that has been developed for balance assessment, may be used to identify a risk of developing CAI conditions. Therefore, this study aimed to: 1) determine the KR balance cut-off score, a value that obtained from the KR balance kit to identify the risk of CAI conditions and 2) compare the KR balance score between individuals with and without CAI. A total of 114 participants were divided into 2 groups: 1) CAI (n=57) and 2) Non-Chronic Ankle Instability (NCAI) groups (n=57) by using the Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT). Then, each participant was tested by the KR balance kit for 10 seconds, performing 3 times. The average KR balance scores were compared between groups. The KR balance cut-off score was subsequently calculated by applying the ROC curve and area under the curve (AUC). The results showed that the KR balance cut-off score ≥ 2.96 referred to have the risk of CAI conditions (sensitivity = 0.702, specificity = 0.807, and accuracy = 81%). In addition, the CAI group was found statistical significantly greater sway than the NCAI group ($p < 0.01$). In accordance with the CAIT score, the KR balance kit could be utilized in identifying the risk of CAI conditions. To conclude, the KR balance kit may be an alternative device to assess the risk of CAI conditions for sports personnel and general population since it is practical and easy to use, especially in a fieldwork.

(Journal of Sports Science and Technology 2024; 24 (1): 40-51)

(Received: 9 September 2023, Revised: 16 March 2024, Accepted: 9 April 2024)

KEYWORDS: Chronic ankle instability/ Balance/ KR Balance Kit/ Cumberland Ankle Instability Tool

* Corresponding author: Tiwa KOSOL

Faculty of Physical Therapy and Sports Medicine, Rangsit University, Pathum Thani, THAILAND

E-mail: tiwa.k@rsu.ac.th

นิพนธ์ต้นฉบับ

**ค่าการทรงตัวจากชุดทดสอบ KR balance kit ในการระบุความเสี่ยง
ต่อภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง**

ทิวา โกศล^{1,3,*} อัญชนา อนันต์¹ ปิยฉัตร โฉมศรี¹ นิชนันท์ พูลจันทร์¹
วรศรียา โพธิตา¹ วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ^{2,3} ช่อผกา ดำรงไทย^{1,3} และนลัท อุดสาห์จันทร์^{1,3}

¹คณะกายภาพบำบัดและเวชศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

²ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร

³หน่วยวิจัยสุขภาพและสารสนเทศเคอาร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

บทคัดย่อ

ภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง (Chronic Ankle Instability; CAI) พบได้บ่อยในนักกีฬาตลอดจนบุคคลทั่วไป ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของความบกพร่องในการทรงตัวและความเสี่ยงในการเกิดการล้ม ชุดทดสอบ KR balance kit จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินการทรงตัวและประเมินความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) หาเกณฑ์การทรงตัว (KR balance cut-off score) จากชุดทดสอบ KR balance kit ในการระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI 2) เปรียบเทียบ KR balance score ระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีภาวะ CAI (Non-Chronic Ankle Instability; NCAI) ผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 114 คนถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม CAI (57 คน) และกลุ่ม NCAI (57 คน) โดยใช้แบบประเมินภาวะข้อเท้าไม่มั่นคง (Cumberland Ankle Instability Tool; CAIT) เพื่อระบุภาวะ CAI หลังจากนั้น ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะถูกทดสอบบนชุดทดสอบ KR balance kit เป็นเวลา 10 วินาที จำนวน 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ย KR balance score เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม และหาค่า KR balance cut-off score โดยใช้ ROC curve และคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (area under the curve - AUC) ผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า KR balance cut-off score ที่ ≥ 2.96 แสดงถึงการมีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI โดยมีค่าความไวในการทดสอบที่ 0.70 ค่าความจำเพาะในการทดสอบที่ 0.81 และมีความแม่นยำในการทดสอบเมื่อเทียบกับคะแนน CAIT อยู่ที่ร้อยละ 81 นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมวิจัยในกลุ่ม CAI มีค่า KR balance score มากกว่ากลุ่ม NCAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) จากผลการศึกษารูปได้ว่าชุดทดสอบ KR balance kit สามารถใช้ระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ได้ สอดคล้องกับแบบทดสอบ CAIT ชุดทดสอบใช้งานง่ายต่อการทำงานในภาคสนาม จึงน่าจะเป็นเครื่องมือที่เป็นทางเลือกให้กับบุคลากรทางการกีฬาตลอดจนบุคคลทั่วไปในการประเมินความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ได้

(วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา 2567; 24 (1): 40-51))

คำสำคัญ ภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง, การทรงตัว, ชุดทดสอบ KR balance kit, แบบประเมินภาวะข้อเท้าไม่มั่นคง

บทนำ

ภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง (Chronic Ankle Instability; CAI) มักเกิดจากข้อเท้าพลิก ซึ่งเป็นการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นบ่อยในนักกีฬาถึงร้อยละ 40 โดยเฉพาะในนักกีฬาฟุตบอล วอลเลย์บอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล^{1,2} หากไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้องหลังจากเกิดข้อเท้าพลิกครั้งแรก อาจนำไปสู่การบาดเจ็บที่มากขึ้นถึงร้อยละ 80³ และมีโอกาสเกิดการพลิกซ้ำถึงร้อยละ 61 ทำให้ความมั่นคงของข้อเท้าลดลงจนนำไปสู่ภาวะ CAI^{1,4,5} การเกิดข้อเท้าพลิกส่วนใหญ่เกิดในท่าถีบปลายเท้าลงร่วมกับหมุนข้อเท้าเข้าด้านใน (ankle plantarflexion and inversion)⁶ ส่งผลให้เอ็นข้อต่อของข้อเท้าทางด้านนอก (lateral ankle ligament) ฉีกขาด โดยเฉพาะเอ็นข้อต่อ anterior talofibular ที่พบการบาดเจ็บมากที่สุดถึงร้อยละ 73⁷ การบาดเจ็บต่อเอ็นข้อตอดังกล่าว นอกจากจะสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างที่เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ส่งผลต่อความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของข้อต่อแล้ว ยังสร้างความเสียหายต่อตัวรับแรงกล (mechanoreceptor) ที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับตำแหน่งของข้อต่อ (proprioception) อีกด้วย⁸⁻¹⁰ นอกจากนี้ ยังพบการทำงานของระบบประสาทรับความรู้สึกทางกายที่เปลี่ยนไป^{10,11} ส่งผลกระทบถึงการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular control) จนทำให้การควบคุมการทรงตัว (postural control) ลดลงในที่สุด¹²⁻¹⁶ ด้วยเหตุนี้ ภาวะ CAI จึงมักส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวัน เช่น การเดิน และการวิ่งทั้งบนพื้นเรียบหรือพื้นต่างระดับ¹⁷ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาที่ต้องเคลื่อนไหวและเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว จึงเป็นความเสี่ยงอย่างยิ่งที่ข้อเท้าจะเกิดการพลิกซ้ำในข้างเดียวกัน และบาดเจ็บต่อโครงสร้างอื่นของร่างกายจากการล้มตามมามากขึ้น^{1,18-20}

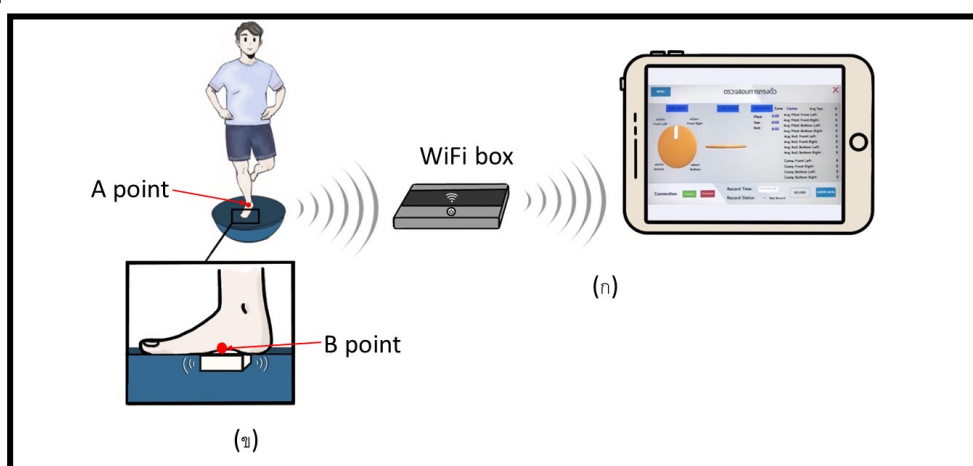
นอกจากนี้ ความสามารถในการทรงตัวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะ CAI¹² ดังนั้นผู้ที่มิประวัติข้อเท้าพลิกจึงควรได้รับการประเมินการทรงตัวเพื่อระบุความเสี่ยงในการเกิดภาวะ CAI ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการประเมินการทรงตัวโดยใช้การทดสอบขณะทรงตัวแบบอยู่บนแผ่นรับแรงกด (force plates) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐานเนื่องจากมีความถูกต้อง ความแม่นยำ และน่าเชื่อถือ^{9,21,22} พบว่าผู้ที่มีภาวะ CAI แสดงการแกว่งของร่างกาย (postural sway) มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม⁹ อย่างไรก็ตามการใช้งาน force plates ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ ประกอบกับเครื่องมือมีราคาแพงมากทำให้ค่าใช้จ่ายในการประเมินค่อนข้างสูง ดังนั้น การประเมินการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวในปัจจุบันจึงนิยมใช้การทดสอบ Y-balance test โดยเฉพาะการประเมินในภาคสนาม เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่าย ราคาไม่แพง และมีความน่าเชื่อถือสูง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการทดสอบดังกล่าว สามารถใช้ประเมินการทรงตัวบนพื้นราบมั่นคงเท่านั้น²³ ในขณะที่การศึกษาของ Fusco และคณะในปี 2019 ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ฝึกการทรงตัว (wobble board balance) ที่สามารถใช้ประเมินการทรงตัวบนพื้นที่ไม่มั่นคง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวไว้ภายใน (accelerometers) เพื่อประเมินความสามารถในการทรงตัวบนขาข้างเดียว พบว่าเครื่องมือมีความเที่ยงตรงและแม่นยำในการระบุความบกพร่องในการทรงตัวในผู้ที่มีภาวะ CAI ได้²⁴ อย่างไรก็ตาม การใช้อุปกรณ์เพื่อประเมินการทรงตัวจากการศึกษาดังกล่าว อาสาสมัครสามารถใช้ข้อมูลป้อนกลับจากการมองเห็นหน้าจอแสดงผล ช่วยในการควบคุมการทรงตัวและใช้ระยะเวลารวมในการประเมินการควบคุมการทรงตัว แต่ในผู้ที่มีภาวะ CAI จะมีการใช้ระบบประสาทรับความรู้สึกทางกายที่ต่างจากผู้ที่ไม่มีความเสี่ยง CAI โดยขณะทรงตัวจะใช้การมองเห็นในการควบคุมการทรงตัวที่มากกว่าปกติ¹³ ดังนั้นหากปรับการประเมินความเสี่ยงต่อภาวะ CAI โดยการควบคุมการทรงตัวของร่างกายตนเองต่อสิ่งแวดล้อม (body orientation) และประเมินความสามารถในการทรงตัวจากการแกว่งของร่างกายจากจุดศูนย์กลางบนอุปกรณ์ที่มีความลาดเอียงหรือความไม่มั่นคงมากขึ้น เช่น BOSU balance เป็นต้น อาจจะสามารถจำแนกความบกพร่องของการทรงตัวบนขาข้างเดียวในภาวะ CAI ได้มากยิ่งขึ้น²⁵ ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงต่อภาวะ CAI โดยอาศัยหลักการทำงานของ BOSU balance ซึ่งมีเซ็นเซอร์ตรวจจับการโน้มเอียงของ BOSU balance ผังอยู่ที่บริเวณแผ่นโฟมปิดด้านบน ส่งสัญญาณแสดงผลผ่านหน้าจอของคอมพิวเตอร์พกพา (tablet) จึงสะดวกต่อการใช้งานทั้งบุคลากรทางการกีฬาและบุคคลทั่วไป

ประกอบกับชุดทดสอบสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและมีความเหมาะสมต่อการประเมินภาคสนาม นอกจากนี้ ยังไม่พบการศึกษาใดที่ใช้ชุดทดสอบดังกล่าวประเมินความสามารถในการทรงตัวที่ระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI

ในปัจจุบันนี้การคัดกรองภาวะ CAI ในทางคลินิกจะนิยมใช้ Cumberland Ankle Instability Test (CAIT) ถึงแม้ว่าแบบสอบถาม CAIT เป็นการประเมินความมั่นคงของข้อเท้าโดยรวมตามความรู้สึกและความเข้าใจของผู้ถูกทดสอบ แต่แบบสอบถามนี้มีเกณฑ์บ่งชี้ภาวะ CAI โดยเฉพาะภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงในการใช้งานในกิจกรรมที่มีการลงน้ำหนัก^{6,7} รวมไปถึงมีความเที่ยงและความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดี (Cronbach's alpha = 0.84 และ intraclass correlation coefficient ICC (2,1) = 0.945)²⁶ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ระบุผู้ที่มีภาวะ CAI ในงานวิจัยนี้ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาหาเกณฑ์การทรงตัว (KR balance cut-off score) เพื่อระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI และเปรียบเทียบค่าการทรงตัว (KR balance score) ระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีภาวะ CAI ซึ่งผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการใช้ชุดทดสอบ KR balance kit เพื่อระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ในผู้ที่มีประวัติข้อเท้าพลิกต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

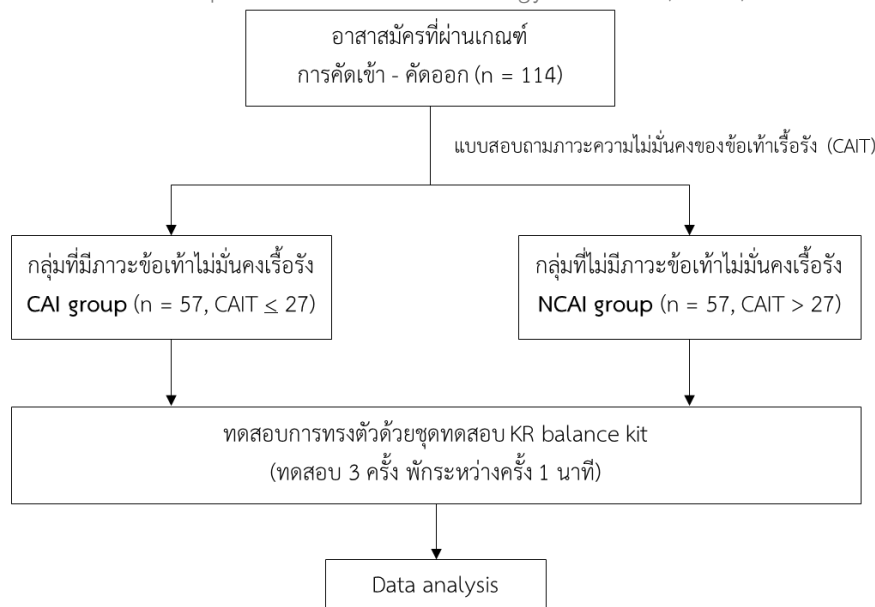
ชุดทดสอบ KR balance kit ประกอบด้วย 1) BOSU balance (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร และมีความสูงของส้นเท้าได้สูงสุดที่ 32 องศา เมื่ออยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน) ซึ่งมีเซ็นเซอร์ตรวจจับการโน้มเอียงของ BOSU balance (ยี่ห้อ Sparkfun รุ่น 9 DoF Razor IMU M0) โดยเซ็นเซอร์จะบรรจุอยู่ในกล่องซึ่งประดิษฐ์ขึ้นมาจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ตั้งอยู่บริเวณจุดกึ่งกลางใต้แผ่นโฟมแข็งสีดำ 2) กล่องส่งสัญญาณ (WiFi box) และ 3) tablet ที่บรรจุโปรแกรมประมวลผลการโน้มเอียงของ BOSU balance เมื่อมีการโน้มเอียงของ BOSU balance ขณะทำการทดสอบการทรงตัว เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณค่ามุมองศาการโน้มเอียงทั้ง ค่า yaw (rotation) ค่า pitch (anterior - posterior) และ ค่า roll (medial - lateral) ไปยัง WiFi box ด้วยความถี่ 50 Hz ซึ่งเชื่อมต่อกับโปรแกรมประมวลผลที่อยู่ภายใน tablet โดยโปรแกรมจะบันทึกปริมาณค่าการเปลี่ยนแปลงองศาการโน้มเอียงสูงสุดของค่า pitch และค่า roll นำค่าที่ได้มารวมกันและเฉลี่ยเป็นค่า KR balance score (รูปที่ 1ก) โดยหากมีค่า KR balance score มากก็จะแสดงถึงการเอียงของ BOSU balance มาก หรือมีความไม่มั่นคงสูงในขณะทรงตัว ชุดทดสอบ KR balance kit ได้รับการตรวจสอบความน่าเชื่อถือด้วยวิธี test-retest พบว่า ICC (3, 3) = 0.896 แปลผลได้ว่า ชุดทดสอบ KR balance kit มีความน่าเชื่อถือของการทดสอบอยู่ในระดับดี



รูปที่ 1 ทดสอบการทรงตัวด้วยชุดทดสอบ KR balance kit: (ก) อุปกรณ์และการทำงานของชุดทดสอบ (ข) ตำแหน่งการยืนบน BOSU balance: A point คือ จุดกึ่งกลางของเส้นสมมติที่ลากระหว่างตาตุ่มด้านในและด้านนอก และ B point คือ จุดกึ่งกลางของ BOSU balance

ทำการคัดเลือกอาสาสมัครโดยนักกายภาพบำบัดที่มีประสบการณ์ทางคลินิกมากกว่า 10 ปี จำนวนกลุ่มตัวอย่างถูกคำนวณจากผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ศึกษาความชุกของการเกิดภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรังในนักกีฬาบาสเกตบอล²⁷ เมื่อคำนวณกลุ่มตัวอย่าง จะต้องการผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 57 คนต่อกลุ่ม หรือทั้งหมด 114 คน เกณฑ์การคัดเลือก ได้แก่ อายุระหว่าง 18-40 ปี มีประวัติข้อเท้าพลิกมาอย่างน้อย 1 ครั้งภายในระยะเวลามากกว่า 6 เดือน สามารถยืนหรือเดินได้ โดยไม่มีอาการปวดที่ข้อเท้า มีผลการทดสอบความมั่นคงของข้อเท้า (anterior drawer test of the ankle and talar tilt test) เป็นบวก และมีความรู้สึกข้อเท้าไม่มั่นคงตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไปภายในระยะเวลา 1 ปี²⁸ มีเกณฑ์การคัดออก ได้แก่ มีความผิดปกติของการควบคุมการทรงตัว มีประวัติการบาดเจ็บหรือการผ่าตัดที่ข้อสะโพกและข้อเข่า มีอาการที่แสดงถึงการอักเสบบริเวณข้อเท้า มีค่าดัชนีมวลกาย (body mass index; BMI) มากกว่า 23 กิโลกรัม/เมตร² และมีโรคทางระบบ (systemic disease) เช่น rheumatoid arthritis, avascular talus necrosis และ osteochondrosis disease เป็นต้น การศึกษานี้ได้ผ่านการพิจารณารับรองจริยธรรมการวิจัยในคน คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยรังสิต (COA. No. RSUERB2019-050) โดยอาสาสมัครทั้งหมดได้รับทราบรายละเอียดของงานวิจัยก่อนลงนามในหนังสือยินยอมเพื่อเข้าร่วมงานวิจัย

อาสาสมัครทั้ง 114 คนที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกและคัดออก ได้รับการประเมินด้วยแบบสอบถามภาวะความไม่มั่นคงของข้อเท้าเรื้อรัง (Cumberland Ankle Instability Tool - CAIT) เพื่อจำแนกอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ที่มีภาวะความไม่มั่นคงของข้อเท้าเรื้อรัง (Chronic Ankle Instability group; กลุ่ม CAI) ซึ่งมีคะแนน CAIT ≤ 27 และกลุ่มผู้ที่ไม่มีความไม่มั่นคงของข้อเท้าเรื้อรัง (Non-Chronic Ankle Instability group; กลุ่ม NCAI) ซึ่งมีคะแนน CAIT > 27 ²⁹ จากนั้นผู้วิจัยขอให้อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มทดสอบการทรงตัวด้วยชุดทดสอบ KR balance kit โดยให้อาสาสมัครยืนบน BOSU balance ให้จุดศูนย์กลางของข้อเท้าหรือ A point ตรงกับ B point (รูปที่ 1ข) พยายามทรงตัวในท่ายืนบนเครื่องมือด้วยขาข้างที่มีประวัติข้อเท้าพลิกเพียงข้างเดียวให้นิ่งที่สุดเท่าที่ทำได้ เข่าเหยียดตรง ขาอีกข้างงอเข้า 90 องศา มือเท้าเอวและหันมองตรง เป็นเวลา 10 วินาที ทำการทดสอบ 3 ครั้ง ในช่วงพักระหว่างครั้งผู้วิจัยจะขอให้อาสาสมัครนั่งเก้าอี้เป็นเวลา 1 นาที หากขณะทดสอบอาสาสมัครแสดงมือออกจากตำแหน่งจะต้องเริ่มทดสอบใหม่ ชุดโปรแกรมจะบันทึกค่าการทรงตัวอัตโนมัติ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง จะนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อคำนวณ KR balance cut-off score และบ่งชี้ความเสี่ยงต่อภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง (รูปที่ 2) และในกรณีที่พบว่าอาสาสมัครมีประวัติข้อเท้าพลิกทั้งสองข้าง ผู้วิจัยจะให้อาสาสมัครยืนบนขาข้างที่มีความมั่นคงของข้อเท้าน้อยกว่า โดยใช้การทดสอบ single leg stance test ในการเลือกขาข้างที่มีความมั่นคงของข้อเท้าน้อยที่สุด และผู้วิจัยมีการปรับเทียบค่าของ KR balance kit (calibration) ก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 23 ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov goodness of fit test ทดสอบความแตกต่างของข้อมูลคุณลักษณะของอาสาสมัคร รวมทั้ง KR balance score ระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ independent sample t-test และ Mann-Whitney U test ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงปกติและไม่ปกติตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์ KR balance score ด้วย the receiver operating characteristics (ROC) curve โดยพื้นที่ใต้กราฟ (area under the curve - AUC) จะแสดงถึงความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) ในการบ่งชี้ผู้ที่มีและไม่มีความเสี่ยงต่อภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง และระบุ KR balance cut-off score ด้วยสถิติ Youden's J ที่เลือกจากจุดที่มีความไวและความจำเพาะในการทดสอบสูงที่สุด (sensitivity and specificity)³⁰ นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ posttest accuracy เพื่อตรวจสอบกลับว่า KR balance cut-off score ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น มีความถูกต้องแม่นยำเมื่อเทียบกับการประเมินด้วยแบบสอบถาม CAIT มากน้อยเพียงใด กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ผลการวิจัย

คุณลักษณะของอาสาสมัคร

อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันในคุณลักษณะทั้งอายุ ดัชนีมวลกาย และจำนวนครั้งที่เกิดข้อเท้าพลิก ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม คะแนน CAIT พบว่ากลุ่ม CAI มีคะแนนน้อยกว่ากลุ่ม NCAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ซึ่งบ่งชี้ว่าอาสาสมัครในกลุ่ม CAI มีความเสี่ยงต่อภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรังมากกว่ากลุ่ม NCAI (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของอาสาสมัคร

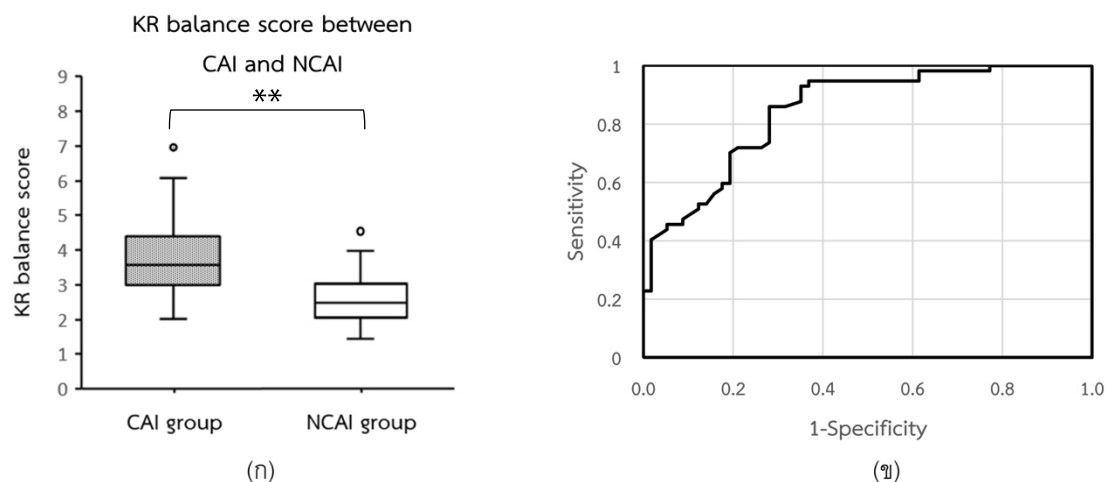
	กลุ่ม CAI (n = 57)	กลุ่ม NCAI (n = 57)	p-values
อายุ (ปี)	21.54 ± 2.28	21.84 ± 3.35	0.09 ^a
เพศ			
- ชาย	31 (54.38%)	38 (66.66%)	0.41 ^b
- หญิง	26 (45.62%)	19 (33.34%)	
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร ²)	21.01 ± 1.71	20.62 ± 1.91	0.13 ^a
จำนวนครั้งที่เกิดข้อเท้าพลิก	2 (1,4)	2 (2,3)	0.34 ^c
คะแนน CAIT	21 (16.5,24)	28 (28,29)	<0.001 ^{c,*}

แสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่ามัธยฐาน (ค่าพิสัยควอไทล์)

^aIndependent t-test; ^bChi-Square test; ^cMann-Whitney U test; CAI = Chronic Ankle Instability; NCAI = Non-Chronic Ankle Instability; CAIT = Cumberland Ankle Instability Tool; * คำนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

การเปรียบเทียบค่า KR balance score

ค่าเฉลี่ย KR balance score ของกลุ่ม CAI และกลุ่ม NCAI คือ 3.81 ± 1.12 และ 2.55 ± 0.65 คะแนนตามลำดับ โดยพบว่า KR balance score ของกลุ่ม CAI มากกว่ากลุ่ม NCAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$; independent sample t-test) (รูปที่ 3ก)



รูปที่ 3 ผลการทดสอบจาก KR balance kit: (ก) เปรียบเทียบ KR balance score ระหว่าง CAI group และ NCAI group; $**p < 0.01$; independent sample t-test (ข) Receiver operating characteristics (ROC) curve สำหรับการระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI

ความแม่นยำของ KR balance score ในการบ่งชี้ความเสี่ยงต่อภาวะ CAI

จากการวิเคราะห์ KR balance score ด้วย ROC curve พบว่า พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) มีค่าเท่ากับ 0.84 (รูปที่ 3ข) ซึ่งเข้าใกล้ 1 แปลงได้ว่าชุดทดสอบ KR balance kit มีความถูกต้องแม่นยำในการบ่งชี้ผู้ที่มีและไม่มีความเสี่ยงต่อภาวะ

CAI ได้ดี การวิเคราะห์จุด cut-off score ด้วยสถิติ Youden's J พบว่า KR balance cut-off score เท่ากับ 2.96 ซึ่งเป็นจุดที่มีความไวและความจำเพาะในการทดสอบ (sensitivity and specificity) สูงที่สุด และเมื่อตรวจสอบ cut-off score ดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์ posttest accuracy พบว่า ค่า KR balance cut-off score มีความแม่นยำในการบ่งชี้ความเสี่ยงต่อภาวะ CAI เมื่อเทียบกับการประเมินด้วยแบบสอบถาม CAIT เท่ากับ 81% (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความถูกต้องแม่นยำของ KR balance kit ในการบ่งชี้ความเสี่ยงต่อภาวะ CAI

Scale	AUC	KR balance cut-off score*	Sensitivity	Specificity	Posttest accuracy (%)
KR balance score	0.84	2.96	0.70	0.80	81

*Youden's J

AUC = area under the curve

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชุดทดสอบ KR balance kit โดยเปรียบเทียบ KR balance score ระหว่างกลุ่ม CAI และ NCAI และศึกษาหา KR balance cut-off score เพื่อระบุความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ CAI โดยการประเมินผู้ที่มีภาวะ CAI ในงานวิจัยนี้ใช้ cut-off point ของแบบสอบถาม CAIT เมื่อมีคะแนน CAIT น้อยกว่าหรือเท่ากับ 27 คะแนน ซึ่งเป็น cut-off point ที่มีความไวและความจำเพาะในการทดสอบสูงที่สุด (sensitivity = 82.9% และ specificity = 74.7%)²⁹ ถึงแม้ว่าผู้ที่เกิดข้อเท้าพลิกซ้ำหลายครั้งจะมีความเสี่ยงในการเกิดภาวะ CAI มากขึ้น^{19,20} แต่เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่มในงานวิจัยนี้ จำนวนครั้งที่เกิดข้อเท้าพลิกในกลุ่ม CAI และกลุ่ม NCAI ไม่ต่างกัน ในขณะที่คะแนนจากแบบสอบถาม CAIT ของกลุ่ม CAI มีค่าน้อยกว่ากลุ่ม NCAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการเปรียบเทียบค่า KR balance score ระหว่างกลุ่ม CAI และ NCAI พบว่า กลุ่ม CAI มี KR balance score มากกว่ากลุ่ม NCAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรืออาสาสมัครในกลุ่ม CAI มีความสามารถในการควบคุมการทรงตัวบน BOSU balance ด้วยขาข้างที่มีประวัติข้อเท้าพลิกได้น้อยกว่ากลุ่ม NCAI เนื่องจากการทดสอบการทรงตัวด้วยชุดทดสอบ KR balance kit ถือเป็นการทดสอบความสามารถในการทรงตัวบนขาข้างเดียวแบบอยู่นิ่ง (static balance) บนพื้นที่ไม่มีความมั่นคง ทำให้ระบบประสาทและกล้ามเนื้อต้องทำงานประสานสัมพันธ์กันมากขึ้นเพื่อรักษาการทรงตัวให้อยู่นิ่งที่สุด จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าผู้ที่มีภาวะ CAI จะแสดงความบกพร่องของระบบประสาทรับรู้สีกทางกาย^{10,11} การรับรู้ความรู้สึกที่ข้อต่อ (proprioception)^{8,9} ตลอดจนความแข็งแรงและระยะเวลาในการตอบสนองของกล้ามเนื้อ (muscle strength and muscle reaction time) ลดลง ความสามารถในการตอบสนองของกล้ามเนื้อลดลงจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้ที่มีภาวะ CAI รักษาการทรงตัวได้ยาก¹⁶ ดังนั้น เมื่อทดสอบด้วย KR balance kit ที่มี sensor ภายใน BOSU balance กลุ่ม CAI จึงแสดงการเคลื่อนไหวที่ออกจากจุดศูนย์กลางในทุกทิศทางมากกว่ากลุ่ม NCAI

งานวิจัยนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเกณฑ์การทรงตัว หรือ KR balance cut-off score เพื่อระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI จากผลการศึกษา พบว่า KR balance cut-off score จากชุดทดสอบ KR balance kit เท่ากับ 2.96 เป็นค่าเหมาะสมที่สุดในการระบุว่ามีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI โดยพบความแม่นยำในการระบุผู้ที่มีภาวะ CAI ถึงร้อยละ 81 กล่าวคือ อาสาสมัครที่มีค่าคะแนนมากกว่า 2.96 จะมีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ร้อยละ 81 ดังนั้น KR balance cut-off score จากชุดทดสอบ KR balance kit ที่ได้จากการศึกษานี้ จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการนำไปเป็นเกณฑ์เพื่อใช้ระบุความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ CAI ในผู้ที่มีประวัติข้อเท้าพลิกได้ ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Fusco และคณะ ในปี 2019 ที่ใช้

wobble board จำแนกผู้ที่มีและไม่มีภาวะ CAI เนื่องจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ มีความไม่มั่นคงและมีความเอียงของพื้นอุปกรณ์มาก รูปแบบการทดสอบที่ประเมินความสามารถในการควบคุมการทรงตัวต่อสิ่งแวดล้อม และตัวแปรที่ใช้ประเมินคือการแกว่งของร่างกาย ทำให้ KR balance kit มีความสามารถในการจำแนกผู้ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ได้สูง ในขณะที่การศึกษาของ Fusco และคณะ ใช้ระยะเวลาสูงสุดที่สามารถทรงตัวด้วยการยืนบนขาเดียวบน wobble board จำแนกผู้ที่มีและไม่มีภาวะ CAI โดยหาค่า cut-off score เท่ากับ 18.5 วินาที²⁴

ค่า AUC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 0.84 แสดงถึง KR balance kit มีความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) ในการบ่งชี้ผู้ที่มีและไม่มีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI อยู่ในระดับดี (Good; AUC = 0.80-0.89)³¹ การใช้สถิติ Youden's J ในการระบุ KR balance cut-off score สอดคล้องกับการศึกษาของ Udompanich และคณะ ในปี 2021 ที่ใช้กระบวนการทางสถิติเดียวกันนี้ ในการระบุค่า cut-off score ของการทดสอบความบกพร่องด้านการทรงตัวที่ใช้ทางคลินิก 4 แบบ ในนักกีฬาสมัครเล่นที่มีภาวะ CAI ซึ่งผลการศึกษพบว่า cut-off score ที่ได้จากการทดสอบ สามารถระบุความบกพร่องด้านการทรงตัวได้ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวมาจากอาสาสมัครที่เป็นเพศชายถึงร้อยละ 74 ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการนำไปใช้ระบุภาวะ CAI กรณีที่ผู้ทดสอบเป็นเพศหญิง³¹ ซึ่งในส่วนของการศึกษานี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเพศของอาสาสมัคร ($p = 0.41$)

เมื่อพิจารณาระยะเวลาการทดสอบ โดยให้อาสาสมัครยืนบน BOSU balance ด้วยขาข้างที่มีประวัติข้อเท้าพลิกเป็นเวลา 10 วินาทีนั้น น่าจะเป็นเวลาที่สามารถประเมินการทรงตัวด้วยชุดทดสอบ KR balance kit ได้ อ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมา ที่ให้อาสาสมัครยืนทดสอบการทรงตัวด้วยขาข้างที่เคยมีประวัติข้อเท้าพลิกบนพื้นราบแข็งเป็นเวลา 10 วินาที ซึ่งพบว่ากลุ่มที่มีภาวะ CAI มีความเร็วของการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงกดบนฝ่าเท้า (center of pressure velocity) ในทิศหน้าและหลัง (antero-posterior direction) มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงถึงความสามารถในการควบคุมการทรงตัวที่น้อยกว่า^{10,32} อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษที่ผ่านมาเป็นการทดสอบ static balance บนพื้นราบที่มั่นคงซึ่งต่างจากชุดทดสอบ KR balance kit ที่อาสาสมัครยืนบน BOSU balance ซึ่งไม่มีความมั่นคง จึงอาจเป็นไปได้ที่จะใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่น้อยกว่า 10 วินาที ดังนั้น การศึกษาต่อไปจึงควรศึกษาระยะเวลาการประเมินที่น้อยที่สุดที่สามารถประเมินการทรงตัวได้ด้วยชุดทดสอบ KR balance kit ซึ่งน่าจะเป็นผลดีในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดการล้มระหว่างทำการทดสอบ นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาขณะประเมินการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (dynamic balance) ร่วมด้วย เนื่องจากการเกิดข้อเท้าพลิกซ้ำหรือการล้มในผู้ที่มีภาวะ CAI มักเกิดในขณะที่มีการเคลื่อนไหว การประเมิน dynamic balance ด้วยชุดทดสอบ KR balance kit จึงน่าจะให้ข้อมูลด้านการทรงตัวที่สอดคล้องกับแบบทดสอบ CAIT มากขึ้น

ชุดทดสอบ KR balance kit อาจมีการแสดงค่า KR balance score ผิดพลาด กรณีที่อาสาสมัครเสียจังหวะขณะทรงตัวด้วยขาข้างเดียวบน BOSU balance กล่าวคือ ชุดทดสอบจะทำงานโดยบันทึกค่าองศาการเปลี่ยนแปลงการโน้มเอียงที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละแกน (yaw, pitch, roll) แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็น KR balance score ซึ่งค่าคะแนนที่น้อยแสดงถึงการทรงตัวที่ดี ดังนั้น หากอาสาสมัครเสียจังหวะจากการควบคุมทรงตัวบน BOSU balance เพียงครั้งเดียว ก็จะทำให้ KR balance score มากขึ้น ซึ่งสะท้อนถึงการทรงตัวที่ไม่ดีได้ รวมถึงอาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษามีช่วงอายุที่อยู่ในวัยผู้ใหญ่ตอนต้น ซึ่งอาจทำให้เป็นข้อจำกัด หากมีการนำชุดทดสอบ KR balance kit ไปใช้ระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ในอาสาสมัครช่วงอายุอื่น และผู้วิจัยไม่ได้ควบคุมปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อการทรงตัว ได้แก่ ภาวะเท้าแบน หรืออุ้งเท้าสูง รวมถึงความยาวและความกว้างของเท้า นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์การวินิจฉัย CAI ที่ระดับคะแนน ≤ 27 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่นิยมใช้ในการระบุผู้ที่มีภาวะ CAI กันอย่างแพร่หลายในระหว่างการเก็บข้อมูลวิจัย (ปี 2019-2020) และการศึกษานี้ได้ดำเนินงานวิจัยกับอาสาสมัครที่มีภาวะ mechanical CAI เท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงผู้ที่มีภาวะ functional CAI

สรุปผล

ชุดทดสอบ KR balance kit สามารถแสดงค่า KR balance score ของผู้ที่มีและไม่มีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ได้ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมถึงสามารถระบุความเสี่ยงต่อภาวะ CAI ได้สอดคล้องกับแบบทดสอบ CAIT ที่เป็นแบบประเมินที่ใช้อย่างแพร่หลายทางคลินิกถึงร้อยละ 81 โดย KR balance cut-off score อยู่ที่ ≥ 2.96 ซึ่งแสดงถึงการมีความเสี่ยงต่อภาวะ CAI นอกจากนี้ ชุดทดสอบ KR balance kit มีการใช้งานที่ง่าย อุปกรณ์มีน้อยชิ้นจึงสะดวกต่อการทำงานในภาคสนาม จึงน่าจะเป็นเครื่องมือที่เป็นทางเลือกให้กับบุคลากรทางการกีฬาตลอดจนบุคคลทั่วไปในการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ CAI

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง ค่าการทรงตัวที่ได้จากชุดการทดสอบเครื่อง KR balance kit ในการระบุภาวะข้อเท้าไม่มั่นคงเรื้อรัง ซึ่งได้ร่วมมือกับทางคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและคณะกายภาพบำบัดและเวชศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปีการศึกษา 2562 โดยได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

เอกสารอ้างอิง

1. Attenborough AS, Hiller CE, Smith RM, Stuelcken M, Greene A, Sinclair PJ. Chronic ankle instability in sporting populations. *Sport Med.* 2014;44(11):1545–56.
2. Tanen L, Docherty CL, Van Der Pol B, Simon J, Schrader J. Prevalence of chronic ankle instability in high school and division I athletes. *Foot Ankle Spec.* 2014;7(1):37–44.
3. Gribble PA, Hertel J, Denegar CR, Buckley WE. The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *J Athl Train.* 2004;39(4):321–9.
4. Pourkazemi F, Hiller CE, Raymond J, Nightingale EJ, Refshauge KM. Predictors of chronic ankle instability after an index lateral ankle sprain: A systematic review. *J Sci Med Sport.* 2014;17(6):568–73.
5. Roos KG, Kerr ZY, Mauntel TC, Djoko A, Dompier TP, Wikstrom EA. The epidemiology of lateral ligament complex ankle sprains in national collegiate athletic association sports. *Am J Sports Med.* 2017;45(1):201–9.
6. Martin RL, Davenport TE, Paulseth S, Wukich DK, Godges JJ. Ankle stability and movement coordination impairments: Ankle ligament sprains. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(9):A1–40.
7. Martin RRL, Davenport TE, Fraser JJ, Sawdon-Bea J, Carcia CR, Carroll LA, et al. Ankle stability and movement coordination impairments: Lateral ankle ligament sprains revision 2021. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2021;51(4):1–80.
8. McKeon JMM, McKeon PO. Evaluation of joint position recognition measurement variables associated with chronic ankle instability: A meta-analysis. *J Athl Train.* 2012;47(4):444–56.
9. Munn J, Sullivan SJ, Schneiders AG. Evidence of sensorimotor deficits in functional ankle instability: A systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2010;13(1):2–12.
10. Hertel J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. *Clin Sports Med.* 2008;27(3):353–70.

11. Mckeen PO, Hertel J. Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part I: Can deficits be detected with instrumented testing? *J Athl Train*. 2008;43(3):293–304.
12. Thompson C, Schabrun S, Romero R, Bialocerkowski A, van Dieen J, Marshall P. Factors contributing to chronic ankle instability: a systematic review and meta-analysis of systematic reviews. *Sport Med*. 2018;48(1):189–205.
13. Song K, Burcal CJ, Hertel J, Wikstrom EA. Increased visual sse in chronic ankle instability: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(10):2046–56.
14. Hiller CE, Nightingale EJ, Lin CWC, Coughlan GF, Caulfield B, Delahunt E. Characteristics of people with recurrent ankle sprains: A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2011;45(8):660–72.
15. Hertel J, Corbett RO. An updated model of chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2019;54(6):572–88.
16. Richie J. Functional instability of the ankle and the role of neuromuscular control: A comprehensive review. *J Foot Ankle Surg*. 2001;40(4):240–51.
17. Wenning M, Gehring D, Mauch M, Schmal H, Ritzmann R, Paul J. Functional deficits in chronic mechanical ankle instability. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):1–8.
18. Lin JZ, Lin YA, Lee HJ. Are landing biomechanics altered in elite athletes with chronic ankle instability. *J Sport Sci Med*. 2019;18(4):653–62.
19. Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, Docherty CL, Fourchet F, Fong DTP, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *Br J Sports Med*. 2016;50(24):1496–505.
20. Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2019;54(6):603–10.
21. Haas BM, Burden AM. Validity of weight distribution and sway measurements of the Balance Performance Monitor. *Physiother Res Int*. 2000;5(1):19–32.
22. Uehlbauer T, Roth R, Mueller S, Granacher U. Intra and intersession reliability of balance measures during one-leg standing in young adults. *J strength Cond Res*. 2011;25(8):2228–34.
23. Shaffer SW, Teyhen DS, Lorensen CL, Warren RL, Koreerat CM, Straseske CA, et al. Y-balance test: A reliability study involving multiple raters. *Mil Med*. 2013;178(11):1264–70.
24. Fusco A, Giancotti GF, Fuchs PX, Wagner H, Varalda C, Cortis C. Wobble board balance assessment in subjects with chronic ankle instability. *Gait Posture*. 2019;68:352–6.
25. Silva P de B, Oliveira AS, Mrachacz-Kersting N, Laessoe U, Kersting UG. Strategies for equilibrium maintenance during single leg standing on a wobble board. *Gait Posture*. 2016;44:149–54.
26. Yingyongsaksri S, Hiller CE, Tharawadeepimuk K, Nanbancha A. Reliability and validation of the Thai version of the Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT-THA). *Disabil Rehabil*. 2022;0(0):1–6.
27. Mehta J, Sinha AGK. Prevalence of functional ankle instability and its association with risk factors in basketball players of punjab. 2015;1(6):3–7.

28. Wright CJ, Arnold BL, Ross SE, Linens SW. Recalibration and validation of the Cumberland ankle instability tool cutoff score for individuals with chronic ankle instability. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(10):1853–9.
29. Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, Herbert RD, Kilbreath SL. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(9):1235–41.
30. Bantis LE, Nakas CT, Reiser B. Construction of confidence regions in the ROC space after the estimation of the optimal Youden index-based cut-off point. *Biometrics.* 2014;70(1):212–23.
31. Udompanich N, Thanasootr KO, Chanavirut R, Chatchawan U, Hunsawong T. The cut-off score of four clinical tests to quantify balance impairment in individuals with chronic ankle instability. *Malaysian J Med Sci.* 2021;28(4):87–96.
32. Hertel J, Olmsted-Kramer LC. Deficits in time-to-boundary measures of postural control with chronic ankle instability. *Gait Posture.* 2007;25(1):33–9.