

การประยุกต์ใช้การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านและแอโรบิก

นภัสกร ชื่นศิริ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Received: 4 December 2563 / Revised: 11 January 2564 / Accepted: 12 April 2564

บทคัดย่อ

การจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นรูปแบบการฝึกรูปแบบใหม่ที่ใช้ความหนักในการฝึกอยู่ในระดับต่ำ แต่สามารถกระตุ้นการปรับตัวของระบบต่าง ๆ ในร่างกายได้เช่นเดียวกับการฝึกที่ความหนักระดับสูง โดยการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดนั้นมักจะทำร่วมกับการฝึกออกกำลังกายรูปแบบอื่น ๆ อาทิเช่น การฝึกด้วยแรงต้านหรือแอโรบิก โดยวิธีการในการฝึกคือจะนำเอาสายรัดมารัดไว้ที่บริเวณยางค้ำขาหรือแขนที่ใช้ในการออกกำลังกาย เพื่อให้เกิดภาวะการคั่งของเลือดที่กล้ามเนื้อบริเวณนั้นหรือกล้ามเนื้อส่วนปลายจากบริเวณที่รัด โดยส่วนใหญ่จะใช้สายรัดที่สามารถปรับแรงดันได้ ซึ่งการกดทับหลอดเลือดในลักษณะนี้จะส่งผลให้ลดการไหลของเลือดแดงมาสู่กล้ามเนื้อที่ทำงาน และลดเลือดดำที่ไหลกลับสู่หัวใจ ส่งผลให้การลำเลียงออกซิเจนเข้าสู่กล้ามเนื้อลดลง และมีการกำจัดของเสียจากระบบเผาผลาญพลังงานลดลง จนเกิดสภาวะไม่สมดุลของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ทำให้เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อขาดออกซิเจน ส่งผลให้ระบบเผาผลาญพลังงานและระบบกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นมากยิ่งขึ้น จนเกิดการตอบสนองของระบบไหลเวียนเลือดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ร่างกายทำงานหนักขึ้นโดยที่ความหนักที่ใช้ในการออกกำลังกายต่ำ จึงส่งผลให้เกิดการปรับตัวของร่างกายเช่นเดียวกับการ

ออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงกว่า อาทิเช่น เกิดการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มสมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก ข้อดีของการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดคือช่วยลดความหนักของการฝึกลงซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่มีข้อจำกัดในการฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักระดับสูง โดยการฝึกแบบนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้ฝึก

ดังนั้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สรุปหลักการของอุปกรณ์และแรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด 2) สรุปหลักการในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดควบคู่กับการออกกำลังกายแบบแรงต้าน และ 3) สรุปหลักการในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดควบคู่กับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เพื่อที่ผู้ปฏิบัติจะได้ทำความเข้าใจและสามารถนำการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดไปปฏิบัติต่อไปได้ และได้รับประโยชน์จากการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด

คำสำคัญ: การจำกัดการไหลเวียนเลือด, การอดทนหลอดเลือด, การขาดออกซิเจนเฉพาะที่, การออกกำลังกายแบบแรงต้าน, การออกกำลังกายแบบแอโรบิก

THE PRACTICAL APPLICATION OF RESISTANCE AND AEROBIC TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION

Napasakorn Cheunsiri

Faculty of sports science, Chulalongkorn University

Received: 4 December 2020 / Revised: 11 January 2021 / Accepted: 12 April 2021

Abstract

Blood Flow Restriction (BFR) training is a novel training method using low-intensity exercise that can stimulate physiological adaptation comparable to high-intensity exercise. It can be performed with resistance or aerobic exercise. Generally, BFR training applies a tourniquet or inflatable cuffs strap on proximal portion of upper and lower limbs during exercise, resulting in blood pooling to working and distal muscle to the cuff. The cuff commonly used pneumatic tourniquet system. BFR results in reduced arterial blood flow to working muscle and venous return to cardiac. Vascular occlusion leads to a reduction in oxygen delivery to muscle tissue and metabolic byproduct clearance. This inadequate oxygen in muscular tissue promotes the intramuscular hypoxic environment and higher metabolic stress that brings about the up-regulation of physiological responses

similar to higher-intensity exercise. Furthermore, the greater accumulation of metabolites can improve muscular size and strength and improved aerobic and anaerobic capacity. The advantage of BFR training is reducing load of exercise that can benefit to whom high loads may be contraindicated.

Therefore, this review aims are 1) to outline the principles of BFR equipment and cuff pressure, 2) to summarize the principles of BFR with resistance training, and 3) to summarize the principles of BFR with aerobic training. A clear understanding of the BFR training in term of principles and applications would help practitioners optimize the benefit of this technique when combined with a resistance and aerobic exercise.

Keywords: Blood flow restriction, Vascular occlusion, Local hypoxia, Resistance exercise, Aerobic exercise

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบการฝึกออกกำลังกายที่หลากหลายเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกาย นอกจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิก หรือใช้แรงต้านแบบดั้งเดิมที่ใช้อุปกรณ์ແບບແລ້ວหรือดัมเบลล์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าการฝึกออกกำลังกายดังกล่าวสามารถเพิ่มสมรรถภาพทางกายได้เป็นอย่างดี หากมีการฝึกที่ถูกต้องและเหมาะสม แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการของกลุ่มคนบางกลุ่มที่มีความเจ็บป่วยจนไม่สามารถที่จะฝึกได้ตามโปรแกรมที่ต้องการ เช่น ผู้ที่ได้รับบาดเจ็บหรือผ่าตัดบริเวณข้อต่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะหัวเข่า หรือผู้สูงอายุที่ไม่สามารถออกกำลังกายหนักเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ หรือกลุ่มนักกีฬาบางกลุ่มที่ต้องฝึกในลักษณะเฉพาะของกีฬานั้นๆ เช่น นักว่ายน้ำ เป็นต้น จึงทำให้ไม่สามารถฝึกเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ได้จากข้อจำกัดดังกล่าวมาแล้วจึงได้มีการพัฒนารูปแบบการออกกำลังกายเพื่อแก้ปัญหาเหล่านั้น

การจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นรูปแบบการออกกำลังกายทางเลือกที่ถูกพัฒนามาเพื่อช่วยแก้ปัญหาเหล่านั้น โดยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นรูปแบบการฝึกที่นำเอาสายรัด (Tourniquet, cuff) มารัดไว้บริเวณยางค์ขาหรือแขนของร่างกาย เพื่อให้เกิดภาวะการคั่งของเลือดบริเวณนั้น (Blood pooling) จากการกั้นการไหลเวียนของเลือดแดงบางส่วนบริเวณหลอดเลือดแดง และการกั้นการไหลเวียนของเลือดดำทั้งหมดของหลอดเลือดดำในบริเวณกล้ามเนื้อที่ทำงานขณะออกกำลังกาย (Scott et al., 2015, Patterson et al., 2019) ซึ่งจะส่งผลให้ลดการไหลของเลือดแดงมาสู่กล้ามเนื้อที่ทำงาน และลดเลือดดำที่ไหลกลับสู่หัวใจ (Venous return) จึงส่งผลให้การลำเลียงออกซิเจนเข้าสู่กล้ามเนื้อและกำจัดของเสียจากระบบเผาผลาญพลังงานลดลงจนเกิดสภาวะไม่สมดุลของ

ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Bennett et al., 2019) ทำให้กล้ามเนื้อขาดออกซิเจน (Hypoxia) เพิ่มการสะสมของของเสีย (กรดแลคติก) ในกล้ามเนื้อ และเพิ่มความเครียดให้กับระบบพลังงานและกล้ามเนื้อมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การที่กล้ามเนื้อทำงานภายใต้แรงบีบของสายรัดส่งผลให้เกิดแรงดันภายในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น (Kacin et al., 2015) ซึ่งจะส่งผลให้กล้ามเนื้อนั้นทำงานหนักขึ้นโดยที่ความหนัก (Intensity) ของการฝึกคงที่ กระบวนการเหล่านี้กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของร่างกาย เกิดการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มมากขึ้น ลดการสลายโปรตีน เพิ่มการผลิตฮอร์โมน ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มการระดมหน่วยยนต์ ส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย (Fujita et al. 2008) อีกทั้งยังเพิ่มหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อ เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย และเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Pearson and Hussain, 2015) นอกจากนี้ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดคือช่วยลดความหนักของการฝึกลง แต่ยังคงได้ผลในการพัฒนาระบบต่างๆ ของร่างกายเช่นเดิม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่มีข้อจำกัดในการฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักสูง

การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีต้นกำเนิดที่ประเทศญี่ปุ่น โดยโยชิอากิ ซาโต ในช่วงปลายทศวรรษ 1960 โดยใช้ชื่อว่า KAATSU แต่เพิ่งมาได้รับความนิยมไปทั่วโลกในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากรูปแบบการฝึกรูปแบบใหม่ที่ใช้ความหนักในการฝึกอยู่ในระดับต่ำ แต่สามารถกระตุ้นการพัฒนาของระบบต่างๆ ในร่างกายเช่นเดียวกับการฝึกที่ความหนักสูง โดยจะทำการฝึกร่วมกับการออกกำลังกายรูปแบบต่างๆ โดยที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือการฝึกร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านและแอโรบิก ปัจจุบันมีรูปแบบการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดหลากหลาย

หลายวิธีการ ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกัน เช่น ขนาดของสายรัด แรงดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลของเลือด รวมทั้งรายละเอียดในการฝึกออกกำลังกายแบบต่าง ๆ เช่น ระยะเวลา ความหนักที่ใช้ในการฝึกก็มีความแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการฝึก ซึ่งอาจทำให้ผู้ที่เริ่มฝึกหรือเริ่มศึกษาเกี่ยวกับการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดอาจขาดความเข้าใจและสับสนได้ ในบทความนี้ผู้วิจัยสรุปหลักการในการใช้อุปกรณ์เพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือด และหลักการในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดควบคู่กับการออกกำลังกายแบบแรงต้านและแอโรบิก เพื่อให้ผู้ปฏิบัติจะได้ทำความเข้าใจและสามารถนำการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดไปปฏิบัติต่อไปได้

1. วิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด

1.1 วิธีการในการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Method)

การจำกัดการไหลเวียนเลือดจะนิยมทำพร้อมกับการออกกำลังกาย โดยจะใช้สายรัดที่สามารถปรับแรงดัน (Pneumatic tourniquet) ได้ การรัดจะต้องรัดเหนือกล้ามเนื้อที่ต้องการฝึก (proximal to working muscle) เช่น ต้นแขนหรือต้นขา เพื่อจำกัดการไหลเวียนของเลือดที่ร่างกายหรือกล้ามเนื้อที่อยู่ส่วนปลายของสายรัด โดยการอุดกั้นหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อส่วนนั้นและกล้ามเนื้อที่อยู่ต่อไปทุกมัด และหลอดเลือดดำที่นำเลือดกลับสู่หัวใจ จากนั้นทำการเพิ่มแรงดันจากภายนอกเพื่อกดทับหลอดเลือดบริเวณส่วนต้นของกล้ามเนื้อที่ทำงาน (Loenneke et al., 2012) การควบคุมแรงดันจากภายนอกเพื่อกดทับบริเวณหลอดเลือดที่อยู่ภายใต้สายรัดจะส่งผลต่อหลอดเลือดดำมากกว่าหลอดเลือดแดง โดยยิ่งเพิ่มแรงดันมากเท่าไรก็จะยิ่งเพิ่มปริมาณเลือดที่ค้างอยู่บริเวณกล้ามเนื้อนั้น ๆ มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการบวมและการคั่งของ

เลือด ซึ่งจะเกิดได้ทั้งบนหรือล่างสายรัด ด้านบนของสายรัดจะเกิดจากการคั่งของเลือดแดงที่ไหลเข้าสู่กล้ามเนื้อได้น้อย ส่วนด้านล่างของสายรัดจะเกิดการคั่งของเลือดเนื่องจากเลือดดำที่ไหลกลับหัวใจไม่ได้ ดังนั้นในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดจึงต้องคำนึงถึงระดับของแรงดันที่ใช้ในการฝึก โดยผู้ฝึกสามารถที่จะเลือกบีบรัดสายรัดไว้ตลอดการฝึก หรือจะทำแบบสลับช่วงบีบคลายก็ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการออกกำลังกายและโปรแกรมการออกกำลังกายที่ใช้ เนื่องจากผลที่ได้จากการฝึกที่ไม่แตกต่างกัน (de Oliveira et al. 2015) แต่การบีบรัดสายรัดตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายจะทำให้ผู้ออกกำลังกายรู้สึกเหนื่อยและมีความเจ็บปวดมากกว่าแบบสลับช่วงการรัดและคลายแรงดัน (Fitschen et al. 2014)

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Equipment)

ชนิดของสายรัดที่ใช้ในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีหลายรูปแบบ ได้แก่ สายรัด (Tourniquet) สายรัดแบบยางยืด (Elastic banding) และสายรัดควบคุมด้วยความดัน (Pressurized cuff) (Abe et al., 2010) ซึ่งความแตกต่างของสายรัดแต่ละชนิดนั้นคือความสามารถในการกำหนดแรงดันของสายรัด บางชนิดสามารถกำหนดแรงดันได้ บางชนิดไม่สามารถกำหนดแรงดันได้แต่อาจใช้ระดับความเจ็บปวด (Pain scale) ของผู้ใส่อุปกรณ์ในการกำหนดแรงในการกดทับหลอดเลือด ในปัจจุบันสายรัดควบคุมด้วยความดันเป็นสายรัดที่ได้มาตรฐานและสามารถควบคุมแรงดันได้อย่างถูกต้องที่สุดที่ใช้การจำกัดการไหลเวียนเลือด วัสดุที่ใช้ทำสายรัดส่วนใหญ่แล้วจะใช้ยางยืดหรือไนลอนเป็นส่วนประกอบของสายรัด ซึ่งเมื่อกำหนดขนาดความกว้างของสายรัดที่ทำจากยางยืดกับสายรัดที่ทำจากไนลอนให้เท่ากันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดบริเวณร่างกายส่วนล่างของร่างกายจะพบความ

แตกต่างเพียงเล็กน้อยในการจำกัดการไหลเวียนเลือด ขณะพักหรือขณะออกกำลังกาย (Loenneke et al., 2014) แต่ไม่พบความแตกต่างเมื่อทำซ้ำจนเกิดการล้า (Repetitions to volitional failure) (Buckner et al., 2017) อีกทั้งถ้ากำหนดแรงดันจากเปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (Arterial occlusion pressure: AOP) สายรัดที่มีขนาดเท่ากันจะไม่พบความแตกต่างในการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดจากสายรัดที่ใช้วัสดุแตกต่างกัน นอกจากนี้สายรัดที่ทำจากยางยืดกับสายรัดที่ทำจากไนลอนยังให้ผลในการพัฒนาของกล้ามเนื้อเช่นเดียวกันอีกด้วย (Patterson et al., 2019) ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำสายรัดจึงไม่ส่งผลต่อการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดเท่ากับแรงดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนเลือดและขนาดความกว้างของสายรัด

ความกว้างของสายรัด (Cuff width) เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด เนื่องจากปริมาณของแรงดันที่กดทับหลอดเลือดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความกว้างของสายรัด หากกำหนดแรงดันจากภายนอกให้เท่ากันแต่ใช้สายรัดที่มีขนาดแตกต่างกัน จะส่งผลให้การจำกัดการไหลเวียนเลือดไปยังบริเวณยางค์แตกต่างกัน (Rossow et al., 2012) ซึ่งสายรัดที่มีขนาดใหญ่จะใช้แรงดันจากภายนอกน้อยกว่าสายรัดที่มีขนาดเล็กกว่า หากต้องการกำหนดเปอร์เซ็นต์การไหลของเลือดแดงเท่ากัน (Loenneke et al., 2012, Jessee et al., 2016) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าสายรัดขนาดใหญ่จะใช้แรงดันในการบีบที่เบากว่าสายรัดขนาดเล็ก โดยขนาดของสายรัดควรจะกว้างประมาณ 3-18 เซนติเมตร (Patterson et al., 2019) ซึ่งสายรัดที่มีความกว้างมากนั้นจะมีความสามารถในการจำกัดการไหลเวียนเลือดในบริเวณที่มากขึ้น ทำให้เกิดการตอบสนองและพัฒนาของระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Rossow et al., 2012, Mattocks et al.,

2017) ถึงแม้ว่าสายรัดที่มีขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพมาก และสามารถลดแรงดันจากภายนอกได้ แต่ระดับแรงดันที่ต่ำกว่าไม่ได้หมายความว่ามีความปลอดภัยมากกว่า เนื่องจากด้วยขนาดของสายรัดที่มีความกว้างมากทำให้เกิดการกดทับหรือเสียดสีกับเนื้อเยื่อบริเวณยางค์เป็นพื้นที่กว้างอาจส่งผลต่อการบวมหรืออักเสบของกล้ามเนื้อในบริเวณกว้างได้ นอกจากนี้การใช้สายรัดที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ อาจจะจำกัดการเคลื่อนไหวขณะที่ออกกำลังกายได้ ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สายรัดที่มีขนาดความกว้างเหมาะสมกับขนาดของยางค์ส่วนนั้น ๆ โดยขนาดของสายรัดที่เหมาะสมที่จะใช้กับต้นแขน คือ ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง หรือ 3 ถึง 12 เซนติเมตร และขนาดสายรัดที่เหมาะสมที่จะใช้กับต้นขา คือ ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ หรือ 3 ถึง 18 เซนติเมตร (Loenneke et al., 2012, Scott et al., 2016)

1.3 แรงดันที่ใช้ในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR pressure)

ปริมาณของแรงดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของสายรัดขนาดของยางค์ส่วนนั้น และความดันโลหิต (Blood pressure) ของแต่ละบุคคล (Jessee et al., 2016, McEwen et al., 2018) การกำหนดแรงดันในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้ มี 3 วิธี ได้แก่

- 1) กำหนดจากขนาดของเส้นรอบวงของยางค์แขนหรือขาของแต่ละบุคคล
 - 2) กำหนดจากความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของหลอดเลือดแดงบริเวณต้นแขน
 - 3) กำหนดจากเปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (Arterial occlusion pressure: AOP)
- โดยวิธีกำหนดจากขนาดของเส้นรอบวงของยางค์แขนหรือขาของแต่ละบุคคลนั้น จะใช้แรงดันอยู่

ที่ประมาณ 50 มิลลิเมตรปรอท (Kubota et al., 2011) จนถึง 300 มิลลิเมตรปรอท (Cook et al., 2007) ซึ่งหากทำการใส่สายรัดที่ต้นขาจะต้องวัดเส้นรอบวงต้นขาที่ตำแหน่ง 1 ใน 3 ของกระดูกต้นขาหรือจากบริเวณขาหนีบ (Inguinal crease) ถึงเหนือกระดูกสะบ้า (Patella) นอกจากนี้ยังมีการใช้ขนาดเส้นรอบวงของแขนอีกด้วย วิธีการนี้ค่อนข้างที่จะทำได้ง่ายและสะดวก แต่มีข้อเสียคือความแม่นยำของการกำหนดแรงดันดันที่ใช้ที่อาจไม่เท่ากันทุกครั้งที่ในการการออกกำลังกาย จึงมีผู้วิจัยบางกลุ่มใช้ความดันโลหิตมาคำนวณร่วมกับขนาดของเส้นรอบวงของร่างกายเพื่อกำหนดแรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Loenneke et al., 2015) ซึ่งการกำหนดแรงดันจากความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของหลอดเลือดแดงบริเวณต้นแขน (Brachial systolic blood pressure) (Brandner et al., 2015) ซึ่งวิธีนี้จำเป็นที่จะต้องใส่สายรัดในการออกกำลังกายเป็นชนิดและความกว้างเดียวกันกับที่ใช้ในการวัดความดัน เพื่อให้ได้แรงดันที่ถูกต้อง ซึ่งแรงดันที่ใช้ในการปิดกั้นการไหลของเลือดแดงจะอยู่ที่มากกว่า 50 มิลลิเมตรปรอทของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของหลอดเลือดแดงบริเวณต้นแขน การใช้เทคนิคนี้จะต้องใช้อย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากกำหนดแรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดของร่างกายจากความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของหลอดเลือดแดงบริเวณต้นแขน จะส่งผลให้แรงดันที่ใช้ไม่เพียงพอต่อการจำกัดการไหลเวียนเลือด เนื่องจากสายรัดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะต้องใช้แรงดันมากกว่าในการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Loenneke et al., 2012) ซึ่งวิธีนี้ได้มาตรฐานมากที่สุดในการกำหนดปริมาณของแรงดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะกำหนดด้วยเปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (Arterial occlusion pressure: AOP) ในขณะที่ยอกกำลังกาย (McEwen et al., 2018, Patterson et al.,

2019) การกำหนดเปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง จะกำหนดจากการเพิ่มแรงดันของสายรัดจากภายนอกจนถึงจุดที่หลอดเลือดแดงถูกปิดกั้นจนไม่มีเลือดแดงไหลผ่าน โดยจะใช้เครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound machine) ในการวัดปริมาณของการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงบริเวณรยางค์ที่ต้องการ ซึ่งแรงดันที่ได้ขณะที่หลอดเลือดแดงถูกปิดกั้นจนไม่มีเลือดแดงไหลผ่านนั้นคือแรงดันที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (100%AOP) จากนั้นจะใช้เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่วัดได้เพื่อกำหนดแรงดันที่ต้องการจำกัดการไหลเวียนเลือด เช่น 50 เปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (50%AOP) เป็นต้น

นอกจากนี้ในหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนในท่า elbow flexors และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในท่า knee extensors พบว่า กลุ่มกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันอาจจะต้องใช้แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แตกต่างกัน และกลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายหากอยู่ใกล้สายรัดควรใช้แรงดันมากกว่ากลุ่มกล้ามเนื้อที่อยู่ไกลจากสายรัด (Dankel et al., 2016) ด้วยการกำหนดแรงดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีความยุ่งยากจึงทำให้มีหลายงานวิจัยแสดงผลดีของการกำหนดแรงดันจากภายนอกเป็นค่าเดียวกันทุกคน ซึ่งสามารถพัฒนาระบบกล้ามเนื้อได้เช่นกันแต่การจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แรงดันสูงกว่าที่จำเป็น อาจส่งผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งก่อให้เกิดความไม่สบายหรือเจ็บปวดบริเวณกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกายได้ (Jessee et al., 2017; Mattocks et al., 2017) และจากงานวิจัยของ Suga และคณะที่ได้เปรียบเทียบระหว่างแรงดันสูง (200 มิลลิเมตรปรอท) และปานกลาง (150 มิลลิเมตรปรอท หรือ 130 เปอร์เซ็นต์ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของหลอดเลือดแดง พบว่าทำให้เกิดสารเมตาบอไลต์ภายใน

เซลล์กล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน (Suga et al. 2010) ดังนั้นการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดจึงควรกำหนดแรงดันให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคลและไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดความไม่สบายและเจ็บปวด ฉะนั้นแรงดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนเลือดควรจะอยู่ที่ประมาณ 40-80 เปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง ซึ่งจะได้ผลดีที่สุดและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย แต่ระดับแรงดันยิ่งสูงมากเท่าไรก็จะยิ่งเพิ่มปริมาณเลือดที่คั่งอยู่บริเวณกล้ามเนื้อนั้น ๆ มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะสมของเลือดในหลอดเลือดฝอยจนสามารถมองเห็นผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีแดงได้ (Visible erythema) เพิ่มการสะสมของของเสีย (กรดแลคติก) ในกล้ามเนื้อ และเพิ่มความเครียดให้กับระบบพลังงานและกล้ามเนื้อมากยิ่งขึ้น

2. รูปแบบการฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR Training)

2.1 การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้าน (BFR with resistance training)

การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านเพื่อพัฒนาขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จะต้องฝึกที่ความหนักปานกลางและความหนักสูงหรือ 70-100 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้หนึ่งครั้ง (1RM) แต่อาจจะไม่ใช่ทุกคนที่สามารถฝึกที่ความหนักสูงได้ จึงได้มีการนำการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านที่ความหนักต่ำมาใช้ในการออกกำลังกายเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับการฝึกแบบแรงต้านที่ความหนักสูง (Pope et al., 2013, Scott et al., 2016) โดยการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นการฝึกที่จำลองสภาวะการขาดออกซิเจนในกล้ามเนื้อ จึงทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นกว่าการฝึกแบบทั่วไป จึงมีการนำวิธีการฝึกแบบนี้มาใช้ในกลุ่มนักกีฬาเพื่อเพิ่มขนาด

และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกันอย่างแพร่หลาย (Scott et al., 2015) นอกจากนี้ด้วยความหนักของน้ำหนักที่ใช้ในการฝึกน้อยกว่าจึงช่วยลดภาระของข้อต่อระยะข้อบริเวณนั้น และลดการบาดเจ็บหรือฉีกขาดของกล้ามเนื้อได้ ด้วยประโยชน์ของการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้าน จึงได้มีการนำเอารูปแบบการฝึกนี้มาใช้ในกลุ่มคนที่ไม่สามารถออกกำลังกายที่มีความหนักสูงได้ แต่ต้องการผลเช่นเดียวกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่มีความหนักสูง เพื่อผลดีในการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งในกลุ่มคนทั่วไป (Loenneke et al., 2012, Slys et al., 2016, Lixandrao et al., 2018) ผู้สูงอายุ (Centner et al., 2018, Lixandrao et al., 2018) และผู้ป่วยที่ต้องการการฟื้นฟู (Hughes et al., 2017) โดยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นนั้น เพิ่มขึ้นทั้งแบบไอโซโทนิก (Isotonic) ไอโซเมตริก (Isometric) และไอโซคิเนติก (Isokinetic) (Patterson et al., 2019) นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาแรงระเบิดได้อีกด้วย (Nielsen et al., 2017) การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านที่ความหนักต่ำสามารถช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อได้ โดยบางงานวิจัยระบุว่าอาจจะเกิดจากการบวมอย่างฉับพลันจากการฝึกในรูปแบบนี้ (Pearson and Hussain, 2015) แต่ก็มีอีกหลายงานวิจัยที่ระบุว่าผลของการพัฒนากล้ามเนื้อยังคงอยู่หลังจากออกกำลังกายไปแล้ว 2- 10 วัน (Fujita et al., 2008, Nielsen et al., 2012) การฝึกด้วยแรงต้านต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดส่งผลในการพัฒนาความแข็งแรงมากกว่าการฝึกแบบใช้แรงต้านที่ความหนักต่ำเพียงอย่างเดียว แต่ได้ผลน้อยกว่าการฝึกแบบใช้แรงต้านที่ความหนักสูง (Loenneke et al., 2012, Hughes et al., 2017, Lixandrao et al., 2018) ถึงแม้ว่าจะได้ผลน้อยกว่าการฝึกที่มีความหนักสูง แต่ก็ควรที่จะนำมา

ฝึกกับกลุ่มคนที่ไม่สามารถฝึกด้วยความหนักสูงได้ เช่น กลุ่มที่ต้องฟื้นฟูหลังผ่าตัด ผู้สูงอายุ คนที่เป็นโรคต่างๆ ที่มีการเคลื่อนไหวน้อย เป็นต้น เพื่อป้องกันการสูญเสียกล้ามเนื้อ กลไกสำคัญของการพัฒนาของระบบกล้ามเนื้อ น่าจะเกิดจากการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ทำให้กล้ามเนื้อเกิดสภาวะการขาดออกซิเจน (Local hypoxia) ส่งผลให้มีการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อบริเวณนั้นเป็นจำนวนมาก จึงกระตุ้นให้ระบบการเผาผลาญพลังงานระบบต่อมไร้ท่อ หรือระบบอื่นๆ ทำงานมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของฮอร์โมนในเลือด (Hormonal concentrations) และเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อ (Scott et al., 2015)

2.1.1 ความหนักในการฝึกแบบใช้แรงต้าน (Load)

ความหนักในการฝึกจะแปรผันตามแรงดันที่ใช้ในการฝึก โดยส่วนใหญ่จะใช้ความหนักในการฝึกเพื่อเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ความหนักต่ำหรือประมาณ 20-50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการยกน้ำหนัก 1 ครั้ง ซึ่งจะได้ผลในการพัฒนาขนาด ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อใกล้เคียงกับการฝึกที่ความหนักสูง เพราะเป็นความหนักที่เมื่อฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดแล้วจะได้ผลดีอย่างสม่ำเสมอ (Pope et al., 2013, Scott et al., 2016, Patterson et al., 2019) ตัวอย่างการกำหนดความหนักควบคู่กับแรงดัน เช่น เมื่อใช้ความหนักที่เบาที่สุดคือ 20 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการยกน้ำหนัก 1 ครั้งจะใช้ควบคู่กับแรงดันสูง คือประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง จึงจะได้ผลดีที่สุด (Lixandrao et al., 2015)

2.1.2 ปริมาณในการฝึกแบบใช้แรงต้าน (Volume)

ปริมาณในการฝึกส่วนใหญ่จะกำหนดโดยใช้จำนวนครั้งในการยกเป็นหลัก ที่นิยมใช้คือ 75 โดยจะแบ่งออกเป็น 4 เซต เซตแรกทำ 30 ครั้ง เซตที่ 2-4 ทำเซตละ 15 ครั้ง (Rossow et al., 2012, Ozaki et al., 2013) หรือยกน้ำหนักจนถึงความล้าจนทำต่อไปไม่ไหว ซึ่งจะทำ 3-5 เซต (Takarada et al., 2002, Nielsen et al., 2012, Fahs et al., 2015) แต่การฝึกแบบที่ทำจนล้าไม่แนะนำให้ทำในการฟื้นฟูของผู้ป่วยหลังการผ่าตัด

2.1.3 ระยะเวลาในการพักระหว่างเซตในการฝึกแบบใช้แรงต้าน (Rest period between set)

ระยะเวลาในการพักระหว่างเซตในการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านจะใช้ระยะเวลาน้อย เนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นไม่สูงเท่าการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านที่มีความหนักสูง การพัฒนาความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการพักอยู่ที่ 30-60 วินาที (Loenneke et al., 2012, Loenneke et al., 2016, Patterson et al., 2019) บางงานวิจัยใช้ระยะเวลาในการพักนาน ส่งผลให้ความเครียดของระบบพลังงานเทียบเท่ากับการฝึกแบบแรงต้านที่ความหนักต่ำ ซึ่งอาจจะไม่ได้ผลในการพัฒนาขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยในระหว่างการพักระหว่างเซตจะยังคงแรงดันในการบีบรัดสายรัดไว้หรือคลายแรงดันก็ได้ ก็ยังส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ เช่นเดียวกัน (Yasuda et al., 2013) ซึ่งหากใช้แรงดันสูงการคลายสายรัดขณะพักระหว่างเซตจะช่วยลดการบวม ลดความเครียดต่อระบบพลังงาน แต่อาจจะส่งผลต่อการพัฒนาของร่างกายด้วย

2.1.4 ความถี่ในการฝึกแบบใช้แรงต้าน (Frequency)

โดยปกติแล้วการฝึกแบบใช้แรงต้านเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ ควรฝึก

2-5 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านสามารถเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เมื่อฝึก 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ (Takarada et al., 2002, Scott et al., 2015) ซึ่งข้อดีอีกอย่างของการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านคือใช้ระยะเวลาในการฟื้นฟูน้อยกว่าการฝึกแบบใช้แรงต้านที่ความหนักสูง จึงทำให้สามารถฝึกได้บ่อยขึ้น บางงานวิจัยใช้การฝึก 2 ครั้งต่อวัน (Nielsen et al., 2012) เพื่อใช้ในการฟื้นฟูความแข็งแรงและมวลกล้ามเนื้อในผู้ป่วยพักฟื้นหลังจากการผ่าตัด (Ladlow et al., 2018) ดังนั้นการฝึกที่บ่อยกว่าจะส่งผลต่อการพัฒนาของกล้ามเนื้อที่เร็วกว่า ซึ่งไม่สามารถทำได้ในการฝึกแรงต้านที่ใช้ความหนักสูง การฝึกแรงต้านแบบเดิมจะใช้ระยะเวลาในการฝึกประมาณ 3- 8 สัปดาห์ แต่การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านจะใช้ระยะเวลาในการพัฒนากล้ามเนื้อน้อยกว่าโดยสรุป ถ้าใช้ความถี่ในการฝึกสูง (1-2 ครั้งต่อวัน) อาจจะใช้เวลาในการฝึกแค่ 1-3 สัปดาห์ก็เห็นผลเปลี่ยนแปลง (Fujita et al., 2008, Nielsen et al., 2012) แต่โดยทั่วไปแล้วควรฝึก 2- 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องกันอย่างน้อย 3 สัปดาห์ขึ้นไป (Nielsen et al., 2012, Yasuda et al., 2013)

2.2 การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบแอโรบิก (BFR with aerobic training)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก โดยทั่วไปให้ความสำคัญในการพัฒนาระบบเผาผลาญพลังงานและระบบหัวใจและหายใจเป็นหลัก ยกเว้นการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (> 85% of VO_2max) บางรูปแบบที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วย ซึ่งการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบแอโรบิกจะทำให้ปริมาณแลคเตทใน

เลือดเพิ่มสูงขึ้นและทำให้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อลดลงอย่างมาก ส่งผลให้เกิดการพัฒนาของหลอดเลือดและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการออกกำลังกายแบบทนทาน (Endurance exercise performance) ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Abe et al., 2010) และยังสามารถช่วยเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ในกลุ่มคนทั่วไป (Slysz et al., 2016) และผู้สูงอายุ (Centner et al., 2018) โดยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสามารถเพิ่มขึ้นได้ 7-27 เปอร์เซ็นต์ (Abe et al., 2006, 2010, de Oliveira et al., 2016, Conceição et al., 2019) และขนาดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 3-7 เปอร์เซ็นต์ (Abe et al., 2006, 2010, Conceição et al., 2019) นอกจากนี้การออกกำลังกายแบบนี้สามารถพัฒนาความสามารถในการทำกิจกรรมประจำวันได้เป็นอย่างดี และช่วยคงสภาพหรือพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกได้โดยใช้ความหนักที่น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดและความสามารถในการผลิตพลังงานในระบบแอโรบิกที่ดีขึ้นนั้น เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของโปรตีนช็อกเนลลิ่งในกระบวนการผลิตพลังงาน (Taylor et al., 2016, Christiansen et al., 2018) โดยรูปแบบของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่นำมาใช้ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดนั้น ได้แก่ การเดิน (Abe et al., 2006, Park et al., 2010) วิ่ง (Christiansen et al., 2018) หรือการปั่นจักรยาน (Abe et al., 2010, Conceição et al., 2019) การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนักต่ำ (Continuous aerobic exercise) ส่งผลในการพัฒนาการใช้ออกซิเจนสูงสุด และเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อย (Time to exhausted) นอกจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบต่อเนื่องแล้ว ได้มีการศึกษาพบว่าการรัดสายรัดตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายทำให้รู้สึกเหนื่อยและมีความเจ็บปวด

มากกว่าแบบสลับช่วงการรัดและคลายแรงดัน (Fitschen et al., 2014) อีกทั้งยังได้ผลไม่แตกต่างกัน จึงมีการนำการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาฝึกร่วมกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรขณะออกกำลังกายมีลักษณะเช่นเดียวกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง แต่มีการตอบสนองที่ต่ำกว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง แต่ก็ยังสามารถเพิ่มแลคเตทในเลือดและทำให้เกิดภาวะออกซิเจนในกล้ามเนื้อต่ำได้เช่นเดียวกับฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Corvino et al., 2017) ส่งผลให้เพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดและเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อย (Park et al., 2010) นอกจากนี้การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ยังสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและพลังสูงสุดได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง แต่ได้ผลดีกว่าในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพลังสูงสุด (Peak power output) (Abe et al., 2010, Keramidas et al., 2012, de Oliveira et al., 2016) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ส่งผลในการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก (Keramidas et al., 2012, Paton et al., 2017) อีกด้วย

2.2.1 ความหนักในการฝึกแบบแอโรบิก (Intensity)

ความหนักในการฝึกแบบแอโรบิกต่อเนื่องส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับต่ำ หรือประมาณ 30-45 เปอร์เซ็นต์ของ อัตราการเต้นหัวใจสำรอง หรืออัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Heart rate reserve or $VO_2\max$) (Abe et al., 2010, Conceição et al., 2019) ส่วนการออกกำลังกายแบบสลับช่วงนั้น จะแบ่งออกเป็นความหนักต่ำหรือ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุด (Ppeak) (Corvino et al., 2017) และความหนักสูง

หรือ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือความเร็วสูงสุด (Vmax) เป็นต้น (Keramidas et al., 2012, Paton et al 2017) โดยความหนักต่ำเมื่อฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะส่งผลให้กล้ามเนื้อขาดเลือดไม่ต่างกับการฝึกแอโรบิกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ซึ่งความหนักดังกล่าวเมื่อฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะส่งผลในการพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด สมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของระบบหัวใจและหายใจพร้อมกับพัฒนาระบบกล้ามเนื้อได้แก่ ความแข็งแรงและเพิ่มพลังสูงสุดในการออกแรงได้อีกด้วย แต่การฝึกแอโรบิกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงยังมีการศึกษาที่น้อย ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและระมัดระวังในการฝึก

2.2.2 ระยะเวลาในการฝึกแบบแอโรบิก (Duration/Period)

ระยะเวลาในการฝึกแบบแอโรบิกต่อเนื่องแบบดั้งเดิม หากต้องการพัฒนาระบบหัวใจและหายใจจะต้องใช้ระยะเวลาในการฝึก 45-60 นาทีต่อครั้ง อย่างน้อย 6-8 สัปดาห์จึงจะเห็นผลในการฝึก แต่หากฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะใช้เวลา 20-30 นาทีต่อครั้ง 4-6 สัปดาห์ ก็สามารถพบความเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพทางแอโรบิกแล้ว (Bennett et al., 2019) ในส่วนของการฝึกแอโรบิกแบบสลับช่วงนั้น จะมีช่วงที่ออกกำลังกาย 2 นาที พัก 1-2 นาที ทำ 5-8 เซตรวมระยะเวลาประมาณ 15-32 นาที (de Oliveira et al., 2016, Corvino et al., 2017) การฝึกแบบนี้สามารถกระตุ้นการตอบสนองโดยเพิ่มภาวะความเครียดจากการออกซิเดชัน และเกิดภาวะเครียดของระบบกล้ามเนื้อ และหัวใจและการหายใจได้มากกว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักเบาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การฝึกแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดยังช่วยพัฒนาความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ

ซึ่งจะเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงหลังจากการฝึกประมาณ 3 สัปดาห์ และจะเห็นผลดีที่สุดหลังจากฝึกไปแล้ว 6 สัปดาห์ (Slysz et al., 2016)

2.2.3 ความถี่ในการฝึกแบบแอโรบิก (Frequency)

ความถี่ในการฝึกแบบแอโรบิกนั้น โดยทั่วไปจะสามารถฝึก 2-5 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อพัฒนาระบบหัวใจและหายใจ แต่การฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีการทำงานของกล้ามเนื้อเข้ามาเกี่ยวข้อง

ด้วย จึงอาจเกิดความล้าของกล้ามเนื้อมากกว่าการฝึกแบบแอโรบิกทั่วไป ซึ่งการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 3 ครั้งต่อสัปดาห์ สามารถพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกได้ใน 4 สัปดาห์ (de Oliveira et al., 2016, Corvino et al., 2017) แต่ด้วยรูปแบบการฝึกที่มีความล้าน้อยกว่าแบบที่ใช้ความหนักสูงจึงสามารถฝึกได้บ่อยเช่นเดียวกับการฝึกแบบแอโรบิกทั่วไป จึงพบว่าบางงานวิจัยทำการฝึก 12 ครั้งต่อสัปดาห์ สามารถพัฒนาอัตราการใช้

ตารางที่ 1 สรุปรูปแบบการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกแบบแรงต้านและแบบแอโรบิก

Parameter	Resistance Training	Aerobic Training
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/uni or bilateral)	Cycling or walking or running
Intensity	20-40% 1RM	Continuous 30-45% VO_2 max or HRR Interval 30-40% Ppeak
Repetitions	(75 reps)-30×15×15×15 Sets to failure	
Time		Continuous 20-30 minutes Interval Ex: 2 min Total 15-30 minutes
Execution speed	1-2 s (concentric and eccentric)	
Sets	2-4 sets	Interval 5-8 sets
Rest between sets	30-60 s	Interval 60-120 s
Frequency	2-3 sessions/week	2-3 sessions/week
Duration	>3 weeks	>3 weeks
Cuff	5 (small), 10 or 12 (medium), 17 or 18 cm (large)	5 (small), 10 or 12 (medium), 17 or 18 cm (large)
Pressure	40-80% AOP	40-80% AOP
Restriction time	5-10 min per exercise (reperfusion between exercises)	5-20 min per exercise
Restriction form	Continuous or intermittent	Continuous or intervals

ดัดแปลงจาก Patterson et al., 2019

ออกซิเจนสูงสุดได้ใน 2 สัปดาห์ (Park et al. 2010) จะเห็นได้ว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะต้องฝึกอย่างน้อย 12 ครั้ง จึงจะเห็นผลในการฝึก แต่บางงานวิจัยพบว่าหากต้องการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อจะใช้เวลาประมาณ 6 สัปดาห์ ฉะนั้นความถี่ที่แนะนำในการฝึกคือประมาณ 2-3 ครั้ง ต่อสัปดาห์

3. การนำการจำกัดการไหลเวียนเลือดไปใช้ประโยชน์ในเชิงคลินิกและกีฬา (Practical Application of BFR Training)

การจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในเชิงคลินิกและกีฬา โดยในเชิงคลินิกการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถชะลอการลดลงของขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในกลุ่มที่เปราะบางและมีความสามารถในการเคลื่อนไหวน้อย อาทิ เช่น ผู้สูงอายุ (Centner et al., 2018) ซึ่งการลดลงดังกล่าวทำให้ความสามารถในการทำกิจวัตรและกิจกรรมในชีวิตประจำวันลดลง ส่งผลให้คุณภาพชีวิตลดลง และยังอาจก่อให้เกิดโรคอื่น ๆ เนื่องมาจากการที่มีกิจกรรมทางกายน้อย นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในผู้ที่ผ่าตัดเอ็นไขว้หน้า (ACL) ผู้ที่ผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า ผู้ที่มีภาวะกล้ามเนื้อน้อย (Sarcopenia) (Hughes et al., 2017) หรือใช้ในการฟื้นฟูสมรรถภาพของนักกีฬาที่บาดเจ็บจากการเล่นกีฬา ซึ่งการจำกัดการไหลเวียนเลือดเมื่อนำไปใช้ร่วมกับการออกกำลังกายรูปแบบต่าง ๆ จะช่วยลดความหนักในการออกกำลังกายลง อีกทั้งยังช่วยลดแรงที่กระทำต่อข้อต่อและอาการปวดอันเกิดจากการที่ข้อต่อรับน้ำหนักมากเมื่อออกกำลังกายแบบแรงต้าน การนำการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาใช้ในเชิงกีฬานอกจากจะใช้เพื่อลดความหนักของการออกกำลังกายลงเพื่อลดผลเสียของการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง เช่น การเกิดความเสียหายหรือฉีกขาดอย่าง

รุนแรงของกล้ามเนื้อเมื่อออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านที่น้ำหนักมาก ยังช่วยเพิ่มความเครียดต่อระบบเผาผลาญและระบบกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการพัฒนาในบริเวณกล้ามเนื้อที่มีการรัดสายรัดและส่วนปลายของกล้ามเนื้อนั้นมากยิ่งขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้น สมรรถภาพทางแอนแอโรบิกดีขึ้น และความทนต่อการล้าที่มากขึ้นอีกด้วย (Bennett and Slattery., 2019)

สรุป

การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถฝึกร่วมกับการฝึกแบบใช้แรงต้านและแบบแอโรบิกต่อเนื่องรวมถึงแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาของขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ รวมทั้งสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกได้ โดยใช้ความหนัก ระยะเวลา และ ความถี่ในการฝึกน้อยกว่าการฝึกแบบดั้งเดิม โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้ฝึก เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการฝึกให้กับกลุ่มคนที่มิชอบจำกัดในการฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักสูง เช่น ผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือผู้ป่วยที่ต้องการการฟื้นฟูความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เป็นต้น และกลุ่มนักกีฬาที่ต้องการเพิ่มสมรรถภาพทางกีฬา

เอกสารอ้างอิง

Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., et al. (2010). Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men. *Journal of Science and Medicine in Sport* 9, 452-458.

- Abe, T., Kearns, C. F., and Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, KAATSU-walk training. *Journal of Applied Physiology* 100, 1460-1466.
- Bennett H1, Slattery F. (2019). Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(2):572-583.
- 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 in Medicine and Science in Sports* 25,770-777.
- Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Mattocks, K.T., et al. (2017). Influence of cuff material on blood flow restriction stimulus in the upper body. *Journal of Physiological Sciences* 67,207-215.
- Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., and König, D. (2018a). Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 49, 95-108.
- Christiansen, D., Murphy, R. M., Bangsbo, J., Stathis, C. G., and Bishop, D. J. (2018). Increased FXD1 and PGC-1 α mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. *Acta Physiologica* 223:e13045.
- Conceição, M.S., Junior, E.M.M., Telles, G.D., Libardi, C.A., Castro, A., Andrade, A. L. L., et al. (2019). Augmented anabolic responses after 8-wk cycling with blood flow restriction. *Medicine and Science In Sports and Exercise* 51, 84-93.
- Cook, S. B., Clark, B. C., and Ploutz-Snyder, L. L. (2007). Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. 39,1708-1713.
- Corvino, R. B., Rossiter, H. B., Loch, T., Martins, J. C., & Caputo, F. (2017). Physiological responses to interval endurance exercise at different levels of blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 117(1), 39-52.
- Dankel, S. J., Jessee, M. B., Abe, T., and Loenneke, J. P. (2016). The effects of blood flow restriction on upper-body musculature located distal and proximal to applied pressure. *Sports Medicine* 46,23-33.
- de Oliveira, M. F. M., Caputo, F., Corvino, R. B., and Denadai, B. S. (2016). Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scandinavian Journal in Medicine and Science in Sports* 26, 1017-1025.
- Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Rossow, L. M., Kim, D., Abe, T., et al. (2015). Muscular adaptations to fatiguing

- exercise with and without blood flow restriction. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 35, 167-176.
- Fitschen PJ1, Kistler BM, Jeong JH, Chung HR, Wu PT, Walsh MJ, Wilund KR. (2014). Perceptual effects and efficacy of intermittent or continuous blood flow restriction resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 34(5):356-63.
- Fujita, T., Brechue, W., 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, 1-8.
- Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., and Patterson, S.D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 51, 1003-1011.
- Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Abe, T., and Loenneke, J. P. (2016). The influence of cuff width, sex, and race on arterial occlusion: implications for blood flow restriction research. *Sports Medicine* 46, 913-921.
- Jessee, M. B., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Mattocks, K. T., and Loenneke, J. P. (2017). The cardiovascular and perceptual response to very low load blood flow restricted exercise. *International Journal of Sports Medicine* 38, 597-603.
- Kacin, A., Rosenblatt, B., Zargi, T.G., and Biswas, A. (2015). Safety considerations with blood flow restricted resistance training. *Varna Uporaba Vadbe Z Zmanjšanim Pretokom Krvi. Ann. Kinesiology* 6,3-26.
- Keramidas ME, Kounalakis SN, Geladas ND. (2012). The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 32: 205-213.
- Kubota, A., Sakuraba, K., Koh, S., Ogura, Y., and Tamura, Y. (2011). Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. *Journal of Science and Medicine in Sport* 14,95-99.
- Ladlow, P., Coppack, R.J., Dharm-Datta, S., Conway, D., Sellon, E., Patterson, S.D., et al. (2018). Low-load resistance training with blood flow restriction improves clinical outcomes in musculoskeletal rehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology* 9:1269.
- Lixandrao, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceicao, M. S., Damas, F., et al. (2018). Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood flow restriction: a systematic review and

- meta-analysis. *Sports Medicine* ????
- Lixandrao, M. E., Ugrinowitsch, C., Laurentino, G., Libardi, C. A., Aihara, A. Y., Cardoso, F.N., et al. (2015). Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *European Journal of Applied Physiology* 115,2471-2480.
- Loenneke, J. P., Loprinzi, P. D., Abe, T., Thiebaud, R. S., Allen, K. M., Grant Mouser, J., et al. (2016). Arm circumference influences blood pressure even when applying the correct cuff size: is a further correction needed? *International Journal of Cardiology* 202,743-744.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., and Bemben, M. G. (2014). Blood flow restriction: effects of cuff type on fatigue and perceptual responses to resistance exercise. *Acta Physiologica Hungarica* 101, 158-166.
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Mañ, P. J., Zourdos, M. C., and Bemben, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology* 112,1849-1859.
- Loenneke, J.P., Allen, K.M., Mouser, J.G., Thiebaud, R.S., Kim,D., Abe, T., et al. (2015). Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology* 115, 397-405.
- Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Counts, B. R., Buckner, S. L., Grant Mouser, J., Dankel, S. J., et al. (2017). The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses. *Physiology & Behavior* 171,181-186.
- McEwen, J. A., Owens, J. G., and Jeyasurya, J. (2018). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in bloodflow restriction (BFR) rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering* 39,7-11.
- Nielsen, J. L., Aagaard, P., Bech, R. D., Nygaard, T., Hvid, L. G., Wernbom, M., et al. (2012). Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *Journal of Physiology* 590, 4351-4361.
- Nielsen, J. L., Frandsen, U., Prokhorova, T., Bech, R. D., Nygaard, T., Suetta, C., et al. (2017). Delayed effect of blood flow-restricted resistance training on rapid force capacity. *Medicine and Science In Sports and Exercise* 49, 1157-1167.
- Ozaki, H., Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki-Sunaga, M., Naito, H., and Abe, T. (2013). Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *European Journal of Applied Physiology* 113,167-174.
- Park, S., Kim, J. K., Choi, H. M., Kim, H. G.,

- Beekley, M. D., and Nho, H. (2010). Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *European Journal of Applied Physiology* 109, 591-600.
- Paton CD, Addis SM, Taylor LA. The effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion. (2017). *European Journal of Applied Physiology* 117: 2579-2585.
- Patterson SD, Hughes L, Warmingtton S, Burr J, Scott BR, Owens J, Abe T, Nielsen JL, Libardi CA, Laurentino G, Neto GR, Brandner C, Martin-Hernandez J, Loenneke J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology* 22, 10: 1332.
- Pearson, S. J., and Hussain, S. R. (2015). A review on the mechanisms of blood flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medecine*. 45,187-200.
- Pope, Z. K., Willardson, J. M., & Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and blood flow restriction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(10), 2914-2926.
- Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., et al. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 32,331-337.
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., and Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Medicine*. 45, 313-325.
- Scott, Loenneke, Slattery, & Dascombe. (2016). Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(5), 360-367
- Slysz, J., Stultz, J., and Burr, J. F. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport* 19, 669-675.
- Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, Takada S, Omokawa M, Kinugawa S, Tsutsui H. (2010). Dose-effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of Applied Physiology* 108:1563-1567.
- Takarada, Y., Sato, Y., and Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology* 86, 308-314.
- Taylor, C. W., Ingham, S.A., and Ferguson, R.A. (2016). Acute and chronic effect of sprint interval training combined with post exercise

blood-flow restriction in trained individuals.

Experimental Physiology 101,143-154.

Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R.,
and Abe, T. (2013). Influence of continuous

or intermittent blood flow restriction on

muscle activation during low-intensity

multiple sets of resistance exercise. *Acta*

Physiologica Hungarica. 100, 419-426.