

บทความวิจัย**ผลสัมฤทธิ์ของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อพลังกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นเยาวชนชาย**

จิตรารักษ์ จินตนา และทศพร ยิ้มมัย

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Received: 30 June 2024 / Revised: 9 July 2024 / Accepted: 26 July 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อพลังกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นเยาวชนชาย

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย อายุ 15-16 ปี จำนวน 13 คน โดยได้รับการทดลอง 4 เงื่อนไข ได้แก่ การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60% การปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (Arterial occlusion pressure; AOP) การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 40%AOP การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียว และไม่มีการออกกำลังกายใดๆ (เงื่อนไขควบคุม) โดยทดสอบเวลาและความเร็วการวิ่งระยะ 20 และ 50 เมตร ความสามารถในการกระโดดแนวราบ ความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Rectus femoris, Gastrocnemius และ Soleus ก่อนและหลังการทดลองนาที่ที่ 4, 8 และ 12 ในแต่ละเงื่อนไข วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์แปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ผลการวิจัย พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาและความเร็วในการวิ่งระยะ 20 และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกช่วงเวลาที่ทดสอบและเงื่อนไข ขณะที่เปอร์เซ็นต์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

Soleus สูงสุดเพิ่มขึ้นหลังการทดลองนาที่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์พลังสูงสุดเพิ่มขึ้นหลังการทดลองนาที่ที่ 8 และ 12 และระยะทางการกระโดดแนวราบเพิ่มขึ้นหลังการทดลองนาที่ที่ 12 เปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง และหลังการทดลองนาที่ที่ 4 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Soleus สูงสุดเพิ่มขึ้นหลังการทดลองนาที่ที่ 12 จากหลังการทดลองนาที่ที่ 4 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียว และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเงื่อนไขอื่น

สรุปผลการวิจัย การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP สามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ได้เมื่อเทียบกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้สมรรถภาพในการกระโดดแนวราบ และตัวแปรความสามารถในการกระโดดแนวตั้งเพิ่มขึ้น ขณะที่ไม่มีผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วในนักวิ่งระยะสั้นระดับเยาวชน

คำสำคัญ: การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก / การจำกัดการไหลเวียนเลือด / โปสต์แอคทีเวชันโพเทนทีเอชัน / ความสามารถในการเร่งความเร็ว / คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

Original Article

ACUTE EFFECTS OF SPEED BOUNDING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION
ON MUSCULAR POWER AND ACCELERATION ABILITY IN MALE YOUTH SPRINTERS

Jittraporn Jintana and Tossaporn Yimlamai

Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

Received: 30 June 2024 / Revised: 9 July 2024 / Accepted: 26 July 2024

Abstract

Purpose This study aimed to examine the acute effects of speed bounding combined with blood flow restriction on lower limb muscle power and sprint acceleration ability in male youth sprinters.

Methods Thirteen male youth sprinters, aged 15-16 years, participated in this study. In a crossover design, all subjects performed four trials under different experimental conditions: speed bounding (SB) combined with blood flow restriction at 60% arterial occlusion pressure (AOP; SB+BFR60), SB combined with blood flow restriction at 40%AOP (SB+BFR40), SB alone (SB) and no intervention (CON). Sprint time and velocity at 20 and 50 m., standing board Jump, vertical jump performance and electromyography (EMG) from rectus femoris, gastrocnemius and soleus muscles were recorded before and after each trial (4, 8, and 12 min). Two-way analysis of variance with repeated measure followed by Bonferroni post hoc test was applied for data analysis with a statistical significance p -value $< .05$

Results There were no significant main effects of time and condition and time x condition interaction on sprint time and velocity at 20 and

50 m. distance. EMG activity of soleus muscle (%maximal voluntary contraction; MVC), but not other muscles, were significantly increased after 8 min ($p < 0.05$). The peak power were significantly increased after 8 and 12 min ($p < 0.05$) while standing board jump ability were significantly increased after 12 min compared to pretest value and 4 min during SB+BFR60 ($p < 0.05$). In addition, EMG activity of soleus muscle were increased after 8 min compared to 4 min during SB. No other significant differences were observed across time points in all conditions ($p > 0.05$).

Conclusion Speed bounding combined with blood flow restriction at 60%AOP can acutely increase muscle activation in soleus muscle, resulting in significant improvements in peak power and standing board jump compared with other conditions. However, these effects did not translate to an improvement in sprint acceleration ability in youth male sprinters.

Keywords: Plyometric Exercise / Blood Flow Restriction / Postactivation Potentiation / Acceleration Ability / Electromyography

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิ่งระยะสั้นจัดเป็นประเภทของการแข่งขันกรีฑาที่มีการแข่งขันมายาวนาน ที่ได้รับความนิยมและถูกบรรจุไว้ในรายการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกและกรีฑาชิงแชมป์โลก ซึ่งการวิ่งระยะสั้นนั้นใช้ตัวแปรในการตัดสินแพ้ชนะด้วยเวลาเป็นสำคัญโดยมีสถิติโลกปัจจุบันที่ 9.58 วินาทีและ 10.49 วินาที สำหรับผู้ชายและผู้หญิง ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยจากข้อมูลสถิติการวิ่งระยะสั้นพบว่า การวิ่งระยะ 100 เมตร ใช้เวลา 10.23 วินาที และ 11.33 วินาที สำหรับผู้ชายและผู้หญิง ตามลำดับ และยังไม่มีนักวิ่งคนใดที่สามารถทำลายสถิติการแข่งขันได้เป็นเวลากว่า 20 ปีแล้ว จวบจนกระทั่งปี ค.ศ. 2022 เพิ่งจะมีการทำลายสถิติประเทศไทยในนักวิ่งระยะสั้นชาย 100 เมตร โดยใช้เวลา 10.09 วินาที ในขณะที่สถิติโลก ก็พบว่ายังไม่มีการทำลายสถิติเช่นเดียวกันมารวมทศวรรษแล้ว ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษารูปแบบการออกกำลังกายและการอบอุ่นร่างกายก่อนการแข่งขันเพื่อช่วยพัฒนาความสามารถในนักวิ่งระยะสั้น โดยนำความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาศักยภาพสูงสุดของนักวิ่งระยะสั้น

โดย Reilly และคณะ (1990) ได้ทำการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง 100 เมตร ได้แบ่งช่วงต่างๆ ของการวิ่ง 100 เมตร และพบว่า ช่วงเริ่มต้นของการเพิ่มความเร่ง คือ ระยะทางตั้งแต่ 5 เมตร ถึง 30 และระยะทางตั้งแต่ 30 เมตร ถึง 50 เมตร มีความสำคัญมากต่อผลการแข่งขันโดยปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาการเร่งความเร็วคือความสามารถในการสร้างแรงและกำลังเพื่อให้ได้ความเร็วสูงสุด (Mero et al., 1992) ปัจจุบันได้มีการคิดค้นรูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาความเร็วหลากหลายรูปแบบ เช่น การฝึกวิ่งเร็ว (Speed training) การฝึกวิ่งเร็วแบบ

มีแรงต้าน (Resisted sprint training) และการช่วยฝึกวิ่ง (Assisted sprint training) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นพัฒนาขีดความสามารถด้านความเร็วให้กับนักกีฬาเป็นหลัก การฝึกพลัยโอเมตริก จัดเป็นการฝึกที่ได้รับความนิยมค่อนข้างสูง โดยหลักสำคัญของการฝึกพลัยโอเมตริกคือความสามารถของการยืดของโครงสร้างของกล้ามเนื้อซึ่งประกอบด้วยเส้นเอ็นและเส้นใยกล้ามเนื้อ เมื่อกำลังกล้ามเนื้อถูกยืดออก (Stretching) พลังงานจะถูกเก็บสะสมไว้ในโครงสร้างที่ยืดหยุ่นเหล่านี้และจะถูกใช้ในขณะที่ยืดหดตัว (Contraction) หรือเรียกว่าวงจรการยืด-การหดสั้น (Stretch-shortening cycle) ส่งผลให้แรงหดตัวเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามรูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกส่วนใหญ่นิยมใช้การกระโดดในแนวตั้งเป็นหลัก ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวในนักวิ่งระยะสั้น อย่างไรก็ตาม รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีความจำเพาะต่อการวิ่ง (Sport-specific sprinting movement) อีกรูปแบบหนึ่งคือการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดในแนวราบ (Speed bounding) ซึ่งเป็นท่าฝึก (Drill) ที่เน้นการเคลื่อนไหวในแนวราบด้วยความเร็ว โดยมีลักษณะการเคลื่อนไหวโดยการกระโดดไปข้างหน้าเป็นการผสมผสานทักษะการวิ่งเร็ว (Sprinting) กับการกระโดดในแนวราบ (Bounding) เข้าด้วยกัน โดยมีเป้าหมายให้ระยะเวลาก้าวมากกว่าปกติและใช้ระยะเวลาเท้าสัมผัสพื้น (Contact time)ให้น้อยที่สุด ซึ่งลักษณะการเคลื่อนไหวของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดนี้มีความสัมพันธ์กับวงจรการยืด-การหดสั้นที่กล้ามเนื้อที่มัดหลัก (Agonist muscle) ต้องมีการยืดยาวออกและหดสั้นเข้าอย่างรวดเร็วเพื่อถีบเท้า เหยียดเข้า และเหยียดสะโพก (Triple extension) เพื่อทำให้เกิดแรงในการก้าวกระโดดไปด้านหน้าได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้สามารถ

สร้างพลังระเบิดของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องได้ นอกจากนี้ การศึกษาที่ผ่านมาได้นำพลัยโอเมตริกมาใช้ร่วมกับการอบอุ่นร่างกาย โดย Turner และคณะ (2015) ได้ศึกษาผลฉับพลันโดยใช้พลัยโอเมตริกทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดแนวราบโดยใช้น้ำหนักตัวเปรียบเทียบกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดแนวราบร่วมกับใส่เสื้อถ่วงน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าทั้งสองกลุ่มสามารถเพิ่มความเร็วในการวิ่งได้ โดยกลุ่มการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดแนวราบร่วมกับใส่เสื้อถ่วงน้ำหนักมีระยะที่สามารถเร่งความเร็วได้ระยะทางที่ไกลกว่ารวมทั้งระยะเวลาที่ส่งผลต่อการตอบสนองของโพสต์แอกติเวชัน โทเทนท์ที่เอชเอ็นก็ได้นานกว่าถึง 4-8 นาติ โดย Sale (2004) ได้ให้คำจำกัดความโพสต์แอกติเวชัน โทเทนท์ที่เอชเอ็น ไว้ว่าเป็นปรากฏการณ์ที่กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้แรงเพิ่มขึ้นโดยเกิดจากการกระตุ้นการหดตัวอย่างหนักก่อนหน้า ซึ่งการเกิดโพสต์แอกติเวชัน โทเทนท์ที่เอชเอ็น มีกลไกหลัก 3 อย่าง คือ (1) การเกิดปฏิกิริยาฟอสโฟไรเรชั่นของมายโอซินไลท์เชน (myosin regulatory light chains) ทำให้แอกตินและมายโอซินคอมเพล็กซ์มีความไวต่อแคลเซียมมากขึ้น ส่งผลให้มีการจับของมายโอซินเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดแรงหดตัวเพิ่มขึ้น (2) เกิดจากการระดมหน่วยยนต์เพิ่มขึ้น (Motor units recruitment) และ (3) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงมุมของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Pennation angle) ที่อาจมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านแรง แม้ว่าการออกกำลังกายรูปแบบต่างๆ สามารถที่จะกระตุ้นกลไกการเกิดโพสต์แอกติเวชัน โทเทนท์ที่เอชเอ็นได้ (Elam, 1986) อาทิเช่น Seitz และคณะ (2014) พบว่าการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของความหนักสูงสุด จำนวน 3 ครั้ง ส่งผลต่อการกระตุ้นโพสต์แอกติเวชัน โทเทนท์ที่เอชเอ็น

ทำให้ความเร็วการวิ่งดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การฝึกที่ต้องมีอุปกรณ์หนักลงสนามอาจเป็นข้อจำกัดและอาจมีความยุ่งยาก ดังนั้นข้อดีของการอบอุ่นร่างกายด้วยพลัยโอเมตริกคือไม่ต้องมีอุปกรณ์หนักๆ ไปในสนาม

ในปัจจุบันได้มีการนำการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาใช้เพื่อเพิ่มสมรรถภาพของนักกีฬามากขึ้น (Cheunsiri, 2021) โดยการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถทำได้ง่ายโดยใช้สายรัด (Tourniquet, cuff) มารัดไว้ที่บริเวณส่วนต้นของกล้ามเนื้อบริเวณแขนหรือขาในขณะที่ออกกำลังกายเพื่อให้เกิดภาวะการคั่งของเลือดบริเวณนั้น (Blood pooling) จากการกั้นการไหลเวียนของเลือดแดงบางส่วนบริเวณหลอดเลือดแดงและการกั้นการไหลเวียนของเลือดดำทั้งหมดของหลอดเลือดดำในบริเวณกล้ามเนื้อที่ทำงานขณะออกกำลังกาย (Patterson et al., 2019) ทำให้ลดการไหลของเลือดแดงมาสู่กล้ามเนื้อที่ทำงานและลดเลือดดำที่ไหลกลับสู่หัวใจ (Venous return) ส่งผลให้การลำเลียงออกซิเจนเข้าสู่กล้ามเนื้อและกำจัดของเสียจากระบบเผาผลาญพลังงานลดลงจนเกิดสภาวะไม่สมดุลของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Kilduff et al., 2007) ทำให้กล้ามเนื้อเกิดภาวะขาดออกซิเจน (Hypoxia) เกิดการสะสมของของเสีย (กรดแลคติก) ในกล้ามเนื้อ ทำให้เพิ่มความเครียดให้กับระบบพลังงานและกล้ามเนื้อ (Metabolic stress) มากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการปรับตัวของกล้ามเนื้อ เพิ่มการสร้างเคราตินโปรตีน เพิ่มการผลิตฮอร์โมน เกิดการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น (Muscle hypertrophy) นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มการระดมหน่วยยนต์ ส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย (Fujita et al., 2008) การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้สายรัดเพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถจำกัดปริมาณออกซิเจนที่เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าส่งผลให้เส้นใย

กล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าเกิดความความเมื่อยล้าเร็วขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมากขึ้น (Moritani et al., 1992) ซึ่งการระดมการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วถือเป็นกลไกสำคัญกลไกหนึ่งสำหรับการเกิดโพสต์แอคทีเวชั่น โฟเทนที่เอชชั่น อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมา ส่วนใหญ่มีการกำหนดแรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นช่วงค่อนข้างกว้าง คือระหว่าง 40-80 %AOP (Hughes et al., 2018) ทำให้ยังไม่มีคำตอบชัดเจนเกี่ยวกับแรงดันที่เหมาะสมสำหรับนักกีฬาแต่ละคน อย่างไรก็ตาม Boobani และ Licis (2019) ได้ศึกษาผลจากการฝึกพลัยโอเมตริก ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อพลังระเบิด โดยผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักกีฬาเทควันโด อายุต่ำกว่า 17 ปี ทุกคนจะได้ฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า การฝึกแบบพลัยโอเมตริก ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดไม่ส่งผลต่อพลังระเบิดในท่ากระโดดแนวตั้ง ทั้งนี้ข้อจำกัดของงานนี้คือ ผู้เข้าร่วมวิจัย มีประสบการณ์การฝึกแตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดลองในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ ความหนักของการออกกำลังกายและความดันที่ใช้ในการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดที่แตกต่างกันอาจส่งผลทำให้ผลการทดลองแตกต่างกันได้ ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาผลฉับพลันของการฝึกแบบพลัยโอเมตริก ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อสมรรถนะนักกีฬาโดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นเยาวชน ซึ่งอาจจะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แตกต่างจากผู้ใหญ่ (Luebbbers et al., 2019)

จากเหตุผลดังที่ได้กล่าวมา ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลฉับพลันของการฝึกด้วยพลัยโอเมตริก ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่

มีผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นโดยมีสมมติฐานว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในช่วงอบอุ่นร่างกายสามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยวัดจากแอมพลิจูดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อส่งผลให้พลังกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นชายเพิ่มขึ้นได้ ดีกว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ผู้วิจัยต้องการศึกษาเพื่อหาแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งความเร็วได้สูงสุด ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบอุ่นร่างกายเพื่อกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีผลต่อการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อและการเร่งความเร็วในการฝึกซ้อมและการแข่งขันของนักกีฬาเยาวชน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อพลังกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นเยาวชนชาย

วัตถุประสงค์รอง

1. เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยวัดจากแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ต่างกันที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของนักวิ่งระยะสั้นเยาวชนชาย

สมมติฐานของการวิจัย

1. การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อพลังกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นชายได้ดีกว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเพียงอย่างเดียว

2. การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยวัดจากแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้ดีกว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียว

3. แรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่สูงกว่าสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยวัดจากแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้มากกว่าแรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ต่ำกว่า

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) และได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรม การวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขที่โครงการวิจัย 277/66 รับรองเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2566

กลุ่มตัวอย่าง นักวิ่งระยะสั้นเพศชาย อายุระหว่าง 15-16 ปี จากโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร โดยใช้โปรแกรม G*power Version 3.1.9.7 ในการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง โดยคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ (Cai et al., 2018) กำหนดให้ระดับความมีนัยสำคัญ (α) = 0.05 อำนาจการทดสอบ ($1-\beta$) = 0.8 ขนาดอิทธิพล (d) = 1.0 เมื่อคำนวณแล้วได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน และเพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้เพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างอีก 20%

ดังนั้นจะได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 14 คน และทำการการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ในการวิจัยนี้จะใช้รูปแบบ Randomized crossover design โดยผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะได้รับการทดลองครบทั้ง 4 เงื่อนไข โดยใช้การถ่วงดุลลำดับ (counter balance design) อย่างไรก็ตามเนื่องจากผู้เข้าร่วมวิจัย 1 คน ไม่สามารถเข้ารับการทดลองครบทั้ง 4 เงื่อนไข ดังนั้นจึงเหลือผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมด 13 คน

เกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย (Inclusion criteria)

1. เป็นนักวิ่งระยะสั้น เพศชาย อายุระหว่าง 15-16 ปี
2. มีประสบการณ์ในการเล่น/เข้าร่วมการแข่งขันวิ่ง 100 เมตร อย่างน้อย 1 ปี และมีสถิติการวิ่งระยะ 100 เมตร ได้ไม่เกิน 14 วินาที ในระยะเวลา 6 เดือนล่าสุดก่อนการทดลอง
3. มีค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index; BMI) ระหว่าง 18.5-22.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามเกณฑ์ของ Asian BMI (Mahajan and Batra, 2018)
4. ต้องไม่เป็นโรคความดันโลหิตสูง (Hypertension; ความดันโลหิตมากกว่า 140/90 มิลลิเมตรปรอท) และไม่เป็นโรคความดันโลหิตต่ำ (Hypotension; ความดันโลหิตต่ำกว่า 90/60 มิลลิเมตรปรอท) โรคหัวใจและหลอดเลือด และภาวะลิ่มเลือดอุดตัน โดยทำการประเมินเบื้องต้นจากการประเมินการคืนกลับของเลือดในหลอดเลือดฝอย (Capillary refill time) โดยการกดบริเวณปลายนิ้ว ทั้ง 2 ข้าง นาน 5 วินาทีแล้วปล่อย สีผิวจะต้องคืนกลับโดยใช้เวลาน้อยกว่า 3 วินาที (Banker et al., 2016; Brandner et al., 2015; Loenneke et al., 2015)

5. ไม่มีอาการบาดเจ็บที่ส่งผลต่อการฝึกของการวิจัยในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา

6. ไม่ใช้สารกระตุ้น (Anabolic steroids) หรืออาหารเสริมใดๆ ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา

7. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมงานวิจัย และลงนามเข้าร่วมในใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

เกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย (Exclusion criteria)

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ไม่สามารถเข้าร่วมวิจัยต่อได้ เช่น เกิดอุบัติเหตุหรือเจ็บป่วย

2. เข้าร่วมการฝึกไม่ครบ 4 เจอไนซ์

3. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมการก่อนการทดลอง

1. ทบทวนวรรณกรรมและค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. นำรูปแบบโปรแกรมการออกกำลังกายไปพิจารณาตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน โดยกำหนดค่าดัชนีความสอดคล้องแต่ละประเด็นตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ซึ่งผลจากการตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ซึ่งได้ค่าในแต่ละประเด็นมากกว่า 0.5 และได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.93

3. นำเสนอโครงการวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาทางจริยธรรมจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. คัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยตามข้อกำหนดเกณฑ์คัดเข้าและคัดออก

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บข้อมูลการทดลองในแต่ละเจอไนซ์

1. ทำการโกนขนเพื่อลดสัญญาณรบกวนและทำความสะอาดผิวหนังของผู้เข้าร่วมและติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อเป้าหมาย จำนวน 3 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อ Rectus femoris, Gastrocnemius และ Soleus

2. จากนั้นนั่งพักเป็นเวลา 5 นาที

3. ทำการวัดความพร้อมขั้นพื้นฐานของร่างกาย ได้แก่ ความดันโลหิต อัตราการเต้นหัวใจ ก่อนการทดลอง

4. ทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) 15 นาที

5. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที

6. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบการหดตัวสูงสุดของการทำงานของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary contraction: MVC)

7. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที

8. ทดสอบตัวแปรตาม ได้แก่

- ความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง พร้อมกับการบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยกำหนดให้ทำการยืนย่อเข้ากระโดด (Countermovement jump) ให้ผู้เข้าร่วมย่อลงโดยเลือกความลึกด้วยตนเอง จากนั้นกระโดดให้สูงที่สุดเท่าที่สามารถทำได้

- ความสามารถในการกระโดดแนวราบ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเริ่มต้นจากท่ายืน จากนั้นย่อเข่าลงแกว่งแขน และกระโดดให้ได้ระยะทางไกลที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ โดยจุดที่วัดจะวัดจากตำแหน่งของเท้าที่อยู่ใกล้ที่สุด

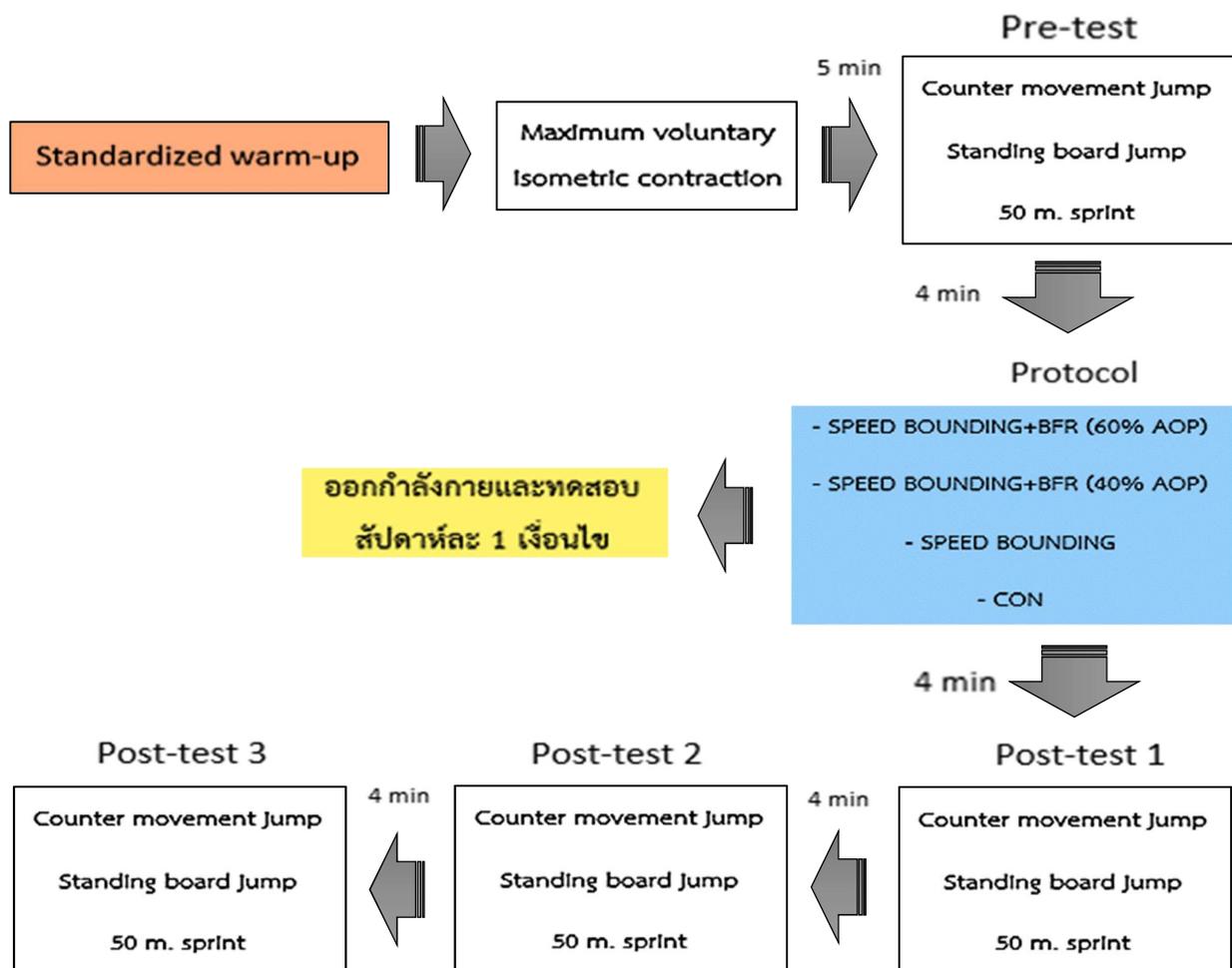
- วิ่งระยะทาง 50 เมตร โดยจับเวลาที่ระยะ 20 และ 50 เมตร

9. นั่งพักเป็นเวลา 4 นาที

10. ออกกำลังกายตามแต่ละเจอไนซ์

- สำหรับท่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยใช้เวลาที่เท้าสัมผัสพื้นน้อยที่สุด ใช้แรงให้เคลื่อนที่แนวราบให้มากที่สุด และก้าวให้ไกลที่สุด ทำการรอสะโพก ต้นขาทำมุม 90 องศา ต้นขาขนานพื้น ทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด จำนวน 10 ก้าว (ข้างละ 5 ก้าว) เป็นจำนวน 3 รอบ ในแต่ละรอบมีการพัก 2 นาที ดังนั้น ใช้เวลารวมทั้งหมด 3 รอบประมาณ 4.30 นาที โดยช่วงระหว่างพัก จะไม่มีการพันสายรัดค้างไว้ และในเงื่อนไขที่มีการจำกัดการไหลเวียนเลือด ทำการพันสายรัดที่บริเวณต้นขาทั้ง 2 ข้าง และบีบแรงดันให้ถึงค่าที่กำหนดไว้

11. นิ่งพักเป็นเวลา 4 นาที
12. ทำการทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับการบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และวิ่งระยะ 50 เมตร
13. นิ่งพักเป็นระยะเวลา 4 นาทีและทำการทดสอบซ้ำในนาทิตี่ 8 และ 12
14. คลายอุ่นร่างกาย (Cool down) เป็นเวลา 10 นาทีโดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
15. ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนจะได้รับการทดลองสัปดาห์ละ 1 เจอไนซ์ในวันเดิมและเวลาเดิมในทุกสัปดาห์จนครบทั้ง 4 เจอไนซ์ โดยในแต่ละวันมีขั้นตอนดังรูป



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ใช้นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ Casio รุ่น HS-70W โดยผู้ช่วยวิจัย 2 คน
2. Rapid Version Cuffs รุ่น SC10D บริษัท Hokanson ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับพันรอบบริเวณกล้ามเนื้อต้นขา เพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือด
3. Aneroid Sphygmomanometer ใช้สำหรับแสดงแรงดัน (มิลลิเมตรปรอท) ยี่ห้อ Welch Allyn ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อทำการบีบแรงดันเพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือด
4. เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) รุ่น Wave Plus Wireless EMG ยี่ห้อ Cometa ประเทศอิตาลี
5. อิเล็กโทรดติดบนผิวหนัง (Surface Electromyography) ยี่ห้อ Ambu ประเทศมาเลเซีย
6. แผ่นวัดแรงปฏิกิริยา ยี่ห้อ C-Force ผลิตโดยบริษัท Innervations ประเทศออสเตรเลีย เพื่อวัดความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง
7. แผ่น Standing board jumping ยี่ห้อ FBT ประเทศไทย เพื่อวัดความสามารถในการกระโดดแนวราบ
8. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) ใช้ในการเก็บข้อมูลด้านสรีรวิทยาพื้นฐาน เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีมวลกาย ยี่ห้อ Omron ประเทศญี่ปุ่น
9. เครื่องวัดความดันโลหิต (Digital blood pressure) ยี่ห้อ Omron ประเทศญี่ปุ่น

10. สายวัดความยาว เพื่อวัดเส้นรอบวงของต้นขา
11. สำลีและแอลกอฮอล์
12. ถุงมือยาง
13. เทปสำหรับติดอิเล็กโทรด
14. แบบบันทึกข้อมูลการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
2. วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลด้วยวิธี Shapiro-Wilk test
3. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางชนิดวัดซ้ำ (Two-way analysis of variance with repeated measure) หากพบความแตกต่างทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni's test
4. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ นักวิ่งมีค่าเฉลี่ยของอายุ 15.23 ± 0.44 ปี ความสูง 169.85 ± 6.43 เซนติเมตร น้ำหนักตัว 56.68 ± 5.70 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย 19.61 ± 1.10 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และประสบการณ์ในการแข่งขัน 3.5 ± 0.50 ปี

จากตารางที่ 1 พบว่า เวลาและความเร็วการวิ่งระยะ 20 และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกันในทุกเงื่อนไขการทดลองที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเวลา (Time) ความเร็วในการวิ่ง (Velocity)

Time	Condition	20 meters	20 meters	50 meters	50 meters
		Sprint time (s)	Velocity (m/s)	Sprint time (s)	Velocity (m/s)
Pretest	SB+BFR60	3.09±0.18	6.50±0.39	7.04±0.27	7.11±0.27
	SB+BFR40	3.03±0.35	6.68±0.74	7.00±0.45	7.17±0.45
	SB	3.05±0.33	6.63±0.74	7.05±0.16	7.10±0.16
	CON	3.02±0.13	6.63±0.27	6.96±0.20	7.19±0.21
Posttest 4 mins	SB+BFR60	3.08±0.20	6.52±0.44	6.93±0.36	7.23±0.36
	SB+BFR40	3.07±0.45	6.63±0.90	7.01±0.46	7.16±0.45
	SB	3.00±0.34	6.75±0.75	6.92±0.24	7.23±0.25
	CON	3.00±0.17	6.68±0.36	7.01±0.26	7.14±0.26
Posttest 8 mins	SB+BFR60	3.06±0.15	6.54±0.30	6.91±0.36	7.25±0.38
	SB+BFR40	3.04±0.28	6.63±0.61	6.97±0.38	7.19±0.39
	SB	3.10±0.41	6.57±0.90	7.00±0.30	7.15±0.31
	CON	3.01±0.15	6.67±0.32	6.98±0.23	7.17±0.24
Posttest 12 mins	SB+BFR60	2.97±0.22	6.78±0.53	6.87±0.37	7.30±0.40
	SB+BFR40	3.03±0.25	6.65±0.56	6.96±0.36	7.20±0.37
	SB	3.07±0.29	6.58±0.65	6.99±0.37	7.17±0.38
	CON	3.04±0.17	6.60±0.38	6.99±0.22	7.16±0.23

SB+BFR60 = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 60% AOP

SB+BFR40 = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 40% AOP

SB = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับ CON เงื่อนไขควบคุม ไม่มีการออกกำลังกายใดๆ

s = second, m/s = meter/second

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง (Vertical jump performance) และความสามารถในการกระโดดแนวราบ (Standing Board jump)

Time	Condition	Vertical jump			Standing Board jump (cm)
		Peak force (N/kg)	Peak power (W/kg)	Jump height (m)	
Pretest	SB+BFR60	22.04±1.79	45.12±4.74	0.29±0.04	156.85±21.41
	SB+BFR40	23.22±3.51	54.79±15.81	0.29±0.05	164.54±22.95
	SB	23.87±5.03	49.79±7.67	0.28±0.04	163.38±21.60
	CON	23.92±5.01	49.77±11.44	0.28±0.05	168.46±20.92
Posttest 4 mins	SB+BFR60	23.11±3.09	52.44±8.05	0.29 ±0.04	161.62±22.90
	SB+BFR40	23.41±2.96	56.45±16.12	0.28±0.04	166.46±15.30
	SB	24.20±4.15	54.69±10.03	0.29±0.03	166.08±19.48
	CON	23.77±4.92	52.93±11.33	0.27±0.05	166.08±21.04
Posttest 8 mins	SB+BFR60	23.03±3.22	54.02±9.67*	0.29±0.05	167.69±22.53
	SB+BFR40	23.36±4.69	49.32±13.14	0.30±0.05	170.31±19.38
	SB	23.07±2.22	57.62±18.75	0.29±0.04	170.23±19.65
	CON	22.83±2.49	47.35±4.15	0.28±0.04	168.23±17.48
Posttest 12 mins	SB+BFR60	23.42±3.12	54.82±13.28*	0.29±0.05	168.19±20.47*#
	SB+BFR40	23.80±4.67	99.45±15.38	0.29±0.05	170.62±17.72
	SB	22.87±1.53	52.60±14.46	0.29±0.04	173.92±17.16#
	CON	22.52±1.62	52.92±12.36	0.28±0.04	164.15±16.98

SB+BFR60 = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 60% AOP

SB+BFR40 = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 40% AOP

SB = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับ CON เงื่อนไขควบคุม ไม่มีการฝึกใดๆ

N = Newton, kg = kilogram, W = watt, m = meter, cm = centimeter

*แตกต่างกับก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

#แตกต่างกับในนาที่ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

จากตาราง 2 พบว่า การวิ่งเร็วแบบก้าว กระโดดรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 60% มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์พลังสูงสุดเพิ่มขึ้น หลังการทดลองนาทิตี่ 8 และ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แรงสูงสุดและค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสูงในการกระโดดไม่แตกต่างกันในทุกเงื่อนไขการทดลอง และไม่พบความแตกต่างระหว่างก่อนการทดลอง และ

หลังการทดลอง นาทิตี่ 4, นาทิตี่ 8 และนาทิตี่ 12 ในทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และค่าเฉลี่ยระยะทางการกระโดดหลังการทดลองนาทิตี่ 12 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองและหลังการทดลองนาทิตี่ 4 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 60% AOP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography, EMG)

Time	Condition	%MVC	%MVC	%MVC
		Rectus femoris	Gastrocnemius	Soleus
Pretest	SB+BFR60	290.21±104.19	147.28±52.27	200.36±61.41
	SB+BFR40	279.80±90.66	157.16±57.68	218.21±66.87
	SB	250.02±77.57	227.24±80.29	293.72±86.96
	CON	263.36±83.16	165.70±50.60	205.75±70.64
Posttest 4 mins	SB+BFR60	317.90±98.35	156.75±51.92	237.21±86.54
	SB+BFR40	294.10±89.16	169.51±56.73	269.37±87.98
	SB	248.06±77.81	233.13±66.48	296.77±82.20
	CON	263.23±89.17	153.59±46.60	176.88±76.17
Posttest 8 mins	SB+BFR60	309.99±102.80	169.24±54.59	251.51±80.03*
	SB+BFR40	286.12±83.13	181.19±58.27	214.10 ±71.52
	SB	218.10±71.16	229.07±70.00	270.74±83.30
	CON	275.05±86.27	143.11±44.40	189.72±64.04
Posttest 12 mins	SB+BFR60	283.83±91.76	201.18±62.57	250.64±96.56
	SB+BFR40	276.30±90.53	174.95±55.48	268.65±90.81
	SB	242.18±80.18	241.49±59.56	349.9±105.96 [#]
	CON	241.99±77.68	174.23±52.32	197.92±64.01

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Time	Condition	RED	RED	RED
		Rectus femoris (mV/s)	Gastrocnemius (mV/s)	Soleus (mV/s)
Pretest	SB+BFR60	335.28±104.56	141.94±49.52	197.59±7.02
	SB+BFR40	283.35±102.04	159.69±54.51	220.72±82.28
	SB	243.91±81.33	213.41±57.53	314.07±98.21
	CON	231.45±72.91	127.34±56.13	149.89±51.69
Posttest 4 mins	SB+BFR60	321.97±91.73	143.36±49.70	263.33±69.21
	SB+BFR40	309.44±89.53	188.92±57.40	277.83±76.10
	SB	216.01±60.21	202.68±58.30	276.11±94.64
	CON	245.84±68.03	142.20±48.35	185.82±61.44
Posttest 8 mins	SB+BFR60	310.72±94.60	167.80±57.27	255.25±81.74
	SB+BFR40	279.11±87.48	174.04±55.70	206.29±78.39
	SB	214.11±61.60	234.25±70.53	277.73±83.86
	CON	258.66±74.02	120.10±41.11	151.74±55.63
Posttest 12 mins	SB+BFR60	308.66±92.33	177.44±55.09	264.26±68.94
	SB+BFR40	261.85±83.76	180.58±55.60	253.39±83.77
	SB	223.12±72.12	197.56±64.58	309.99±98.68
	CON	231.17±85.57	165.36±57.09	187.31±77.55

SB+BFR60 = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 60% AOP

SB+BFR40 = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 40% AOP

SB = การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดรวมกับ, CON เงื่อนไขควบคุม ไม่มีการฝึกใดๆ

%MVC = Percent of maximum voluntary contraction, RED = Rate of EMG development

EMG = Electromyography, mV = millivolt, s = second,

* แตกต่างกับก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

แตกต่างกับหลังการทดลองนาที่ที่ 8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

จากตารางที่ 3 พบว่า เเปอร์เซ็นต์ของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ Soleus สูงสุดเพิ่มขึ้นหลังการทดลองนาที่ที่ 8 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้แรงดัน 60%AOP และเปอร์เซ็นต์ของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ Soleus สูงสุดเพิ่มขึ้นหลังการทดลองนาที่ที่ 12 เทียบกับหลังการทดลองนาที่ที่ 8 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียว และเปอร์เซ็นต์ของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ Rectus femoris และ Gastrocnemius สูงสุดและอัตราการพัฒนากล้ามเนื้อ Rectus femoris, Gastrocnemius และ Soleus ไม่แตกต่างกันในทุกเงื่อนไขการทดลองที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

อภิปรายผลการวิจัย

จากสมมุติฐานของการวิจัยที่ว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อพลังกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นชายได้ดีกว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเพียงอย่างเดียว นั้น ผลการวิจัยพบว่าในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP สามารถเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ได้ (ค่าแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น) ในช่วงเวลาการทดสอบนาที่ที่ 8 เปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ในขณะที่การทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเพียงอย่างเดียว หลังการทดลองไม่แตกต่างจากก่อนการทดลอง อย่างไรก็ตามการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียวมีการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus เพิ่มมากขึ้นในการทดสอบนาที่ที่ 12 เปรียบเทียบกับนาที่ที่ 8 จากการวิเคราะห์กล้ามเนื้อที่ทำงานในท่าการวิ่งเร็วแบบก้าว

กระโดด Trowell และคณะ (2021) พบว่า กล้ามเนื้อ Rectus femoris, gastrocnemius และ soleus เป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานหลักที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการวิ่ง สำหรับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด กล้ามเนื้อ Rectus femoris จะทำหน้าที่เหยียดเข่าและงอสะโพก ช่วยในการดูดซับพลังงาน (energy absorbers) ขณะที่กล้ามเนื้อ gastrocnemius และ Soleus จะเป็นกล้ามเนื้อหลักที่ช่วยสร้างพลังงาน (energy generators) โดยทำงานในลักษณะการกระดกปลายเท้าลง (plantar flexion) ในการศึกษาที่พบว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP สามารถเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ซึ่งกลไกในการกระตุ้นดังกล่าว ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดแต่อาจเกิดจากการผลของการจำกัดการไหลเวียนเลือดทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนในกล้ามเนื้อและช่วยกระตุ้นโพสโตแอคทีเวชัน โพเทนติเอชันของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจากการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเพียงอย่างเดียวซึ่งอาจเกิดจากการระดมหน่วยยนต์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Sale (2004) ที่พบว่า ภาวะขาดออกซิเจนที่เกิดจากการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีผลทำให้ฟอสโฟครีเอทีนในกล้ามเนื้อลดลงขณะที่ไฮโดรเจนไอออน (H+) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (type II muscle fibers) (Yasuda et al., 2010) อย่างไรก็ตามการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP ไม่ส่งผลต่อการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ในการทดสอบหลังการทดลองนาที่ที่ 4 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความเมื่อยล้า สอดคล้องกับ Kilduff และคณะ (2007) ที่กล่าวว่าในการเกิดโพสโตแอคทีเวชัน โพเทนติเอชันของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับสภาวะการถูกกระตุ้นและความเมื่อยล้า

โดยประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อเกิดจากความสมดุลของ 2 ปัจจัยดังกล่าวซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาพัก โดย Kilduff และคณะ (2007) พบว่าเวลาพักที่เพียงพอ คือประมาณ 8-12 นาที ซึ่งทำให้มีการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีนกลับขึ้นมาใหม่ รวมทั้งมีการเพิ่มการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามก็ตีผลการทดลองที่พบว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP ไม่ส่งผลต่อแอมพลิจูดของกล้ามเนื้อ Soleus หลังการทดลองนาที่ที่ 12 ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการกระตุ้นโพสท์แอคติเวชัน โทเทนต์ไอออนของกล้ามเนื้อลดลง นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียวยังมีการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus เพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาการทดสอบนาที่ที่ 12 อาจเป็นไปได้ว่าการวิ่งและก้าวกระโดดซ้ำๆ ครั้งก่อนหน้าอาจส่งผลทำให้เกิดการกระตุ้นโพสท์แอคติเวชัน โทเทนต์ไอออนได้เช่นกัน (Nibali et al., 2015)

นอกจากนี้การศึกษาที่ผ่านมาของ Zhang และคณะ (2023) ที่พบว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการสั่นสะเทือนทั่วร่างกายส่งผลต่อแอมพลิจูดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ Vastus lateralis และ Soleus เพิ่มขึ้น ซึ่งการมีการจำกัดการไหลเวียนเลือดอาจมีผลทำให้มีการคลั่งของกรดแลคติกภายในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้มีการระดมหน่วยยนต์ของกล้ามเนื้อมากขึ้น และจากการศึกษาที่พบว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียวยังมีการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus เพิ่มมากขึ้นในการทดสอบหลังการทดลองนาที่ที่ 12 เปรียบเทียบกับนาที่ที่ 8 อาจเป็นผลมากจากการถูกกระตุ้นให้เกิดความเมื่อยล้าจากการออกกำลังกายและการทดสอบก่อนหน้า หลังจากได้พักจึงอาจส่งผลให้แอมพลิจูดของกล้ามเนื้อ Soleus เพิ่มขึ้นได้ในภายหลัง อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ ไม่พบการ

เปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ Rectus femoris และ Gastrocnemius อาจเป็นเพราะแรงดันไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อตามการศึกษาของ Fatela และคณะ (2016) พบว่า การใช้แรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือด 80% ส่งผลต่อแอมพลิจูดของกล้ามเนื้อ Rectus femoris เพิ่มขึ้น ในขณะที่แรงดัน 40% และ 60% ไม่ส่งผลต่อแอมพลิจูดของกล้ามเนื้อ Rectus femoris เช่นเดียวกับกล้ามเนื้อ Gastrocnemius ที่แรงดัน 40% และ 60% อาจส่งผลต่อความล้าที่ไม่มากพอที่กระตุ้นโพสท์แอคติเวชัน โทเทนต์ไอออน

จากสมมุติฐานของการวิจัยที่ว่า แรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่สูงกว่าสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อได้มากกว่าแรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ต่ำกว่า ผลการวิจัยพบว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ได้ ในขณะที่การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 40%AOP ไม่ส่งผลต่อแอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ซึ่งผลการศึกษานี้คล้ายกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Ilett และคณะ (2019) ที่ได้พบว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ 60% และ 80%AOP ส่งผลยับยั้งต่อการทำงานของกล้ามเนื้อผ่านคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus Lateralis มากกว่า 40%AOP และยังสอดคล้องกับ Burkhardt และคณะ (2021) ที่พบว่า การออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดด้วยแรงดันสูงคือ 80%AOP ส่งผลให้แอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ soleus เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้พบว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ 40%AOP และ 60%AOP ไม่ส่งผลต่อแอมพลิจูดของกล้ามเนื้อ

Rectus femoris และ Gastrocnemius อาจเป็นไปได้ว่าแรงดันที่ 40% และ 60%AOP อาจไม่เพียงพอที่กระตุ้นให้เกิดโพสต์แอคติเวชันโพเทนทีเอชัน

นอกจากนี้ยังพบว่า ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ 60%AOP ไม่มีผลต่อความสูงและแรงสูงสุดในการกระโดด ซึ่งผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับ Horiuchi และคณะ (2018) ที่พบว่า การกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดไม่ส่งผลต่อความสูงในการกระโดดของการกระโดดแนวตั้ง โดยผู้วิจัยได้ให้เหตุผลว่า ผู้เข้าร่วมวิจัยอาจจะไม่สามารถกระโดดด้วยแรงสูงสุดได้อย่างแท้จริง ในการศึกษาครั้งนี้ก็วิ่งทุกคนได้รับแรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดเดียวกัน คือ 200 มิลลิเมตรปรอท จึงเป็นไปได้ว่านักวิ่งแต่ละคนอาจตอบสนองต่อการกระตุ้นโพสต์แอคติเวชัน โพเทนทีเอชันต่างกันส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับ Serrano-Ramon และคณะ (2023) พบว่า การฝึกด้วยแรงต้าน 60%1RM ร่วมกับแรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของบาร์ในขณะที่ดันบาร์ขึ้น (propulsive bar velocity) โดยการจำกัดการไหลเวียนเลือดด้วยแรงดันสูง คือ 80%AOP ในท่า Bench press และ 100%AOP ในท่า Squat ทำให้เกิดการพัฒนารวดเร็วของบาร์ ดังนั้นการใช้แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แตกต่างกันและรูปแบบการออกกำลังกายที่ต่างกัน ส่งผลต่อการกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวดังกล่าวแตกต่างกัน นอกจากนี้ ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่า พลังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น จากการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการ

ไหลเวียนเลือดที่ 60%AOP ในนาทิตี 8 และ 12 ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดของกล้ามเนื้อ soleus ในด้านความสามารถในการกระโดดแนวราบ การศึกษานี้พบว่า ค่าเฉลี่ยระยะทางการกระโดดหลังการทดลองนาทิตี 12 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองและหลังการทดลองนาทิตี 4 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ 60% AOP นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยระยะทางการกระโดดหลังการทดลองนาทิตี 12 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหลังการทดลองนาทิตี 4 ในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดอย่างเดียว ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับ Gonzalo-Skok และคณะ (2019) ที่พบว่า การฝึกด้วยพลัยโอเมตริกแนวราบแบบสลับขาสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการกระโดดเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกสามารถกระตุ้นการทำงานของ Stretch shortening cycle ที่ส่งผลทำให้แรงหดตัวมากขึ้น

ในด้านความสามารถในการเร่งความเร็วในการวิ่ง พบว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดในทุกเงื่อนไขการทดลองไม่ส่งผลต่อการพัฒนาความเร็วในการวิ่งระยะ 20 และ 50 เมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้และตรงข้ามกับผลการศึกษาที่ผ่านมา โดย Razeke และคณะ (2020) พบว่า การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนและความเร็วในการวิ่ง 30 เมตรได้ นอกจากนี้ Zisi และคณะ (2023) ยังพบว่า การออกกำลังกายด้วยท่าพลัยโอเมตริกในแนวราบสามารถพัฒนาเวลาในการวิ่งที่ 5 และ 10 เมตรดีขึ้น โดยการฝึกพลัยโอเมตริกในแนวราบนั้นมี

ความคล้ายกับรูปแบบการออกตัวของนักวิ่งมากกว่า ในแนวตั้งจึงส่งผลให้ความสามารถในการเร่งความเร็วพัฒนาขึ้น (Duffin et al., 2019) อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับ Chen และคณะ (2021) ที่พบว่า อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเร็ว 2 นาที เป็นจำนวน 5 เซ็ตร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แรงดัน 130% ของ Systolic blood pressure ไม่ส่งผลต่อความเร็วในการวิ่งระยะ 0-20 เมตร, 10-30 เมตร, 30-60 เมตรและ 0-60 เมตร

สรุปผลการวิจัย การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 60%AOP สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ Soleus ได้เมื่อเทียบกับการออกกำลังกายในเงื่อนไขอื่น ส่งผลให้ความสามารถในการกระโดดแนวราบ และความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง ได้แก่ พลังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ไม่มีส่งผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วในนักวิ่งระยะสั้นระดับเยาวชน ทั้งนี้ การศึกษาถัดไปควรมีการออกกำลังกายรูปแบบอื่นร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดและ/หรือมีการเพิ่มแรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด เพื่อให้เห็นผลชัดเจนขึ้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย ควรมีการศึกษาผลระยะยาวของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วในนักวิ่งระยะสั้น

กิตติกรรมประกาศ ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร

เอกสารอ้างอิง

- Banker, A., Bell, C., Gupta-Malhotra, M., and Samuels, J. (2016). Blood pressure percentile charts to identify high or low blood pressure in children. *BMC Pediatrics*, 16, 98. <https://doi.org/10.1186/s12887-016-0633-7>
- Boobani, B., and Licis, R. (2019). Effectiveness of plyometric training with blood flow restriction on explosive power in taekwondo athletes. *LASE Journal of Sport Science*, 10(2), 69-80.
- Brandner, C. R., Kidgell, D. J., and Warmington, S. A. (2015). Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), 770-777.
- Burkhardt, M., Burkholder, E., and Goetschius, J. (2021). Effects of Blood Flow Restriction on Muscle Activation During Dynamic Balance Exercises in Individuals With Chronic Ankle Instability. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(6), 870-875.
- Cai, Z. Y., Chen, W. C., and Wu, C. M. (2018). Acute effects of whole body vibration combined with blood restriction on electromyography amplitude and hormonal responses. *Biology of Sport*, 35(3), 301-307.

- Chen, Y. T., Hsieh, Y. Y., Ho, J. Y., and Lin, J. C. (2021). Effects of Running Exercise Combined With Blood Flow Restriction on Strength and Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(11), 3090-3096.
- Cheunsiri, N. (2021). The Practical Application of Resistance and Aerobic Training with Blood Flow Restriction. *Journal of Sports Science and Health*, 22(1), 1-17.
- Duffin, G. T., Stockero, A. M., and Ebben, W. P. (2019). The optimal plyometric exercise horizontal to vertical force ratio for sprinting. *ISBS Proceedings Archive*, 37(1), 25-28.
- Elam, R. (1986). Warm-up and athletic performance: A physiological analysis. *Strength and Conditioning Journal*, 8(2), 30-32.
- Fatela, P., Reis, J. F., Mendonca, G. V., Avela, J., and Mil-Homens, P. (2016). Acute effects of exercise under different levels of blood-flow restriction on muscle activation and fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 116(5), 985-995.
- Fujita, T., Brechue, W.F., Kurita, K., Sato, Y., and Abe, T. (2008). Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *International Journal of KAATSU Training Research*, 4(1), 1-8.
- Gonzalo-Skok, O., Sánchez-Sabaté, J., Izquierdo-Lupón, L., and Sáez de Villarreal, E. (2019). Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players. *European Journal of Sport Science*, 19(3), 305-314.
- Horiuchi, M., Endo, J., Sato, T., and Okita, K. (2018). Jump training with blood flow restriction has no effect on jump performance. *Biology of Sport*, 35(4), 343-348.
- Hughes, L., Jeffries, O., Waldron, M., Rosenblatt, B., Gissane, C., Paton, B., and Patterson, S. D. (2018). Influence and reliability of lower-limb arterial occlusion pressure at different body positions. *PeerJ*, 6, e4697. <https://doi.org/10.7717/peerj.4697>
- Ilett, M. J., Rantalainen, T., Keske, M. A., May, A. K., and Warmington, S. A. (2019). The Effects of Restriction Pressures on the Acute Responses to Blood Flow Restriction Exercise. *Frontiers in Physiology*, 10, 1018. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01018>
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., Hore, A. M., Maw, J. R., and Cunningham, D. J.

- (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: optimal recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1134-1138.
- Kreagar Razeke, M. ., Iri, A. R., & Amani, A. R. (2020). Effect of five weeks of plyometric training in lower limb with and without blood flow restriction on anaerobic power, muscle strength, agility, speed, limb circumference, body composition in young male volleyball players: Presentation. International Conference of Sports Science- AESA, (3), 20. Retrieved from <https://journal.aesasport.com/index.php/AESA-Conf/article/view/158>
- Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., Bembien, D. A., and Bembien, M. G. (2015). Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle & Nerve*, 51(5), 713-721.
- Luebbers, P. E., Witte, E. V., Oshel, J. Q., and Butler, M. S. (2019). Effects of Practical Blood Flow Restriction Training on Adolescent Lower-Body Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2674-2683.
- Mahajan, K., and Batra, A. (2018). Obesity in adult asian indians- the ideal BMI cut-off. *Indian Heart Journal*, 70(1), 195. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2017.11.020>
- Mero, A., Komi, P. V., and Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392.
- Moritani, T., Sherman, W. M., Shibata, M., Matsumoto, T., and Shinohara, M. (1992). Oxygen availability and motor unit activity in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(6), 552-556.
- Nibali, M. L., Tombleson, T., Brady, P. H., and Wagner, P. (2015). Influence of Familiarization and Competitive Level on the Reliability of Countermovement Vertical Jump Kinetic and Kinematic Variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2827-2835.
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., and Loenneke, J. (2019).

- Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
- Reilly, T., and Secher, N. (1990). *Physiology of Sports: An Overview*. London: E. & F.N. Spon.
- Sale D. (2004). Postactivation potentiation: role in performance. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 386-387.
- Seitz, L. B., Trajano, G. S., and Haff, G. G. (2014). The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 643-649.
- Serrano-Ramon, J. M., Cortell-Tormo, J. M., Bautista, I., Garcia-Jaen, M., and Chulvi-Medrano, I. (2023). Acute effects of different external compression with blood flow restriction on force-velocity profile during squat and bench press exercises. *Biology of Sport*, 40(1), 209-216.
- Trowell, D., Fox, A., Saunders, N., Vicenzino, B., and Bonacci, J. (2021). Lower body musculotendon unit function during bounding, hurdle jumping and running. *ISBS Proceedings Archive*, 39(1), 148-151.
- Turner, A. P., Bellhouse, S., Kilduff, L. P., and Russell, M. (2015). Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 343-350.
- Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., Kurano, M., Fujita, S., and Nakajima, T. (2010). Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 59(10), 1510-1519.
- Zhang, J., Zhou, R., Zhao, N., Li, Y., Liu, H., Zhang, W., and Guo, W. (2023). Acute effects of blood flow restriction with whole-body vibration on sprint, muscle activation and metabolic accumulation in male sprinters. *Frontiers in Physiology*, 14, 1149400. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1149400>
- Zisi, M., Stavridis, I., Bogdanis, G., Terzis, G., and Paradisis, G. (2023). The acute effects of plyometric exercises on sprint performance and kinematics. *Physiologia*, 3(2), 295-304.