ผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อ 3 เทคนิค ต่อสมรรถภาพการกระโดดและองศาการกระดกข้อเท้าในอาสาสมัครที่มีกล้ามเนื้อน่องตึง

Acute Effects of Three Stretching Techniques on Vertical Jumping and Dorsiflexion Range of Motion in Healthy Individual with Gastrocnemius Muscle Tightness

อรียาภรณ์ จงเสถียรธรรม*, ดวงพร เบญจนราสุทธิ์, บุญรัตน์ โง้วตระกูล
คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ 10540
Areeyaporn Chongsatientam*, Duangporn Benjanarasut, Boonrat Ngowtrakul
Faculty of Physical Therapy, Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakan 10540
*Corresponding author, e-mail: areeyaporn.cho@hcu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ เพื่อศึกษาผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อประเภทต่าง ๆ ต่อสมรรถภาพการกระโดดในผู้ที่มีภาวะกล้ามเนื้อน่องตึง โดยศึกษาในนักศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติที่มีองศาการกระดกข้อเท้าน้อยกว่า 12 องศา จำนวน 30 คน อาสาสมัครได้รับการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง แบบพลวัตร และเทคนิคออกแรงต้านและคลายตัว (Hold-relax) โดยใช้การสุ่มลำดับอย่างง่ายและมีระยะพักระหว่างเทคนิค 24 ชั่วโมงและไม่เกิน 48 ชั่วโมง ก่อนและหลังการยืดกล้ามเนื้ออาสาสมัครถูกประเมินระยะการกระโดดสูง องศาการกระดกข้อเท้าขึ้น และองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก โดยมีค่าความน่าเชื่อถือของการวัดซ้ำโดยผู้ประเมินคนเดียว (ICC) เท่ากับ 0.88, 0.90 และ 0.96 ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า การยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคช่วยเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าขึ้น องศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนักและระยะการกระโดดสูงทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรและเทคนิค Hold-relax เพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าขึ้นได้ดีกว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง ($p < .05$) การยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคมีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถภาพการกระโดดได้ไม่แตกต่างกัน สรุปผลการวิจัย เมื่อต้องการเพิ่มกำลังการกระโดดในผู้ที่มีภาวะน่องตึง สามารถใช้การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง หรือแบบพลวัตร หรือเทคนิค Hold-relax

คำสำคัญ : การยืดแบบคงค้าง การยืดแบบพลวัตร การยืดแบบออกแรงต้านและคลายตัว

Received: 10 July 2024/ Revised: 3 January 2025/ Accepted: 27 March 2025

Abstract

This study utilized a completely randomized block design to investigate the immediate effects of different types of muscle stretching on jumping performance in Huachiew Chalermprakiet University volunteers with gastrocnemius muscle tightness who exhibited an ankle dorsiflexion angle of less than 12 degrees. Thirty subjects were randomly assigned to static stretching, dynamic stretching and hold-relax stretching techniques, with rest intervals between sessions ranging from 24 to 48 hours. Before and immediately following each stretching session, jumping performance, passive dorsiflexion range of motion and lunge range of motion were assessed. The reliability of repeated measurements by a single assessor, determined by intraclass correlation coefficient (ICC), was 0.88, 0.90, and 0.96, respectively. The findings indicated that all three stretching techniques significantly increased passive dorsiflexion range of motion, lunge range of motion, as well as vertical jump height immediately after stretching ($p < .001$). Furthermore, dynamic stretching and hold-relax stretching yielded significantly greater improvements in passive ankle dorsiflexion angle compared to static stretching ($p < .05$). However, no statistically significant differences were found among the three techniques in terms of enhancing jump performance. In summary, to enhance jump performance in individuals with tight calf muscles, any of the following stretching methods can be effectively applied: static stretching, dynamic stretching, and the hold-relax technique.

Keywords: Static stretching, Dynamic stretching, Hold-relax stretching

บทนำ

สมรรถภาพการกระโดด (Jump performance) เป็นทักษะที่สำคัญของกีฬาหลายประเภท ความสูงของการกระโดดขึ้นอยู่กับประเภทของกล้ามเนื้อที่ทำงานและกำลังของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้องศาการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้าล้วนเป็นปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อสมรรถภาพการกระโดดทั้งสิ้น เมื่อองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าลดลง นอกจากส่งผลต่อท่าทางในกิจวัตรประจำวันแล้วยังทำให้เกิดการเคลื่อนไหวทดแทน ทำให้การดูดซับแรงของข้อเท้าเปลี่ยนไป ร่างกายต้องโน้มตัวไปทางด้านหน้าและใช้แรงในการกระโดดเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลต่อสมรรถภาพของการกระโดด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อหลังและเอ็นร้อยหวายได้ [1] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการศึกษาผลขององศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าต่อสมรรถภาพทางกายยังมีอยู่ไม่มากนัก โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างองศาของการกระดกข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก (Weight-bearing dorsiflexion range of motion) กับความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาฟุตบอลหญิง [2] และยังมีการศึกษาพบ ความสัมพันธ์ขององศาการเคลื่อนไหวของการกระดกข้อเท้าต่อความสูงของการกระโดด โดยผู้ที่ช่วงองศาการเคลื่อนไหวของการกระดกข้อเท้าได้น้อยจะมีสมรรถภาพในการกระโดดต่ำกว่าผู้ที่มีช่วงองศาการกระดกข้อเท้ามาก [3] ทั้งนี้ในปัจจุบันมีสิ่งอำนวย

ความสะดวกในการใช้ชีวิตที่มากขึ้นทำให้คนรุ่นใหม่มีช่วงองศาการเคลื่อนไหวในการดำเนินชีวิตประจำวันลดลงยิ่งเป็นปัจจัยเสริมให้เกิดการจำกัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อและทำให้ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อลดลงซึ่งรวมถึงทำให้เกิดภาวะกล้ามเนื้อน่องตึงตัว และอาจส่งผลต่อสมรรถภาพทางกาย

การยืดกล้ามเนื้อเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อน่องโดยเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ การยืดแบบคงค้าง (Static stretching; SS) การยืดแบบพลวัตร (Dynamic stretching; DS) และการยืดแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Proprioceptive neuromuscular facilitation: PNF) จากการศึกษาของ Akagi และ Takahashi [4] ที่ได้ศึกษาผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างโดยใช้แท่นยืนยืด (Inclined stretching board) พบว่าองศาการกระดกข้อเท้าเพิ่มขึ้นและพบ Musculotendinous stiffness ลดลงทันทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง และมีรายงานการศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อน่องแบบพลวัตรโดยใช้การหย่อนส้นเท้าลง (Heel drop stretching) จนรู้สึกตึงด้านหลังน่อง สามารถเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้อเช่นกัน [5] ส่วนการยืดกล้ามเนื้อแบบ PNF เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อและองศาการเคลื่อนไหวที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย Konrad, Gad และ Tilp ได้ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค PNF เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ต่อองศาการกระดกข้อเท้าและการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเนื้อเยื่อของเอ็นร้อยหวาย การศึกษานี้ทำการวัดองศาการกระดกข้อเท้าด้วย Electronic goniometer พบว่า การยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค PNF สามารถเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าขึ้นและลดความหนืดต่อแรงภายนอกของเอ็นร้อยหวาย (Tendon stiffness) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[6] จึงเห็นได้ว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง แบบพลวัตรและเทคนิค PNF มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อน่องและองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าได้อย่างดี

จากการทบทวนวรรณกรรมพบความสัมพันธ์ระหว่างองศาการกระดกข้อเท้าที่ลดลงกับความสามารถในการกระโดดที่ลดลง แต่การศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าต่อสมรรถภาพการกระโดดยังมีอยู่จำกัด โดย Dalrymple และคณะ [7] ได้ศึกษาผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบพลวัตรต่อความสูงของการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง พบว่าความสูงของการกระโดดหลังการยืดกล้ามเนื้อทั้งสองเทคนิคไม่ต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการยืดกล้ามเนื้อ ในขณะที่ Pacheco และคณะ [8] ได้ศึกษาผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค Contract relax พบว่า ความสูงของการกระโดดเพิ่มขึ้นทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบ Contract relax เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการยืดกล้ามเนื้อ เห็นได้ว่าผลการศึกษาการยืดกล้ามเนื้อต่อความสามารถในการกระโดดยังคงมีความขัดแย้ง ร่วมกับจากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง แบบพลวัตร และแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR ต่อสมรรถภาพการกระโดด ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อน่องต่อการเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าและสมรรถภาพการกระโดด

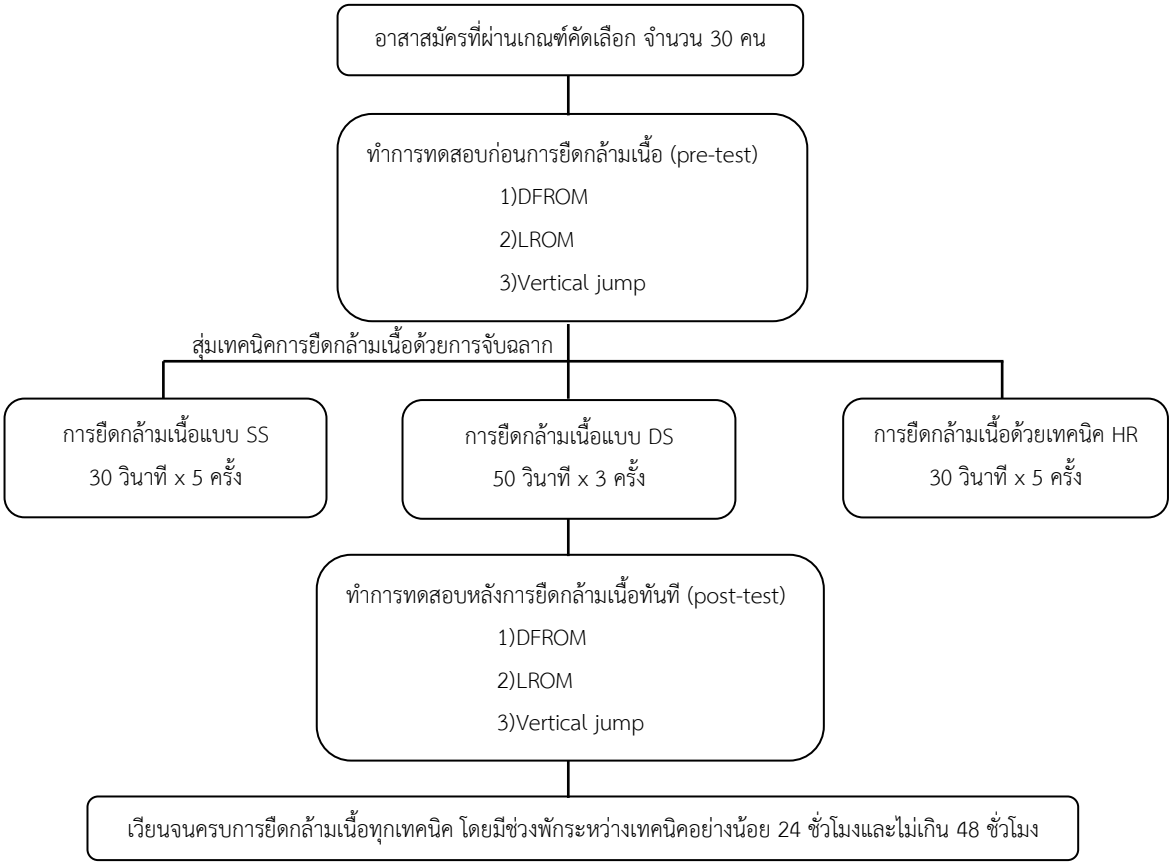
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลทันทีของเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อน่องแบบคงค้างแบบพลวัตร และแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค Hold-relax ต่อองศาการกระดกข้อเท้าขึ้น องศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก และสมรรถภาพการกระโดด ในนักศึกษาที่มีภาวะกล้ามเนื้อน่องตึง

สมมติฐานของการวิจัย

การยืดกล้ามเนื้อน่องแบบพลวัตรและแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค Hold-relax มีประสิทธิภาพในการเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าและสมรรถภาพการกระโดดได้ดีกว่าการยืดกล้ามเนื้อน่องแบบคงค้าง

กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาในนักศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติที่มีภาวะกล้ามเนื้อน่องตึงอายุ 18-25 ปี จำนวน 30 คน (คำนวณจากการศึกษานำร่องที่ Effect size = .5, α = .05, power = .80 และได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 30 คน) กลุ่มตัวอย่างต้องมีภาวะกล้ามเนื้อน่องตึงโดยต้องมีองศาการกระดกข้อเท้าขณะเข่าเหยียดตรง (Non-weight bearing passive ankle dorsiflexion with knee extension) น้อยกว่า 12 องศา [9] ไม่มีอาการผิดปกติขณะเคลื่อนไหวข้อเท้า มีการออกกำลังกายไม่มากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์และไม่มีการออกกำลังกายก่อนวันทดสอบอย่างน้อย 48 ชั่วโมง โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาระดับมหาวิทยาลัยและระดับสูงขึ้นไป กลุ่มตัวอย่างที่มีประวัติผ่าตัดที่หลังหรือข้อต่อของรยางค์ขา มีความผิดปกติทางระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับหลังและข้อต่อต่าง ๆ ของรยางค์ขา หรือมีอาการปวดข้อต่อของรยางค์ขาในช่วง 2 สัปดาห์ก่อนการ

ทดสอบได้รับการคัดออกจากการศึกษานี้ กรณีที่อาสาสมัครที่มีภาวะกล้ามเนื้อน่องตึงทั้งสองข้าง (DFROM น้อยกว่า 12 องศา) ทำการทดสอบทั้งสองขาโดยแต่ละรอบกลุ่มตัวอย่างได้รับการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิคเดียวกันทั้งสองขา

การเก็บรวบรวมข้อมูล การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized block design) ซึ่งเป็นรูปแบบการวิจัยที่ช่วยควบคุมด้านความแตกต่างของอาสาสมัครในแต่ละกลุ่มทดลอง เมื่ออาสาสมัครผ่านการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม การตรวจร่างกายเบื้องต้นและเกณฑ์การคัดเลือก อาสาสมัครต้องลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย ในการศึกษาครั้งนี้มีอาสาสมัครจำนวน 30 คน อาสาสมัครทุกคนได้รับการยืดกล้ามเนื้อครบทั้ง 3 เทคนิค โดยใช้การสุ่มลำดับอย่างง่ายด้วยการจับฉลาก ได้แก่ การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตร และการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR อาสาสมัครทุกคนจะมีช่วงพักระหว่างเทคนิคการยืดกล้ามเนื้ออย่างน้อย 24 ชั่วโมง และไม่เกิน 48 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้ผลของการยืดกล้ามเนื้อก่อนหน้าส่งผลต่อเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อที่ทดสอบ ตลอดการวิจัยอาสาสมัครทุกคนไม่ทราบลำดับเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อและรายละเอียดการประเมินของอาสาสมัครคนอื่น ๆ อาสาสมัครทุกคนถูกประเมินองศาการกระดกข้อเท้าขึ้น และ องศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก และระยะการกระโดดสูงตามลำดับ และทำการประเมินทั้งก่อนและหลังการยืดกล้ามเนื้อแต่ละเทคนิค ทั้งนี้ก่อนเริ่มการศึกษาผู้วิจัยที่ทำการประเมินทั้งสามตัวแปรได้ถูกทดสอบความน่าเชื่อถือของการวัดซ้ำโดยผู้ประเมินคนเดียว (Intra-rater reliability) พบค่าสัมประสิทธิ์ Intraclass correlation coefficient (ICC(3,1)) ของการวัดระยะการกระโดดสูง องศาการกระดกข้อเท้าขึ้นและองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ .88, .90 และ .96 ตามลำดับ

เครื่องมือวิจัย

1. ระยะการกระโดดสูง (Vertical jump) ทำการวัดด้วยผู้วิจัยคนที่ 1 เพื่อใช้ประเมินสมรรถภาพของการกระโดด โดยให้อาสาสมัครยืนหันข้างให้แขนขวาเข้าหากำแพง อาสาสมัครชูแขนแนบหูจนสุดและติดเทปบนกำแพงที่ระดับนิ้วกลาง (เทปตำแหน่งที่ 1) หลังจากนั้นให้อาสาสมัครย่อตัวแกว่งแขนไปทางด้านหลัง ก่อนกระโดดให้สูงที่สุด พร้อมแกว่งแขนทั้งสองขึ้นจนแขนแนบหู ติดเทปบนกำแพงเมื่อกระโดดได้สูงที่สุด (เทปตำแหน่งที่ 2) ดังแสดงในรูปที่ 1 ผู้วิจัยวัดระยะทางระหว่างเทปทั้งสองตำแหน่ง อาสาสมัครจะได้ทำการซ้อมการวัดกำลังการกระโดดก่อนเริ่มการทดสอบจริง 3 ครั้ง หรือจนกว่าจะทำได้ หลังจากนั้นให้อาสาสมัครพักนาน 5 นาที ก่อนจะเริ่มทำการทดสอบการวัดความสูงของการกระโดดที่ถูกต้อง 3 ครั้ง โดยพักระหว่างการทดสอบ 30 วินาที บันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้

รูปที่ 1 การวัดระยะการกระโดดสูง (vertical jump)

2. องศาการกระดกข้อเท้าขึ้น (DFROM) ทำการวัดด้วยผู้วิจัยคนที่ 2 โดยทำการประเมินในท่านอนคว่ำ ปลายเท้าพ้นขอบเตียง โดยให้จุดหมุนของไม้บรรทัดวัดองศาการเคลื่อนไหว (Standard goniometer) วางที่ตาตุ่มด้านนอก และ Stationary arm วางขนานไปกับกระดูกปลายขา (Fibula) ส่วน Movable arm วางขนานไปกับกระดูกฝ่าเท้าชิ้นที่ 5 (5^{th} metatarsal) จากนั้นผู้วิจัยช่วยกระดกข้อเท้าของอาสาสมัครขึ้นให้มากที่สุดโดยไม่มีการบิดของข้อเท้าและวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าทำซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้

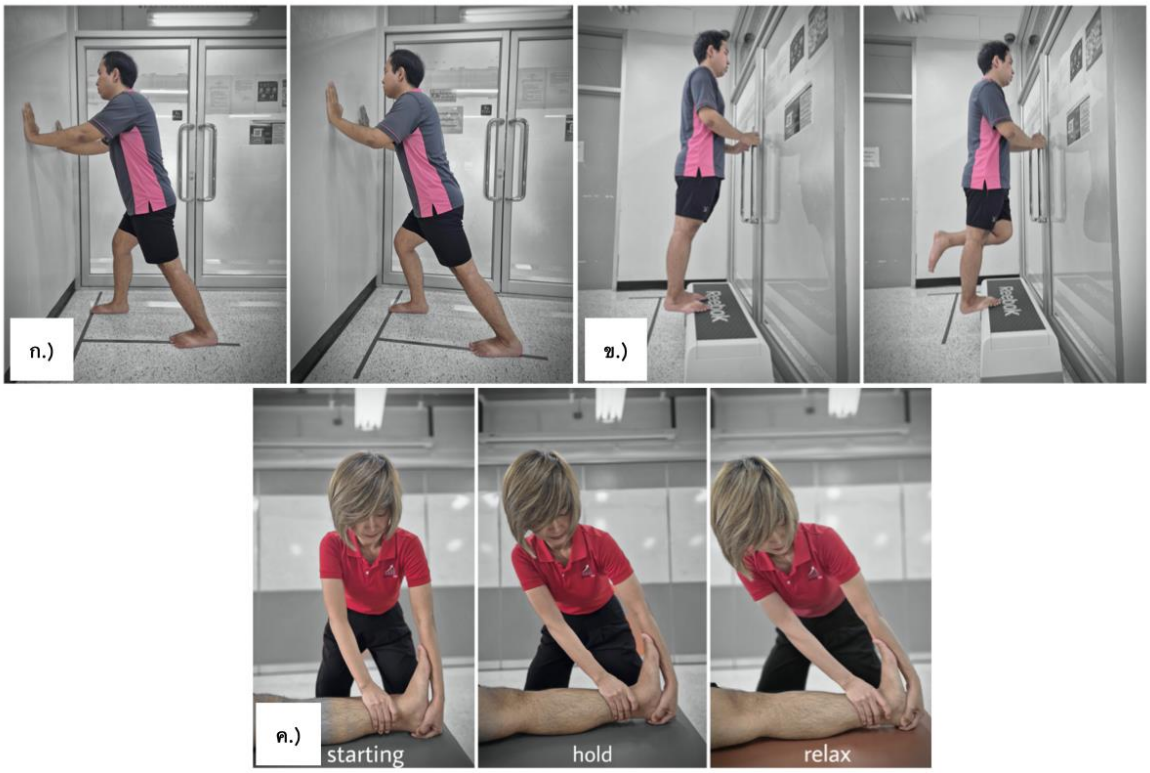
3. องศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก (LROM) ในท่า Lunge position ทำการวัดด้วยผู้วิจัยคนที่ 3 โดยใช้โทรศัพท์ที่มี TiltMeter application ในระบบ iOS โดย Application นี้มีค่าความน่าเชื่อถือ มีค่า ICC เท่ากับ .96 และความเที่ยงตรงของการวัดองศาการเคลื่อนไหว มีค่า ICC เท่ากับ .83 เมื่อเปรียบเทียบกับ Standard digital inclinometer [10] วิธีการวัดให้นำโทรศัพท์วางบนสันหน้าแข้งใต้ต่อปุ่มกระดูกหน้าแข้ง (Tibial tuberosity) ให้อาสาสมัครยืนแบบเท้านำเท้าตาม มือทั้งสองข้างดันกำแพงเพื่อเพิ่มความมั่นคง นิ้วเท้าที่สองและส้นเท้าของเท้าข้างที่ต้องการทดสอบวางอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน เข่าของขาข้างที่ต้องการทดสอบที่อยู่ด้านหลังจะต้องเหยียดตรง (Lunge position) หลังจากนั้นให้อาสาสมัครงอเข่าโน้มตัวไปทางด้านหน้าจนรู้สึกตึงมากที่สุดบริเวณกล้ามเนื้อน่องของขาด้านหลังที่ต้องการทดสอบโดยไม่มีอาการปวดและส้นเท้าของข้างที่ต้องการทดสอบยังคงวางราบติดพื้นตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ จากนั้นผู้วิจัยทำการวัดมุมของกระดูกหน้าแข้งต่อแนวดิ่ง ทำการประเมินซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้

เทคนิคการยืดกล้ามเนื้อ

1. การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง ให้อาสาสมัครยืนแบบเท้านำเท้าตาม (Lunge position) เช่นเดียวกับการประเมินองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก มือทั้งสองข้างดันกำแพง อาสาสมัครยืนโน้มตัวไปทางด้านหน้าจนรู้สึกกล้ามเนื้อน่องของขาด้านหลังตึงโดยส้นเท้าไม่ลอยจากพื้น [11] ดังรูปที่ 2ก.) ค้างไว้เป็นเวลา 30 วินาที ทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยมีระยะพัก 10 วินาทีระหว่างรอบ รวมระยะเวลาในการยืดกล้ามเนื้อทั้งหมด 150 วินาที

2. การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตร โดยให้อาสาสมัครยืนด้วยส่วนหน้าของเท้า (Forefoot) บนแท่นออกกำลังกาย (Step box) มือจับราวด้านหน้าเพื่อเพิ่มความมั่นคง ให้อาสาสมัครค่อย ๆ หย่อนส้นเท้า (Heel drop) ข้างที่ต้องการยืดกล้ามเนื้อลงช้า ๆ [12] ดังรูปที่ 2ข.) ยืดให้ได้เต็มช่วงองศาการเคลื่อนไหวจนรู้สึกตึงกล้ามเนื้อน่องแต่ไม่ปวด และกลับสู่ท่าเริ่มต้นนับเป็น 1 ครั้ง ทำทั้งหมด 15 ครั้ง ภายในระยะเวลา 50 วินาที พัก 10 วินาที ทำซ้ำ 3 รอบ รวมระยะเวลาในการยืดกล้ามเนื้อทั้งหมด 150 วินาที

3. การยืดกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค Hold relax ให้อาสาสมัครนอนหงายบนเตียง ผู้วิจัยเคลื่อนข้อเท้าอาสาสมัครให้กระดกขึ้น (Dorsiflexion) จนสุดการเคลื่อนไหวและให้อาสาสมัครออกแรงถีบปลายเท้าลง (Plantarflexion) ต้านแรงกับผู้วิจัยทำให้เกิดการหดตัวแบบคงค้าง (Isometric contraction) 6 วินาที หลังจากนั้นผู้วิจัยแจ้งให้อาสาสมัครผ่อนคลาย ผู้วิจัยเคลื่อนข้อเท้าในทิศทาง dorsiflexion ไปยังตำแหน่งใหม่ค้างไว้ 24 วินาที [13] นับเป็น 1 ครั้ง ดังรูปที่ 2ค.) ทำการยืดกล้ามเนื้อซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง โดยพัก 10 วินาที ระหว่างรอบ รวมระยะเวลาในการยืดกล้ามเนื้อทั้งหมด 150 วินาที ขณะยืดกล้ามเนื้ออาสาสมัครจะต้องมีอาการตึงบริเวณน่องแบบทนได้โดยไม่มีอาการเจ็บหรือปวด และในขณะพักอาสาสมัครทำการขยับข้อเท้าเบา ๆ ร่วมด้วย



รูปที่ 2 วิธีการยืดกล้ามเนื้อโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ประกอบด้วย

ก.) การยืดแบบคงค้าง (Intermittent static stretching) ในท่า Lunge position

ข.) การยืดแบบพลวัตร (Dynamic stretching) ในท่า Heel drop

ค.) การยืดโดยใช้เทคนิค Hold-relax

การวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการอธิบายข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครและนำเสนอข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยเปรียบเทียบความสูงของการกระโดด องศาการกระดกข้อเท้าขึ้นและองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก ข้อมูลทั้งหมดถูกทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Shapiro - wilk test พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จึงใช้สถิติแบบ Non-parametric การศึกษาผลก่อนและหลังการยืดกล้ามเนื้อทันทีทำการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Wilcoxon Signed – Rank test ส่วนการศึกษาเปรียบเทียบผลทันทีระหว่างเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อใช้ Friedman test และทำการทดสอบความแตกต่างภายหลัง (Post-hoc analysis) ด้วย Related-Samples Friedman’s Two-way Analysis of Variance by Rank กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จริยธรรมการวิจัยและการพิทักษ์สิทธิ์ การวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ (อ.926/2562) อาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษาวิจัยได้รับทราบขั้นตอนการดำเนินการ วิธีการทดสอบ ประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น กลุ่มตัวอย่างได้สอบถามข้อสงสัยจนเป็นที่ประจักษ์ทั้งด้วยการอธิบายด้วยวาจาและจากเอกสารประกอบการวิจัยจากผู้วิจัย และอาสาสมัครได้ลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีอาสาสมัครทั้งสิ้นจำนวน 30 คน โดยข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไป	กลุ่มตัวอย่าง**เพศชาย**	กลุ่มตัวอย่าง**เพศหญิง**	กลุ่มตัวอย่าง**ทั้งหมด**
จำนวน (คน)	10	20	30
อายุ (ปี)	20.30±1.49	20.85±1.23	20.67±1.32
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	69.70±11.61	57.85±8.88	61.80±11.21
ส่วนสูง (เมตร)	1.75±0.04	1.62±4.43	1.66±0.08
ค่าดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	22.64± 3.25	22.11± 3.41	22.29±3.31

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้าง แบบพลวัตร และด้วยเทคนิค HR สามารถเพิ่มความสูงของการกระโดด องศาการกระดกข้อเท้าขึ้น และองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนักได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p < .001$ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลทันทีของเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อต่อความสูงของการกระโดด (Vertical jump) องศาการกระดกข้อเท้า (DFROM) และองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะลงน้ำหนัก (LROM)

ตัวแปร		**SS**	**DS**	**HR**
Vertical jump	ก่อนยืด	31.75±8.92	31.47±7.26	34.35±7.85
(เซนติเมตร)	หลังยืด	33.95±8.99*	33.82±7.54*	36.70±8.11*
	p-value	< .001	< .001	< .001
	การเปลี่ยนแปลง	2.20±2.05	2.35±2.00	2.35±2.07
	p-value		.638	.664
DFROM	ก่อนยืด	9.60±1.22	9.40±1.10	10.97±0.96
(องศา)	หลังยืด	12.13±1.41*	13.37±1.65*	14.73±1.14*
	p-value	< .001	< .001	< .001
	การเปลี่ยนแปลง	2.53±1.43	3.97±1.52[t]	3.77±1.10[t]
	p-value		.005	.028
LROM	ก่อนยืด	34.93±6.17	34.00±6.06	38.30±6.57
(องศา)	หลังยืด	40.73±7.42*	39.33±6.50*	45.97±6.27*
	p-value	< .001	< .001	< .001
	การเปลี่ยนแปลง	5.80±2.51	5.33±3.66	7.67±3.95
	p-value		.337	.069

SS= การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง, DS= การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตร, HR= การยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค Hold relax

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการยืดกล้ามเนื้อที่ $p < .001$

[t] แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ SS ที่ $p < .05$

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขององศาการกระดกข้อเท้าขึ้น (ΔDFROM) หลังการยืดกล้ามเนื้อทั้ง 3 เทคนิค พบว่า ΔDFROM ของการยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตร (3.97±1.52 องศา) และ ΔDFROM ของการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR (3.77±1.10 องศา) เพิ่มมากกว่า ΔDFROM ของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (2.53±1.43 องศา) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) ดังแสดงในตารางที่ 2 ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้ง 3 เทคนิคต่อการเพิ่มขึ้นของ LROM และความสูงของการกระโดดไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปและอภิปรายผล

ผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อน่องต่อองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้า การศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อน่องครั้งนี้พบว่าการยืดกล้ามเนื้อน่องทั้งแบบคงค้าง แบบพลวัตร และแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR สามารถเพิ่ม DFROM และ LROM ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้า โดย Konrad, Stafilidis และ Tilp [14] ได้ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อน่องแบบคงค้าง 30 วินาที จำนวน 4 ครั้ง และการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค contract relax นาน 36 วินาที จำนวน 4 รอบ พบว่าองศาการกระดกข้อเท้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทันทีหลังการยืดเหยียด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Masatoshi และคณะ ที่ได้ศึกษาผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง 30 วินาที จำนวน 4 ครั้ง เปรียบเทียบกับการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR นาน 30 วินาที จำนวน 4 รอบ พบว่าองศาการกระดกข้อเท้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ[15] โดยการศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค PNF ต่อคุณสมบัติของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นพบว่าหลังการยืดกล้ามเนื้อทั้งสองเทคนิคทำให้กล้ามเนื้อยอมให้เกิดการยืดยาวออก (Muscle compliance) มากขึ้น กล้ามเนื้อมีความหนืดต่อแรงภายนอก (Muscle stiffness) ลดลง ในขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเส้นเอ็น (Tendon properties) จึงได้มีการนำเสนอแนวคิดว่า การยืดเหยียดกล้ามเนื้อทั้งสองแบบนี้สามารถเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าโดยเกิดเปลี่ยนแปลงของ Elastic properties ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ในกล้ามเนื้อจึงทำให้ muscle stiffness ลดลง และ Muscular compliance เพิ่มขึ้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของเส้นเอ็น จึงทำให้เคลื่อนข้อต่อได้มากขึ้นนั่นเอง [14,15] นอกจากนี้การที่เทคนิค PNF สามารถช่วยเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหว และลดความตึงตัวของเส้นเอ็นได้สามารถอธิบายด้วยปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ autogenic inhibition ซึ่งเป็นกลไกการยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อที่มีแรงมากพอจะไปกระตุ้น Golgi tendon organs (GTOs) ที่อยู่ในเอ็นกล้ามเนื้อที่กำลังหดตัว ทำให้เกิดกระแสประสาทไปกระตุ้น interneuron ในไขสันหลังให้ส่งกระแสประสาทมายับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อมัดที่มีการหดตัวอยู่ ปฏิกิริยานี้ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการผ่อนคลาย ซึ่งเป็นหนึ่งในทฤษฎีที่อธิบายกลไกการยืดยาวออกของเส้นใยกล้ามเนื้อในระหว่างทำการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR นั่นเอง [16]

การเพิ่มขึ้นทันทีขององศาการกระดกข้อเท้าขึ้นหลังการยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรต่อการเคลื่อนไหวของข้อเท้าพบว่าองศาการกระดกข้อเท้าเพิ่มขึ้นทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้อ [5,17] โดยพบว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรจะทำให้ใยกล้ามเนื้อมี Muscle stiffness เพิ่มขึ้น ถึงแม้กล้ามเนื้อจะยอมให้ยืดออกน้อยลงแต่ข้อต่อยอมให้เคลื่อนไหวมากขึ้นนั่น

แสดงถึงการยอมให้ยืดยาวออกของเส้นเอ็น (Tendon compliance) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอื่น ๆ ของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น [5,18] นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นขององศาการกระดกข้อเท้าหลังการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคยังเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับความทนทานต่อการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretch tolerance) ของอาสาสมัครอีกด้วย [12,14] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีคำอธิบายกลไกการเพิ่มขึ้นขององศาการเคลื่อนไหวหลังการยืดกล้ามเนื้อที่แน่ชัด

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคต่อการเพิ่มขึ้นของ DFROM พบว่า การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรและเทคนิค HR สามารถเพิ่ม DFROM ได้ดีกว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง ทั้งนี้จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่มีการศึกษาก่อนหน้าที่ศึกษาเปรียบเทียบผลการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิคเดียวกันต่อองศาการกระดกข้อเท้า โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ควบคุมปัจจัยด้านระยะเวลาการยืดกล้ามเนื้อโดยใช้ระยะเวลารวมในการยืดกล้ามเนื้อ 150 วินาที มีระยะเวลาพักระหว่างครั้งของการยืดกล้ามเนื้อ 10 วินาที เท่ากันในทุกเทคนิค การเพิ่มขึ้นขององศาการกระดกข้อเท้าที่พบในการศึกษาครั้งนี้อาจเกิดจากรูปแบบการยืดกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรของกล้ามเนื้อในการศึกษาครั้งนี้ใช้ Heel drop stretching แรงที่ทำให้เกิดการยืดกล้ามเนื้อจึงเกิดจากน้ำหนักตัวทั้งหมดของอาสาสมัครซึ่งแตกต่างจากการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างที่ใช้ Lunge stretching แรงที่ทำให้เกิดการยืดกล้ามเนื้อเกิดจากการโน้มตัวไปข้างหน้าของอาสาสมัครจนขาข้างที่ต้องการทดสอบตึงตัวซึ่งเป็นแรงบางส่วนเมื่อเทียบกับขนาดแรงของน้ำหนักตัวของอาสาสมัคร ส่วนการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR เป็นการยืดกล้ามเนื้อร่วมกับการกระตุ้นผ่านระบบประสาทกล้ามเนื้อปฏิกิริยาตอบสนองอัตโนมัติ Autogenic inhibition ส่งผลให้กล้ามเนื้อน่องเกิดการคลายตัวก่อนทำการยืดกล้ามเนื้อซึ่งช่วยเสริมประสิทธิภาพการยืดกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ดีการศึกษาครั้งนี้แสดงผลขัดแย้งกับบางการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่า การยืดแบบคงค้างและการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR มีประสิทธิภาพในการเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าได้ไม่แตกต่างกัน และการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิค HR ทำให้แรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อถีบปลายเท้า (Plantarflexor muscles) ลดลง ความแตกต่างของผลการศึกษาอาจเกิดจากวิธีการยืดกล้ามเนื้อและการประเมินตัวแปรที่แตกต่างกันโดยการศึกษาก่อนหน้านั้นศึกษาผลการยืดกล้ามเนื้อทั้งสองเทคนิคโดยใช้เครื่อง Dynamometer ในการประเมินแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary contraction) [14,15] ในขณะที่การศึกษาครั้งนี้ประเมินด้วยกำลังในการกระโดดหรือความสูงของการกระโดด

ผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อน่องต่อความสูงของการกระโดด (Vertical jump) การศึกษาครั้งนี้พบว่าการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคไม่ทำให้เกิดความถดถอยของสมรรถภาพการกระโดด แต่ยังสามารถเพิ่มความสูงของการกระโดดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการยืดกล้ามเนื้อ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของกำลังการกระโดดอาจเนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของ DFROM และ LROM โดยการศึกษาก่อนหน้าได้พบความสัมพันธ์ระหว่าง DFROM กับความสูงของการกระโดดว่า เมื่อ DFROM เหมาะสมจะส่งผลต่อความสูงของการกระโดด [19] สามารถอธิบายได้ว่า DFROM และ LROM เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการย่อตัวลงทำให้องศาการงอสะโพก เข่าและข้อเท้าเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้กล้ามเนื้อรยางค์ขาถูกยืดยาวออกมากขึ้นก่อนการหดตัวเพื่อกระโดด ตามหลักของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของใยกล้ามเนื้อและแรงหดตัวกล้ามเนื้อ (Length-tension relationship) เมื่อช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อกว้างขึ้นย่อมครอบคลุมความยาวของใยกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดแรงหดตัวที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (Resting muscle length) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่า องศาการกระดกข้อเท้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งแรง

ของกล้ามเนื้อ Toe flexor ของนิ้วหัวแม่เท้าและความสูงของการกระโดด [19] นอกจากนี้องศาการกระดกข้อเท้าที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถย่อตัวลงได้มากขึ้นย่อมทำให้เส้นเอ็นข้อต่อของรยางค์ขาถูกยืดเพิ่มขึ้นส่งผลต่อ Elastic energy ที่เกิดสะสมในเส้นเอ็นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการหดตัวของกล้ามเนื้อและการคืนตัว (Recoil) ของเส้นเอ็นที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลต่อ Stretch-shortening cycle ขณะกระโดดทำให้ความสูงของการกระโดดเพิ่มขึ้น [12,19] จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบผลของการยืดกล้ามเนื้อด้วยเทคนิคเดียวกันต่อความสามารถในการกระโดด ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคต่อกำลังการกระโดด พบว่า ความสูงของการกระโดดที่เพิ่มขึ้นหลังการยืดกล้ามเนื้อแต่ละเทคนิคนั้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาเทคนิคการยืดกล้ามเนื้ออื่นก่อนหน้า [8] จากการศึกษาครั้งนี้แม้ว่าการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคสามารถเพิ่มทั้ง DFROM และ LROM โดยการยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตรและด้วยเทคนิค HR สามารถเพิ่ม DFROM ได้ดีกว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง แต่พบว่าประสิทธิภาพในการเพิ่ม LROM ของเทคนิคการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ LROM เป็นองศาการกระดกข้อเท้าขณะลงน้ำหนักซึ่งน่าจะมีความสัมพันธ์ต่อการกระโดดมากกว่า DFROM ดังนั้นเมื่อการยืดกล้ามเนื้อทั้งสามเทคนิคสามารถเพิ่ม LROM ได้ไม่ต่างกันจึงอาจส่งผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อและการคืนตัวของเส้นเอ็นขณะกระโดดไม่แตกต่างกันนั่นเอง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ การศึกษาครั้งนี้สนับสนุนว่าองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้ามีบทบาทสำคัญต่อสมรรถภาพทางกายในผู้ที่มีภาวะกล้ามเนื้อน่องตึงที่พบมากขึ้นในปัจจุบันรวมถึงพบมากในนักกีฬา การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง การยืดกล้ามเนื้อแบบพลวัตร และการยืดกล้ามเนื้อแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อเทคนิค HR ด้วยรูปแบบที่เหมาะสมสามารถเพิ่มองศาการกระดกข้อเท้าและกำลังการกระโดดทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้อโดยไม่ทำให้สมรรถภาพการกระโดดถดถอย โดยการยืดกล้ามเนื้อน่องแบบพลวัตรและแบบผ่านการกระตุ้นการรับรู้ของระบบประสาทกล้ามเนื้อเทคนิค HR สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มกำลังการกระโดดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการนำไปใช้ในกลุ่มกีฬาที่ต้องการกำลังการกระโดดสูง เช่น วอลเลย์บอล บาสเกตบอล หรือ กระโดดสูง เป็นต้น

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งถัดไป ข้อจำกัดในการศึกษาครั้งนี้คือ เป็นการศึกษาในอาสาสมัครทั่วไปที่มีช่วงอายุ 18-25 ปี และเป็นการศึกษาผลทันทีของการยืดกล้ามเนื้อน่องเท่านั้น ดังนั้นผลระยะยาวของการยืดกล้ามเนื้อแต่ละเทคนิคและการศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อน่องในนักกีฬาต่อสมรรถภาพการกระโดดยังเป็นการศึกษาที่น่าสนใจ

เอกสารอ้างอิง

1. Faiss R, Terrier P, Praz M, Fuchslocher J, Gobelet C, Deriaz O. Influence of initial foot dorsal flexion on vertical jump and running performance. J Strength Cond Res. 201;24(9):2352–7. doi:10.1519/JSC.0b013e3181aff2cc.
2. Roso-Moliner A, Lozano D, Nobari H, Bishop C, Carton-Llorente A, Mainer-Pardos E. Horizontal jump asymmetries are associated with reduced range of motion and vertical jump performance in female soccer players. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2023;15(1):80. doi:10.1186/s13102-023-00697-1.
3. Papaiakovou G. Kinematic and kinetic differences in the execution of vertical jumps between people with good and poor ankle joint dorsiflexion. J Sports Sci. 2013;31(16):1789–96. doi:10.1080/02640414.2013.803587.
4. Akagi R, Takahashi H. Acute effect of static stretching on hardness of the gastrocnemius muscle. Med Sci Sports Exerc. 201;45(7):1348–54. doi:10.1249/MSS.0b013e3182850e17.
5. Pamboris GM, Noorkoiv M, Baltzopoulos V, Mohagheghi AA. Dynamic stretching is not detrimental to neuromechanical and sensorimotor performance of ankle plantarflexors. Scand J Med Sci Sports. 2019;29(2):200–12. doi:10.1111/sms.13321.
6. Konrad A, Gad M, Tilp M. Effect of PNF stretching training on the properties of human muscle and tendon structures. Scand J Med Sci Sports. 2015;25(3):346–55. doi:10.1111/sms.12228.
7. Dalrymple KJ, Davis SE, Dwyer GB, Moir GL. Effect of static and dynamic stretching on vertical jump performance in collegiate women volleyball players. J Strength Cond Res. 2010;24(1):149–55. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b29614.
8. Pacheco L, Balius R, Aliste L, Pujol M, Pedret C. The acute effects of different stretching exercises on jump performance. J Strength Cond Res. 2011;25(11):2991–8. doi:10.1519/JSC.0b013e318212dac0.
9. You JY, Lee HM, Luo HJ, Leu CC, Cheng PG, Wu SK. Gastrocnemius tightness on joint angle and work of lower extremity during gait. Clin Biomech Bristol Avon. 2009;24(9):744–50. doi:10.1016/j.clinbiomech.2009.07.002.
10. Williams CM, Caserta AJ, Haines TP. The TiltMeter app is a novel and accurate measurement tool for the weight bearing lunge test. J Sci Med Sport. 2013;16(5):392–5. doi:10.1016/j.jsams.2013.02.001.

11. Engkananuwat P, Kanlayanaphotporn R, Purepong N. Effectiveness of the simultaneous stretching of the achilles tendon and plantar fascia in individuals with plantar fasciitis. Foot Ankle Int. 2018;39(1):75–82. doi:10.1177/1071100717732762.
12. Pamboris GM, Noorkoiv M, Baltzopoulos V, Gokalp H, Marzilger R, Mohagheghi AA. Effects of an acute bout of dynamic stretching on biomechanical properties of the gastrocnemius muscle determined by shear wave elastography. PloS One. 2018;13(5):e0196724. doi:10.6084/m9.figshare.5919496.
13. Tapanya W. The immediate effect of different calf muscle stretching techniques on ankle dorsiflexion range of motion and dynamic balance in women workers wearing high-heeled shoes. J Assoc Med Sci. 2016;49(1):90. doi:10.14456/jams.2016.8.
14. Konrad A, Stafilidis S, Tilp M. Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. Scand J Med Sci Sports. 2017;27(10):1070–80. doi:10.1111/sms.12725.
15. Nakamura M, Sato S, Kiyono R, Yahata K, Yoshida R, Fukaya T, et al. Comparison of the acute effects of Hold-Relax and static stretching among older adults. Biology. 2021;10(2):126. doi:10.3390/biology10020126.
16. Behm D, Blazevich A, Kay A, McHugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. Appl Physiol Nutr Metab. 2015;41:1-11. doi:10.1139/apnm-2015-0235.
17. Mizuno T. Effects of dynamic stretching velocity on joint range of motion, muscle strength, and subjective fatigue. J Strength Cond Res. 2022;36(9):2440–7. doi:10.1519/JSC.0000000000003842.
18. Leung WKC, Chu KL, Lai C. Sonographic evaluation of the immediate effects of eccentric heel drop exercise on Achilles tendon and gastrocnemius muscle stiffness using shear wave elastography. Peer J. 2017;5:e3592. doi:10.7717/peerj.3592.
19. Yun SJ, Kim MH, Weon JH, Kim Y, Jung SH, Kwon OY. Correlation between toe flexor strength and ankle dorsiflexion ROM during the countermovement jump. J Phys Ther Sci. 2016;28(8):2241–4. doi:10.1589/jpts.28.2241.