ผลของการเปรียบเทียบการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือด
ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

นางสาวเสาวลักษณ์ สุนทราลักษณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON OF THE EFFECT OF WARM AND COLD WATER EXERCISE TRAINING ON VASCULAR FUNCTION IN TYPE 2 DIABETIC PATIENTS

Miss Saowaluck Suntraluck

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Sports Science
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเปรียบเทียบการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2
โดย	นางสาวเสาวลักษณ์ สุนทราลักษณ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. ฮิโรฟุมิ ทานากะ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิชิต คนึงสุขเกษม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. ฮิโรฟุมิ ทานากะ)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุรสา โค้งประเสริฐ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ราตรี เรืองไทย)

เสาวลักษณ์ สุนทราลักษณ์ : ผลของการเปรียบเทียบการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (A COMPARISON OF THE EFFECT OF WARM AND COLD WATER EXERCISE TRAINING ON VASCULAR FUNCTION IN TYPE 2 DIABETIC PATIENTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ดรุณวรรณ สุขสม, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศ. ดร. ฮิโรฟุมิ ทานากะ, 172 หน้า.

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือดและคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 อาสาสมัครเป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 อายุ 60-75 ปี จำนวน 40 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก (n=13 คน) กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น (n=15 คน) และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น (n=12 คน) ทั้ง 3 กลุ่มออกกำลังกายที่ความหนัก 60-75% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด การออกกำลังกายในแต่ละครั้ง ใช้เวลา 15 นาทีในเดือนแรก ใช้เวลา 20 นาที ในเดือนที่ 2 และใช้เวลา 30 นาที ในเดือนที่ 3 จำนวน 3 ครั้ง/สัปดาห์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ อาสาสมัครได้รับการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาค และคุณภาพชีวิต วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การทดสอบความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ และเปรียบเทียบรายคู่โดยใช้วิธีการทดสอบของบอนเฟอโรนี่

ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ทั้ง 3 กลุ่มการฝึกออกกำลังกายมีการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาค กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีอัตราการไหลของเลือดบริเวณส่วนล่างของร่างกายสูงกว่ากลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และยังพบว่ากลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีระดับไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้นและมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้ง 3 กลุ่มการฝึกออกกำลังกายมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนและคุณภาพชีวิตเพิ่มขึ้นหลังจากฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และการปั่นจักรยานในน้ำเย็นสามารถปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคได้ในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 อย่างไรก็ตาม การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำอุ่นช่วยปรับปรุงหลอดเลือดระดับจุลภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบกและการปั่นจักรยานในน้ำเย็น

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5578612939 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORDS: WARM WATER EXERCISE / COLD WATER EXERCISE / VASCULAR FUNCTION / TYPE 2 DIABETES

SAOWALUCK SUNTRALUCK: A COMPARISON OF THE EFFECT OF WARM AND COLD WATER EXERCISE TRAINING ON VASCULAR FUNCTION IN TYPE 2 DIABETIC PATIENTS. ADVISOR: ASSOC. PROF. DAROONWAN SUKSOM, Ph.D., CO-ADVISOR: PROF. HIROFUMI TANAKA, Ph.D., 172 pp.

The purposes of the present study were to investigate the effect of warm and cold water exercise training on macro- and micro-vascular function in type 2 diabetic patients and compare the effect of warm and cold water exercise training on general characteristics, health related physical fitness, blood chemistry and quality of life in type 2 diabetic patients. Forty elderly with type 2 diabetes were randomly assigned into 3 groups: the land based- exercise training group (LB; n=13) warm water based- exercise training group (WW; n=15) and cold water based- exercise training group (CW; n=12). All groups performed cycling at exercise intensity 60-75 % of maximal heart rate for 15 minutes in the first month, 20 minutes in the second month and 30 minutes in the last month; 3 times/week. Before and after 12 weeks training session, general characteristics, health related physical fitness, blood chemistry, macro- and micro- vascular function and quality of life data were measured. Data were analyzed using ANOVA with repeated measurement followed by bonferroni multiple comparisons.

The result showed that after 12 wks of exercise training, all groups had significantly improved ($p<.05$) in macro- and micro- vascular function. Lower limb cutaneous blood flow of WW training group was significantly higher ($p<.05$) than LB and CW groups. Only WW training group increased significantly ($p<.05$) in nitric oxide (NO) and decreased significantly ($p<.05$) in malondialdehyde (MDA). Peak oxygen consumption and quality of life increased significantly ($p<.05$) in all groups.

In conclusion, The LB, WW and CW training groups can improved macro- and micro-vascular function in patients with type 2 diabetes. However, warm water based-cycling exercise training has more effective improvement in microvascular function than land based and cold water based exercise training.

Field of Study: Sports Science
Academic Year: 2015

Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความเอาใจใส่ ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลา ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาสละเวลา ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต คนึงสุขเกษม ประธานกรรมการสอบ ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ อาจารย์ ดร.สุรสา โค้งประเสริฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อคิด คำแนะนำ ปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง ตลอดจนคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตลอดจนให้ความรู้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเทศบาลนครแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบาลบางจาก จังหวัดพระประแดงที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตบัณฑิตศึกษา สำหรับความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้กำลังใจ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณทุนโครงการวิจัยทุนอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาลประจำปีงบประมาณ 2558 และทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

คุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แด่บิดามารดา ครูบาอาจารย์และทุกท่านที่อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู และให้ความรู้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6
สมมติฐานของการวิจัย 7
ขอบเขตของการวิจัย 7
คำจำกัดความ 8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
1. โรคเบาหวาน 11
2. การทำงานของหลอดเลือด 18
3. การออกกำลังกาย 26
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
กรอบแนวคิดในการวิจัย 37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 39
กลุ่มตัวอย่าง 39
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 40
วิธีดำเนินการวิจัย 42
การวิเคราะห์ข้อมูล 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 52

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น..... 55

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น..... 61

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 66

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 73

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 80

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 94

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านระดับคุณภาพชีวิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 103

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 108

สรุปผลการวิจัย 109

อภิปรายผลการวิจัย 116

ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย 123

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย 124

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป 124

รายการอ้างอิง 125

ภาคผนวก 141

ภาคผนวก ก 142

ภาคผนวก ข 158

ภาคผนวก ค 160

ภาคผนวก ง 165

ภาคผนวก จ 169

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 172

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ตารางดัชนีความรุนแรงของโรคเบาหวาน 14

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) กับค่าเฉลี่ยกลูโคส (Mean plasma glucose) 15

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 55

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 61

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 66

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 73

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 80

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 88

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 94

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านคุณภาพชีวิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย 38
รูปที่ 2 การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling) 40
รูปที่ 3 ภาพหลอดเลือดแดงเบรเคียลซึ่งตรวจด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ 45
รูปที่ 4 ภาพหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลซึ่งตรวจด้วยเครื่องอัตราซาวด์ 45
รูปที่ 5 ภาพหลอดเลือดแดงคาโรติดซึ่งตรวจด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ 46
รูปที่ 6 การประเมินการทำงานของเลือดของหลอดเลือดระดับจุลภาค 47
รูปที่ 7 การปั่นจักรยานบนบก 48
รูปที่ 8 การปั่นจักรยานในน้ำอุ่น 49
รูปที่ 9 การปั่นจักรยานในน้ำเย็น 49
รูปที่ 10 วิธีดำเนินการวิจัย 50
รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 57
รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 57
รูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 58
รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 58
รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึกออก กำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่น จักรยานในน้ำเย็น 59
รูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนและหลังการฝึกออก กำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่น จักรยานในน้ำเย็น 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 60

รูปที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 63

รูปที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 63

รูปที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความอ่อนตัวก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 64

รูปที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความจุปอดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 64

รูปที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 65

รูปที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 68

รูปที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 68

รูปที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดื้อต่ออินซูลิน ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 69

รูปที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 69

รูปที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไตรกลีเซอร์ไรด์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 70

รูปที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเอชดีแอล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 70

รูปที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแอลดีแอล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 71

รูปที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนตริกออกไซด์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 71

รูปที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมาลอนไดอัลดีไฮด์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 72

รูปที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยซีรีแอคทีฟโปรตีน ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 72

รูปที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 76

รูปที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 76

รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 77

รูปที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 77

รูปที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 78

รูปที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 78

รูปที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 79

รูปที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 79

รูปที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 83

รูปที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยาน 83

รูปที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 84

รูปที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 84

รูปที่ 45 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 85

รูปที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 85

รูปที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 86

รูปที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 86

รูปที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 87

รูปที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 87

รูปที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลขณะพักก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 91

รูปที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลขณะพัก เมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 92

รูปที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 93

รูปที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 98

รูปที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำ 99

รูปที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น.... 100

รูปที่ 57 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น..... 101

รูปที่ 58 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของ หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 102

รูปที่ 59 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิต ด้านสุขภาพกาย ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 105

รูปที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิตด้านจิตใจ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 105

รูปที่ 61 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิตด้านสัมพันธภาพบุคคลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 106

รูปที่ 62 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิต ด้านสิ่งแวดล้อมก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น 106

รูปที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับคุณภาพชีวิตโดยรวม ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น..... 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคเบาหวาน (Diabetes) คือ โรคที่มีความผิดปกติของเมตาบอลิซึม เป็นผลมาจากการหลั่งของอินซูลินหรือไม่สามารถใช้อินซูลินได้ ส่งผลให้ระดับของน้ำตาลในเลือดสูง (American College of Sports Medicine, 2009) โรคเบาหวาน แบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) โรคเบาหวานชนิดที่สาเหตุมาจากเบต้าเซลล์ถูกทำลาย นำไปสู่ภาวการณ์บกพร่องของอินซูลิน 2) โรคเบาหวานชนิดที่ 2 สาเหตุเกิดมาจากการบกพร่องของการหลั่งอินซูลินเป็นผลต่อความต้านของอินซูลิน 3) ประเภทเฉพาะอื่นๆของโรคเบาหวานที่มีสาเหตุเกิดมาจากข้อบกพร่องทางพันธุกรรมในการทำงานของเบต้าเซลล์ ข้อบกพร่องทางพันธุกรรมในการทำงานของอินซูลิน โรคของตับอ่อน ยาหรือสารเคมีที่ก่อให้เกิด เช่น ยารักษาโรคเอดส์ หรือหลังจากการผ่าตัดเปลี่ยนอวัยวะ และ 4) โรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ (Gestational diabetes mellitus; GDM) (ซึ่งเป็นโรคเบาหวานที่ไม่ได้เห็นได้อย่างชัดเจนเกิดขึ้นระหว่างการตั้งครรภ์) (American College of Sports Medicine, 2014) การที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงระยะยาวจะทำให้ผู้ป่วยเบาหวานเกิดโรคแทรกซ้อนตามมา ได้แก่ โรคจอประสาทตา (Retinopathy) ส่งผลต่อการมองเห็น โรคไต (Nephropathy) ทำให้ไตวาย ปลายประสาทอักเสบ (Peripheral neuropathy) ทำให้เกิดแผลที่เท้า (Foot ulcers) ถูกตัดแขนและขา (Amputations) และสูญเสียความรู้สึก (Charcot joints) และระบบประสาทอัตโนมัติเสื่อม (Autonomic neuropathy) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal) โรคระบบสืบพันธุ์ (Genitourinary) อาการของโรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular symptoms) และการเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ (Sexual dysfunction) อีกทั้งผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานยังมีอุบัติการณ์เพิ่มขึ้นของการอุดตันของหลอดเลือดแดงของหัวใจ (Atherosclerotic cardiovascular) โรคหลอดเลือดแดงส่วนปลายตีบ (Peripheral arterial disease) และโรคหลอดเลือดสมอง (Cerebrovascular disease) นอกจากนั้นยังพบว่าผู้ที่เป็นโรคเบาหวานมักจะเป็นโรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) และมีความผิดปกติของการเผาผลาญไขมัน (American Diabetes Association, 2013) โรคเบาหวานเป็นปัญหาสุขภาพที่ส่งผลทั้งในเด็ก วัยรุ่นและผู้ใหญ่ ปัจจุบันจำนวนของผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จากสถิติของสมาพันธ์เบาหวานนานาชาติ (American Diabetes Association, 2015) ได้คาดการณ์ในปี ค.ศ. 2040 จะมีประชากรทั่วโลกที่เป็นโรคเบาหวานสูงถึง 642 ล้านคน นอกจากนี้ พบว่าประมาณร้อยละ 63 ของการเสียชีวิตของผู้ป่วยเบาหวานทั้งหมดทั่วโลกเกิดจากโรคไม่ติดต่อรื้อรัง (World Health Organization, 2010) สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2546-2554

พบอัตราการป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเพิ่มมากขึ้นโดยเบาหวานพบมากเป็นอันดับที่ 3 รองมาจากโรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2556)

โรคเบาหวานมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดแดง โดยเกิดการอักเสบของหลอดเลือด (Vascular inflammation) และไม่สามารถควบคุมองค์ประกอบของเซลล์ภายในหลอดเลือดได้ อีกทั้งยังทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในเซลล์เม็ดเลือดและปัจจัยด้านสภาวะการควบคุมสมดุลอีกด้วย (American Diabetes Association, 2003) การอักเสบของหลอดเลือดนี้ จะส่งผลทำให้เกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็งตัว (Atherosclerosis) ในผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน ตัวบ่งชี้ของการอักเสบของหลอดเลือดที่สำคัญได้แก่ ไซโตไคน์ (Cytokines) เคโมไคน์ (Chemokines) แอดฮีชั่นโมเลกุล (Adhesion molecules) และทรานสคริปชันแฟคเตอร์ (Transcription factors) (Forbes & Cooper, 2013) จากการศึกษาของริดเคอร์ และคณะ (Ridker et al., 1998) พบว่าระดับของซีรีแอคทีฟโปรตีน (C-reactive protein; CRP) มีความผิดปกติในผู้ที่มีภาวะความทนทานต่อน้ำตาลบกพร่อง (Impaired Glucose tolerance) และผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน โดยซีรีแอคทีฟโปรตีน มีผลทำให้ยับยั้งการหลั่งของไนตริกออกไซด์ ซินเทส (NO synthase; eNoS) เป็นผลให้เกิดความผิดปกติของการควบคุมความตึงตัวของหลอดเลือด (Vascular tone) เพิ่มพลาสมิโนเจน แอคทิเวเตอร์ อินฮิบิเตอร์ วัน (Plasminogen activator inhibitor-1) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดลิ่มเลือด นอกจากนั้นซีรีแอคทีฟโปรตีนจะเข้าไปจับที่ตัวรับของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cell receptors) ทำให้เพิ่มอัตราการตายของเซลล์แบบหดตัวเล็กลง (Apoptosis) และแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ และส่งผลให้มีการออกซิไดซ์ไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low-density lipoprotein cholesterol; LDL) ทำให้เกิดคราบไขมัน (Atherosclerotic plaques) สะสมที่ผนังหลอดเลือด ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง (Atherosclerosis) และยังพบว่าเกิดการรวมตัวกันของเกล็ดเลือดทำให้เลือดแข็งตัว (Blood Coagulation) และส่งผลให้ลดสารต้านการแข็งตัวของเลือด (Anticoagulants) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้เกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัวแล้ว ยังมีผลทำให้คราบที่เกาะผนังหลอดเลือดเกิดการแตกและหลุดทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือด (Atherothrombotic) และเกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (Endothelial dysfunction) (American Diabetes Association, 2013; Vinik, Erbas, Park, Nolan, & Pittenger, 2001) นอกจากนี้คนที่เป็นโรคเบาหวานเมื่อระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้นจะไปกระตุ้นการสร้างโปรตีน ไคเนส ซี (Protein kinase C) ลดการสร้างเพลทเลท-ดีไรว์ ไนตริกออกไซด์ (Platelet-derived NO) และเพิ่มสภาวะความเครียดออกซิเจน (Oxidative stress) โดยมีการเพิ่มการสร้างอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ไอออน (Superoxide anion) และสร้างออกซิเดทีฟ เพอรอกซีไนไตรท์ แรดิคอล (Oxidative peroxynitrite radical) (Guzik et al., 2002; Lau et al., 2013; Storey, Perry, & Petrie, 2001) การที่เกิดเหตุการณ์

แบบนี้เป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ลดการทำงานของไนตริกออกไซด์ซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานได้

การมีวิถีการดำเนินชีวิตที่มีสุขภาพดีเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการสำหรับโรคเบาหวาน การออกกำลังกายเป็นรูปแบบหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการรักษาโรคเบาหวาน โดยเฉพาะการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นมีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อหลอดเลือด การออกกำลังกายเป็นประจำช่วยทำให้หัวใจและหลอดเลือดดีขึ้น มีการลดลงของการป่วยและมีชีวิตที่ยืนยาวขึ้น (Fiuza-Luces, Garatachea, Berger, & Lucia, 2013; Garber et al., 2011) สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 นั้น การออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ระดับความหนักปานกลางเป็นประจำช่วยปรับปรุงความทนทานต่อน้ำตาล (Glucose tolerance) เพิ่มความไวต่ออินซูลิน (Insulin sensitivity) ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ปรับปรุงระบบหัวใจและหลอดเลือด (American College of Sports Medicine, 2009; Colberg et al., 2010) การออกกำลังกายในน้ำเป็นการออกกำลังกายรูปแบบหนึ่งของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ซึ่งน้ำมีคุณสมบัติของแรงดันใต้น้ำ (Hydrostatic pressure) เมื่อร่างกายอยู่ในน้ำ แรงดันใต้น้ำจะทำให้การไหลเวียนโลหิตกลับเข้าสู่หัวใจได้ง่ายกว่าอยู่บนบก แรงพยุงตัวหรือแรงลอยตัวทำให้น้ำหนักตัวลดลง จึงทำให้ข้อต่อรับแรงกระแทกน้อยกว่าบนบก ช่วยลดการบาดเจ็บจากแรงกระแทกขณะออกกำลังกายและแรงต้านทานของน้ำยังช่วยให้สร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ทุกๆ ส่วน ช่วยเพิ่มการไหลเวียนเลือดและเพิ่มออกซิเจนแก่กล้ามเนื้อ (Dajpratham, 2006) การออกกำลังกายในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้เครื่องออกกำลังกายชนิดต่างๆ เช่น เครื่องวิ่งบนสายพาน (Greene, Greene, Carbuhn, Green, & Crouse, 2011) จักรยานปั่นมือ (Bermingham, Mahajan, & Neaverson, 2004) จักรยานปั่นเท้า (Bansi, Bloch, Gamper, & Kesselring, 2013) และการไม่ใช้เครื่องมือในการออกกำลังกาย เช่น การว่ายน้ำ (Schmid et al., 2007) การเดินในน้ำ (Rodriguez et al., 2011) การเต้นแอโรบิกในน้ำ (Nuttamonwarakul, Amatyakul, & Suksom, 2012) เป็นต้น ส่วนใหญ่การออกกำลังกายในน้ำที่มีการใช้อุปกรณ์หรือไม่ใช้อุปกรณ์มักจะทำการศึกษาในผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง และโรคอื่นๆ แต่มีจำนวนน้อยที่ศึกษาในผู้ป่วยโรคเบาหวาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำรูปแบบของการออกกำลังกายในน้ำโดยการปั่นจักรยานสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานมาใช้ในการฝึกออกกำลังกาย เนื่องจากการปั่นจักรยานในน้ำมีผลทำให้มีการเพิ่มแรงต้านในการออกกำลังกายเพราะในน้ำมีแรงต้านของการเคลื่อนไหว เมื่อปั่นจักรยานในน้ำแรงต้านของน้ำนี้จะเป็นตัวเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี การออกกำลังกายในน้ำสามารถทำได้ทั้งในน้ำอุ่นและน้ำที่มีอุณหภูมิปกติในสระว่ายน้ำทั่วไปและอ่างอาบน้ำ จากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ และผลทางด้านสรีรวิทยาที่เกิดจากการแช่น้ำทำให้การออกกำลังกายในน้ำมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในด้านของการเพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน การทรงตัว และสมรรถภาพของร่างกาย (Dajpratham, 2006)

อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกันไป จากงานวิจัยของกรีนและคณะ ในปี ค.ศ. 2010 (Green, Carter, et al., 2010) พบว่าการแช่แขนทั้งสองข้างในน้ำอุ่นมีผลทำให้การไหลเวียนของเลือดบริเวณแขนดีขึ้น เพราะมีการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดขนาดเล็ก เนื่องมาจากการเกิดไฮเปอรีเมีย (Hyperemia) และการเพิ่มของแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) และทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด จากการศึกษาของแมคคาร์ที และคณะ ในปี ค.ศ. 2009 (McCarty, Barroso-Aranda, & Contreras, 2009) ได้ศึกษาผลของการบำบัดด้วยความร้อนเป็นประจำส่งผลให้มีการปรับปรุงความไวของอินซูลิน (Insulin sentivity) และเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide synthase) นอกจากนั้นพบว่าการแช่ในอ่างน้ำร้อนส่งผลให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ในผู้ป่วยเบาหวานได้ (Hooper, 1999) ส่วนการวิจัยของ อาร์บอเลียส และคณะ (Arborelius, Ballidin, Lilja, & Lundgren, 1972) พบว่าการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะช่วยเพิ่มปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งนาที (Cardiac output) และช่วยลดความต้านทานของหลอดเลือดส่วนปลาย การที่ปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งนาทีเพิ่มขึ้นจะทำให้เพิ่มการไหลเวียนเลือดส่วนปลายและเพิ่มความเค้นเฉือน ซึ่งกลไกดังกล่าวอาจจะทำให้มีการปรับปรุงการทำงานของเยื่อบุผนังหลอดเลือดดีขึ้น ในส่วนของการศึกษาการแช่และว่ายน้ำในน้ำเย็นส่งผลให้ความดันโลหิตสูงขึ้นเนื่องมาจากมีการกระตุ้นของระบบประสาทซิมพาเทติก (Schmid et al., 2009) ในปี ค.ศ.2011 เกร็กสันและคณะ (Gregson et al., 2011) ศึกษาพบว่าการแช่ขาในน้ำเย็นส่งผลให้การไหลเวียนเลือดทุกส่วนของรยางค์ลดลง แต่การไหลของเลือดบริเวณขาเพิ่มปริมาณขึ้นทั้งๆ ที่อุณหภูมิบริเวณขาลดลงเนื่องมาจากว่าการแช่ในน้ำเย็นส่งผลให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัวจึงทำให้เลือดไหลเวียนได้มากขึ้น นอกจากนั้นฟิสคัส และคณะ (Fiscus, Kaminski, & Powers, 2005) ได้ศึกษาการแช่ขาในน้ำเย็นไม่ได้ส่งผลทำให้การไหลเวียนเลือดไปที่ขาลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาของร่างกายที่จะรักษาอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายหรือมีการตอบสนองของการควบคุมหลอดเลือดเพื่อทำให้หลอดเลือดขยายตัว จากการศึกษาของลีและคณะ (Lee, Bakri, Matsuo, & Tochihara, 2013) พบว่าความเย็นเหนี่ยวนำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดซึ่งเป็นการตอบสนองที่ซับซ้อนโดยจะเริ่มจากการขยายตัวของหลอดเลือดบริเวณการประสานกันระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (Arteriovenous anatomosis) โดยอาศัยสื่อจากวิถีทางระบบประสาทส่วนกลางหรือระบบประสาทเฉพาะที่ ได้แก่ ปฏิกิริยาตอบกลับโดยอัตโนมัติของเส้นประสาทบริเวณแอกซอน (Axon) การปล่อยสารขยายตัวของหลอดเลือด การเกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อเรียบในผนังหลอดเลือด หรือการลดลงการปล่อยสารนอร์อีพิเนฟริน (Norepinephrine) สำหรับการออกกำลังกายในน้ำ พบว่า การออกกำลังกายในน้ำในผู้ที่เป็นโรคหัวใจล้มเหลวส่งผลให้เพิ่มระดับของไนตริก ออกไซด์ (Laurent et al., 2009) ส่วนการศึกษาของเพชเตอร์และคณะ (Pechter et al., 2003) พบว่า การออกกำลังกายในน้ำในผู้ที่

เป็นโรคไตทำให้สภาวะความเครียดออกซิเจน (Oxidative stress) ลดลง และจากการศึกษาผลการออกกำลังกายในน้ำในผู้ป่วยโรคหัวใจล้มเหลวกับโรคเบาหวานของเอซ่า และคณะ (Asa, Maria, Katharina, & Bert, 2012) พบว่าช่วยทำให้สมรรถภาพทางกายดีขึ้นและระดับน้ำตาลในเลือดลดลง ในส่วนการออกกำลังกายในน้ำอุ่นมีผลให้ลดอาการปวด เกิดการผ่อนคลาย เพิ่มเลือดไปเลี้ยงบริเวณที่มีการอักเสบ (Weber and Brown, 2000) จากงานวิจัยของนัฐมนวรกุล และคณะปี ค.ศ. 2012 (Nuttamonwarakul et al., 2012) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายเต้นแอโรบิกในน้ำอุ่นในผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 พบว่า สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดดีขึ้น ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรค์ และอินซูลินลดลง และในปี ค.ศ. 2014 (Nuttamonwarakul, Amatyakul, & Suksom, 2014) ยังได้ศึกษาการออกกำลังกายเต้นแอโรบิกบนบกและในน้ำอุ่นในผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีต่อการไหลของเลือดชั้นคิวทาเนียสและรีแอคทีฟโปรตีน พบว่า ความดื้อต่ออินซูลิน มาลอนไดอัลดีไฮด์ ซีรีแอคทีฟโปรตีนลดลงและมีการปรับปรุงการไหลของเลือดชั้นคิวทาเนียสเฉพาะกลุ่มการเต้นแอโรบิกในน้ำ ส่วนของการออกกำลังกายในน้ำเย็นส่งผลให้หลังการออกกำลังกายมีการเพิ่มการรับประทานมากอาหารขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ออกกำลังกายในน้ำที่อุณหภูมิปกติ (White, Dressendorfer, Holland, McCoy, & Ferguson, 2005) และจากการศึกษาของฮาลส์ และคณะปี ค.ศ. 2011 (Halse, Wallman, & Guelfi, 2011) พบว่าการแช่ในน้ำอุณหภูมิปกติและน้ำเย็นหลังการออกกำลังกายทำให้เพิ่มการรับประทานอาหารมากขึ้น

ในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกกำลังกายในน้ำในผู้ป่วยเบาหวานมีจำนวนน้อย โดยเฉพาะการเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นนั้นแทบจะไม่มี อีกทั้งผู้คนส่วนใหญ่โดยเฉพาะผู้สูงอายุอาจไม่ชอบการว่ายน้ำเพราะรู้สึกเปียก ไม่สบายตัว (อนุกูล ปีดแก้ว, 2557) และไม่สะดวกในการจะไปว่ายน้ำในสระว่ายน้ำเนื่องจากต้องใส่ชุดว่ายน้ำและลำบากในการเดินทาง จึงทำให้คนส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงที่จะไปออกกำลังกายด้วยการว่ายน้ำ แต่จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาจึงทำให้ผู้วิจัยเห็นว่าการออกกำลังกายในน้ำมีประโยชน์ในด้านการควบคุมระดับน้ำตาล ช่วยในการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือด เสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย จึงได้ออกแบบการออกกำลังกายในน้ำที่ไม่ต้องเดินทางไปใช้สระว่ายน้ำ โดยได้ประดิษฐ์แท้งค์ที่ภายในบรรจุจักรยานเพื่อให้เป็นการปั่นจักรยานในน้ำ เป็นการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายโดยลดการเกิดการบาดเจ็บจากแรงพยุงของน้ำการปั่นจักรยานในน้ำจะกระทำที่ระดับความลึกเท่ากับสะโพกเพื่อให้ผู้ป่วยสามารถปั่นได้และรู้สึกไม่เปียกไปทั่วร่างกาย และมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเพื่อดูผลของการเปลี่ยนแปลงขณะออกกำลังกายด้วยอุณหภูมิของน้ำที่ต่างกัน เนื่องมาจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลดีต่อสมรรถภาพและองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ (Bergamin et al., 2013) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกอุณหภูมิของน้ำตามที่งานวิจัยที่ผ่านมา

ดังกล่าว เนื่องจากสามารถใช้ได้ในผู้สูงอายุโดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย และจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสผู้สูงอายุกับกลุ่มวัยรุ่นนั้นให้ผลที่ไม่แตกต่างกันและผู้สูงอายุสามารถทนต่ออุณหภูมิของน้ำระดับนี้ได้ (Glickman, Caine-Bish, Cheatham, Blegen, & Potkanowicz, 2002) ซึ่งเป็นไปได้ว่าการออกกำลังกายในน้ำที่อุณหภูมิต่างกันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ต่างกันไปด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียสและน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสว่ามีต่อการทำงานของหลอดเลือดและการไหลเวียนของเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 หรือไม่อย่างไร อีกทั้งยังต้องการศึกษาผลการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่มีต่อส่วนที่แช่น้ำและไม่ได้แช่น้ำ และเปรียบเทียบผลที่มีต่อหลอดเลือดขนาดใหญ่กับหลอดเลือดขนาดเล็กว่าจะแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร เนื่องจากผู้ที่เป็นโรคเบาหวานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ถ้าไม่ได้รับการดูแลรักษาที่ถูกต้องก็จะก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาทั้งแบบฉับพลันและเรื้อรัง ผู้วิจัยจึงหวังว่าผลจากการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำไปเผยแพร่หรือสร้างเสริมสุขภาพและลดการเกิดภาวะแทรกซ้อนในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ อันจะยังผลให้ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดแดงระดับมหภาคและระดับจุลภาคของส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

วัตถุประสงค์รอง

เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

คำถามของงานวิจัย

1. การออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นมีผลต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคของส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 หรือไม่และอย่างไร

2. การออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นมีผลต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 หรือไม่และอย่างไร

สมมติฐานของการวิจัย

1. ผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นมีผลต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคของส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่แตกต่างกัน

2. ผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นมีผลต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้มุ่งเน้นผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

เป็นอาสาสมัครที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีอายุตั้งแต่ 60-75 ปี กลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 40 ทั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุ่นจำนวน 15 คน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำเย็น จำนวน 12 คน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 13 คน

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น (Independent variables) คือ การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำเย็น

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) ประกอบด้วย

2.2.1 ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว

2.2.2 ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไขมัน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว ความจุปอด สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด

2.2.3 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่ น้ำตาลในเลือด ไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน ความดื้อต่ออินซูลิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ เอชดีแอล แอลดีแอล ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ ซีรีแอคทีฟโปรตีน

2.2.4 ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ ขนาดหลอดเลือดขณะพัก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพัก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพัก การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง

2.2.5 ตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต ได้แก่ ด้านสุขภาพกาย ด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคล ด้านสิ่งแวดล้อม ระดับคุณภาพชีวิตโดยรวม โดยใช้แบบสอบถามขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ

ตัวแปรหลัก ได้แก่ ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด

ตัวแปรรอง ได้แก่ ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด และตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต

คำจำกัดความ

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 diabetes) หมายถึง โรคที่มีความผิดปกติของการควบคุมน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติ เกิดจากการที่ตับอ่อนยังสามารถสร้างอินซูลินได้แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย หรือเกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน

การทำงานของหลอดเลือด (Vascular function) หมายถึง การทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cell) ในการควบคุมการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด การสร้างหลอดเลือดใหม่ (Angiogenesis) การต้านการอักเสบในหลอดเลือด (Inflammation) และการควบคุมการขนส่งสาร และเม็ดเลือดขาวเข้าผ่านผนังหลอดเลือด ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาหลอดเลือดระดับมหภาค (Macrovascular) และหลอดเลือดระดับจุลภาค (Microvascular)

การทำงานของหลอดเลือดมหภาค หมายถึง การตอบสนองของหลอดเลือด (Vascular reactivity) ในระบบการไหลเวียนเลือดระดับมหภาคโดยประเมินด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินการทำงานของหลอดเลือดบริเวณไม่ได้แช่น้ำได้แก่ หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) บริเวณเบรเคียล ฟอสซ่า (Brachial fossa) และบริเวณที่ได้แช่น้ำ ได้แก่ หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) บริเวณพอพลิเตียล ฟอสซ่า (Popliteal fossa)

การทำงานของหลอดเลือดจุลภาค หมายถึง การตอบสนองของหลอดเลือด (Vascular reactivity) ในระบบการไหลเวียนเลือดระดับจุลภาคโดยประเมินด้วยเครื่องเลเซอร์ดอปเลอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้วัดการทำงานของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole)

การออกกำลังกายในน้ำ (Water exercise) หมายถึง การออกกำลังกายใดๆ ที่กระทำขึ้นในสระว่ายน้ำหรืออ่างอาบน้ำขนาดใหญ่ เช่น แท้งค์อาบน้ำขนาดใหญ่ (Hubbard tank) ในงานวิจัยนี้เป็นการปั่นจักรยานในแท้งค์น้ำ

น้ำอุ่น (Warm water) หมายถึง น้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิปกติ โดยในงานวิจัยนี้น้ำอุ่นมีอุณหภูมิที่ 36 องศาเซลเซียส

น้ำเย็น (Cold water) หมายถึง น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ โดยในงานวิจัยนี้น้ำเย็นมีอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อหลอดเลือดระดับมหภาคและหลอดเลือดระดับจุลภาคในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2
2. ทำให้ทราบถึงผลการเปรียบเทียบของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อหลอดเลือดส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกกำลังกายต่อไป
3. เป็นรูปแบบทางเลือกของการออกกำลังกายเพื่อการบำบัดรักษาโรคเบาหวานและสามารถนำไปใช้ได้กับบุคคลทั่วไปได้
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สรุปเป็นเนื้อหาสาระสำคัญใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย มีหัวข้อสำคัญดังนี้

1. โรคเบาหวาน
    - 1.1 ประเภทของโรคเบาหวาน
    - 1.2 กลไกการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2
    - 1.3 ดัชนีความรุนแรงของโรคเบาหวาน
    - 1.4 ภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน
    - 1.5 การรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2
2. การทำงานของหลอดเลือด
    - 2.1 เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด
    - 2.2 โรคเบาหวานและการสูญเสียหน้าที่การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือด
    - 2.3 การประเมินหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด
    - 2.4 การตอบสนองของหลอดเลือดที่มีต่อความร้อนและความเย็น
3. การออกกำลังกาย
    - 3.1 หลักของการออกกำลังกาย
    - 3.2 การออกกำลังกายในโรคเบาหวาน
    - 3.3 การออกกำลังกายในที่ร้อนและเย็น
    - 3.4 การออกกำลังกายในน้ำ
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
    - 4.1 ในประเทศ
    - 4.2 นอกประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. โรคเบาหวาน

โรคเบาหวาน คือ กลุ่มโรคทางเมตาบอลิกโดยมีความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือดสูงซึ่งเป็นผลมาจากความบกพร่องของการหลั่งอินซูลินหรือการไม่สามารถใช้อินซูลินได้ การที่ระดับน้ำตาลในเลือดสูงนานๆ จะส่งผลให้เกิดโรคหลอดเลือดแดงระดับจุลภาค (Microvascular) และมหภาค (Macrovascular) เช่น โรคปลายประสาทอักเสบ (Neuropathy), ภาวะแทรกซ้อนทางสายตา (Retinopathy) โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular disease) เป็นต้น (American Diabetes Association, 2015)

1.1 ประเภทของโรคเบาหวาน

โรคเบาหวานเป็นกลุ่มของโรคเมตาบอลิกโดยมีระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารสูงซึ่งเป็นผลมาจากการหลั่งของอินซูลินหรือการไม่สามารถใช้อินซูลินได้ แบ่งตามลักษณะทางคลินิกได้ทั้งหมด 4 ประเภท ดังนี้ (American Diabetes Association, 2015)

1. โรคเบาหวานชนิดที่ 1 สาเหตุมาจากเบต้าเซลล์ถูกทำลาย นำไปสู่ภาวการณ์บกพร่องของอินซูลิน

2. โรคเบาหวานชนิดที่ 2 สาเหตุเกิดจากการบกพร่องของการหลั่งอินซูลินที่เป็นผลมาจากภาวะดื้อต่ออินซูลิน

3. โรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ โรคเบาหวานระหว่างการตั้งครรภ์เกิดขึ้นในช่วงไตรมาสที่ 2-3 ซึ่งเป็นโรคเบาหวานที่ไม่ได้เห็นได้อย่างชัดเจน

4. ประเภทเฉพาะของโรคเบาหวานที่มีสาเหตุอื่นๆ เช่น การถ่ายทอดทางพันธุกรรม (ภาวะที่เด็กทารกมีน้ำตาลในเลือดสูงก่อนอายุ 6 เดือนและโรคเบาหวานของคนหนุ่มสาวที่เริ่มมีอาการตอนเป็นผู้ใหญ่แล้ว), โรคตับอ่อนที่เกี่ยวกับการหลั่งเอนไซม์ (โรคซิสติกไฟโบรซิส), ยาหรือสารเคมีที่ก่อให้เกิดโรคเบาหวาน เช่น ยารักษาโรคเอชไอวี/เอดส์ หรือหลังจากการปลูกถ่ายอวัยวะ

เกณฑ์ในการวินิจฉัยการเป็นโรคเบาหวาน

การวินิจฉัยโรคเบาหวานสามารถตรวจได้จากระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดหรือระดับน้ำตาลในเลือด ได้ดังนี้

1. ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) มากกว่าหรือเท่ากับ 6.5 การตรวจโดยใช้ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดมีประโยชน์หลายด้าน เช่น สะดวกสบาย มีความแน่นอน และลดผลที่เกิดจากการแทรกซ้อนของความเครียดและการเจ็บป่วย ข้อควรระวังในการวินิจฉัยการเป็นโรคเบาหวานด้วยระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดควรตรวจในกลุ่มประชากรในวัยผู้ใหญ่ ไม่สามารถใช้ได้กับวัยเด็ก

2. น้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารมากกว่าหรือเท่ากับ 126 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (7.0 มิลลิโมลต่อลิตร) โดยมีการอดอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง

3. หลังทานอาหาร 2 ชั่วโมง ระดับน้ำตาลมากกว่าหรือเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (11.1 มิลลิโมลต่อลิตร) โดยการรับประทานกลูโคสปริมาณ 75 กรัม ซึ่งเป็นกลูโคสที่ไม่มีน้ำละลายอยู่ด้วย

4. ผู้ป่วยที่มีภาวะน้ำตาลในเลือดสูงหรือมีภาวะเสี่ยงน้ำตาลในเลือดสูงโดยการสุ่มตรวจ มีระดับน้ำตาลมากกว่าหรือเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (11.1 มิลลิโมลต่อลิตร)

เกณฑ์สำหรับการทดสอบโรคเบาหวานหรือภาวะก่อนเป็นโรคเบาหวานในผู้ใหญ่ที่ไม่มีอาการของโรค

1. การทดสอบควรพิจารณาผู้ใหญ่ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน (ดัชนีมวลกายมากว่าหรือเท่ากับ 25 กิโลกรัม/เมตร^2 ในคนอเมริกัน หรือ ดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 23 กิโลกรัม/เมตร^2 ในคนเอเชีย) โดยมีเงื่อนไขปัจจัยเสี่ยงดังนี้

- กิจกรรมทางกายน้อย
- มีญาติในลำดับที่ 1 เป็นโรคเบาหวาน
- เชื้อชาติที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคสูง ได้แก่ เชื้อชาติแอฟริกัน-อเมริกัน ละติน-อเมริกัน เอเชีย-อเมริกัน เป็นต้น
- ผู้หญิงที่มีประวัติคลอดลูกที่มีน้ำหนักตัวของทารกแรกเกิดมากกว่า 4 กิโลกรัม หรือถูกวินิจฉัยว่ามีภาวะเป็นเบาหวานขณะตั้งครรภ์
- ความดันโลหิตสูง (140/90 mmHg หรือได้รับการรักษา)
- ระดับเอชดีแอล (HDL) < 35 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (0.9 มิลลิโมล/ลิตร) หรือระดับไตรกลีเซอร์ไรด์ > 250 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (2.82 มิลลิโมล/ลิตร)
- ผู้หญิงที่มีภาวะถุงน้ำรังไข่หลายใบ (Polycystic ovary syndrome)
- ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) มากกว่าหรือเท่ากับ 5.7%
- พยาธิสภาพที่เกี่ยวข้องกับภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Insulin resistance) เช่น โรคอ้วนรุนแรง โรคผิวหนังดำและหนาตัวขึ้น (Acanthosis nigricans)
- มีประวัติโรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular disease)

2. ผู้ป่วยหรือผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเป็นโรคอ้วน ควรเริ่มตรวจตั้งแต่อายุ 45 ปี

3. ถ้าผลการตรวจปกติควรตรวจซ้ำภายใน 3 ปี หลังจากการตรวจ

1.2 กลไกการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 เป็นโรคที่มีความผิดปกติของการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด เป็นภาวะที่ตับอ่อนสามารถสร้างอินซูลินได้แต่ไม่เพียงพอ หรือร่างกายไม่สามารถใช้อินซูลินที่ผลิตขึ้นมาได้ เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลินขบวนการที่ทำให้เกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้แก่ (สารัช สุนทรโยธิน & ปฏิณัฐ บูรณะทรัพย์ขจร, 2555)

1. ความผิดปกติของการหลั่งอินซูลินจากเบต้าเซลล์ที่ตับอ่อน ความผิดปกติในการหลั่งอินซูลินในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ในระยะแรก สามารถทดสอบได้โดยทำการทดสอบความทนทานต่อกลูโคส (Intravenous glucose tolerance test) โดยปกติการหลั่งอินซูลินจะประกอบไปด้วย 2 ระยะ ผู้ที่มีการหลั่งอินซูลินในระยะแรกจะลดลงซึ่งจะมีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคเบาหวานสูง ในระยะนี้ระดับน้ำตาลในเลือดขณะอดอาหารอาจอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่อาจมีความทนทานต่อกลูโคสบกพร่อง (Impaired glucose tolerance; IGT) ถ้าทดสอบโดยการรับประทานน้ำตาลกลูโคส (Oral glucose tolerance test; OGTT) ระดับอินซูลินในเลือดทั้งในขณะอดอาหารและหลังรับประทานน้ำตาลยังอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าปกติ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเบต้าเซลล์ ได้แก่

1.1 อายุ การทำงานของเบต้าเซลล์ลดลงตามอายุที่มากขึ้น

1.2 พันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงของพันธุกรรมแบบซิงเกิล นิวคลีโอไทด์ โพลีมอร์ฟิซึม (Single nucleotide polymorphisms: SNPs) มีผลทำให้การหลั่งอินซูลินผิดปกติ

1.3 ภาวะไขมันเป็นพิษ (Lipotoxicity) ผู้ป่วยเบาหวานมีการสลายกรดไขมันจากเนื้อเยื่อไขมันเพิ่มขึ้น ทำให้ระดับของกรดไขมันในกระแสเลือดสูงขึ้น โดยกรดไขมันมีผลต่อเบต้าเซลล์ทำให้ลดการทำงานของเบต้าเซลล์ ลดการหลั่งอินซูลิน และกระตุ้นการตายของเซลล์ (Apoptosis)

1.4 ภาวะกลูโคสเป็นพิษ (Glucotoxicity) ระดับน้ำตาลที่สูงขึ้นมีผลทำให้ลดการหลั่งอินซูลิน แบ่งได้ 2 ระยะ ซึ่งมีกลไกการเกิดแตกต่างกัน ในระยะแรกซึ่งระดับน้ำตาลในเลือดไม่สูงมากจะมีผลต่อการหลั่งอินซูลินแบบชั่วคราวและสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อระดับน้ำตาลในเลือดได้รับการแก้ไข ภาวะนี้เรียกว่ากระบวนการลดระดับน้ำตาล (Glucose desensitization) กลไกการเกิดส่วนหนึ่งเกิดจากเบต้าเซลล์ถูกกระตุ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ไม่สามารถสร้างอินซูลินได้เพียงพอ โดยมีอัตราส่วนระหว่างโปรอินซูลินและอินซูลินสูงขึ้น เนื่องจากภาวการณ์เร่งการสร้างอินซูลินทำให้เบต้าเซลล์ไม่สามารถเปลี่ยนโปรอินซูลินเป็นอินซูลินได้ทัน ในระยะที่สองเมื่อระดับน้ำตาลในเลือดสูงอยู่เป็นระยะเวลานาน มีผลต่อการหลั่งอินซูลินแบบถาวร

2. ภาวการณ์ต้านการออกฤทธิ์ของอินซูลินที่ตับและกล้ามเนื้อ ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีการลดลงของการนำสัญญาณจากอินซูลินผ่านตัวรับอินซูลิน ทำให้เกิดความผิดปกติของการนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์ การควบคุมการเผาผลาญของกลูโคส และมีการลดการหลั่งของไนตริกออกไซด์ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด

1.3 ดัชนีความรุนแรงของโรคเบาหวาน (Rosenzweig, Weinger, Poirier-Solomon, & Rushton, 2002)

การใช้ดัชนีความรุนแรงของโรคในการประเมินผลการค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพและการบริหารจัดการของการป่วยของผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวาน

ดัชนีความรุนแรงของโรคเบาหวานสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับ (ดังแสดงในตารางที่ 1) ได้แก่

1. ระดับความเสี่ยงสูงมาก เป็นผู้ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 % ซึ่งมีภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำระดับรุนแรง เกิดอาการหมดสติบ่อย และเกิดภาวะเลือดเป็นกรดจากคีโตน เป็นมากกว่า 2 ปี

2. ระดับความเสี่ยงสูง เป็นผู้ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับ 9% มีภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำมากกว่า 3 ครั้ง/สัปดาห์ และเกิดภาวะเลือดเป็นกรดจากคีโตน เป็นมากกว่า 2 ปี

3. ระดับความเสี่ยงปานกลาง เป็นผู้ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับ มากกว่า 7 % แต่น้อยกว่า 9 % มีความผิดปกติของระบบไหลเวียนเลือดและหลอดเลือด

4. ระดับความเสี่ยงต่ำ เป็นผู้ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7%

ตารางที่ 1 ตารางดัชนีความรุนแรงของโรคเบาหวาน

	ความเสี่ยงสูงมาก	**ความเสี่ยงสูง**	**ความเสี่ยงปานกลาง**	**ความเสี่ยงต่ำ**
การควบคุมระดับน้ำตาล (Glycemic control)	ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c)≥10% ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ :รุนแรงและหมดสติเป็นบ่อยจากการเกิดภาวะเลือดเป็นกรดจากคีโตน (มากกว่า 2 ปี)	ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c)≥9% ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำมากกว่า 3ครั้ง/สัปดาห์ ภาวะเลือดเป็นกรดจากคีโตน (มากกว่า 2 ปี)	ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c)<9% and >7%	ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c)≤7%

โดยปกติการวัดระดับน้ำตาลในเลือดจะได้ค่าระดับน้ำตาลมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (mg/dL) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) ระหว่าง มากกว่า 7 % แต่น้อย

กว่า 9 % เป็นเกณฑ์ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับค่าเฉลี่ยกลูโคสอยู่ที่ระหว่าง 154-212 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือ 8.6-11.8 มิลลิโมลต่อลิตร (ดังแสดงในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) กับค่าเฉลี่ยกลูโคส (Mean plasma glucose) (American Diabetes Association, 2013)

HbA1c (%)	**Mean plasma glucose**	
	mg/dL	mmol/L
6	126	7.0
7	154	8.6
8	183	10.2
9	212	11.8
10	240	13.4
11	269	14.9

ที่มา : สมาคมโรคเบาหวานของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Diabetes Association, 2013)

1.4 ภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน (Ehrman, Gordon, Visich, & Keteyian, 2009; Fowler, 2008; Greenstein et al., 2007)

โรคเบาหวานเป็นที่ยอมรับว่าเป็นสาเหตุของความพิการ เจ็บป่วยและการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร ผลลัพธ์เหล่านี้ส่วนใหญ่เนื่องจากการมีภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน ซึ่งสามารถแบ่งภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานได้ 2 ประเภท ได้แก่ ภาวะแทรกซ้อนฉับพลัน (Acute complications) และภาวะแทรกซ้อนเรื้อรัง (Chronic complications)

1.4.1 ภาวะแทรกซ้อนฉับพลัน (Acute complications) ของโรคเบาหวานแบ่งได้ ดังนี้

1.4.1.1 ภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (Hyperglycemia) สามารถแบ่งได้ ตามนี้

- เบาหวานที่ควบคุมไม่ได้ (Diabetes out of control) มีระดับน้ำตาลในเลือดที่สูงทำให้ไตขับน้ำตาลและน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มการปัสสาวะและการขาดน้ำ อาการของการมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงและขาดน้ำ ได้แก่ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย อ่อนล้า

- ภาวะเบาหวานที่มีเลือดเป็นกรดเนื่องจากสารคีโตน (Diabetic ketoacidosis) มักจะเกิดกับคนไข้เบาหวานที่มีการควบคุมระดับน้ำตาลไม่ดีและผู้ที่มีปริมาณอินซูลินที่ต่ำหรือขาดอินซูลิน ส่วนใหญ่พบได้ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 โดยสารคีโตนเกิดขึ้นเนื่องจากการ

ขาดอินซูลินทำให้ร่างกายไม่สามารถใช้น้ำตาลได้ และร่างกายมีการสร้างพลังงานมาจากการเผาผลาญของไขมัน ผลพลอยได้จากการเผาผลาญไขมันโดยไม่มีคาร์โบไฮเดรตคือสารคีโตนซึ่งสร้างขึ้นที่ตับซึ่งก่อให้เกิดอาการโคม่าและเสียชีวิตได้

- ภาวะเบาหวานที่ไม่มีสารคีโตน (Hyperosmolar nonketotic syndrome) มักจะเกิดกับผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีระดับน้ำตาลสูงเป็นระยะเวลานาน กรณีนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดอาการเมื่อเจ็บป่วย มีภาวะเครียด และสูงอายุ โดยกลุ่มอาการของโรคนี้มีผลทำให้เกิดภาวะขาดน้ำอย่างรุนแรงเนื่องมาจากน้ำตาลในเลือดสูง และมีการปัสสาวะบ่อย

1.4.1.2 ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Hypoglycemia) สามารถเกิดขึ้นได้จากการมีอินซูลินมากเกินไป ยาเบาหวานที่ทาน การบริโภคคาร์โบไฮเดรตต่ำ หรือออกกำลังกายมากจนเกินไป

1.4.2 ภาวะแทรกซ้อนเรื้อรัง (Chronic complications)

1.4.2.1 ภาวะแทรกซ้อนต่อหลอดเลือดระดับมหภาค (Macrovascular complications)

โรคเบาหวานเพิ่มความเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular disease; CVD) ซึ่งมีกลไกเกิดจากการแข็งตัวของหลอดเลือดแดง (Atherosclerosis) ส่งผลให้เกิดการอักเสบเรื้อรังและเกิดการบาดเจ็บของผนังหลอดเลือดแดงส่วนปลายและหลอดเลือดหัวใจ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 มักจะเกิดร่วมกับภาวะเมตาบอลิกซินโดรม (Metaboic syndrome) ซึ่งยังรวมถึงโรคอ้วน ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง และการแข็งตัวของหลอดเลือดที่เพิ่มขึ้น ปัจจัยอื่น ๆ เหล่านี้ยังสามารถทำให้เพิ่มอัตราการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง โรคหลอดเลือดแดงส่วนปลายตีบ และเสียชีวิตได้

1.4.2.2 ภาวะแทรกซ้อนต่อหลอดเลือดระดับจุลภาค (Microvascular complications)

ในระยะยาวของภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานที่มีต่อหลอดเลือดระดับจุลภาคก่อให้เกิดภาระด้านสุขภาพที่สำคัญ ที่มีผลกระทบทั้งด้านการเจ็บป่วยและการตายในผู้ป่วยโรคเบาหวาน ภาวะแทรกซ้อนที่พบได้แก่

- โรคปลายประสาทอักเสบในเบาหวาน (Diabetic neuropathy) เป็นอาการหรือสัญญาณของการสูญเสียหน้าที่การทำงานของระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nerve dysfunction) ปัจจัยเสี่ยงของการเป็นโรคปลายประสาทอักเสบในเบาหวานขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาของการมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงและลักษณะพันธุกรรมของแต่ละบุคคล กลไกของการเกิดการบาดเจ็บของระบบประสาทส่วนปลายเนื่องมาจากการสะสมสารโพลีออล (Polyol) การบาดเจ็บจากภาวะน้ำตาลสะสม (Advanced glycosylated end products; AGEs) และภาวะออกซิเดทีฟ

สเตรส (Oxidative stress) เป็นต้น โดยมีอาการที่ปรากฏหลากหลาย เช่น การรับความรู้สึกของเท้าลดลง มือชา เท้าชา เกิดแผลที่เท้า เป็นต้น

- ภาวะเบาหวานขึ้นจอตา (Diabetic retinopathy) พบได้บ่อยในผู้ป่วยโรคเบาหวาน ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดภาวะเบาหวานขึ้นจอตา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความรุนแรงของระดับน้ำตาลในเลือด กลไกของการเกิดภาวะเบาหวานขึ้นตา ได้แก่ การมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงมาก ภาวะน้ำตาลสะสม ภาวะออกซิเดทีฟ สเตรส (Oxidative stress) มีเอนโดทีเลียล โกรท แฟคเตอร์ (Endothelial growth factor; VEGF) สูงขึ้น เป็นต้น อาการที่ปรากฏ ได้แก่ การมีจุดเลือดออกเล็กๆ ในชั้นกลางของจอประสาทตา จอประสาทตาบวม (Retinal edema) เป็นต้น

- โรคไตจากเบาหวาน (Diabetic nephropathy) ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดภาวะโรคไตจากเบาหวาน เกิดจากภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูงเกิดการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมของน้ำตาลกลูโคส ความดันโลหิตสูง พันธุกรรม เป็นต้น อาการที่ปรากฏ ได้แก่ มีโปรตีนในปัสสาวะหรือไมโครอัลบูลมินในปัสสาวะ ภาวะไตเสื่อม และเป็นโรคไตเรื้อรัง เป็นต้น

1.5 การรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (American Diabetes Association, 2014, 2015)

โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่สามารถดูแลและรักษาได้ ดังนี้

1.5.1 การให้ความรู้ (Education) การให้ความรู้จะช่วยให้ผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน ผู้ดูแลผู้ป่วยเบาหวานและผู้ที่มีภาวะเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน มีความรู้และเข้าใจต่อโรคเบาหวาน รวมถึงวิธีการรักษาและดูแลตัวเอง เพื่อสามารถเริ่มต้นการจัดการตนเองที่มีประสิทธิภาพและรับมือโรคเบาหวานได้ วัตถุประสงค์ของการให้ความรู้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจทราบพฤติกรรมการดูแลตนเอง การแก้ปัญหาและการกระตุ้นจากการทำงานร่วมกับทีมงานของการดูแลสุขภาพเพื่อลดภาวะแทรกซ้อนและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

ผู้ให้ความรู้โรคเบาหวานและสร้างทักษะเพื่อการดูแลตนเอง ได้แก่ แพทย์ พยาบาล เป็นต้น เป็นผู้ที่ต้องมีความรู้ความเข้าใจโรคเบาหวาน สามารถถ่ายทอดความรู้ให้ผู้ป่วยเบาหวาน

1.5.2 โภชนบำบัด (Nutrition therapy) เป็นการจัดการในเรื่องของการบริโภคอาหารและการลดน้ำหนัก การวางแผนการบริโภคอาหารประเภทแป้งและการลดน้ำหนักโดยมีการควบคุมปริมาณและเวลาที่บริโภคสามารถช่วยลดปริมาณน้ำตาลในเลือดได้ โดยผู้ที่เป็นเบาหวานหรือเริ่มเป็นเบาหวานควรควบคุมการรับประทานอาหารที่มีความเหมาะสมแต่ละบุคคลเพราะการควบคุมการบริโภคอาหารในผู้ป่วยโรคเบาหวานช่วยทำให้ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมลดลงและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากการรักษา ได้แก่

1.5.2.1 การควบคุมน้ำหนักในผู้ที่เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 ในวัยผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักเกินหรือเป็นโรคอ้วน หรือมีความเสี่ยงต่อการเป็นเบาหวานควรลดปริมาณการทานแต่ยังคงรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพเพื่อเป็นการลดน้ำหนัก

1.5.2.2 การบริโภคอาหารควรมีความเหมาะสมกับเป้าหมายที่วางไว้และมีความเหมาะสมแต่ละบุคคล ควรควบคุมการบริโภคคาร์โบไฮเดรตเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการควบคุมระดับน้ำตาล แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สามารถรับประทานได้ เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืช หรือพืชตระกูลถั่ว ผู้ที่มีภาวะน้ำตาลในเลือดสูงควรหลีกเลี่ยงการดื่มน้ำหวาน

1.5.3 กิจกรรมทางกาย (Physical activity) การมีกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกายเป็นประจำสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ โดยมีข้อแนะนำดังนี้

1.5.3.1 โรคเบาหวานในเด็กหรือมีภาวะก่อนเป็นโรคเบาหวาน ควรให้มีกิจกรรมทางกายอย่างน้อย 90 นาทีต่อวัน

1.5.3.2 ผู้ใหญ่ที่เป็นโรคเบาหวาน ควรมีกิจกรรมทางกายแบบแอโรบิก อย่างน้อย 150 นาทีต่อสัปดาห์ ที่ความหนัก 50-70 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์

1.5.3.3 ลดพฤติกรรมการอยู่เฉยๆ หรือนั่งอยู่กับที่นานเกิน 90 นาทีต่อครั้ง

1.5.3.4 ผู้ใหญ่ที่เป็นโรคเบาหวานและไม่มีข้อห้ามของการออกกำลังกาย ควรออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง

การออกกำลังกายเป็นส่วนสำคัญของการวางแผนการจัดการโรคเบาหวาน การออกกำลังกายเป็นประจำทำให้มีการปรับปรุงการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดปัจจัยเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือด น้ำหนักลดลงและทำให้มีชีวิตที่ดีขึ้น นอกจากนั้นการออกกำลังกายเป็นประจำช่วยป้องกันบุคคลที่มีความเสี่ยงสูงไม่ให้เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้

2. การทำงานของหลอดเลือด

2.1 เซลล์บุผนังหลอดเลือด (ศุภชัย ไชยธีระพันธุ์ & สมชาย เอี่ยมอ่อง, 2540)

เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหรือเอนโดทีเลียมเซลล์ (Endothelium cell) คือเซลล์ที่อยู่บริเวณชั้นในสุดของหลอดเลือด เป็นตัวกั้นการไหลเวียนของเลือดและเนื้อเยื่อ มีรูปร่างคล้ายภูเขา มีความหนา 0.2-0.4 μm มีลักษณะเป็นเซลล์ชั้นเดียวเรียงต่อกันเป็นแถว (Monolayer) อยู่บนเยื่อหุ้ม (Basement membrane) ด้านบนของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ในสภาวะปกติเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจะไม่มีการแบ่งตัว แต่จะสามารถแบ่งตัวเพื่อทดแทนเซลล์ที่หมดอายุหรือหลุดลอกออกไปได้ เซลล์ที่แบ่งตัวทดแทนจะเกิดจากการแบ่งตัวของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดข้างเคียง และเซลล์ชนิดอื่นๆ เช่น ไฟโบรบลาสต์ (Fibroblast), เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle cell) และ เซลล์เม็ดเลือดในระบบไหลเวียน (Circulating blood cell) เป็นต้น

หน้าที่การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (Michiels, 2003)

1. ช่วยในการควบคุมการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction and Vasodilation) โดยทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเกล็ดเลือด เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ เม็ดเลือดขาวโมโนไซต์ และแมคโครฟาจ เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจะรักษาสมดุลโดยการควบคุมการสร้างสารกระตุ้นการหดตัวของหลอดเลือด ได้แก่ สารก่อการแข็งตัวของหลอดเลือด (Pro-thombotic) สารก่อการอักเสบ(Pro-inflammatory) สารก่อการแข็งตัวของหลอดเลือด (Pro-atherogenic) อาทิเช่น ซีเลคติน (Selectins), อินเตอร์เซลลูลาร์ แอ็ดฮีชั่น โมเลกุล วัน (Intercellular adhesion molecule-1; ICAM-1), วาสคูลาร์ เซลล์ แอ็ดฮีชั่น โมเลกุล วัน (Vascular cell adhesion molecule-1; VCAM-1), อินเตอร์ลูคิน เอ็ท (Interleukin-8; IL-8), โมโนไซต์ เคโมเอ็ทแทรกแตนท์โปรตีน วัน (Monocyte chemoattractant protein-1; MCP-1), เพลทเล็ท แอคติเวตติ้ง แฟคเตอร์ (Platelet-activating factor; PAF), เอ็นโดทีลิน วัน (Endothelin-1; ET-1), แองจิโอเท็นซิน ทู (AngiotensinII;AngII), ทรอมบิน แอคทิเวทเทเบิล ไฟบริโนไลซิส อินฮิบิเตอร์(Thrombin-activatable fibrinolysis inhibitor; TAFI), พลาสมิโนเจน เอคติเวทเตอร์ อินฮิบิเตอร์ วัน (Plasminogen activator inhibitor-1; PAI-1), วาสคูลาร์ เอ็โดทีเลียล แฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF) ให้มีปริมาณที่พอเหมาะกับสารที่กระตุ้นการคลายตัวของหลอดเลือด ได้แก่ สารต้านการอักเสบ (Anti-inflammatory), สารต้านการแข็งตัวของเลือด (Anti-thombotic), สารต้านการแข็งตัวของหลอดเลือด (Anti-atherogenic) อาทิเช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO), พลอสตาไซคลิน (Prostacyclin;PGI_2), เอ็นโดทีเลียมดีรีฟไฮเปอร์โพลาร์ไรซ์ซิ่ง (Endothelium-derived hyperpolarizing factor; EDHF), ทรอมโบโมดูลิน (Thrombomodulin) เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมความดันโลหิตด้วย

2. ควบคุมกระบวนการแข็งตัวของเลือด เป็นกระบวนการละลายเลือดที่แข็งตัวหรือลิ่มเลือด ทำให้เลือดคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือด (Thrombosis and fibrinolysis)

3. ทำหน้าที่เป็นตัวกั้น (Barrier) ระหว่างเลือดกับเซลล์ เป็นตัวเลือกผ่านระหว่างโพรงของหลอดเลือดกับบริเวณรอบๆ เนื้อเยื่อ ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆระหว่างเซลล์และเลือด และการขนส่งเม็ดเลือดขาวเข้าและออกกระแสเลือด ควบคุมสมดุลของสารอิเล็คโทรไลต์ (Electrolyte) ทั้งภายในและภายนอกหลอดเลือด โดยควบคุมการขนส่งน้ำและสารละลายต่างๆ

4. เป็นเซลล์เป้าหมาย (Target cells) สำหรับการตอบสนองของฮอร์โมนต่างๆ

5. การสร้างหลอดเลือดใหม่ (Angiogenesis) ในผู้ใหญ่การสร้างหลอดเลือดใหม่มีอัตราที่น้อยซึ่งจะเกิดขึ้นในการรักษาบาดแผล

6. การต้านการอักเสบในหลอดเลือด (Inflammation) เซลล์บุผนังหลอดเลือดทำงานร่วมกับเซลล์อักเสบ (Inflammatory cells) ตรงบริเวณเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บหรือติดเชื้อ ซึ่งจะผลิตและปล่อยสารไซโตไคน์ (Cytocines) และโกรท แฟคเตอร์ (Growth factors) เพื่อช่วยในการต้านการอักเสบ

7. ช่วยในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system)

8. ช่วยควบคุมการไหลของเลือดในเนื้อเยื่อ

สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหลอดเลือด

1. ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) (Mah & Bruno, 2012; Sena, Pereira, & Seica, 2013)

ไนตริกออกไซด์มีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมดุลของหลอดเลือด (Vascular homeostasis) โดยเป็นตัวที่ทำให้หลอดเลือดขยายตัว ช่วยในการป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือด (Antiatherogenic) และคราบ (Plaque) ให้มีคุณสมบัติที่เสถียร เช่น ควบคุมความตึงตัวของหลอดเลือด ความตึงตัวของผนังหลอดเลือด ช่วยลดการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของเซลล์ ลดเม็ดเลือดขาวและยึดเกาะของเกล็ดเลือด ลดการอุดตันของหลอดเลือดและช่วยละลายลิ่มเลือด ไนตริกออกไซด์สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและไขมัน จึงกระจายอยู่ทั้งในไซโทพลาสซึมและเมมเบรน ไนตริกออกไซด์ที่อยู่ภายนอกเซลล์จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำทำให้อยู่ในรูปของไนไตรทและไนเตรท ในสิ่งมีชีวิตไนตริกออกไซด์สังเคราะห์ได้จากแอล-อาร์จีนีน (L-arginine) โดยมีเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ซินเทส (Nitric oxide synthase; NOS) (โอภา วัชระคุปต์, 2550) โดยส่วนใหญ่ไนตริกออกไซด์ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์บุผนังหลอดเลือดเนื่องมาจากแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ที่เกิดจากการไหลเวียนของเลือดหรือตัวรับสาร เช่น อซิติลโคลีน (Acetylcholine) เบรดีไคนิน (Bradykinin) หรือซีโรโทนิน (Serotonin) ครึ่งชีวิตของไนตริกออกไซด์นั้นสั้นมาก (น้อยกว่า 4 วินาที) ซึ่งจะถูกเผาผลาญเป็นไนไตรท์และไนเตรตก่อนที่จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ

เอ็นโดทีเลียล ไนตริกออกไซด์ ซินเทส (Endothelial NO synthase; eNOS) พบในเซลล์บุผนังหลอดเลือดซึ่งผลิตไนตริกออกไซด์โดยการออกซิเดชัน (Oxidation) แอล อาร์จีนีน (L-Arginine) เป็นแอลซิทรูลีน (L-citrulline) ไนตริกออกไซด์ซินเทรส เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ (Guzik et al., 2002) ไนตริกออกไซด์ มี 3 รูปแบบ ได้แก่ เบรนนอส หรือ นิรอนนอส (Brain NOS หรือ Neuronal NOS; bNOS, nNOS, NOS I) พบมากที่สมอง และกล้ามเนื้อลาย และยังพบในระบบประสาทส่วนปลาย แมคโครฟาจ นอส (Macrophage NOS หรือInducible; iNOS, NOS II) พบในแม็คโครฟาจ ในหลอดเลือด กล้ามเนื้อเรียบ และเอ็นโดทีเลียม นอส (Endothelial NOS; eNOS, NOS III) พบในเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด อาจพบบ้างในเกล็ดเลือด เม็ดเลือดขาว นิวโทรฟิลล์ สมองส่วนฮิปโปแคมปัส และเซลล์ท่อไต และพบว่าแรงเค้นในหลอดเลือด (Shear stress) จะเป็นตัวกระตุ้น

ทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้หลอดเลือดขยาย ลดการเกาะกลุ่มของเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด

2. สารอนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่วงนอกของอะตอมหรือโมเลกุล จึงมีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยา โดยรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ ใกล้เคียงให้ตนเองเสถียรขึ้น ในขณะเดียวกันก็นำให้สารที่ให้อิเล็กตรอนนั้นมีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่จนอาจกลายเป็นสารที่มีความรุนแรง ซึ่งถ้าเกิดขึ้นในระบบสิ่งมีชีวิต อาจทำอันตรายกับส่วนประกอบสำคัญของเซลล์รอบๆ บริเวณนั้น ทำให้สารชีวโมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเสียหน้าที่การทำงาน อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในร่างกายที่เป็นสารตั้งต้นทำให้เกิดอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้ทั้งหมด 3 แบบ คือ กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (Reactive oxygen species, ROS) กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive nitrogen species, RNS) และกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive chlorine species, RCS) สารบางชนิดสามารถจัดอยู่ได้ 2 กลุ่ม เช่น เพอรอกซีไนไตรท (Peroxynitrite)

อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดโรค ทั้งเป็นต้นเหตุของการเกิดโรค และเป็นปัจจัยทำให้โรคมีพัฒนาการอย่างรวดเร็วและมีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อมและความบกพร่องของเซลล์ประสาท ภาวการณ์ขาดเลือดของหัวใจและสมอง และอนุมูลอิสระยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบ เนื่องจากอนุมูลอิสระมีความไวสูงไม่คงตัวเพราะมีอิเล็กตรอนเดี่ยว จึงพยายามหาอิเล็กตรอนมาจับคู่เพื่อให้เกิดความคงตัว ซึ่งเป้าหมายแรกที่อนุมูลอิสระทำให้เกิดความเสียหายและเป็นสาเหตุของการเกิดโรค คือ สารชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกายที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์ ได้แก่ ไขมันเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ รีเซพเตอร์ สารสื่อประสาทและดีเอ็นเอ (โอภา วัชระคุปต์, 2550)

3. เอนโดทีลิน (Endothelin)

เป็นเปปไทด์ชนิดหนึ่งที่เซลล์เยื่อบุหลอดเลือดสร้างขึ้น มีผลทำให้ทำให้หลอดเลือดหดตัวซึ่งมีการจับกับอีทีเอ รีเซ็ปเตอร์ (ET_A receptor) ที่บริเวณเซลล์กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือด การหลั่งเอนโดทีลินเพิ่มมากขึ้นจะพบได้ในโรคต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดแดงแข็ง ภาวะหัวใจล้มเหลวชนิดมีเลือดคั่งและไตล้มเหลว

4. พรอสตาไซคลิน (Prostacyclin)

สร้างมาจากเซลล์เยื่อบุหลอดเลือด สารตั้งต้น คือ กรดอะแรคคิโดนิก และเอนไซม์ไซโคลออกซิเจเนส พรอสตาไซคลินมีผลทำให้หลอดเลือดขยายตัว โดยจับกับไอพี รีเซ็ปเตอร์ (IP receptor) ที่กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือด ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นเอนไซม์อะดีนีเลตไซเครส และเพิ่มไซคลิกเอเอ็มพี ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดเกิดการขยายตัว

5. แบรดิไคนิน (Bradykinin)

จะออกฤทธิ์จับกับบีทู รีเซ็ปเตอร์ (B_2 receptor) ที่เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ทำให้เกิดการกระตุ้นการหลั่งของไนตริกออกไซด์และพรอสตาไซคริน ทำให้หลอดเลือดแดงขยายตัว

2.2 โรคเบาหวานและการสูญเสียหน้าที่การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (Malakul, 2011)

การสูญเสียหน้าที่การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือดคือ การผลิตหรือความสามารถของไนตริกออกไซด์ลดลง หรือการไม่สมดุลกันระหว่างสารที่ทำให้หลอดเลือดขยายตัวกับสารที่ทำให้หลอดเลือดหดตัว ซึ่งหลอดเลือดแดงจะประกอบด้วยผนัง 3 ชั้น ซึ่งผนังชั้นใน (Intima) ของหลอดเลือดจะประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวกันแบบชั้นเดียวบุภายในหลอดเลือด ซึ่งก็คือเยื่อบุผนังหลอดเลือด โดยกั้นระหว่างเลือดและเซลล์กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อ และมีหน้าที่สำคัญในควบคุมการไหลเวียนเลือดเฉพาะที่ โดยสังเคราะห์และหลั่งสารหลายชนิด แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มเอนโดทีเลียม-ดีไรว์ คอนแทรค ทิง แฟคเตอร์ (Endothelium-derived contracting factor; EDCF) เช่น เอนโดทีลิน (Endothelin; ET-1) และ พรอสตาแกลนดิน (Prostaglandins) ซึ่งออกฤทธิ์ให้หลอดเลือดหดตัว และ 2) สารกลุ่มเอนโดทีเลียม-ดีไรว์ รีแร็กซิง แฟคเตอร์ (Endothelium-derived relaxing factor; EDRF) เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO), พรอสตาไซคลิน (Prostacyclin) ซึ่งออกฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ต้านการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด และต้านการอักเสบ และ 3) สารกลุ่มเอนโดทีเลียม-ดีไรว์ ไฮเปอร์โพลาไรซิง แฟคเตอร์ (endothelium-derived hyperpolarizing factor; EDHF) ซึ่งออกฤทธิ์ขยายหลอดเลือด (Cooke, 2000; Widlansky, Gokce, Keaney, & Vita, 2003)

ในภาวะเบาหวานเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการสูญเสียหน้าที่การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือด โดยในช่วง 5 ปีแรกของการเป็นโรคจะทำให้เกิดโรคหลอดเลือดขนาดเล็กแทรกซ้อน (Micovascular complications) ซึ่งพบว่า ชั้นเนื้อเยื่อ (Basement membrane) ของเซลล์บุผนังหลอดเลือดจะหนาตัวขึ้นและมีการ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างซึ่งเป็นผลจากการทำงานของทรานสฟอร์มมิง โกรทแฟคเตอร์ บีต้า (Transforming growth factor be ta; TGF-β) เป็นผลให้เกิดความผิดปกติของหลอดเลือด เช่น มีการเกาะของเม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือดที่บริเวณผิวของเซลล์บุผนังหลอดเลือดและมีการลดการทำงานของสารไนตริกออกไซด์ (NO) นอกจากนี้ยังทำให้สารที่มีโมเลกุลใหญ่ต่างๆ เช่น อัลบูมิน (Albumin) และไลโปโปรตีน (Lipoprotein) สามารถเคลื่อนผ่านเซลล์บุผนังหลอดเลือดมาสะสมในหลอดเลือดจนก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดแข็งได้ (Bakker, Eringa, Sipkema, & van Hinsbergh, 2009) ความผิดปกติของแรงตึงตัวของหลอดเลือด ลักษณะสำคัญของความผิดปกติของเซลล์บุผนังหลอดเลือดนั่นคือการที่หลอดเลือดแดงหดตัวมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการจำกัดการขนส่งสารอาหารหรือฮอร์โมนทางกระแสเลือดไปยังอวัยวะต่างๆ ซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการขาดสมดุลการสร้างสารกลุ่มเอนโดทีเลียม-ดีไรว์ คอนแทรคทิง แฟคเตอร์ (EDCF) และสารกลุ่มเอนโดทีเลียม-ดีไรว์ รีแร็กซิง แฟคเตอร์ (EDRF) โดยลดการหลั่งสารที่มีฤทธิ์

ขยายหลอดเลือด ในภาวะเบาหวานสารอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นจะทำปฏิกิริยากับสารไนตริกออกไซด์ (NO) จนเกิดสารอนุมูลอิสระที่ เรียกว่า เพอรอกซีไนไตรท (Peroxynitrite) ซึ่งถือเป็นสารอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงกว่าเดิมทำให้การทำงานของสาร ไนตริกออกไซด์ (NO) ลดลง นอกจากนี้ ในภาวะเบาหวานเซลล์บุผนังหลอดเลือดจะหลั่งสารที่ออกฤทธิ์ให้หลอดเลือดหดตัว เช่น เอนโดทีลิน (Endothelin) ออกมาเพิ่มขึ้น ซึ่งผลโดยรวมจะทำให้หลอดเลือดตีบ เกิดการหดเกร็งของหลอดเลือด (Vasospasm) และเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness)

2.3 การประเมินหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด (Naghavi, 2010; Regensteiner, Reusch, Stewart, & Veves, 2009)

หลอดเลือดระดับระดับมหภาคและจุลภาค (Micro- and Macro-vascular) มีหลักการประเมินการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคได้ทั้งแบบการตรวจภายนอกร่างกาย (Non-invasive) และภายในร่างกาย (Invasive) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคซึ่งเป็นการตรวจแบบภายนอกร่างกาย โดยมีการประเมินการทำงานของหลอดเลือดได้ ดังนี้

2.3.1 หลอดเลือดแดงระดับมหภาค

หลอดเลือดแดงระดับมหภาค (Macrovascular) คือ ส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียนเลือดที่เป็นหลอดเลือดขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในมากกว่า 100 ไมครอน เช่น หลอดเลือดแดงใหญ่ (Arteries) หน้าที่ของหลอดเลือดแดงใหญ่คือการกระจายการไหลของเลือดจากหัวใจไปอวัยวะต่างๆ ภายใต้ความดันสูง ภาวะแทรกซ้อนต่อหลอดเลือดระดับมหภาค ได้แก่ โรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary artery disease) โรคหลอดเลือดแดงส่วนปลายตีบ (Peripheral arterial disease) และโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) เป็นต้น

วิธีการประเมินการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค

วิธีการตรวจวัดสำหรับการประเมินหลอดเลือดระดับมหภาคที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การประเมินการตอบสนองของหลอดเลือด (Vascular reactivity) ในระบบการไหลเวียนเลือดระดับใหญ่โดยการใช้เครื่องมืออัลตราซาวด์ (Ultrasonography Imaging) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เข้าไปในร่างกาย โดยใช้เทคนิคการวัดบริเวณหลอดเลือดแดงเบรเคียลที่แขน (Brachial artery) เป็นวิธีการที่ใช้บ่อยและสะดวกเพราะการไหลของเลือดที่เกิดจากการขยายตัวของหลอดเลือด (Flow-mediate vasodilation; FMD) เกิดขึ้นได้ง่ายตรงบริเวณดังกล่าว โดยมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกระบวนการตอบสนองของหลอดเลือดในผู้ที่ถูกวัด เช่น อุณหภูมิ อาหาร ยา การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก และการมีประจำเดือน ดังนั้นผู้ที่ถูกวัดควรอดอาหารก่อนอย่างน้อย 8-12 ชั่วโมงก่อนการศึกษา ควรทำในห้องที่เงียบและมีการควบคุมอุณหภูมิ และให้ผู้ถูกวัดอยู่ในท่านอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวัดในช่วงแรก (Baseline) จะมีการบันทึกภาพ ตามมาด้วยการสกัดกั้นการไหลของเลือด (Occlusion) บริเวณหลอดเลือดแดงเบรเคียลที่แขนโดยใช้ที่รัดแขนอยู่เหนือข้อศอกหรือใต้ข้อศอก โดยบีบความดันเหนือความดันโลหิตมากกว่า 50 มิลลิเมตรปรอทจากความดันโลหิตที่วัดได้ เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นปล่อยลมออกซึ่งทำให้เพิ่มการไหลของเลือดบริเวณหลอดเลือดแดงเบรเคียลที่แขน เนื่องมาจากการขาดออกซิเจนจึงเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของเลือดที่มากขึ้น (Reactive hyperemia) เป็นผลให้เพิ่มการเกิดแรงเค้นเฉือนส่งผลให้หลอดเลือดขยายตัว การวัดภาพทำได้ก่อนการปล่อยลมไปจนถึงหลังปล่อยลม 1 นาที การไหลของเลือดที่เกิดจากการขยายตัวของหลอดเลือดคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดระหว่างหลังการกระตุ้นและช่วงระยะแรก

2.3.2 หลอดเลือดระดับจุลภาค

หลอดเลือดระดับจุลภาค (Microvascular) คือ ส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียนเลือดที่ประกอบไปด้วยหลอดเลือดขนาดเล็ก ได้แก่ หลอดเลือดดำเล็ก (Venules) หลอดเลือดแดงเล็ก (Arterioles) และหลอดเลือดฝอย (Capillaries) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 30 ไมครอน หน้าที่ของหลอดเลือดขนาดเล็กคือการควบคุมการไหลเวียนของเลือดโดยการตอบสนองต่อความต้านทานของความต้องการเฉพาะที่

ภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานเป็นภาวะแทรกซ้อนที่เกิดกับหลอดเลือดระดับจุลภาค (Microvascular complication) (เนื่องจากความเสียหายกับเส้นเลือดเล็ก) ภาวะแทรกซ้อนต่อหลอดเลือดระดับจุลภาค ได้แก่ ความเสียหายต่อตาหรือจอประสาทตา (Retinopathy) ที่นำไปสู่ตาบอด โรคไต (Nephropathy) ที่นำไปสู่ความล้มเหลวในการทำงานของไตและโรคทางระบบประสาท (Neuropathy) ที่นำไปสู่ความอ่อนแอและความผิดปกติของโรคเบาหวานที่เท้า (ซึ่งรวมถึงการติดเชื้อรุนแรงที่นำไปสู่การตัดแขนขา)

วิธีการประเมินการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค

โดยปกติแล้ววิธีที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักจะประเมินการไหลของเลือดระดับจุลภาคในผิวหนัง มีหลายวิธีได้แก่

1. การวัดด้วยเลเซอร์ดอปเลอร์ (Laser doppler Flowmetry) หลักการทำงานของเครื่องเลเซอร์ดอปเลอร์จะใช้แสงเลเซอร์สีแดงซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแสงที่รู้สึกได้โดยผ่านโพรบ (Probe) ซึ่งเป็นการวัดการไหลของเลือดในระดับตื้นๆ การวัดด้วยเลเซอร์ ดอปเลอร์มีการใช้โพรบเลเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ ซิงเกิลพอยท์เลเซอร์โพรบ (Single-point laser probes) และ เรียลไทม์เลเซอร์สแกนเนอร์ (Real-time laser scanners) ข้อจำกัดของการใช้ซิงเกิลพอยท์เลเซอร์โพรบคือการที่ผิวหนังมีการไหลของเลือดที่ไม่เป็นลักษณะเดียวกันที่ตอบสนองอยู่บริเวณพื้นผิว ในส่วนของเรียลไทม์

เลเซอร์สแกนเนอร์สามารถที่จะข้ามผ่านข้อจำกัดนี้ได้โดยการประเมินพื้นที่ทั้งหมดของผิวหนังมากกว่าจุดเดียว โดยมีขั้นตอนภาพของการไหลของเลือดโดยการลำดับของการสแกนพื้นที่ของผิวหนังด้วยแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน ขนาด 1 มิลลิวัตต์ ความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร การไหลของเลือดในผิวหนังจะถูกบันทึกโดยการสแกนเนอร์และออกมาเป็นหน่วยโวลท์

2. การวัดด้วยไอออนโตโฟเรซิส (Iontophoresis) เป็นเทคนิคการประยุกต์ใช้เพื่อวัดสารที่เกี่ยวข้องกับการหดและขยายตัวของหลอดเลือดที่บริเวณเฉพาะที่ของผิวหนัง วิธีการจะใช้อุปกรณ์ติดกับผิวหนังที่มีการติดกาว อุปกรณ์นี้จะประกอบด้วย 2 ช่อง โดยมีซิงเกิลพอยท์เลเซอร์โพรบ 2 โพรบ ในช่องหนึ่งของไอออนโตโฟเรซิสจะบรรจุอซิติลโคลีน (Acetylcholine) ที่มีความเข้มข้น 1 % หรือ โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside; SNP) ที่มีความเข้มข้น 1% และมีการปล่อยกระแสไฟให้คงที่ 200 มิลลิแอมแปร์เป็นเวลา 60 วินาที ขนาดที่ได้รับเท่ากับ 6 mc/cm^2 และอิเล็กโทรดอันที่สองติดใกล้ๆ ช่องประมาณ 10-15 เซนติเมตร การเคลื่อนไหวของสารละลายโดยไอออนโตโฟเรซิสผ่านผิวหนังเป็นผลทำให้หลอดเลือดขยายตัว ช่วงปกติ (Baseline) จะมีการสแกนไว้ ตามมาด้วยการทำไอออนโตโฟเรซิส และจะสแกนเป็นครั้งที่สอง ความแตกต่างของการไหลของเลือดระหว่างสองครั้งของการสแกนแสดงให้เห็นว่าเป็นการเพิ่มของอัตราการไหลของเลือด

2.4 การตอบสนองของหลอดเลือดที่มีต่อความร้อนและความเย็น

2.4.1 การตอบสนองของหลอดเลือดที่มีต่อความร้อน ความร้อนสามารถมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด โดยการแช่ในน้ำอุ่นทำให้อุณหภูมิของผิวหนังสูงขึ้น และเพิ่มการไหลเวียนเลือด ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดเฉพาะที่เนื่องมาจากการลดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic) (Cochrane, 2004) เลือดไหลกลับเข้าสู่หัวใจเพิ่มขึ้น และอัตราการเต้นของหัวใจลดลง ส่งผลให้เลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งนาทีเพิ่มขึ้น หลอดเลือดส่วนปลายขยายตัว ลดความต้านทานการไหลของเลือด ซึ่งทำให้เพิ่มการไหลเวียนของเลือด และทำให้เกิดเหงื่อรวมถึงการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น (Arborelius et al., 1972) นอกจากนั้นยังพบว่าการรักษาด้วยความร้อนที่ปกติโดยการซาวน่า อาบน้ำร้อน มีศักยภาพในการปรับปรุงความไวของอินซูลินที่บกพร่อง และเพิ่มการแสดงออกของเซลล์บุผนังหลอดเลือดที่เป็นส่วนประกอบ "ไอโซฟอร์ม" ของเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ซินเทส ทำให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัวและเพิ่มการไหลเวียนเลือดเลือดได้ดีขึ้น (McCarty et al., 2009) จากการศึกษาของณัฐมนวรกุล และคณะ (Nuttamonwarakul et al., 2014) พบว่าการออกกำลังกายในน้ำอุ่นมีผลทำให้การทำงานของหลอดเลือดดีขึ้น เชื่อว่ากลไกที่ทำให้การทำงานของหลอดเลือดมีการเปลี่ยนแปลงดีขึ้นเนื่องมาจากการทำงานร่วมกันของการคลายตัวของกล้ามเนื้อและหลอดเลือด การหลั่งสารที่ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด หรือการทำงานของระบบประสาท และอาจเป็นไปได้ว่าการแช่ในน้ำอุ่นในส่วนล่างของร่างกายทำให้มีการปรับปรุงหน้าที่

การทำงานในการหดขยายตัวของหลอดเลือดในระดับจุลภาคดีขึ้น จากงานวิจัยของกรีน และคณะ (Green, Carter, et al., 2010) พบว่า การให้ความร้อนซ้ำๆ ผ่านผิวหนังด้วยการแช่มือในน้ำร้อน 45 องศาเซลเซียสทำให้หลอดเลือดระดับจุลภาคเกิดการปรับตัวเนื่องจากการเพิ่มของแรงเค้นเฉือนและการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของหลอดเลือด (Reactive hyperaemia)

2.4.2 การตอบสนองของหลอดเลือดที่มีต่อความเย็น ความเย็นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด โดยทั่วๆ ไปแล้วการแช่ในน้ำเย็นส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวหนัง และอุณหภูมิของกล้ามเนื้อลดลง การที่อุณหภูมิของเนื้อเยื่อลดลงจะไปกระตุ้นรีเซปเตอร์ที่ผิวหนังทำให้ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic) สั่งการให้หลอดเลือดหดตัว การแช่ในน้ำเย็นจะเกิดการหดตัวของหลอดเลือดในแบบทันที แต่ในระยะยาวจะส่งผลให้หลอดเลือดขยายตัวเนื่องมาจากการปรับตัวให้ชินกับความเย็น มีการเพิ่มการไหลเวียนเลือดที่เกิดจากการปรับอุณหภูมิและเป็นกลไกในการป้องกันการบาดเจ็บที่เกิดจากความเย็น การแช่ในน้ำเย็นส่งผลให้อีพิเนฟริน (Epinephrine) และนอร์อีพิเนฟริน (Norepinephrine) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การที่หลอดเลือดเกิดการขยายตัวขณะที่มีการแช่ในน้ำเย็นเนื่องมาจากการที่หลอดเลือดบริเวณการประสานกันระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขยายตัว (Van der Struijs, Van Es, Raymann, & Daanen, 2008) จากการควบคุมโดยระบบประสาทซิมพาเทติกกับปัจจัยเฉพาะที่ (Keramidas, Musizza, Kounalakis, & Mekjavic, 2010) การที่หลอดเลือดบริเวณการประสานกันระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขยายตัวเนื่องมาจากปฏิกิริยาตอบกลับโดยอัตโนมัติของเส้นประสาทบริเวณแอกซอน (Axon) และการปล่อยสารที่ช่วยการขยายตัวของหลอดเลือด ได้แก่ ไนตริกออกไซด์ และการเกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อเรียบในผนังหลอดเลือด ความล้มเหลวต่อการตอบสนองของหลอดเลือดต่อสารนอร์อีพิเนฟริน (Norepinephrine) หรือการลดลงการปล่อยสารนอร์อีพิเนฟรินจากปลายประสาทอะดรีเนอร์จิคส่งผลทำให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัวได้ (Daanen, 2003; Sendowski et al., 2000)

3. การออกกำลังกาย

3.1 หลักของการออกกำลังกาย

สมาคมเวชศาสตร์การกีฬาของประเทศสหรัฐอเมริกา (American College of Sports Medicine, 2014) ได้แนะนำหลักในการออกกำลังโดยใช้หลักของความถี่ (Frequency) ความหนัก (Intensity) ระยะเวลา (Time) และชนิดของการออกกำลังกาย (Type) ซึ่งหลักของการจะต้องประกอบไปด้วย ดังนี้

องค์ประกอบของการฝึกออกกำลังกายประกอบด้วย

1. การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) ควรทำอย่างน้อย 5-15 นาที ที่ความหนักระดับเบาถึงระดับปานกลางของระบบหัวใจและปอด และกิจกรรมความทนทานของกล้ามเนื้อ การอบอุ่นร่างกายเป็นการช่วยเพิ่มองศาของการเคลื่อนไหวและลดการบาดเจ็บ

2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) ควรทำอย่างน้อย 10 นาที หลังจากมีการอบอุ่นร่างกายและการผ่อนคลาย

3. การฝึกออกกำลังกาย อย่างน้อย 20-60 นาที ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน หรือกีฬา

4. การผ่อนคลาย (Cool down) อย่างน้อย 5-10 นาที จะให้ประโยชน์ในการช่วยกำจัดของเสียที่มาจากขบวนการเผาผลาญออกจากกล้ามเนื้อ

3.2 การออกกำลังกายสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2

ชนิดของการออกกำลังกาย (Type) เป็นการใช้แรงต้านในการทำกิจกรรม โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสม ซึ่งมีหลักปฏิบัติดังต่อไปนี้

ความถี่ (Frequency): 3-7 วัน/สัปดาห์

ความหนัก (Intensity): 40% - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (Heart rate reserve; HRR) หรือระดับของความเหนื่อย (Respiratory protective equipment; RPE) ที่ระดับ 11-13 การที่จะควบคุมระดับน้ำตาลได้ดีควรออกกำลังการที่ความหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 60% ของ HRR ดังนั้นควรที่จะออกกำลังกายเป็นประจำและควรพิจารณาเพิ่มระดับของความหนักในการออกกำลังกาย

ระยะเวลา (Time): ผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ควรจะออกกำลังกายอย่างน้อย 150 นาที/สัปดาห์ ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ระดับความหนักปานกลางหรือทำเป็นช่วงๆ อย่างน้อยช่วงละ 10 นาที การออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางที่ระยะเวลา 150 นาที/สัปดาห์ จะช่วยลดโรคและการเสียชีวิตได้ นอกจากนั้นจะได้ประโยชน์มากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 300 นาที/สัปดาห์ ที่ระดับความหนักปานกลางถึงหนักมาก

ชนิดของการออกกำลังกาย (Type): เป็นการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ที่มีจังหวะและมีความต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ซึ่งก็คือการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั่นเอง

การออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีประโยชน์เพื่อช่วยปรับปรุงในด้านสุขภาพทั้งร่างกายและจิตใจ ป้องกันโรคแทรกซ้อนที่อาจจะเกิดขึ้นกับผู้ป่วยเบาหวานในอนาคต การออกกำลังกายมีบทบาทสำคัญในการป้องกันและควบคุมภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Insulin resistance) ระดับน้ำตาลในเลือด ไขมัน ความดันโลหิต ลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดและหัวใจ และคุณภาพชีวิตดีขึ้นในผู้ป่วยเบาหวาน (Colberg et al., 2010) จากการศึกษาวิจัยของลาโรส และคณะ (Larose et al., 2010) พบว่า การออก

กำลังกายทั้งแบบแอโรบิกและแรงต้านทำให้สุขสมรรถนะดีขึ้น อีกทั้งการออกกำลังกายด้วยการเดินสมาธิในผู้ป่วยโรคเบาหวานช่วยทำให้ลดระดับน้ำตาลในเลือด สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น และการทำงานของหลอดเลือดดีขึ้น (Gainey, Himathongkam, Tanaka, & Suksom, 2016) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับปานกลางส่งผลให้ลดการสูญเสียหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด และระดับเอชดีแอลเพิ่มขึ้น (Zoppini et al., 2006) ผลของการออกกำลังกายเป็นที่ยืนยันว่าช่วยป้องกันการสูญเสียหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดโดยมีการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (Maiorana et al., 2001) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยพบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกช่วยปรับปรุงสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ความไวต่ออินซูลิน (Insulin sensitivity) และทำให้การขยายตัวของหลอดเลือดดีขึ้นในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (De Filippis et al., 2006)

3.3 การออกกำลังกายในที่ร้อนและเย็น

3.3.1 การออกกำลังกายในที่ร้อน (McArdle, Katch, & Katch, 2010; Plowman & Smith, 2011)

การออกกำลังกายในที่ร้อนร่างกายมีกลไกระบบการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายโดยการกำจัดความร้อนส่วนเกินที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อและความร้อนจากสิ่งแวดล้อม โดยทำให้ร่างกายเย็นขึ้นด้วยการระเหยของเหงื่อ อุณหภูมิของร่างกายระหว่างการออกกำลังกายในที่ร้อนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการออกกำลังกายเพราะมีการผลิตความร้อนและกระจายไปทั่วร่างกาย โดยทั่วไปแล้วระบบควบคุมอุณหภูมิมีประสิทธิภาพในการชดเชยสำหรับการเพิ่มขึ้นของการผลิตความร้อนด้วยการเพิ่มการกระจายความร้อนออกไป จึงทำให้อุณหภูมิในร่างกายไม่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดคงที่แต่จะสูงกว่าอุณหภูมิขณะพัก เมื่อร่างกายไม่สามารถกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นขณะออกกำลังกายอุณหภูมิของร่างกายก็จะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของร่างกายขณะออกกำลังกายจะเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20 เท่าของขณะพัก ในสถานการณ์ที่การผลิตความร้อนเพิ่มมากกว่าการกระจายความร้อนออกไป ซึ่งจะทำให้ร่างกายสะสมความร้อนและอุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นจนเกิดภาวะอุณหภูมิสูงผิดปกติ (Hyperthermia) การผลิตความร้อนของกล้ามเนื้อจะถูกขนส่งไปยังแกนกลางของร่างกายและผิวหนังโดยเลือด ความร้อนก็จะถูกขนส่งไปที่ผิวหนังและมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมโดยการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และการระเหย โดยกลไกทางสรีรวิทยาช่วยให้ร่างกายขจัดความร้อนในความพยายามที่จะรักษาสมดุลความร้อนขณะออกกำลังกายด้วยการเพิ่มอัตราการหลั่งเหงื่อและการขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนัง โดยการหลั่งเหงื่อเพื่อให้เย็นนั้นเป็นกลไกแรกของร่างกายเพื่อทำให้ร่างกายเย็นขณะออกกำลังกายใน

อุณหภูมิที่อุ่น ส่วนการขยายตัวของหลอดเลือดเป็นการนำเลือดที่อุ่นให้ไปใกล้บริเวณพื้นผิวของร่างกายเพื่อที่จะกระจายความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม

การปรับระบบไหลเวียนเลือดขณะออกกำลังกายในที่ร้อน ได้แก่

1. กล้ามเนื้อต้องการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดเพื่อตอบสนองความต้องการของการสันดาปพลังงานและผิวหนังต้องการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดการกระจายความร้อนจากแกนกลางของร่างกาย

2. การขยายตัวของหลอดเลือดที่บริเวณผิวหนังทำให้ปริมาณเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจ (Venous return) ลดลง ส่งผลให้ปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งครั้ง (Stroke volume) ลดลงด้วย ดังนั้นปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งนาที (Cardiac output) ลดลงไปด้วย

3. การหลั่งเหงื่อเป็นผลให้ลดปริมาณพลาสมาซึ่งทำให้ไปเพิ่มการลดลงของปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งครั้งและปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งนาที

4. ความดันโลหิตที่เพียงพอสามารถรักษาการกำซาบของเหลวไปอวัยวะที่สำคัญ ได้แก่ สมอง ไต และตับ ความสามารถในการรักษาความดันโลหิตซึ่งขึ้นอยู่กับการขยายตัวของหลอดเลือดและการลดลงของความต้านทานของหลอดเลือดส่วนปลาย

3.3.2 การออกกำลังกายในที่เย็น

การออกกำลังกายในที่เย็นเป็นผลให้หลายสรีรวิทยามีการตอบสนองในการปรับสมดุลอุณหภูมิ โดยมีการเพิ่มการผลิตความร้อนและลดการสูญเสียความร้อนด้วยการหดตัวของหลอดเลือด

การเพิ่มการผลิตความร้อนผ่านกระบวนการ ดังนี้

1. การผลิตความร้อนโดยไม่หนาวสั่น (Nonshivering thermogenesis) มีการเพิ่มการผลิตความร้อนด้วยการหดตัวของกล้ามเนื้อ การไหลเวียนของฮอร์โมนได้แก่ แคทิโคลามีน (Catecholamines) กลูโคคอร์ติคอยด์ (Glucocorticoids) และไทรอกซิน (Thyroxine) ซึ่งฮอร์โมนเหล่านี้จะเพิ่มอัตราการสันดาปพลังงานระหว่างการอยู่ในที่อากาศเย็น

2. การผลิตความร้อนจากการหนาวสั่น (Shivering thermogenesis) การหนาวสั่นสามารถผลิตความร้อน

3. การออกกำลังกาย ความหนักและระยะเวลาของการออกกำลังกายสามารถเพิ่มความร้อนได้ แต่ในทางตรงข้าม อุณหภูมิที่เย็นก็สามารถขจัดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะออกกำลังกายได้

3.4 การออกกำลังกายในน้ำ (Dajpratham, 2006)

การออกกำลังกายในน้ำสามารถใช้คุณสมบัติของน้ำเพื่อทำให้เกิดประโยชน์ในการเพิ่มความแข็งแรงของร่างกายในด้านการสร้างเสริมสุขภาพและการรักษาโรค การออกกำลังกายในน้ำสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การแช่เฉพาะส่วนแขนหรือขา และการแช่ทั้งร่างกายลงในน้ำ

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

น้ำมีคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะตัวหลายอย่าง ได้แก่

1. ความหนืดของน้ำ (Viscosity) ความหนืดของน้ำก่อให้เกิดแรงต้านต่อการเคลื่อนไหวของร่างกายในน้ำ โดยเกิดขึ้นในทิศทางที่ตรงข้ามกับการเคลื่อนไหว ซึ่งขึ้นกับความเร็วของการเคลื่อนไหวและพื้นที่หน้าตัดของร่างกายที่สัมผัสกับน้ำในทิศทางนั้น ยกตัวอย่างเช่น การเดินในน้ำจะเกิดแรงต้านมากกว่าการว่ายน้ำ สำหรับการฝึกความแข็งแรงให้กับผู้ป่วยจากการใช้แรงต้านของน้ำ ซึ่งมีความเหมาะสมและปลอดภัยมากกว่าการออกกำลังกายบนบก การออกกำลังกายในน้ำที่มีแรงต้านมักจะต้องใช้พลังงานมากว่าการออกกำลังกายชนิดเดียวกันเมื่อทำบนบก

2. เป็นตัวกลางในการนำและพาความร้อน (Specific heat and thermal conductivity) น้ำเป็นตัวกลางในการนำและพาความร้อนได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศที่ ซึ่งน้ำพาความร้อนและความเย็นได้เร็วกว่าอากาศ 25 เท่าที่ และสามารถเก็บความร้อนได้ดีกว่าอากาศ 1,000 เท่า น้ำช่วยระบายความร้อนและช่วยให้เหงื่อระเหยได้เร็ว ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายในน้ำจะทำให้ไม่รู้สึกร้อน ถ้าหากน้ำมีอัตราการไหลหรือมีกระแสน้ำวน ก็จะสามารถพาอุณหภูมิของน้ำไปยังส่วนที่แช่อยู่ในน้ำได้เร็วขึ้น

3. แรงดันของน้ำ (Hydrostatic pressure) แรงดันของน้ำจะเกิดขึ้นเท่ากันในทุกทิศทางและเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ความดันของน้ำมีผลทำให้เลือดดำมีการไหลกลับมาสู่หัวใจเพิ่มขึ้น จึงทำให้การไหลเวียนของเลือดดีขึ้น อีกทั้งสามารถช่วยลดอาการบวมบริเวณแขนและขาที่มีสาเหตุมาจากการไหลเวียนของเลือดดำและน้ำเหลืองที่ไม่ดี

4. แรงลอยตัวของน้ำ (Buoyancy) แรงลอยตัวเป็นแรงดันของน้ำที่กระทำต่อวัตถุที่แช่ในน้ำโดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่ออยู่ในน้ำร่างกายของเรามีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงทำให้ไม่จมน้ำ กรณีที่เกิดความเจ็บปวดของกระดูกและข้อต่อ การออกกำลังกายในน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ จะช่วยลดแรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนักตัวได้มากน้อยต่างกัน ทำให้อาการปวดกระดูกและข้อต่อลดลง ทำให้สามารถออกกำลังกายบริเวณกล้ามเนื้อรอบๆ ข้อต่อและกล้ามเนื้อมัดอื่นๆ ให้แข็งแรงขึ้นได้

ผลทางสรีรวิทยา

การตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาต่างๆ เมื่อแช่น้ำหรือออกกำลังกายในน้ำ ดังนี้

1. ระบบหัวใจและระบบไหลเวียนเลือด

1.1 ทำให้เพิ่มการไหลกลับของเลือดเข้าสู่หัวใจและเพิ่มปริมาณของเลือดที่ไหลออกจากหัวใจ เมื่ออยู่ในน้ำระดับคอแรงดันของน้ำภายนอกที่ระดับความลึกของขาจะมากกว่ากว่าบริเวณลำตัว เลือดและน้ำเหลืองจึงไหลกลับมาที่ส่วนกลางมากขึ้น ทำให้ปริมาตรเลือดไหลกลับเข้าสู่หัวใจเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ กล้ามเนื้อหัวใจจึงถูกดึงยืดมากขึ้น ส่งผลให้หดตัวดีขึ้น ปริมาตรเลือดที่บีบออกจากหัวใจจึงเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ

1.2 อัตราการเต้นของหัวใจเปลี่ยนแปลงตามความลึกและอุณหภูมิ ถ้าระดับความลึกเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิร่างกายจะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิของร่างกายจะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น

2. ระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ

2.1 ช่วยลดแรงกระทำที่มีต่อกระดูกและข้อต่อที่รับน้ำหนัก โดยแรงลอยตัวของน้ำจะช่วยพยุงร่างกายทำให้ลดน้ำหนักหรือแรงที่กระทำต่อข้อที่รับน้ำหนัก ได้แก่ ข้อต่อที่ขาและกระดูกสันหลัง

2.2 เพิ่มความเข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยการออกกำลังกายต้านแรงต้านของน้ำที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วของการเคลื่อนไหวร่างกาย

2.3 เพิ่มการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อ เมื่ออยู่ในน้ำระดับลึกถึงคอ แรงดันน้ำจากภายนอกที่ระดับความลึกของขาจะมากกว่าบริเวณกลางลำตัว เลือดและน้ำเหลืองจึงไหลเข้าสู่หัวใจมากขึ้น ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจเพิ่มขึ้นจึงทำให้เลือดไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้นด้วย ทำให้เพิ่มการขนส่งสารอาหารและออกซิเจนไปที่กล้ามเนื้อได้ดีขึ้นและเป็นการขับของเสียที่ค้างอยู่ในกล้ามเนื้อได้ดีขึ้น

3. ระบบหายใจ ระบบหายใจจะทำงานมากขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำ

3.1 ระบบการหายใจทำงานมากขึ้น เนื่องมาจากแรงดันน้ำที่กระทำต่อผนังทรวงอกทำให้ผนังทรวงอกหดตัวลงกว่าเดิม เมื่อปริมาตรปอดลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศขณะหายใจออกลดลง จึงทำให้ใช้เวลานานขึ้นในการหายใจออก

3.2 การทำงานของปอดเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงดันน้ำที่บริเวณขามากกว่าลำตัว ทำให้เลือดไหลกลับมาสู่หัวใจและปอดเพิ่มขึ้น ปริมาณเลือดที่เพิ่มขึ้นทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนลดลง ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในเลือดลดลง ดังนั้นระบบการหายใจจึงต้องทำงานมากขึ้น เพื่อนำก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย

4. ระบบขับถ่าย

4.1 เมื่ออยู่ในน้ำระดับลึกถึงคอ เลือดมีการไหลเวียนมากขึ้น จึงไหลไปที่ไตเพิ่มขึ้นทำให้มีการผลิตและขับถ่ายปัสสาวะสูงขึ้น เมื่ออยู่ในน้ำมีการขับถ่ายเกลือโซเดียมและโปแตสเซียมมากขึ้น

4.2 การหลั่งฮอร์โมนเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ฮอร์โมนแอนตี้ไดยูเรติกหรือเอดีเอช (Antidiuretic hormone: ADH) หลั่งออกมาน้อยกว่าปกติ จึงทำให้มีการขับปัสสาวะเพิ่มขึ้น และฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน (Aldosterone) หลั่งออกมาน้อยลงจึงทำให้มีการขับเกลือโซเดียมออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น

5. ระบบประสาท

5.1 ระบบประสาทนำเข้า (Sensory input) เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำทั้งด้านแรงดันของน้ำ ตัวกลางในการนำและพาความร้อน แรงหนืดทำให้เมื่อออกกำลังกายในน้ำจะช่วยลด

ความรู้สึกของบาดเจ็บเพราะเป็นการลดแรงกระทำที่มีต่อข้อต่อและกล้ามเนื้อเนื่องจากการลดการรับรู้ของระบบประสาทนำเข้าของความรู้สึก

5.2 การบูรณาการประสาทความรู้สึก (Sensory integration) การออกกำลังกายในน้ำทำให้มีการบูรณาการประสาทความรู้สึกเนื่องมาจากคุณสมบัติของน้ำทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง มีการทรงตัวดีขึ้น การเคลื่อนไหวดีขึ้น

6. จิตใจและอารมณ์

การแช่น้ำหรือการออกกำลังกายในน้ำช่วยให้รู้สึกสดชื่น จิตใจสงบ ผ่อนคลาย เช่น การแช่น้ำอุ่นจะทำให้ร่างกายผ่อนกลายอาการปวดเมื่อย หรือคลายความตึงเครียด ถ้ามีกระแสน้ำวนจะช่วยเพิ่มการผ่อนคลายมากขึ้นหรือการแช่น้ำเย็นจะกระตุ้นให้มีความกระฉับกระเฉงมากขึ้น

การออกกำลังกายในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้เครื่องออกกำลังกายชนิดต่างๆ เช่น เครื่องวิ่งสายพาน จักรยาน และการไม่ใช้เครื่องมือ สามารถทำได้ทั้งในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิปกติ

การออกกำลังกายในน้ำอุ่นจะมีผลต่อสรีรวิทยา ดังนี้

- ลดอาการปวด
- เกิดการผ่อนคลาย
- เพิ่มเลือดไปเลี้ยงในบริเวณที่มีการอักเสบเรื้อรังทำให้ลดอาการปวด และลดการอักเสบ
- ทำให้เส้นเอ็นถูกดึงยืดง่ายขึ้น องศาของการเคลื่อนไหวของข้อต่อดีขึ้น

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 งานวิจัยในประเทศ

อติกานต์ เกนี่ และคณะ (2557) ได้ศึกษาผลของการเดินสมาธิที่มีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 23 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มการฝึกออกกำลังกายด้วยการเดิน จำนวน 11 คน และกลุ่มการฝึกออกกำลังกายด้วยการเดินสมาธิจำนวน 12 คน โดยการเดินบนลู่กล 3 ครั้ง/สัปดาห์ ครั้งละ 30 นาที เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่ความหนักระดับปานกลาง พบว่าการฝึกออกกำลังกายด้วยการเดินแลการเดินสมาธิมีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นและระดับน้ำตาลในเลือดลดลง แต่พบว่ากลุ่มการเดินสมาธิมีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวลดลงต่ำกว่ากลุ่มการเดิน ส่วนค่าความเครียดไม่เปลี่ยนแปลงทั้งสองกลุ่ม อีกทั้งยังพบว่ากลุ่มการเดินสมาธิมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่ากลุ่มการเดิน

จิตานันท์ เหล่าศิริไพศาล และคณะ (2558) ได้ศึกษาผลของความเร็วในการปั่นจักรยานวัดงานที่มีต่อระดับน้ำตาลกลูโคสและกรดแลคติกในเลือดหลังการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 30 คน โดยปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 40 วัตต์ ด้วยความเร็ว 40 หรือ 80 รอบ

ต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที พบว่า ระดับน้ำตาลในเลือดหลังการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 40 และ 80 รอบต่อนาที มีค่าไม่ต่างกัน ส่วนระดับกรดแลคติกในเลือดหลังการออกกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที มีแนวโน้มสูงกว่าการปั่นที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิทิต มิตรานันท์ และคณะ (2553) ได้ศึกษาผลของการฝึกแอโรบิกแบบช่วงหนักสลับเบาที่มีต่อระดับน้ำตาลและสุขสมรรถนะในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 อายุ 60-70 ปี จำนวน 16 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง จำนวน 8 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 8 คน โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกออกกำลังกาย 3 ครั้ง/สัปดาห์ ครั้งละ 35 นาที เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ส่วนกลุ่มควบคุมไม่ได้รับการออกกำลังกาย พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือดลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

อริสรา สุขวัจนี (2557) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระดับน้ำตาลและการส่งเสริมการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันในผู้สูงอายุที่ป่วยด้วยโรคเบาหวาน จำนวน 64 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง 32 คน และกลุ่มควบคุม 32 คน โดยกลุ่มทดลองออกกำลังกายเองที่บ้านด้วยการดูคำอธิบายจากหนังสือเป็นการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแต่ละท่าค้าง 30 วินาที เป็นเวลา 15 นาที 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 12 เดือน ส่วนกลุ่มควบคุมให้ใช้ชีวิตประจำวันตามปกติที่เคยทำ พบว่าหลังจาก 12 เดือน กลุ่มทดลองมีการเพิ่มการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันมากขึ้น และมีการควบคุมระดับน้ำตาลได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม

ปรียาภรณ์ สวัสดิ์ศรี (2553) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยยางยืดที่มีต่อระดับน้ำตาลในเลือด องค์ประกอบของร่างกายและระบบไหลเวียนเลือด ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 15 คน โดยการออกกำลังกายด้วยยางยืดครั้งละ 30 นาที 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า หลังจากการออกกำลังกายด้วยยางยืดระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่มตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่องค์ประกอบของร่างกายและระบบไหลเวียนโลหิตไม่แตกต่างกับก่อนการออกกำลังกาย

4.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

ณัฐมนวรกุล และคณะ (Nuttamonwarakul et al., 2012) ทำการศึกษาการเต้นแอโรบิกในน้ำเป็นเวลา 12 สัปดาห์ต่อการปรับปรุงสุขสมรรถนะและการควบคุมน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 40 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุม 20 คน ไม่ได้รับการออกกำลังกาย และ กลุ่มออกกำลังกาย 20 คน โดยเต้นแอโรบิกในน้ำเป็นเวลา 30 นาทีในสระว่ายน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 34-36 องศาเซลเซียส ที่ความหนัก 70% HRmax ทำ 3 วัน/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มที่เต้นแอโรบิก

ในน้ำช่วยทำให้น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมัน ความดันโลหิต และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยังพบว่าค่าเฉลี่ยสะสมของน้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์และอินซูลินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ลาซาร์ และคณะ (Lazar et al., 2008) ทำการศึกษาผลการแช่ในน้ำโดยศีรษะโผล่พ้นน้ำต่อการสะท้อนของคลื่นในหลอดเลือดแดง (Arterial wave reflection) ในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี จำนวน 21 คน วัดความดันโลหิต ค่าการสะท้อนของคลื่นในหลอดเลือดแดง ก่อนลงแช่น้ำ หลังจากนั้นทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 79-80 องศาฟาเรนไฮท์ที่ระดับเอวเป็นเวลา 2 นาที วัดค่าต่างๆ จากนั้นลงแช่น้ำลึกระดับอกเป็นเวลา 2 นาที และทำการวัดค่าต่างๆพบว่า การแช่น้ำที่ลึกระดับเอวและอกส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง ค่าการสะท้อนของคลื่นในหลอดเลือดแดงเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นปริมาณของเลือดที่เข้าสู่หัวใจและความต้องการออกซิเจนมากขึ้น

ฟิสคัส และคณะ (Fiscus et al., 2005) ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงการไหลของเลือดบริเวณขาส่วนล่างระหว่างการรักษาด้วยน้ำร้อน น้ำเย็นและแช่น้ำอุ่นสลับน้ำเย็น ในผู้ชายที่สุขภาพดี จำนวน 24 คน โดยแช่ในน้ำที่ระดับครึ่งน่อง แบ่งเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การควบคุมใช้เวลา 20 นาที การแช่ในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 20 นาที การแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส 20 นาที และการแช่ในน้ำอุ่นสลับน้ำเย็น 20 นาที พบว่า การแช่ในน้ำอุ่นสลับน้ำเย็นเพิ่มการไหลของเลือด การแช่ในน้ำอุ่นมีการเปลี่ยนแปลงของการไหลของเลือดดีกว่าการกลุ่มที่ควบคุมและการแช่ในน้ำอุ่นสลับน้ำเย็น ส่วนการแช่ในน้ำเย็นไม่ได้ทำให้การไหลของเลือดเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

มิชาลเซ่น และคณะ (Michalsen et al., 2003) ทำการศึกษาการบำบัดด้วยน้ำร้อนต่อการปรับปรุงคุณภาพชีวิตและหน้าที่การทำงานของระบบการไหลเวียนเลือดในผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจวายเรื้อรัง จำนวน 15 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุมไม่ได้บำบัดด้วยน้ำร้อน และกลุ่มทดลองที่บำบัดด้วยน้ำร้อนโดยได้รับคำแนะนำและให้ปฏิบัติด้วยตัวเองที่บ้านพบว่ากลุ่มที่ได้รับการบัดบัดด้วยน้ำร้อนมีการปรับปรุงของคุณภาพชีวิต 3 ด้านของทั้งหมด 6 ด้าน และมีการลดลงของอาการหัวใจล้มเหลวที่เคยเกิดขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและความดันโลหิตลดลง

แมคคาร์ที และคณะ (McCarty et al., 2009) ทำการศึกษาการรักษาด้วยความร้อนเป็นประจำอาจส่งเสริมความไวของอินซูลินในขณะที่มีการส่งเสริมการแสดงออกของเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide synthase) เปรียบเทียบกับการฝึกออกกำลังกาย โดยการบำบัดด้วยความร้อนด้วยการอบซาวน่าหรือการอาบน้ำร้อนมีประสิทธิผลในการปรับปรุงความไวของอินซูลินและช่วยทำให้การทำงานของไนตริกออกไซด์ ซึ่งผลที่ได้นี้มีความคล้ายคลึงกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ช่วยทำให้หลอดเลือดมีสุขภาพที่ดี ผลทางคลินิกที่ผ่านมาได้แนะนำการแช่ในอ่างน้ำร้อนมีประโยชน์ใน

ผู้ป่วยเบาหวาน และการบำบัดด้วยการซาวน่าช่วยลดความดันโลหิตในผู้ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง แลยังมีประโยชน์ต่อผู้ที่เป็นโรคหัวใจล้มเหลว การบำบัดด้วยความร้อนอาจจะมองว่าเป็นทางเลือกในการฝึกออกกำลังกายในผู้ป่วยที่มีความบกพร่องทางด้านกิจกรรมแอโรบิก

อาซ่า และคณะ (Asa et al., 2012) ทำการศึกษาการออกกำลังกายในน้ำที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการออกกำลังกายในผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจล้มเหลวและ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 20 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุม 10 คน ไม่ได้ออกกำลังกาย และกลุ่มออกกำลังกายในน้ำ 10 คน เป็นระยะเวลา 45 นาที ในสระอุณหภูมิ 33-34 องศาเซลเซียส 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่ความหนัก 40-75% HRR พบว่า กลุ่มการฝึกออกกำลังกายค่าความหนักในการทำงาน สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และความสามารถในการเดินเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีการปรับปรุงดีขึ้น ระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือดลดลง

อายาซ และดาบิดี รอชาน (Ayaz & Dabidi Roshan, 2012) ทำการศึกษาการออกกำลังกายเป็นช่วงๆ ในน้ำ 6 สัปดาห์โดยได้รับการทานขิงและไม่ได้รับการทานขิงที่มีต่อตัวบ่งชี้ของการอักเสบและไขมันในเลือดในผู้หญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและโรคมะเร็งเต้านม จำนวน 40 คน แบ่งเป็น กลุ่มที่ได้รับยาหลอก ไม่ได้ออกกำลังกาย กลุ่มการออกกำลังกายในน้ำ กลุ่มการออกกำลังกายในน้ำพร้อมกับได้รับประทานขิง และกลุ่มที่ได้รับประทานขิงอย่างเดียว กลุ่มที่ได้ออกกำลังกายในน้ำออกกำลังกายที่ความหนัก 50-70 % HRR 4 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มที่ได้รับประทานขิงและกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำมีการลดลงของซีรีแอคทีฟโปรตีน (CRP) ไอแอลซิก (IL-6) และไตรกลีเซอไรด์ แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มการออกกำลังกายร่วมกับการรับประทานขิงส่งผลที่ดีกว่าในด้านของตัวบ่งชี้ของการอักเสบและไขมันในเลือดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำและกลุ่มที่ได้รับประทานขิงและกลุ่มที่ได้รับยาหลอก

กุยมาเรส์ และคณะ (Guimaraes, de Barros Cruz, Fernandes-Silva, Dorea, & Bocchi, 2014) ทำการศึกษาการออกกำลังกายในน้ำร้อนลดความดันโลหิตเป็นเวลา 24ชั่วโมงในผู้ป่วยเบาหวาน จำนวน 32 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุม 16 คน ไม่ต้องออกกำลังกาย และกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำ 16 คน โดยออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 60 นาทีต่อครั้ง ในน้ำอุณหภูมิ 30-32 องศาเซลเซียส 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่ความหนักอยู่ที่ความเหนื่อยระหว่าง11-13 พบว่า ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวภายใน 24 ชั่วโมงของกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำมีค่าลดลง ในช่วงระหว่างวันและตอนกลางคืนความดันโลหิตของกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำลดลง ส่วนกลุ่มควบคุมหลัง 12 สัปดาห์ ความดันโลหิตภายใน 24 ชั่วโมงมีค่าสูงขึ้น ทั้งในระหว่างวันและตอนกลางคืน

แบนสิ และคณะ (Bansi et al., 2013) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายบนบกและในน้ำ 3 สัปดาห์ที่มีต่อระดับความเข้มข้นของไซโตไคน์และนิวโรโทรฟินในผู้ที่เป็นโรคปลอกประสาท

อักเสบ จำนวน 52 คน แบ่งเป็นกลุ่มปั่นจักรยานบนบกจำนวน 28 คน และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำ จำนวน 24 คน โดยปั่นจักรยานที่ความเร็ว 50-60 รอบต่อนาที ที่ความหนัก 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดหรือ 60 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระยะเวลา 30 นาทีต่อวัน โดยระดับความลึกของน้ำที่ 130 เซนติเมตรและอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส พบว่า ระดับของไซโตไคน์และนิวโรโทรฟินของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่เบรนดีไรว์นิวโรโทรฟิก (Brain-derived neurotrophic factor; BDNF) และการตอบสนองของระบบหัวใจและหายใจดีขึ้นในกลุ่มออกกำลังกายในน้ำ

เบอร์กามิน และคณะ (Bergamin et al., 2013) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายในน้ำและการออกกำลังกายบนบกต่อสมรรถภาพทางกายและองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ จำนวน 59 คน แบ่งเป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส จำนวน 20 คน กลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 20 คน และกลุ่มควบคุมที่ไม่ต้องออกกำลังกาย จำนวน 19 คน โดยกลุ่มออกกำลังกายทั้งบนบกและในน้ำ ในเดือนแรกความหนักของการออกกำลังกายอยู่ที่การวัดความเหนื่อยน้อยกว่า 13 ระยะเวลาในการออกกำลังกาย 45 วินาที ทำทั้งหมด 3 ชุด เดือนที่ 2-4 ความหนักที่ 13-14 ของค่าความเหนื่อย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย 60 วินาที ทำทั้งหมด 3 ชุด และเดือนที่ 5-6 ความหนักที่ 15-16 ของค่าความเหนื่อย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย 60 วินาที ทำทั้งหมด 3 ชุด พบว่า ระยะเวลาในการลุกนั่ง และเดินไปกลับทั้งสองกลุ่มการออกกำลังกายมีค่าลดลง แต่กลุ่มการออกกำลังกายในน้ำลดลงดีกว่า ความยืดหยุ่นของส่วนบนของลำตัวและแขนในกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำมีการปรับปรุงดีกว่าและมวลไขมันมีการลดลงที่ดีกว่า

ดอบนิการ์ และคณะ (Dobnikar, Kounalakis, & Mekjavic, 2009) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายทำให้อุณหภูมิแกนกลางสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดเนื่องมาจากการตอบสนองความเย็นในเท้า ของกลุ่มผู้มีสุขภาพดีจำนวน 8 คน ทำการทดลอง 2 การทดลอง การทดลองแรกให้ออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานที่มีการปรับความหนักสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเหนื่อยตามด้วยการแช่เท้าขวาในน้ำเย็น 8 องศาเซลเซียส ส่วนการทดลองที่สองเป็นการแช่เท้าในน้ำอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการออกกำลังกาย พบว่า การขยายตัวของหลอดเลือดเนื่องมาจากการตอบสนองความเย็นในการทดลองแรกมีจำนวนของคลื่นที่สูงกว่าการทดลองที่สอง การตอบสนองต่อความเย็นที่ทำให้หลอดเลือดขยายตัวในการทดลองแรกเกิดขึ้น 57.5% ส่วนการทดลองที่สองเกิดขึ้นเพียง 27.5%

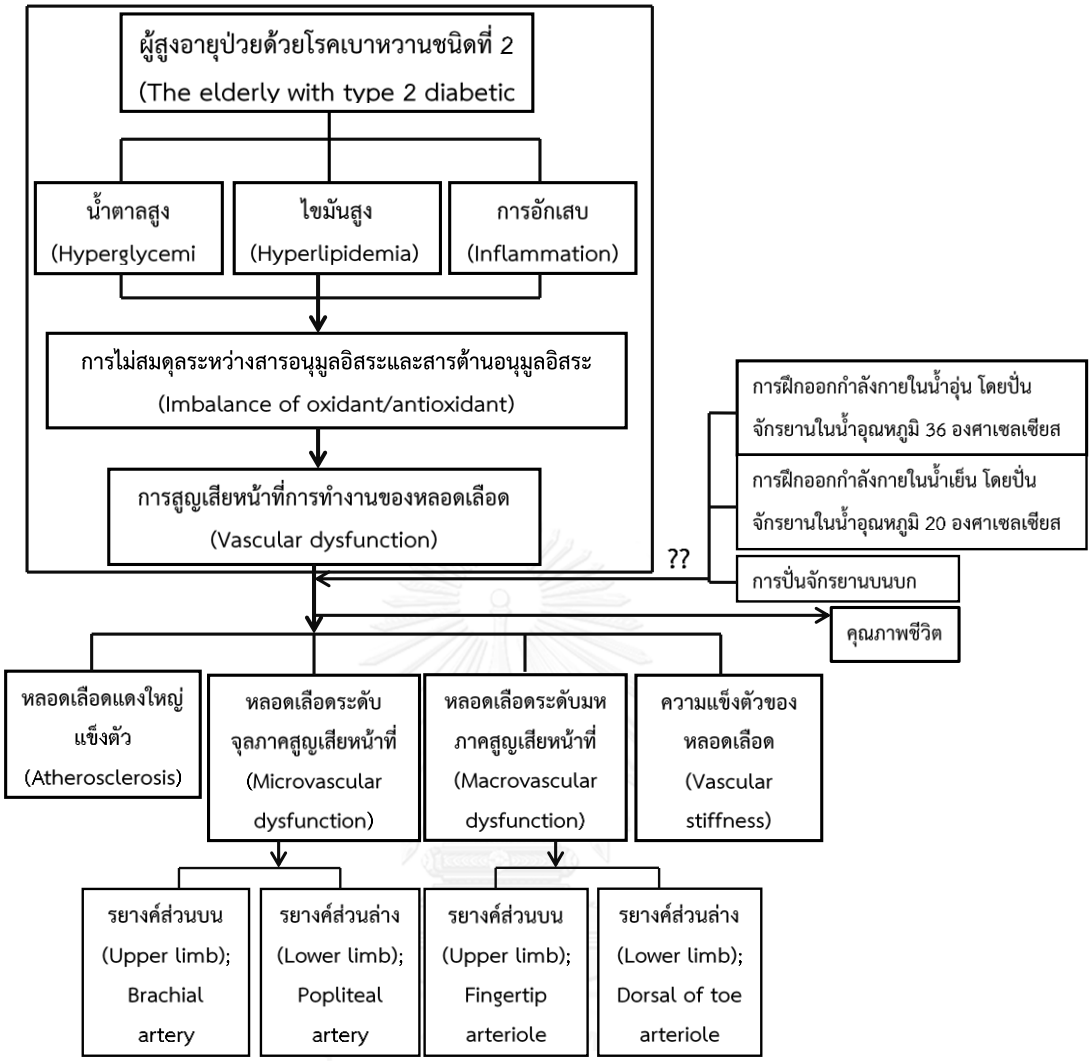
ทาเคชิมา และคณะ (Takeshima et al., 2002) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายในน้ำที่มีต่อสุขสมรรถนะในผู้หญิงอายุ 60-75 ปี จำนวน 30 คน แบ่งเป็นกลุ่มออกกำลังกายในน้ำ จำนวน 15 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 15 คน กลุ่มออกกำลังกายในน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ออกกำลังกายครั้งละ 70 นาที ประกอบด้วย การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 20 นาที ออกกำลังกายด้วยการใช้แรงต้าน 10 นาที ความทนทาน 30 นาที และการผ่อนคลาย 10 นาที

ความถี่ 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มออกกำลังกายในน้ำมีสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงและกำลังของกล้ามเนื้อ ความคล่องแคล่วว่องไว และความอ่อนตัวเพิ่มขึ้น ความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง โลเดนซิตี้ไลโปโปรตีนและคลอเลสเตอรอลลดลง แต่กลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลัง 12 สัปดาห์

ซาวเออลู และคณะ (Tsourlou, Benik, Dipla, Zafeiridis, & Kellis, 2006) ทำการศึกษาการออกกำลังกายในน้ำที่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในผู้หญิงสูงอายุที่มีสุขภาพดี จำนวน 22 คน แบ่งเป็นกลุ่มออกกำลังกาย จำนวน 12 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 10 คน กลุ่มออกกำลังกายในน้ำออกกำลังกายเป็นเวลา 60 นาที ประกอบด้วย อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ฝึกความทนทานที่ระดับความหนัก 80% ของ HRmax 25 นาที ฝึกความต้านทาน 20 นาที และผ่อนคลาย 5 นาที ความถี่ 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มออกกำลังกายในน้ำมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว และการเคลื่อนไหวมีการปรับปรุงดีขึ้น มวลกล้ามเนื้อปราศจากไขมันเพิ่มขึ้น ส่วนกลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลัง 24 สัปดาห์

กรอบแนวคิดในการวิจัย

เนื่องมาจากผู้สูงอายุที่ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดที่สูง ประกอบกับการมีระดับไขมันในเลือดที่สูง และเกิดการอักเสบของหลอดเลือดทำให้ไม่สามารถควบคุมองค์ประกอบของเซลล์ภายในหลอดเลือดได้ ซึ่งกลไกต่างๆ เหล่านี้ทำให้การหลั่งของสารในการขยายตัวของหลอดเลือดลดลง ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างสารอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ จึงทำให้หลอดเลือดสูญเสียหน้าที่การทำงาน มีผลทำให้หลอดเลือดเกิดการแข็งตัว และหลอดเลือดระดับระดับมหภาคและหลอดเลือดจุลภาคสูญเสียหน้าที่ไปด้วย อีกทั้งยังทำให้เกิดการตีบตันของหลอดเลือด และหลอดเลือดเกิดการแข็งตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานบนบก ปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและน้ำเย็นว่าจะมีผลอย่างไรต่อการแข็งตัวของหลอดเลือด การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคทั้งส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและแช่น้ำและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Design) มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และ 2) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยาสุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ซึ่งได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม 2557 COA No. 152/2557 (ภาคผนวก ก)

ประชากร

ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีและของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการที่มีอายุตั้งแต่ 60-75 ปี การกำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยตารางกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของโคเฮน (Cohen, 1988) กำหนดค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ .5 และค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) ที่ .8 ทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 14 คน ผู้วิจัยเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างอีกกลุ่มละ 2 คน รวมเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 48 คน เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างขาดหายไปทั้งหมด 8 คน เพราะเจ็บป่วยและไม่สามารถเข้าร่วมการออกกำลังกายได้ จึงเหลือกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง จำนวน 40 คน ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 13 คน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุ่น จำนวน 15 คน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำเย็น จำนวน 12 คน

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (HbA1c) มากกว่า 7% แต่น้อยกว่า 9% (Rosenzweig et al., 2002)

2. ต้องไม่มีโรคแทรกซ้อนจากการเป็นเบาหวาน ได้แก่ โรคหัวใจ โรคแทรกซ้อนทางตา โรคความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ โรคแทรกซ้อนทางระบบประสาท และโรคหลอดเลือดสมอง

3. มีการรักษาด้วยการรับประทานยาที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ต้องไม่ได้รับการรักษาด้วยการฉีดอินซูลิน

4. ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำอย่างน้อย 3 เดือน ก่อนการเข้าร่วมโครงการ

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

3. ออกกำลังกายน้อยกว่า 80% ของการฝึกออกกำลังกายทั้งหมดหรือน้อยกว่า 7 ครั้งของทั้งหมด 36 ครั้ง

การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

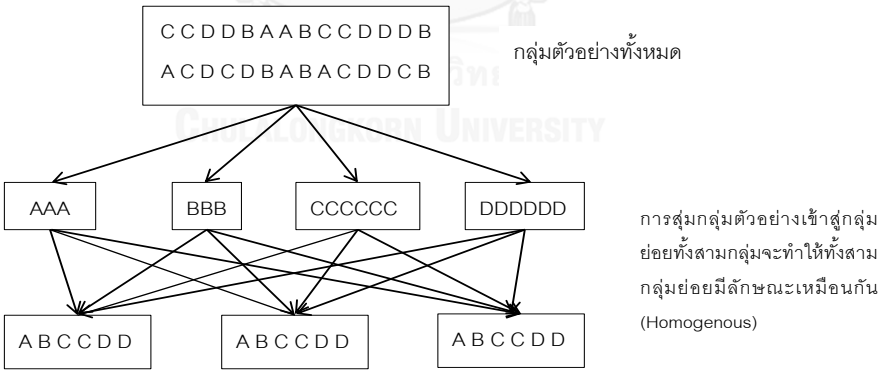
การสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มการออกกำลังกายทั้ง 3 กลุ่ม (Random assignment) ทำการสุ่มโดยการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling) ด้วยเพศและระยะเวลาที่เป็นโรคเบาหวาน (อวยพร เรืองตระกูล, 2541) ดังนี้

A = ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เพศชาย ระยะเวลาเป็นเบาหวาน 0-10 ปี

B = ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เพศชาย ระยะเวลาเป็นเบาหวาน 10 ขึ้นไป

C = ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เพศหญิง ระยะเวลาเป็นเบาหวาน 0-10 ปี

D = ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เพศหญิง ระยะเวลาเป็นเบาหวาน 10 ขึ้นไป



รูปที่ 2 การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling**)**

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสอบถามประเมินด้านต่างๆ

1.1 แบบสอบถามประวัติสุขภาพทั่วไปก่อนการออกกำลังกาย (PAR-Q) ดังภาคผนวก ข

1.2 แบบวัดคุณภาพชีวิต (ค่าความเชื่อมั่น 0.84 และความเที่ยง 0.65) ดังภาคผนวก ค

2. เครื่องมือสำหรับวัดตัวแปรด้านสรีรวิทยา

2.1 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย ยี่ห้อทานิต้า รุ่นบีซี-533 (Tanita BC-533 InnerScan Body Composition Monitor, Tokyo, Japan)

2.2 เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอลขณะพัก ยี่ห้อจีอี รุ่นแคร์เอสเคป วี100 (CARESCAPE V100, GE Dinamap, WI, USA)

2.3 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา ยี่ห้อโพลาร์ รุ่นเอฟที (Polar FT7, Kempele, Finland)

3. เครื่องมือวัดตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ

3.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อคอร์เท็กซ์ รุ่นเมต้าแม็กซ์ ทรีบี (Cardiopulmonary gas exchange system: Cortex, Metamax 3B, Leipzig, Germany)

3.2 จักรยานโมนาร์ก รุ่น 824อี (Monark 824e, Stockholm, Sweden)

3.3 เครื่องวัดความอ่อนตัว (Sit&Reach)

3.4 เครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา รุ่นทีเคเค 5002 (Back and leg dynamometer: T.K.K. 5002, Takei Scientific, Tokyo, Japan)

3.5 เครื่องวัดความจุปอด รุ่นสไปโรแบงค์ จี เอ็มไออาร์ (Spirometer: Spirobank G, Waukesha, WI, USA)

4. เครื่องมือวัดตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด

4.1 เครื่องอัลตร้าซาวด์หลอดเลือด ยี่ห้อฟิลิป รุ่นซีเอ็กซ์50 (Ultrasound machine,CX50, Philip, USA)

4.2 เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือดส่วนปลาย (Brachial-ankle pulse wave velocity ; VP-1000 plus, Omron Healthcare, Kyoto, Japan)

4.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง ยี่ห้อมัวร์ อินสทรูเมนท์ รุ่นดีอาร์ทีโฟร์ มัวร์แล็ป (Laser Doppler flowmeter, DRT4 MoorLAB, Moor instrument, UK)

5. เครื่องมือวัดตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

5.1 ชุดวิเคราะห์สารชีวเคมีในเลือด (Kit) สำหรับวิเคราะห์สารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde: MDA) และไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) ส่วน ซีรีแอคทีฟโปรตีน (CRP) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyseride) แอลดีแอล (Low density lipoprotein) เอชดีแอล (High density lipoprotein) น้ำตาลในเลือด (Blood sugar) น้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (Glycosylated hemoglobin) และระดับอินซูลิน (Insulin level) ได้ส่งตรวจที่บริษัทเนชั่นแนล เฮลท์แคร์ ซิสเต็ม จำกัด (National Healthcare Systems Co.)

6. เครื่องมือสำหรับบันทึกข้อมูล

6.1 แบบบันทึกข้อมูลพื้นฐานด้านสรีรวิทยา ได้แก่ น้ำหนักตัว ส่วนสูง อายุ อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และดัชนีมวลกาย (ภาคผนวก ง)

6.2 แบบบันทึกการตรวจตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด (ภาคผนวก ง)

7. แท้งค์ที่สามารถปรับอุณหภูมิของน้ำพร้อมจักรยานสำหรับการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็น (บริษัททรูไลน์ แมนูแฟคเจอริ่ง, ประเทศไทย) (ภาคผนวก จ)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างแต่ละสถานที่มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยที่เหมือนกันดังนี้

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการฝึกและเก็บรวบรวบข้อมูล 2 แห่ง ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างจากโรงพยาบาลแหลมฉบังจังหวัดชลบุรีได้ทำการฝึกและเก็บรวบรวมข้อมูลที่สนามกีฬาเทศบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และกลุ่มตัวอย่างจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ ทำการฝึกที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจากและเก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องปฏิบัติการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีลำดับของการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งก่อนการทดลองและหลังการทดลองดังนี้

วันที่ 1 นัดกลุ่มตัวอย่างเจาะเลือด

วันที่ 2 นัดกลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบตัวแปรต่างๆ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมาถึงสถานที่ในการทดสอบให้กลุ่มตัวอย่างทำการนั่งพัก 10-15 นาที หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง ความดันโลหิต วัดความแข็งตัวของหลอดเลือด ใช้เวลา 5 นาที จากนั้นวัดการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาค ใช้เวลา 20 นาที เมื่อทำการวัดตัวแปรดังกล่าวเสร็จเรียบร้อยแล้วกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ใช้เวลา 10 นาที หลังจากนั้นให้พักและทำการตอบแบบสอบถาม เมื่อหายเหนื่อยแล้วให้ทำการวัดความอ่อนตัว ความจุปอดและความแข็งแรงของขา ใช้เวลา 10 นาที ซึ่งระยะในการทำการทดสอบทั้งสิ้นต่อคนประมาณคนละ 45 นาที

1. ติดต่อและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยการสมัครใจเข้าร่วม ผู้เข้าร่วมการทดลองได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติในการทดสอบและการเก็บข้อมูล จากนั้นผู้เข้าร่วมการทดลองลงชื่อในใบยินยอม ดำเนินการแบ่งกลุ่มทดลองย่อยโดยวิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling)

2. ก่อนการทำการทดลองกลุ่มตัวอย่างทั้งสามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นและกลุ่มปั่นจักรยานบนบก มีการตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

2.1 ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ได้แก่

2.1.1 น้ำหนักตัว (Body weight) ส่วนสูง (Height) ค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index : BMI) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting Heart rate : RHR) ความดันโลหิต (Blood pressure : BP) โดยให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพัก 15 นาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และความดันโลหิต

2.2 ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ได้แก่

2.2.1 องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ให้กลุ่มตัวอย่างถอดรองเท้าแล้วขึ้นชั่งบนเครื่ององค์ประกอบของร่างกาย (Bioelectrical Impedance Analyzer)

2.2.2 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Leg strength) ให้กลุ่มตัวอย่างยืนบนเครื่องวัดความแข็งแรงขา โดยย่อขา จับอุปกรณ์ และยืดขาให้เต็มที่

2.2.3 ความอ่อนตัว (Flexibility) ให้กลุ่มตัวอย่างนั่งเหยียดขา เข่าไม่งอ ก้มตัวดันอุปกรณ์ไปข้างหน้าให้ได้มากที่สุด

2.2.4 ความอดทนของระบบหัวใจและระบบหายใจ (Cardiorespiratory endurance) ทดสอบความทนทานของระบบหัวใจและหายใจ โดยการวัดความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งเป็นการปั่นจักรยานโมนาร์กโดยมีการวัดแก๊สด้วยเครื่องคอร์เท็กซ์ตลอดระยะเวลาของการทดสอบ ความหนักเริ่มต้นในการปั่น 50 วัตต์ โดยเพิ่มความหนักในการปั่นทีละ 25 วัตต์ ทุกๆ 2 นาที ให้กลุ่มตัวอย่างปั่นจนเหนื่อยและไม่สามารถทำต่อไปได้จึงหยุดการทดสอบ โดยใช้เกณฑ์การหยุดทดสอบ 2 ใน 4 ดังนี้ ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่ระดับ 85 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก, อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส (Respiratory exchange ratio; RER) มากกว่าหรือเท่ากับ 1.1, การรับรู้ความเหนื่อย (Borg Rating of Perceived Exertion; RPE) ที่ระดับ 15 , ค่าสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption; VO_{2max}) มากกว่าหรือเท่ากับ 80% ของค่าที่ประเมินได้ (Fletcher et al., 2001; Hill & Timmis, 2002)

2.3 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด โดยเจาะเลือดกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย 10 มิลลิลิตร โดยกลุ่มตัวอย่างต้องงดรับประทานอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 8-12 ชั่วโมง การเจาะเลือดของกลุ่มตัวอย่างทำการเจาะในช่วงเช้าเวลา 7.00-8.00 นาฬิกา เมื่อกลุ่มตัวอย่างมาถึงและได้นั่งพัก 5-10 นาที หลังจากนั้นทำการเจาะเลือดโดยพยาบาลวิชาชีพหรือนักเทคนิคการแพทย์ และส่งเลือดตรวจที่บริษัทเนชั่นแนล เฮลท์แคร์ ซิสเต็มส์ จำกัด (National Healthcare Systems Co., Thailand) เพื่อตรวจค่าสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่ คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอร์ไรด์ (Triglyceride) ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein) โลเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein) ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (Complete blood count: CBC) ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood Glucose) ระดับอินซูลิน (Insulin level) ซีรีแอคทีฟ โปรตีน (C–reactive protein) และที่คณะสห

เวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งตรวจวิเคราะห์ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde: MDA)

2.4 ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่

2.4.1 การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค

2.4.1.1 การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilation: FMD) ใช้การประเมินการตอบสนองของหลอดเลือด (Vascular reactivity) โดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์วัดการไหลของเลือดบริเวณแขน (Brachial artery) และบริเวณขา (Popliteal artery) การทำงานของหลอดเลือด ประเมินจากการขยายของเส้นผ่าศูนย์กลางหลอดเลือดเมื่อมีการไหลของเลือดหลังจากการปิดกั้น (Flow mediated dilatation; FMD) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการกระตุ้น โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายสำหรับการวัดการทำงานของหลอดเลือดที่แขน ใช้แถบรัด (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง บีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันซิสโตลิก (Systolic blood pressure) 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการขาดเลือดในช่วงสั้นๆ จากนั้นคลายการบีบของเครื่องวัดความดัน จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว ทำการวางโพรบ (Probe) ของเครื่องอัลตร้าซาวด์ตรงตำแหน่งหลอดเลือดแดงของแขน (Brachial artery) เพื่อวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพัก ก่อนและหลังปล่อยแรงดัน (Corretti et al., 2002) ส่วนการวัดการทำงานของหลอดเลือดบริเวณขา ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำและใช้แถบรัดของเครื่องวัดความโลหิตรัดบริเวณน่อง บีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตประมาณ 250 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที (Nishiyama, Walter Wray, Berkstresser, Ramaswamy, & Richardson, 2007) โดยนำผลที่ได้มาประเมินค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Endothelium –dependent dilation; FMD) จากตัวแปรดังต่อไปนี้

- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือด (Brachial artery diameter) ก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดและเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด

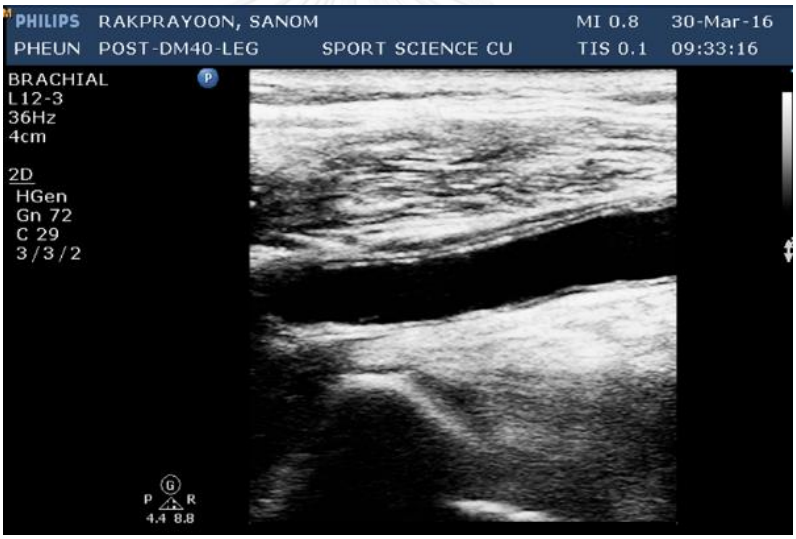
- การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกกระตุ้นด้วยการไหลของเลือด (Flow-mediated dilatation; FMD) โดยการคำนวณจากสูตร (Naidu, Rajasekhar, & Latheef, 2011)

$$FMD = (D2-D1) \times 100 \div D1$$

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือด

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดภายหลังถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในนาทีแรก

รูปที่ 3 ภาพหลอดเลือดแดงเบรเคียลซึ่งตรวจด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์



รูปที่ 4 ภาพหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลซึ่งตรวจด้วยเครื่องอัตราซาวด์

2.4.1.2 ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness) แดงคาโรติด (Carotid artery) การวัดความหนาของผนังหลอดเลือดใช้เครื่องอัลตราซาวด์วัดบริเวณหลอดเลือดแดงคาโรติดที่ลำคอด้านขวา โดยให้กลุ่มตัวอย่างนอนหงาย เอียงคอไปด้านข้าง 45 องศา ทำการวัดความหนาผนังของหลอดเลือด แล้วนำเข้าโปรแกรมคิวแลป (QLAB) เพื่อคำนวณหาความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน

รูปที่ 5 ภาพหลอดเลือดแดงคาโรติดซึ่งตรวจด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์

2.4.1.3 คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) เป็นการวัดการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) โดยผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายใช้แถบรัดพันแขนและขาทั้ง 2 ข้าง ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ดบริเวณหน้าอกและข้อมือทั้ง *2* ข้างหลังจากนั้นติดอิเล็คโทรด (Electrode) สำหรับวัดคลื่นหัวใจที่บริเวณหน้าอกและแขนทั้งสองข้าง (Nishiyama et al., 2007)

2.4.1.4 อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพัก (Shear rate at rest) เป็นแรงของการไหลของเลือดที่กระทำต่อผนังหลอดเลือด คำนวณได้จากสูตร (Parker, Ridout, & Proctor, 2006))

Shear rate (s^{-1}) = 4 × [Blood velocity (cm/s) ÷ Diameter (mm)]

2.4.2 การทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคใช้การประเมินการไหลของเลือดที่บริเวณผิวหนัง โดยใช้เครื่องเลเซอร์ดอปเลอร์ (Laser doppler flowmeter) บริเวณนิ้วมือและเท้า โดยการวัดผลของความเร็วและความเข้มข้นเฉลี่ยของเม็ดเลือดแดงในปริมาณเนื้อเยื่อตัวอย่าง (Flux) ขณะพัก ขณะถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะการไหลของเลือดสูงสุดหลังเปิดการปิดกั้น และขณะการไหลของเลือดกลับสู่สภาวะปกติหลังเปิดการปิดกั้น และทำการวัดเวลาของอัตราการไหลสูงสุดและเวลาที่ใช้กลับสู่สภาวะพัก ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบการไหลเวียนของเลือดชั้นผิวหนังด้วยวิธีโพสออกคลูซีฟ รีแอคทีฟ ไฮเปอรีเมีย (Post occlusive reactive hyperemia) ตามรูปที่ 2 โดยติดโพรบ (Probe) บริเวณข้อมือและเท้า ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพัก 5 นาที นำเครื่องวัดความดันพันรัดเหนือต้นแขนและน่อง ที่ความดันเหนือความดันโลหิตของผู้เข้าร่วมการทดลองประมาณ 50 มิลลิเมตรปรอทของความดันโลหิตของแต่ละบุคคล บีบค้างไว้ 3 นาที บันทึกค่าโดยตลอด ต่อมาปล่อยลมออก

และบันทึกค่าต่อนาน 5 นาที (Tee, Rasool, Halim, & Rahman, 2004) ตัวแปรที่วัดดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่

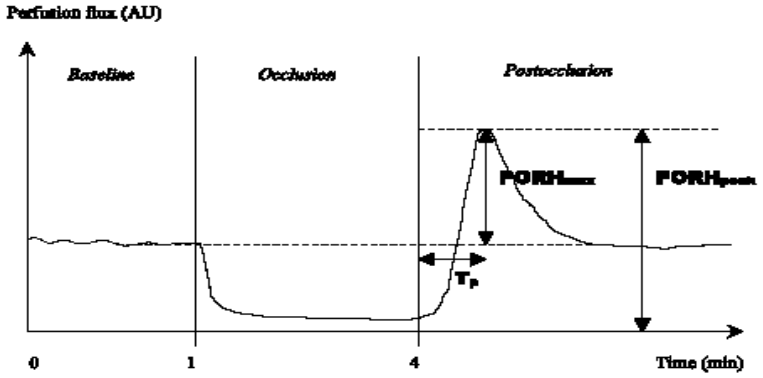
1 = การไหลของเลือดขณะพัก

2 = การไหลของเลือดขณะปิดกั้นการไหล

3 = การไหลของเลือดสูงสุดหลังเปิดการปิดกั้น

4 = เวลาอัตราการไหลของเลือดสูงสุด

5 = เวลากลับสู่สภาวะพัก



รูปที่ 6 การประเมินการทำงานของเลือดของหลอดเลือดระดับจุลภาค

การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Post occlusive reactive hyperemia; PORH) สูตรในการหา PORH

$$PORH = \frac{PORH_{peak} - \text{Mean baseline perfusion flux}}{\text{Mean baseline perfusion flux}} \times 100$$

2.5 ตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบสอบถามคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ ฉบับภาษาไทย (WHOQOL) –BREF จำนวน 26 ข้อ (สุวัฒน์ มหัตนิรันดร์กุล, วิระวรรณ ตันติพิวัฒนสกุล, & วนิดา พุ่มไพศาลชัย, 2551) ดังภาคผนวก ค

การให้คะแนนแบบวัดคุณภาพชีวิต 26 ข้อคำถามที่มีความหมายทางบวก 23 ข้อ และข้อคำถามที่มีความหมายทางลบ 3 ข้อ คือข้อ 2, 9, 11 แต่ละข้อเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ให้ผู้ตอบเลือกตอบ

กลุ่มที่ 1 ข้อความทางลบ 3 ข้อ			กลุ่มที่ ข้อความทางบวก 23 ข้อ		
กลุ่มที่ 1 แต่ละข้อให้คะแนนดังต่อไปนี้			กลุ่มที่ 2 แต่ละข้อให้คะแนนดังต่อไปนี้		
ตอบ	ไม่เลย	ให้ 5 คะแนน	ตอบ	ไม่เลย	ให้ 1 คะแนน
ตอบ	เล็กน้อย	ให้ 4 คะแนน	ตอบ	เล็กน้อย	ให้ 2 คะแนน
ตอบ	ปานกลาง	ให้ 3 คะแนน	ตอบ	ปานกลาง	ให้ 3 คะแนน

ตอบ มาก ให้ 2 คะแนน ตอบ มาก ให้ 4 คะแนน
ตอบ มากที่สุด ให้ 1 คะแนน ตอบ มากที่สุด ให้ 5 คะแนน

และมีการแปลผลระดับคุณภาพชีวิตโดยมีคะแนนตั้งแต่ 26-130 คะแนน โดยเมื่อผู้ตอบรวมคะแนนทุกข้อได้คะแนนเท่าไร สามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์ปกติที่กำหนดดังนี้

คะแนน 26-61 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี
คะแนน 61-95 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตกลางๆ
คะแนน 96-130 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี

ลำดับขั้นตอนในการตรวจแปรต่างๆ และสถานที่ในการทดสอบ ดังนี้

3. การฝึกออกกำลังกาย แบ่งกลุ่มตัวอย่างทั้งสามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 13 คน โดยปั่นจักรยาน ที่ความหนัก 60-70% HRmax เดือนที่ 1 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 15 นาที เดือนที่ 2 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 20 นาที และเดือนที่ 3 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 30 นาที เป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำการฝึกที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 7 การปั่นจักรยานบนบก

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุ่นจำนวน 15 คน โดยปั่นจักรยานในน้ำอุ่น ที่ความหนัก 60-70% HRmax เดือนที่ 1 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 15 นาที เดือนที่ 2 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 20 นาที และเดือนที่ 3 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 30 นาที อุณหภูมิของน้ำ 36 ºC ระดับน้ำบริเวณสะโพก เป็น ระยะเวลา 3 เดือน ทำการฝึกที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

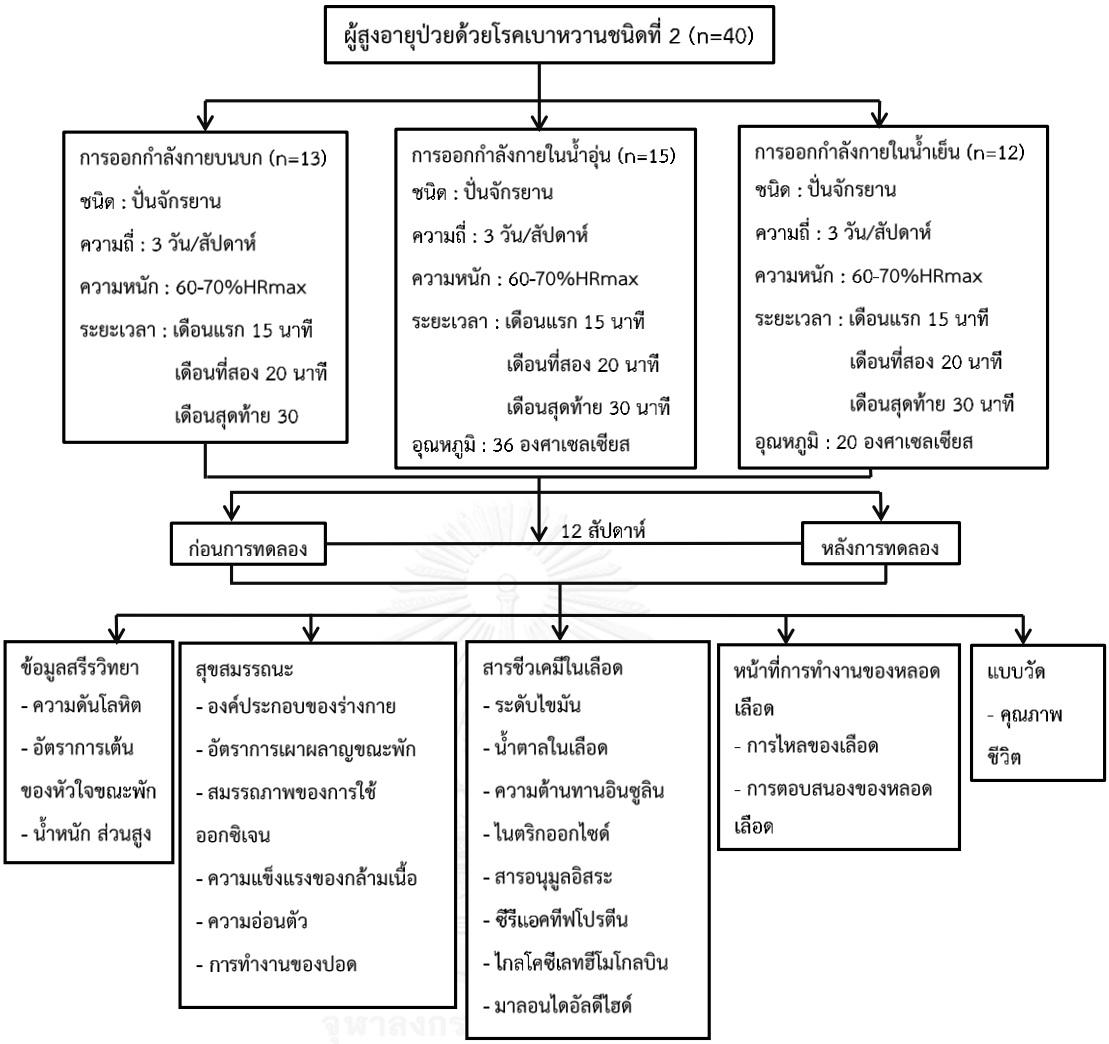
รูปที่ 8 การปั่นจักรยานในน้ำอุ่น

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำเย็น จำนวน 13 คน โดยปั่นจักรยานในน้ำเย็น ที่ความหนัก 60-70% HRmax เดือนที่ 1 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 15 นาที เดือนที่ 2 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 20 นาที และเดือนที่ 3 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 30 นาที อุณหภูมิของน้ำ 20 °C ระดับน้ำบริเวณสะโพก เป็นระยะเวลา 3 เดือน

รูปที่ 9 การปั่นจักรยานในน้ำเย็น

4. การทำแท้งค์สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบแท้งค์น้ำที่บรรจุจักรยานโดยการประยุกต์รูปแบบจากอุปกรณ์ที่มีการผลิตในประเทศ ซึ่งได้ให้ทางบริษัททรูไลน์แมนูแฟคเจอริ่ง ประเทศไทย เป็นผู้สร้างแท้งค์น้ำและประดิษฐ์จักรยานเพื่อนำมาติดตั้งในแท้งค์น้ำ โดยแท้งค์น้ำนี้จะมีการติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำได้ทั้งร้อนและเย็น อีกทั้งจักรยานสำหรับการออกกำลังกายสามารถปรับความหนักในการออกกำลังกายเพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับแต่ละบุคคล และมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้ (ภาคผนวก จ)

5. หลังการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 3 เดือน จะมีการตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ ตามข้อที่ 2 ทั้งหมดอีกครั้ง



รูปที่ 10 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลที่ได้วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM)

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่ม ได้แก่ ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาค และตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต โดยการทดสอบความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ [2 way ANOVA with repeated measure (3×2: Group × Time)] และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของบอนเฟอโรนี่ (Bonferroni) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่ม ได้แก่ ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ โดยการทดสอบความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ [2 way ANOVA with repeated measure (3×4: Group × Site)] และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของบอนเฟอโรนี่ (Bonferroni) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ และ 2) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ข้อมูล นำเสนอข้อมูลในรูปของตารางและแผนภูมิประกอบคำเรียง โดยแบ่งการนำเสนอได้ ดังนี้

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลัง

เท้า (Dorsal of toe arteriole) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านระดับคุณภาพชีวิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านคุณภาพชีวิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น	
	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 13)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 15)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 12)
	$\bar{X}$ ±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM
อายุ (ปี)	66.64±1.21	-	66.27±1.17	-	67.62±1.26	-
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	156.00±1.87	-	155.60±1.80	-	156.15±1.94	-
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	64.98±2.78	64.86±2.81	62.89±2.68	63.13±2.71	66.23±2.88	66.57±2.91
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เซนติเมตร^2)	26.75±1.07	26.72±1.09	26.12±1.04	26.27±1.05	27.10±1.11	27.23±1.13
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	81.93±2.30	77.00±3.01*	75.60±2.22	70.40±2.90*	82.46±2.38	72.46±3.12*
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	139.00±4.72	132.21±4.78	140.07±4.56	133.53±4.63	146.15±4.90	137.46±5.0*
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	79.79±2.84	76.86±2.88	78.67±2.75	77.00±2.78	84.46±2.95	74.92±2.99*

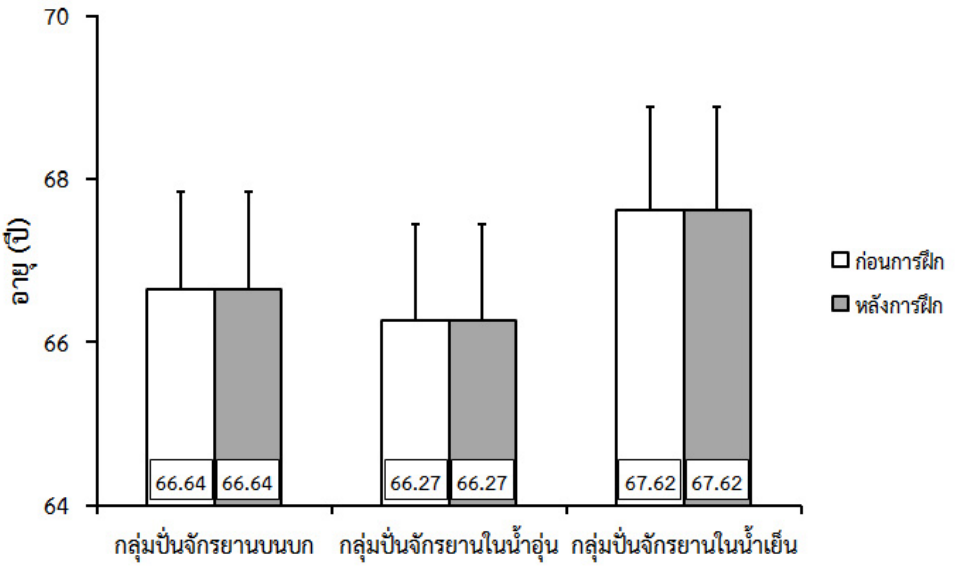
*p<.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก มีค่าเฉลี่ยอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

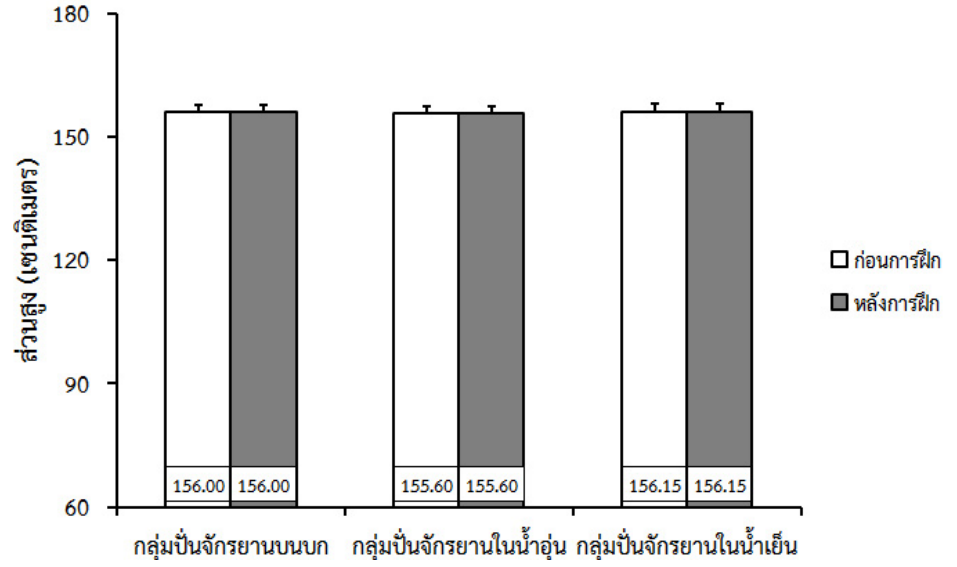
ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น มีค่าเฉลี่ยอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น มีค่าเฉลี่ยอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

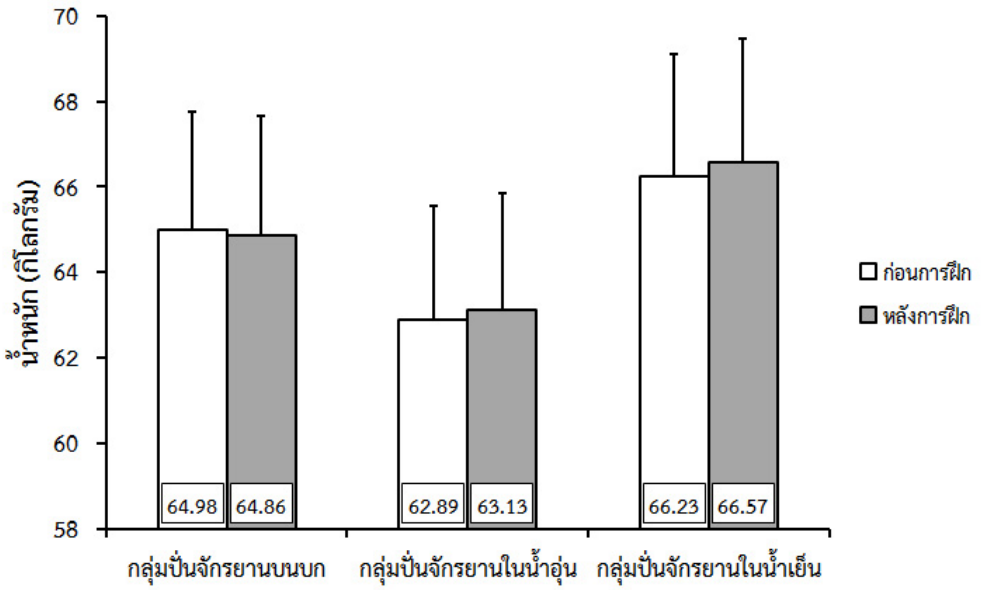
ทั้งก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบความแปรปรวนแบบ 2 ทาง กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ยอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัว ไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย12 สัปดาห์กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นพบว่ามีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง เฉพาะกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



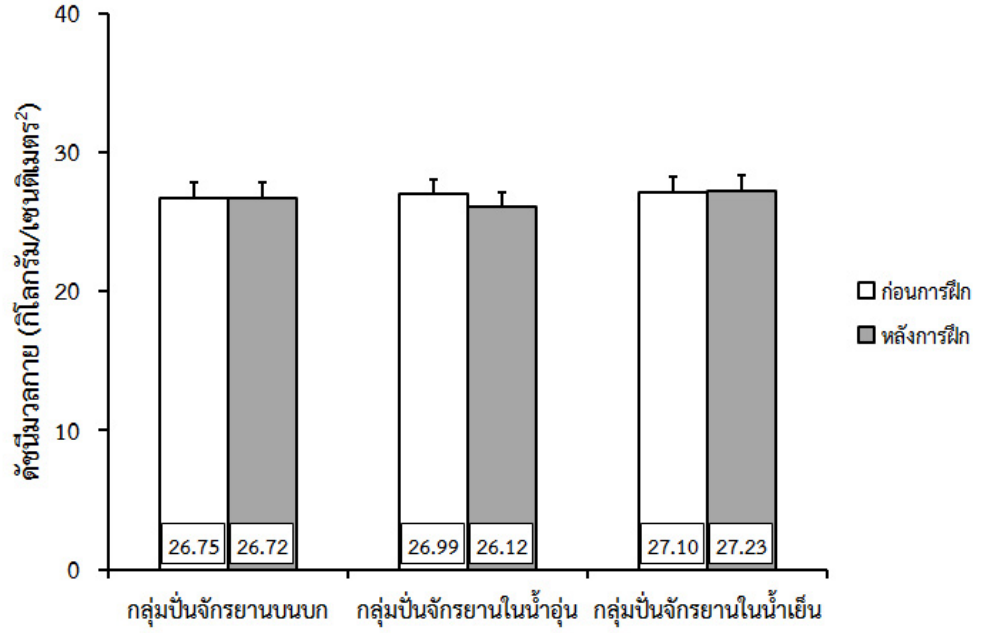
รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



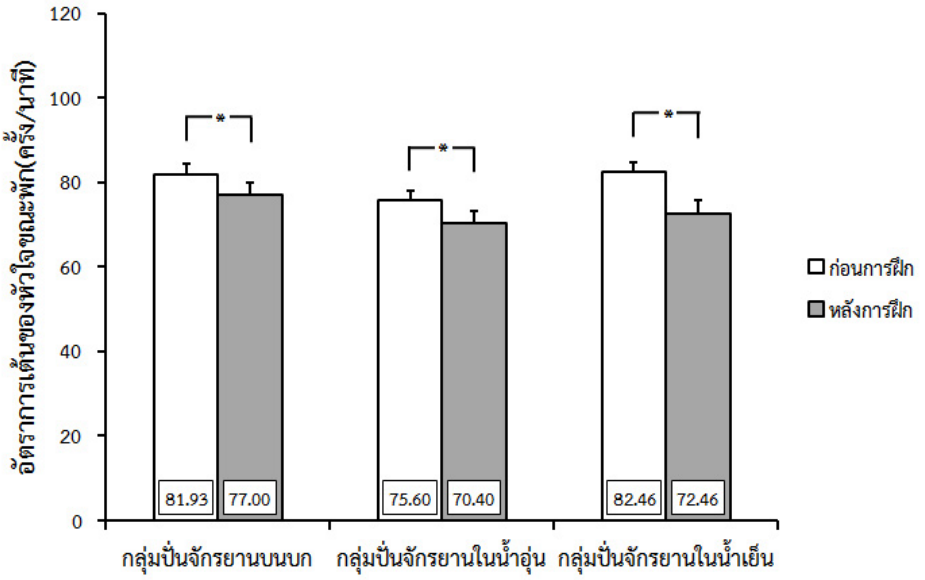
รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



รูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

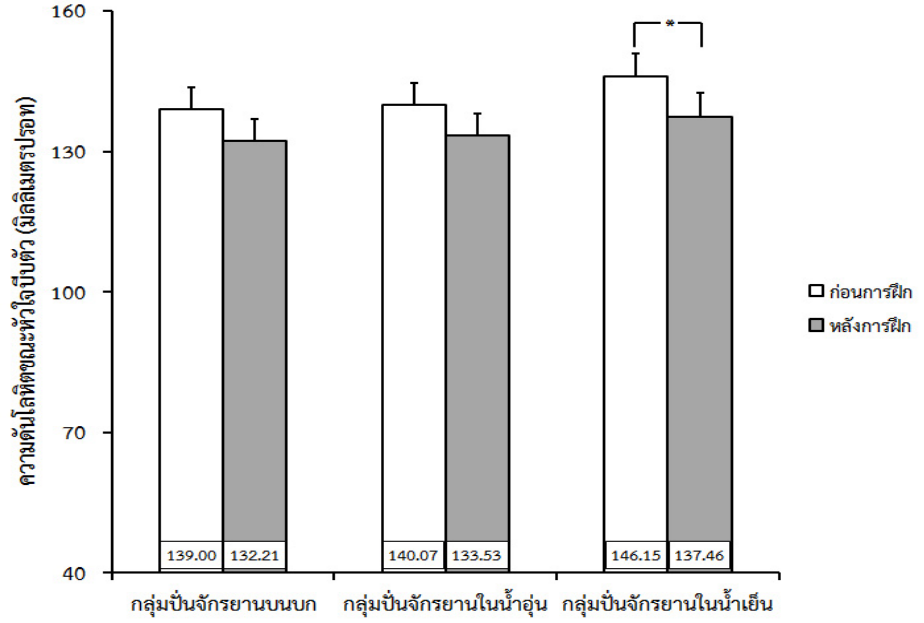


รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



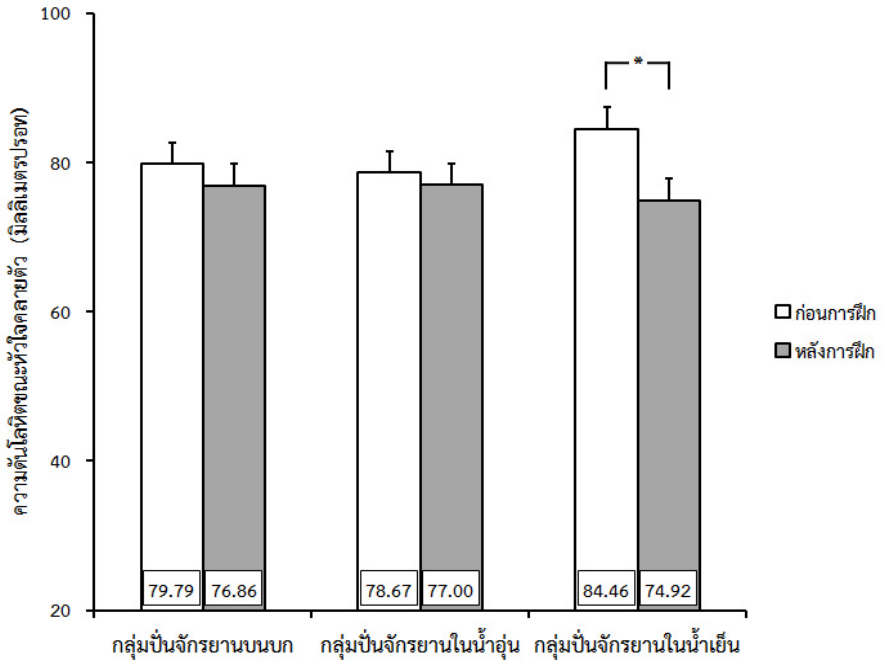
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น	
	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 13)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 15)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 12)
	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	36.82±2.04	36.56±2.01	34.37±1.97	34.54±1.94	38.48±2.12	37.62±2.08
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม/น้ำหนักตัว)	1.00±0.10	1.05±0.10	1.04±0.10	1.29±0.10*	0.99±0.10	1.06±0.11
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	5.36±2.52	9.36±2.41*	9.07±2.44	13.27±2.33*	9.46±2.62	10.31±2.50
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	1714.29±157.78	1889.29±139.54*	1896.67±152.43	2136.67±134.81*	1930.77±163.74	1976.92±144.81
สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	14.07±0.90	16.79±1.09*	15.67±0.86	18.07±1.06*	11.69±1.93	14.31±1.13*

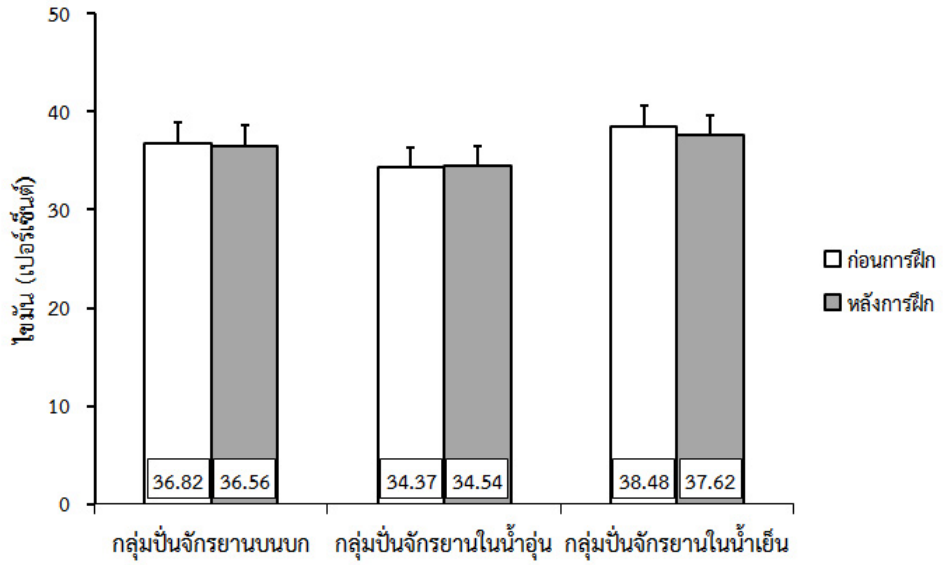
*p<.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบกมีค่าเฉลี่ยไขมัน และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยความอ่อนตัว ความจุปอด และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

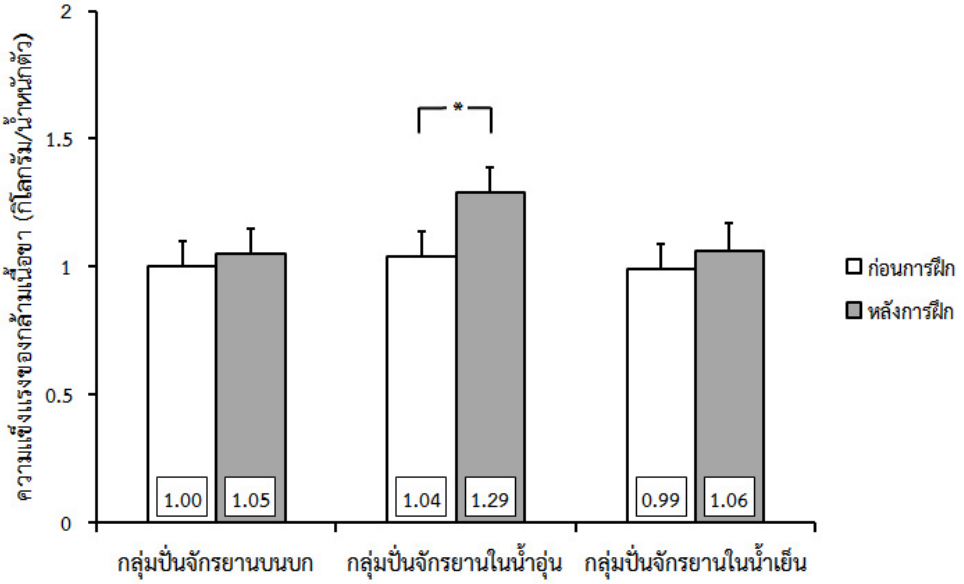
ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยไขมัน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว ความจุปอด และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยไขมัน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว และความจุปอด ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังจากฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ทั้งก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบความแปรปรวนแบบ 2 ทางกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยไขมัน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว ความจุปอด และสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นพบว่ามีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น ส่วนกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยความอ่อนตัวและความจุปอดเพิ่มขึ้น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

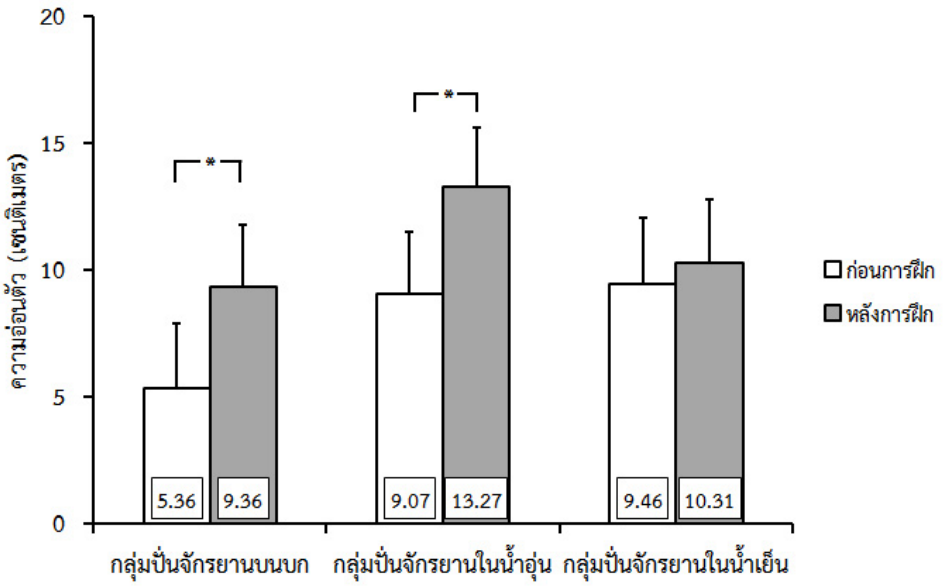


รูปที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



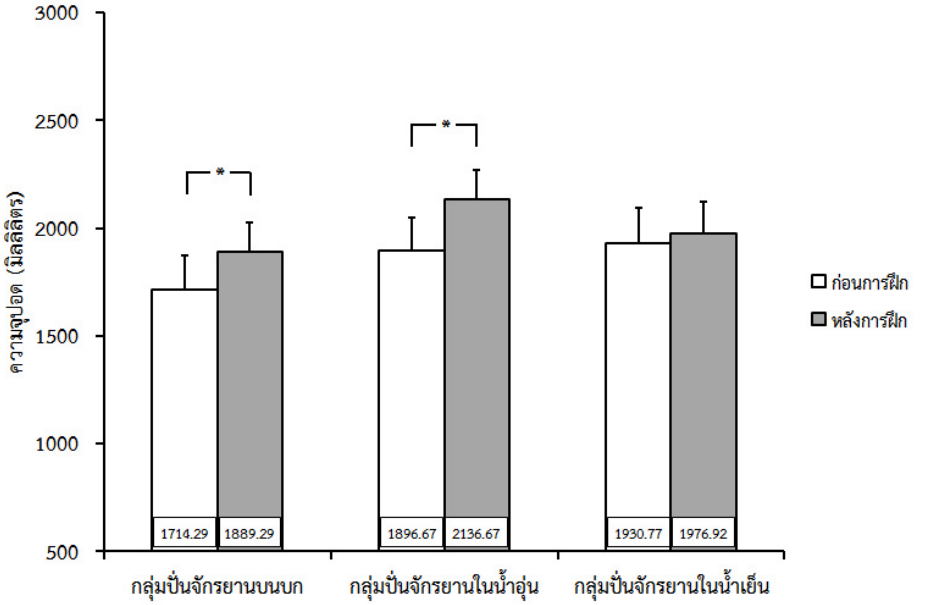
***** แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



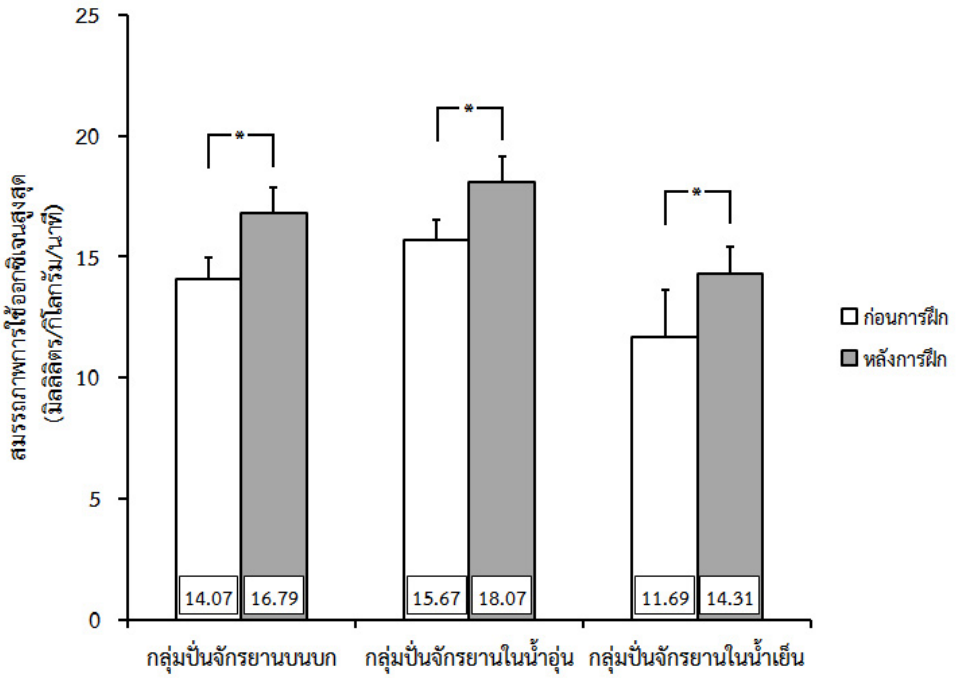
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความอ่อนตัวก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความจุปอดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น	
	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 13)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 15)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 12)
	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	140.36±9.49	140.14±8.53	143.07±9.17	140.27±8.24	140.46±9.85	141.08±8.85
ไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน (เปอร์เซ็นต์)	7.94±0.28	7.43±0.21*	7.86±0.27	7.21±0.20*	7.54±0.29	6.99±0.22*
ความดื้อต่ออินซูลิน	3.48±0.86	3.48±0.79	3.27±0.83	3.02±0.77	5.59±0.89	5.43±0.82
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	182.07±9.20	176.29±8.40*	199.67±8.89	182.93±8.12*	192.92±9.55	186.54±8.72*
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	155.21±16.96	145.47±16.12*	157.40±16.39	145.47±16.02*	151.31±17.60	138.62±17.21*
เอชดีแอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	50.00±3.55	52.57±3.57*	53.40±3.43	57.13±3.45*	54.77±3.68	58.15±3.71*
แอลดีแอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	110.00±8.55	103.64±7.98*	120.93±8.26	109.13±7.71*	122.62±8.88	117.69±8.28*
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล/ลิตร)	5.11±0.72	5.45±0.72	5.76±0.70	6.18±0.69*	6.85±0.75	7.03±0.74
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล/ลิตร)	0.97±0.16	0.67±0.03	0.88±0.15	0.57±0.02*	0.63±0.17	0.55±0.03
ซีรีแอคทีฟโปรตีน (ไมโครโมล/ลิตร)	1.90±0.46	1.90±0.39	1.98±0.44	1.67±0.38	2.40±0.49	2.21±0.42

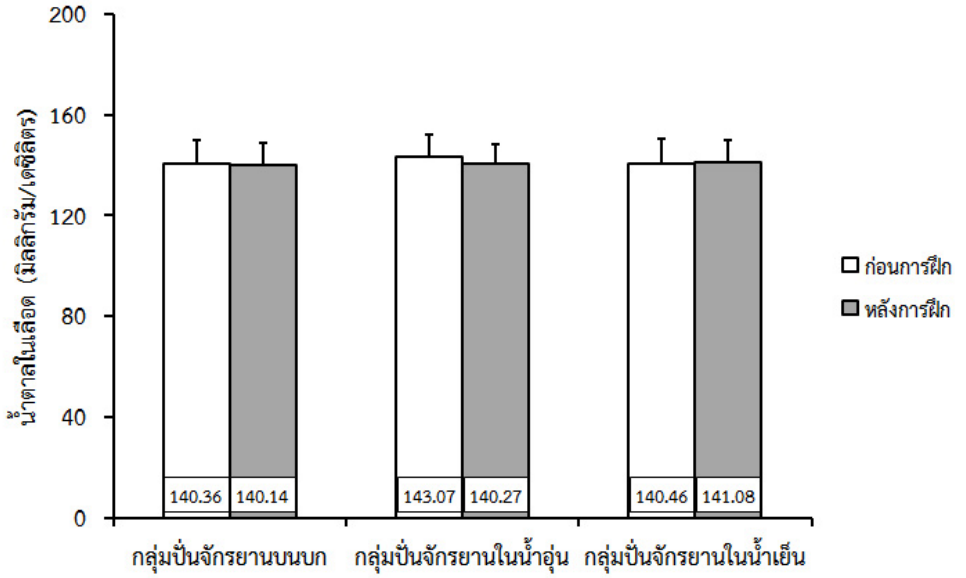
*p<.05 ต่างจากก่อนการฝึกในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบกมีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ความดื้อต่ออินซูลิน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และซีรีแอคทีฟโปรตีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และแอลดีแอลลดลง ส่วนค่าเฉลี่ยเอชดีแอลเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

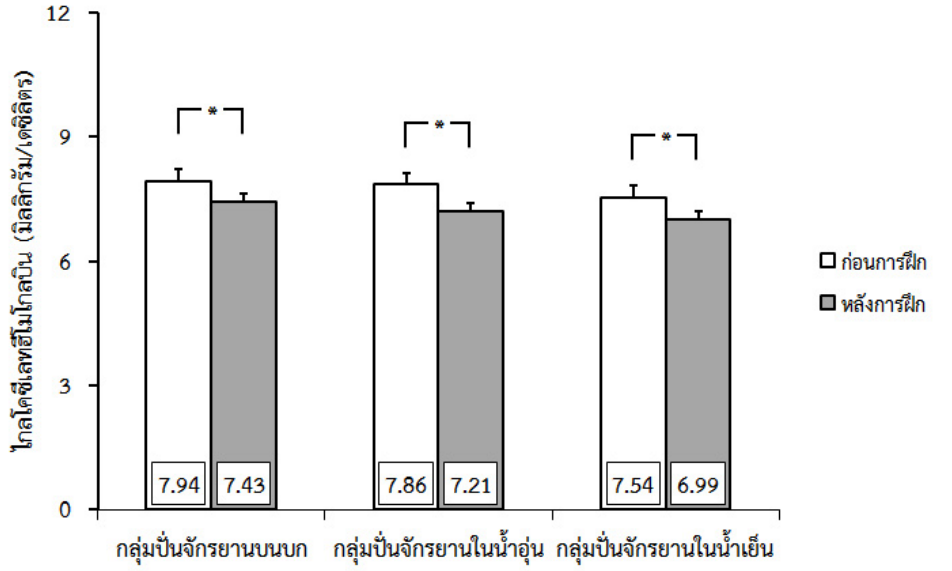
ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น มีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ความดื้อต่ออินซูลิน และซีรีแอคทีฟโปรตีน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ แอลดีแอล และมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลง ส่วนค่าเฉลี่ยเอชดีแอลและไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ความดื้อต่ออินซูลิน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และซีรีแอคทีฟโปรตีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และแอลดีแอลลดลง ส่วนค่าเฉลี่ยเอชดีแอลเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ทั้งก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบความแปรปรวนแบบ 2 ทาง กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน ความดื้อต่ออินซูลิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ เอชดีแอล แอลดีแอล ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์และรีแอคทีฟโปรตีน ไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น พบว่าค่าเฉลี่ยไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ แอลดีแอลลดลง ส่วนเอชดีแอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เฉพาะกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น และมาลอนไดอัลดีไฮล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

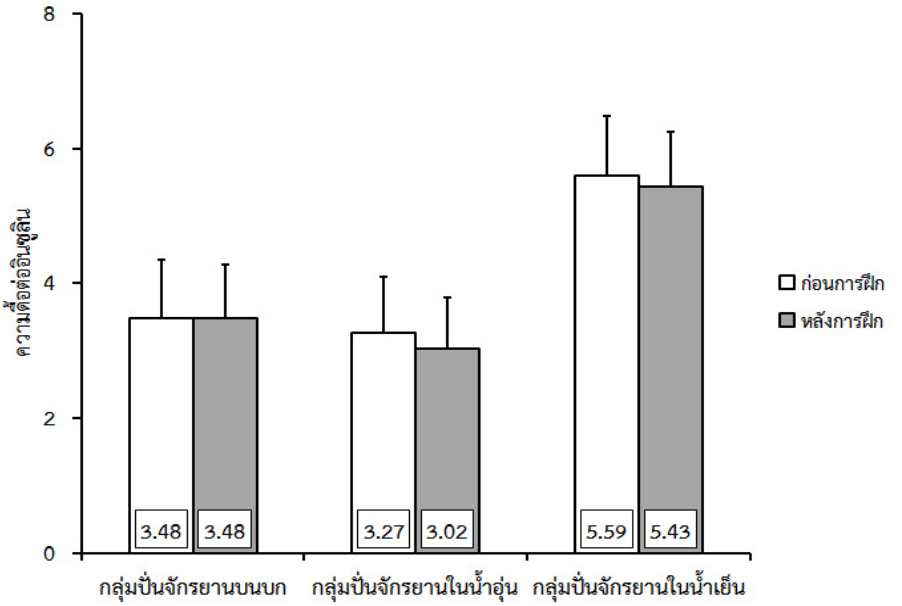


รูปที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

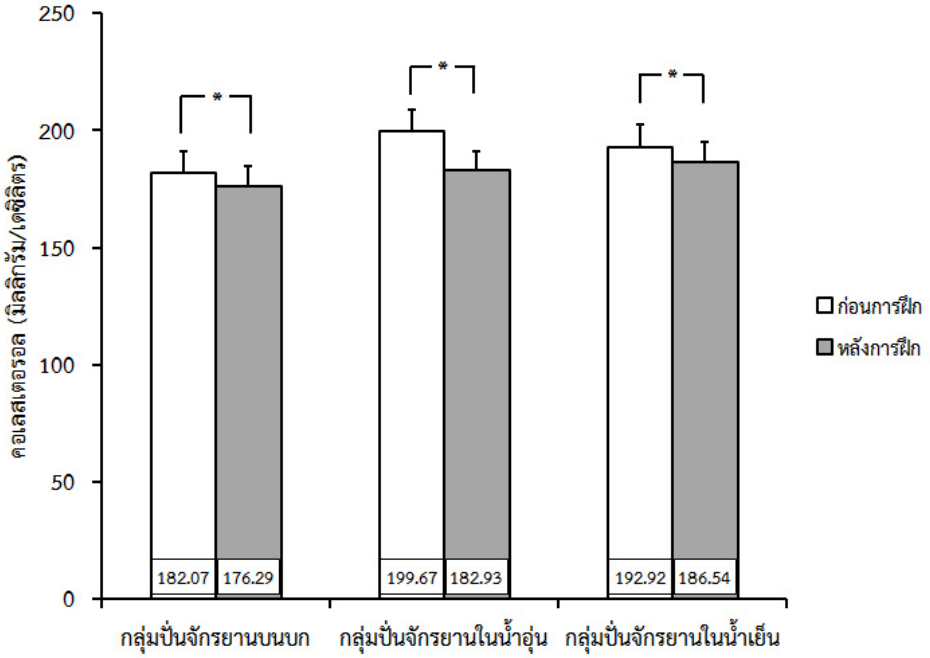


* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

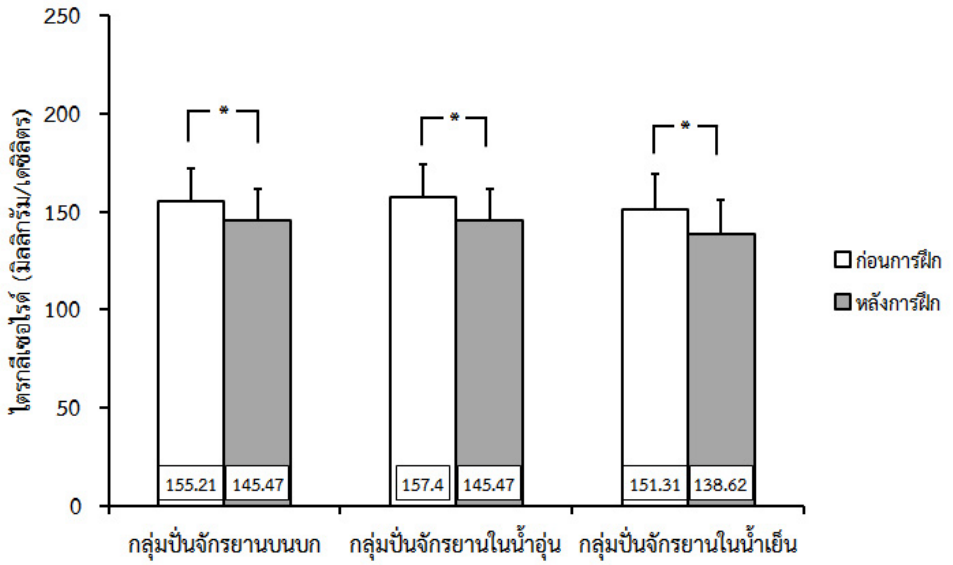


รูปที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดื้อต่ออินซูลิน ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



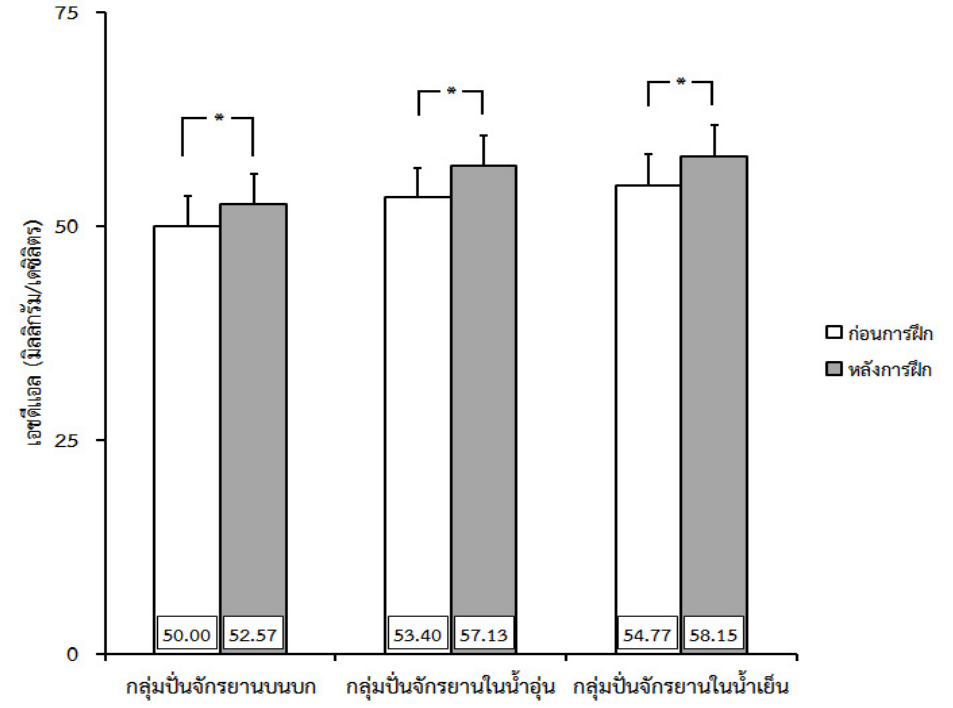
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



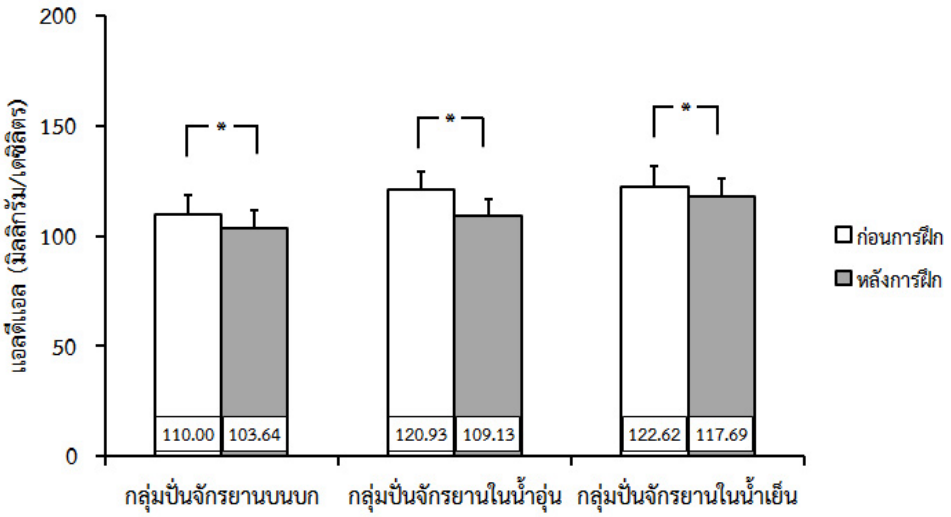
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไตรกลีเซอร์ไรด์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



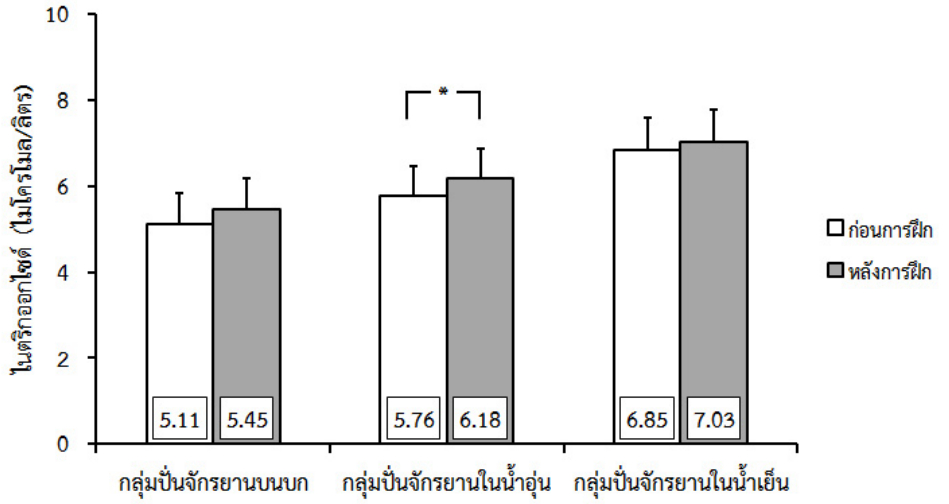
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเอชดีแอล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



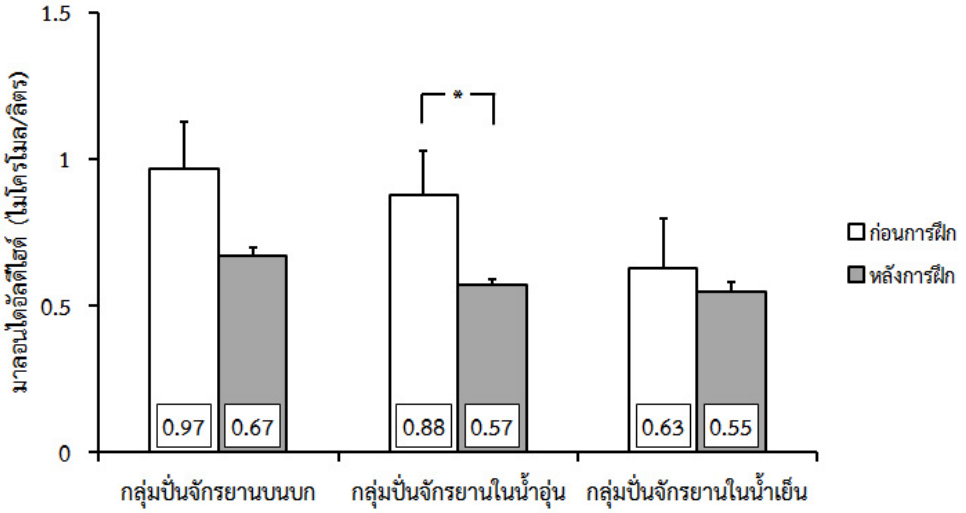
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแอลดีแอล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



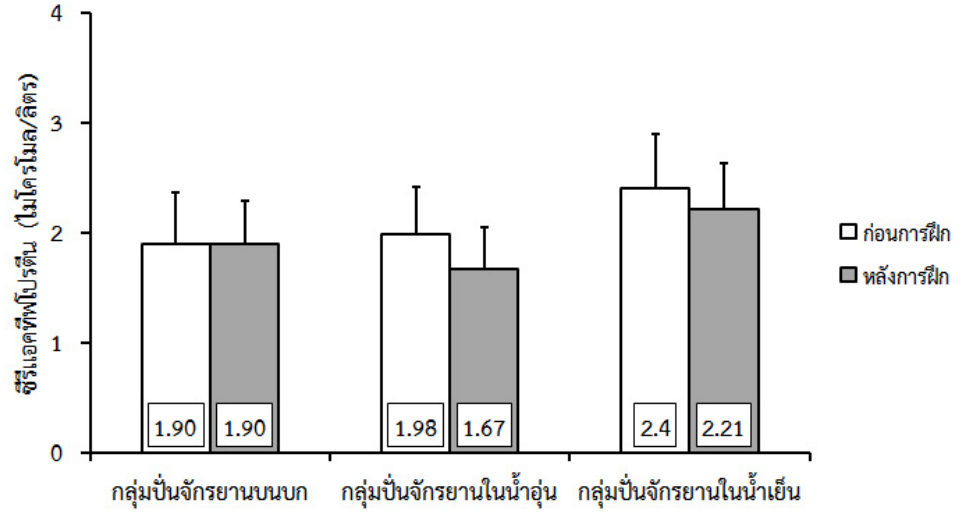
***** แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนตริกออกไซด์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



***** แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมาลอนไดอัลดีไฮด์ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



รูปที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยซีรีแอคทีฟโปรตีน ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น	
	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 13)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 15)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 12)
	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM
หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery)						
- ขนาดหลอดเลือดขณะพัก (มิลลิเมตร)	4.47±0.08	4.63±0.08*	4.56±0.08	4.69±0.08*	4.48±0.09	4.63±0.08*
- อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพัก (วินาที)	41.36±4.44	25.80±3.93*	45.71±4.29	29.49±3.79*	36.25±4.60	30.59±4.08*
- การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	3.91±0.42	5.46±0.55*	3.25±0.40	6.16±0.53*	3.68±0.43	5.17±0.57*
หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery)						
- ขนาดหลอดเลือดขณะพัก (มิลลิเมตร)	5.04±0.15	5.16±0.15*	5.21±0.14	5.35±0.15*	5.25±0.15	5.36±0.16*
- อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพัก (วินาที)	13.89±2.85	10.92±2.28	16.77±2.75	12.98±2.20	11.65±3.00	7.74±2.36
- การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	3.41±0.40	5.59±0.49*	3.43±0.38	6.24±0.48*	2.49±0.41	4.15±0.51*
ความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอ (มิลลิเมตร)	0.58±0.02	0.57±0.02	0.58±0.02	0.55±0.02	0.61±0.02	0.60±0.02
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	1905.29±67.40	1798.21±58.86*	1743.70±65.12	1614.77±56.86*	1744.15±69.95	1651.92±61.08*

*p<.05 ต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก มีค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลและความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบริเคียลและพอพลิเตียล และอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

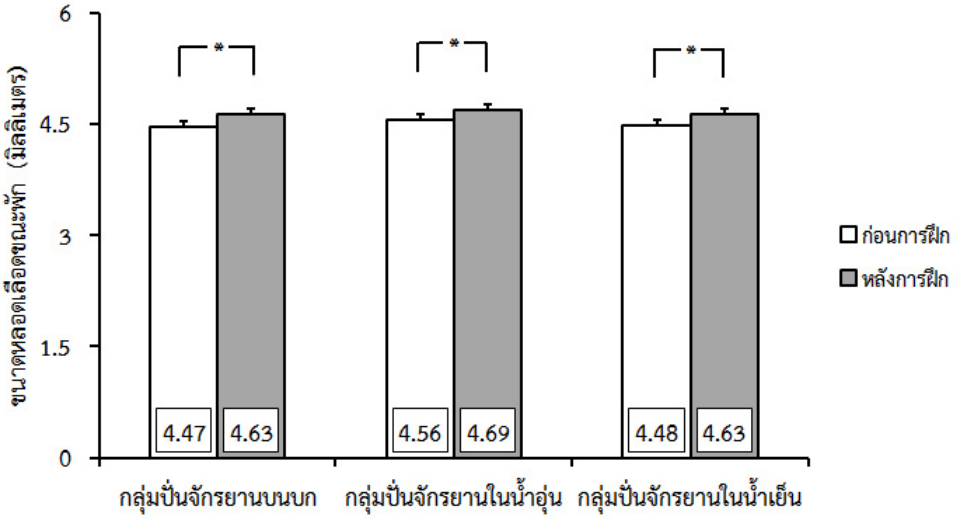
ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลและความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล และอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล และความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบริเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียล และค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ทั้งก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบความแปรปรวนแบบ 2 ทาง กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล ความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอ และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นพบว่ามีค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะ

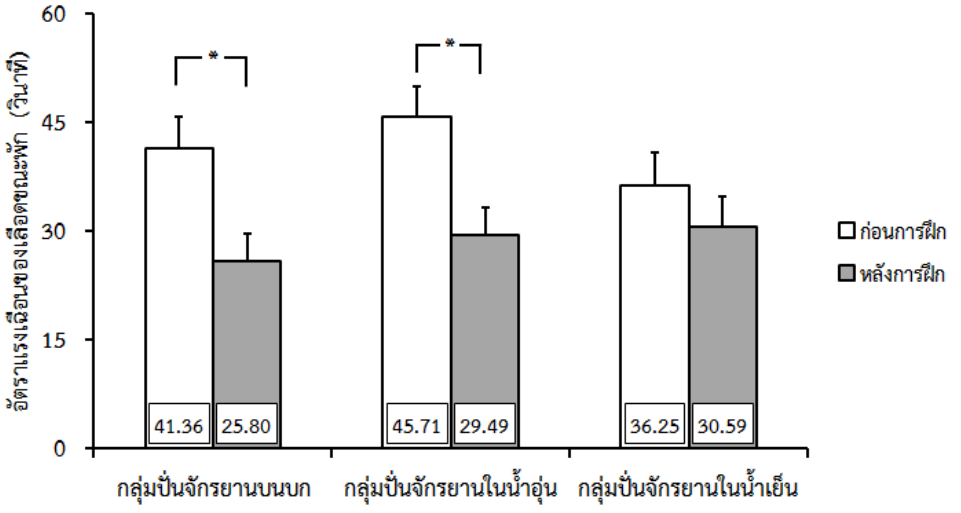
พักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



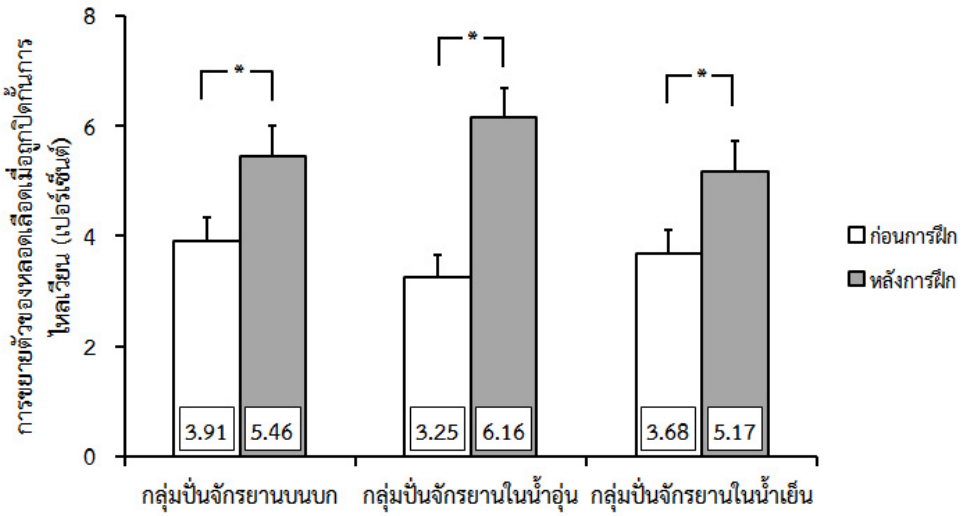
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียล ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



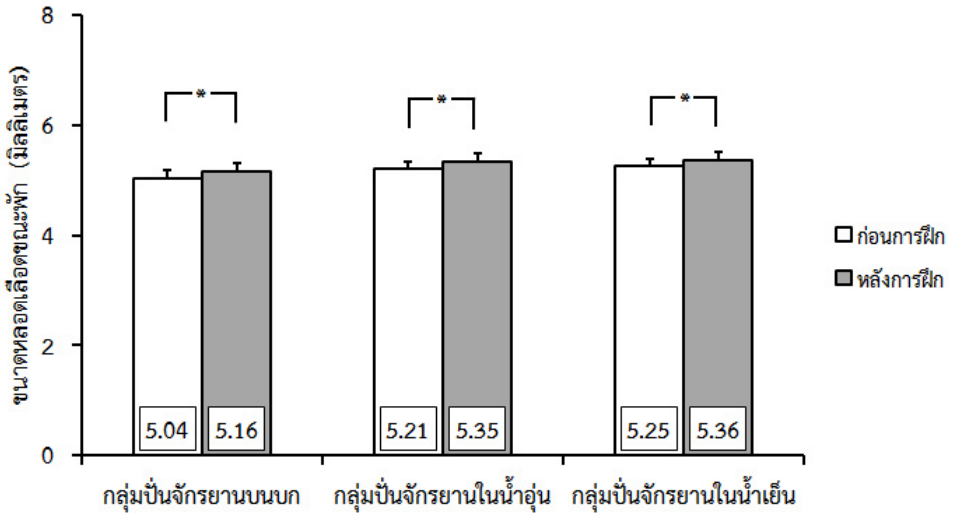
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



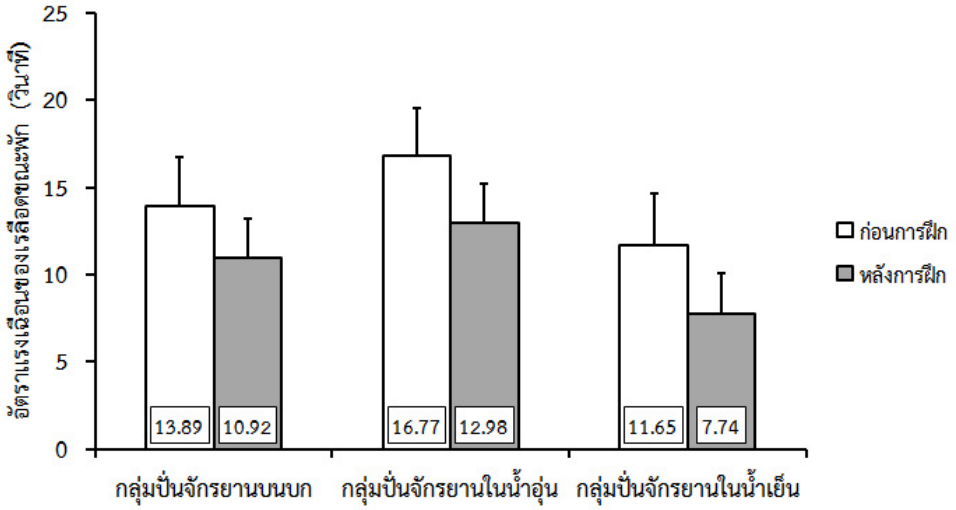
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

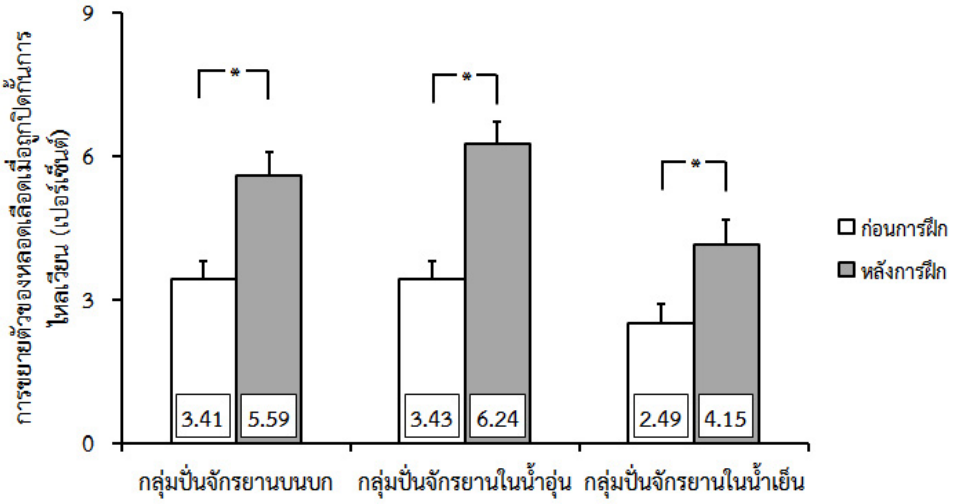


* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

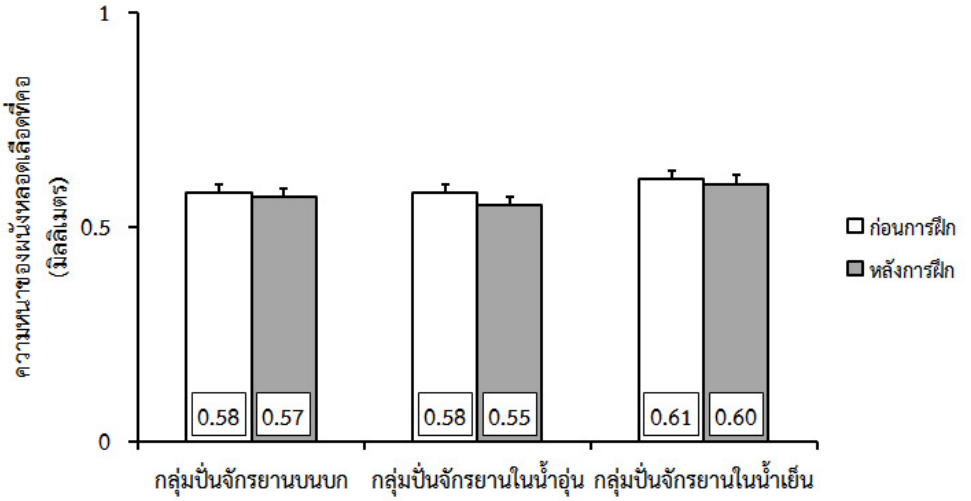


รูปที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

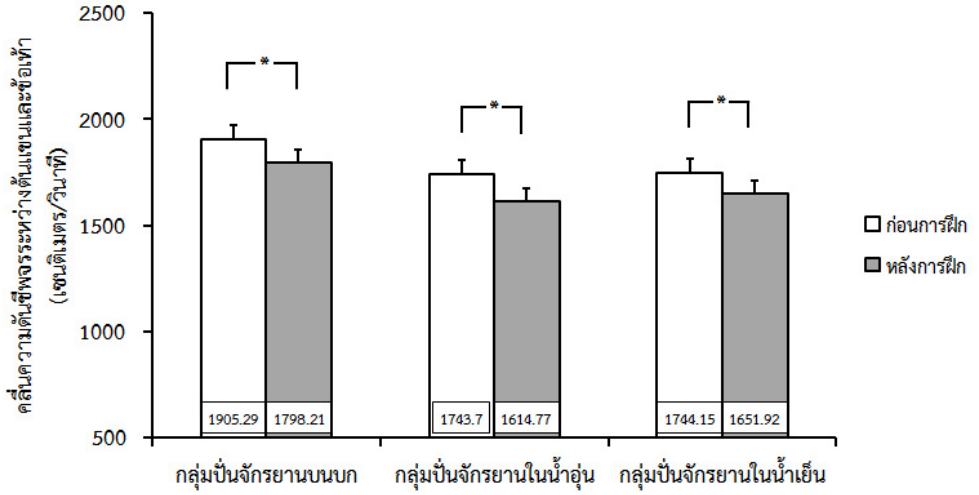


***** แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



รูปที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดที่คอก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระดับจุลภาค	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น	
	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 13)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 15)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 12)
	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM	$\bar{X}$± SEM
หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole)						
- การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก (AU)	63.55±5.84	68.52±5.52*	66.93±5.75	75.61±5.34*	63.02±6.18	69.25±5.73*
- การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง (AU)	83.87±13.07	92.06±12.94*	83.34±12.62	95.42±12.51*	74.11±13.56	81.20±13.43*
- เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด (วินาที)	10.79±1.73	6.79±1.28*	12.33±1.67	5.28±1.24*	11.46±1.79	7.00±1.33*
- เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพัก (วินาที)	143.00±22.43	122.21±21.21*	116.00±15.33	84.67±14.06*	131.46±16.47	102.15±15.10*
- การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง (%)	30.61±13.07	39.36±13.96*	24.51±12.62	38.26±13.48*	25.11±13.56	34.10±14.48*
หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsum of foot arteriole)						
- การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก (AU)	8.08±1.61	11.93±2.85*	12.25±1.57	18.59±2.75*†	6.70±1.67	10.65±3.02*‡
- การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง (AU)	27.03±2.45	30.81±2.37*	27.89±2.37	42.40±2.95*†	16.42±2.55	24.69±3.17*‡
- เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด (วินาที)	11.50±2.66	5.14±0.89*	7.71±2.57	1.40±0.86*†	9.39±2.76	5.62±0.93*‡
- เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพัก (วินาที)	48.93±12.53	34.52±8.84*	57.40±12.10	20.53±8.54*†	51.39±13.00	32.46±9.18*‡
- การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง (%)	29.01±2.15	49.26±3.22*	24.23±2.08	59.54±3.11*†	24.67±2.24	42.73±3.34*‡

*p<.05 ต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกที่หลังการฝึก; ‡p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นที่หลังการฝึก

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

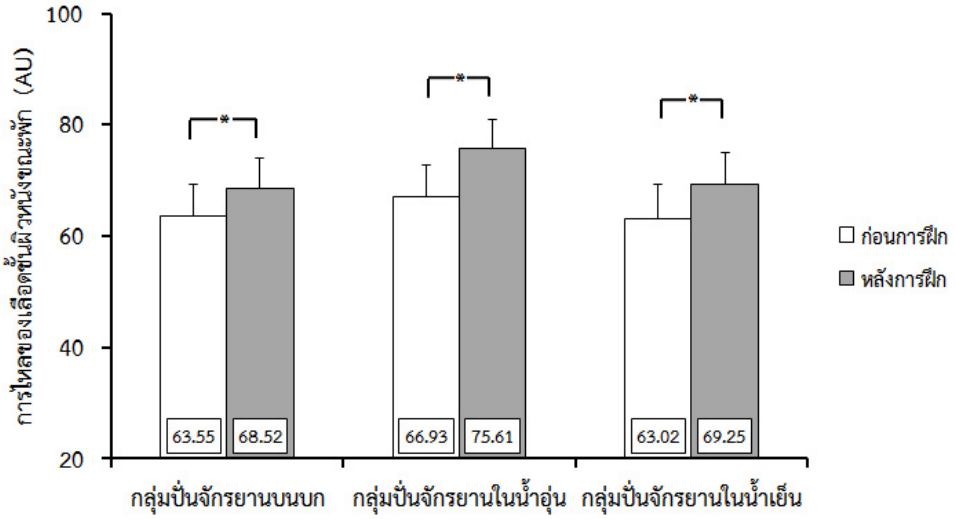
ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหล

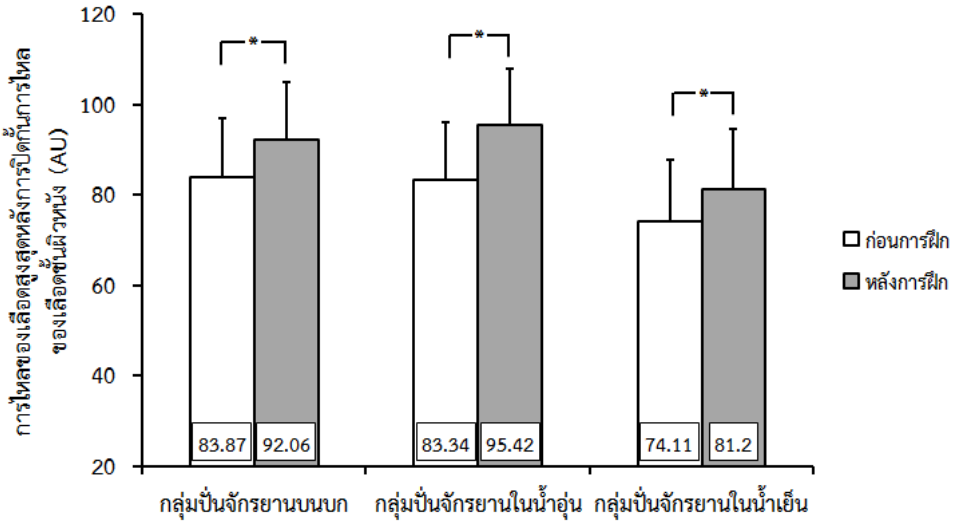
ของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองที่บริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า มีค่าเพิ่มขึ้น เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองที่บริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าและการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังเท้ามีค่าสูงกว่า ส่วนเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้ามีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



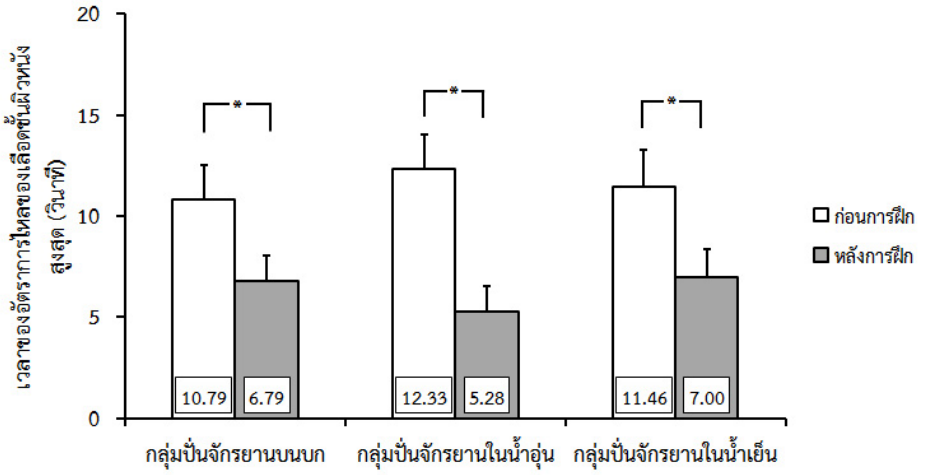
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



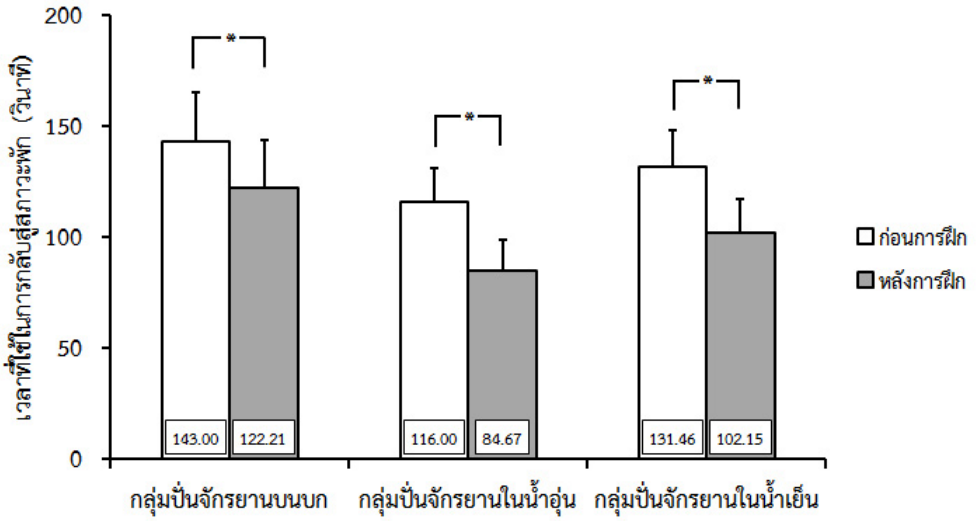
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยาน



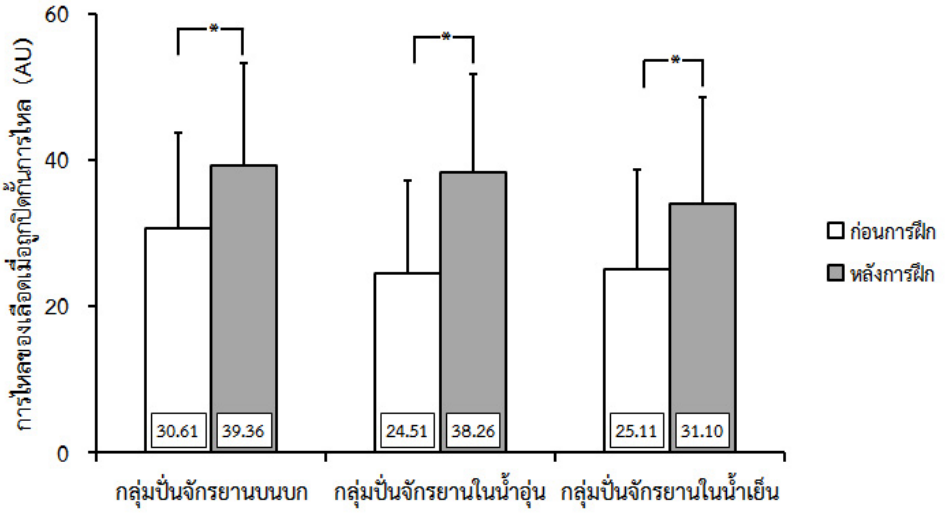
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

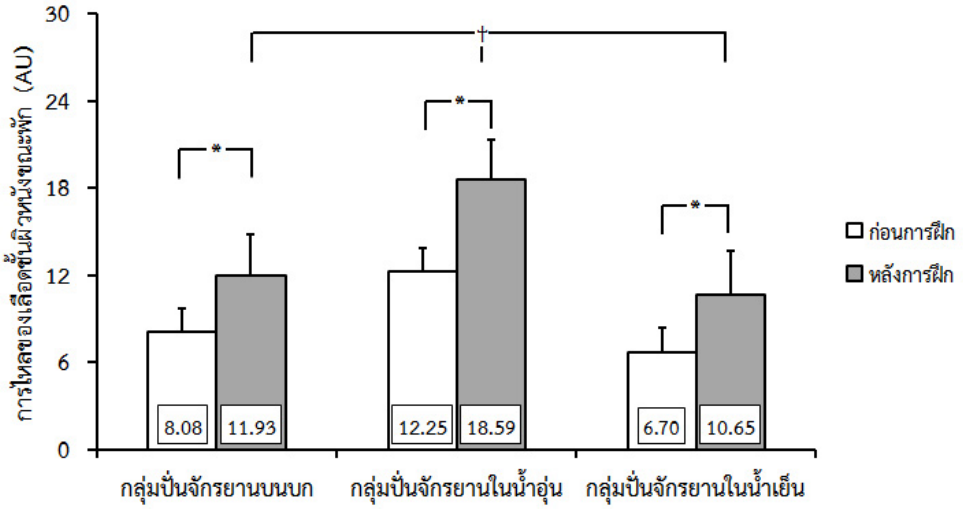


* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



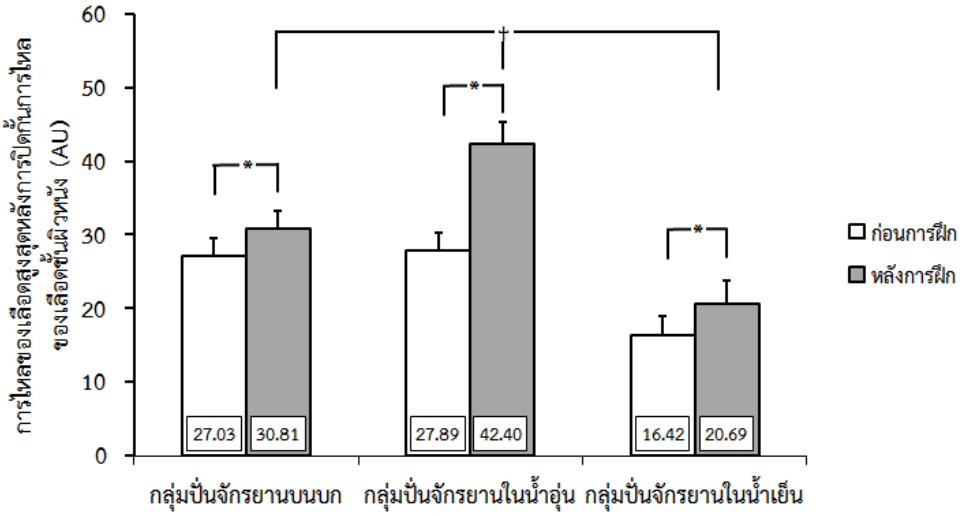
รูปที่ 45 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

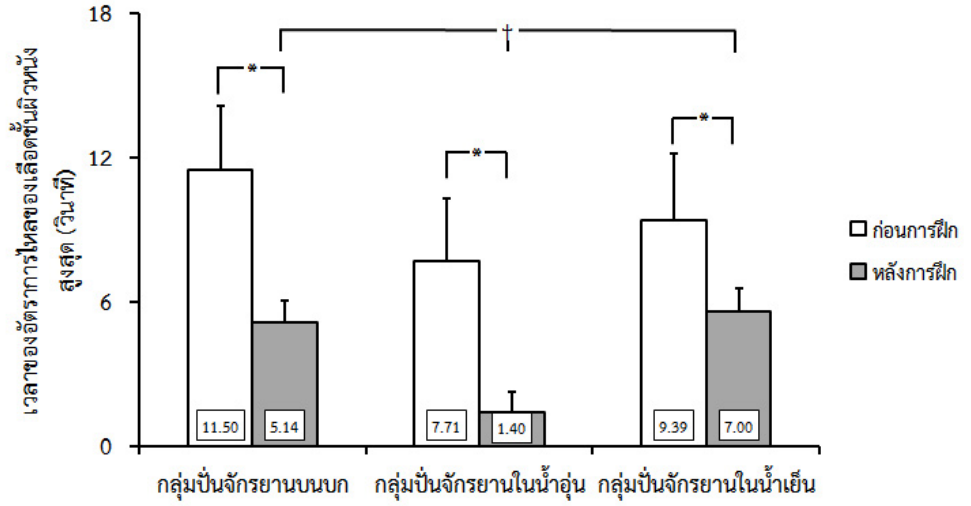
รูปที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

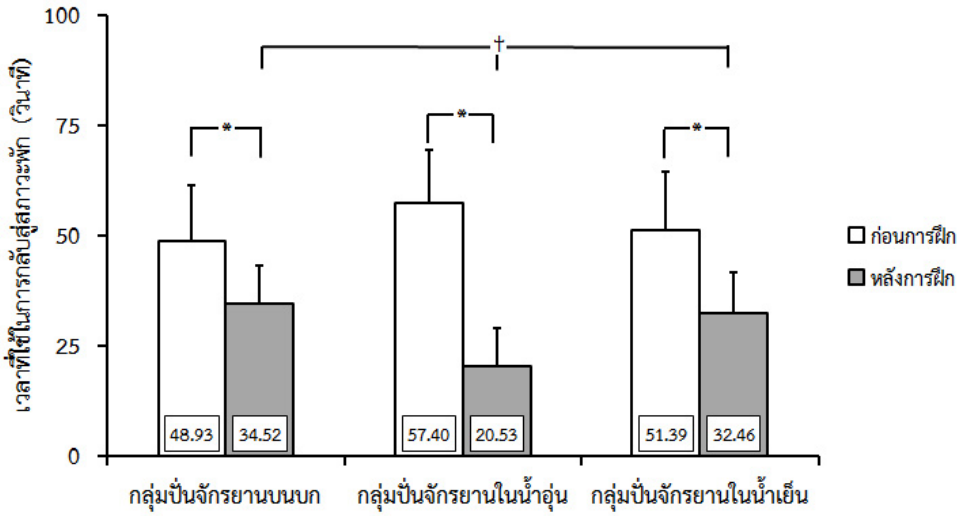
รูปที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

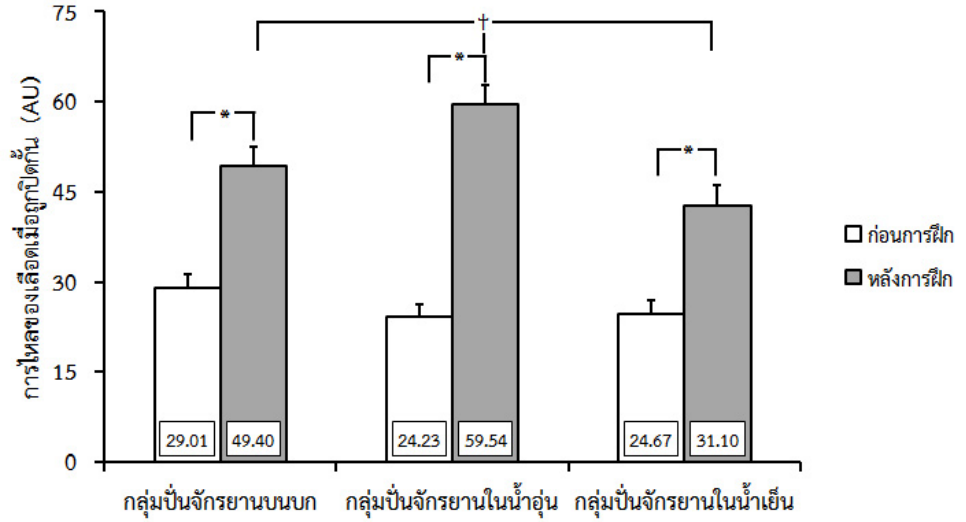
รูปที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก				กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น				กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น			
	ก่อนการฝึก (n=16)		หลังการฝึก (n=13)		ก่อนการฝึก (n=16)		หลังการฝึก (n=15)		ก่อนการฝึก (n=16)		หลังการฝึก (n=12)	
	หลอดเลือดแดงเบรเคียล	หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล	หลอดเลือดแดงเบรเคียล	หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล	หลอดเลือดแดงเบรเคียล	หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล	หลอดเลือดแดงเบรเคียล	หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล	หลอดเลือดแดงเบรเคียล	หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล	หลอดเลือดแดงเบรเคียล	หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล
	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM	$\bar{x}$±SEM
ขนาดหลอดเลือดขณะพัก (มิลลิเมตร)	4.47 ±0.08	5.04 ±0.15*¥£	4.63 ±0.08†	5.16 ±0.15*†¥£	4.56 ±0.08	5.21 ±0.14*‡£	4.69 ±0.08†	5.35 ±0.15*†‡£	4.48 ±0.09	5.25 ±0.15*‡¥	4.63 ±0.08†	5.36 ±0.16*†‡¥
อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพัก (วินาที)	41.36 ±4.44	13.89 ±2.85*¥£	25.80 ±3.93†	10.92 ±2.28*†¥£	45.71 ±4.29	16.77 ±2.75*‡£	29.49 ±3.79†	12.98 ±2.20*†‡£	36.25 ±4.60	11.65 ±3.00*‡¥	30.59 ±4.08†	7.74 ±2.36*†‡¥
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	3.91 ±0.42	3.41 ±0.40	5.46 ±0.55†	5.59 ±0.49†	3.25 ±0.40	3.43 ±0.38	6.16 ±0.53†	6.24 ±0.48†	3.68 ±0.43	2.49 ±0.41	5.17 ±0.57†	4.15 ±0.51†

*p<.05 ต่างกับเบรเคียลในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; £p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน

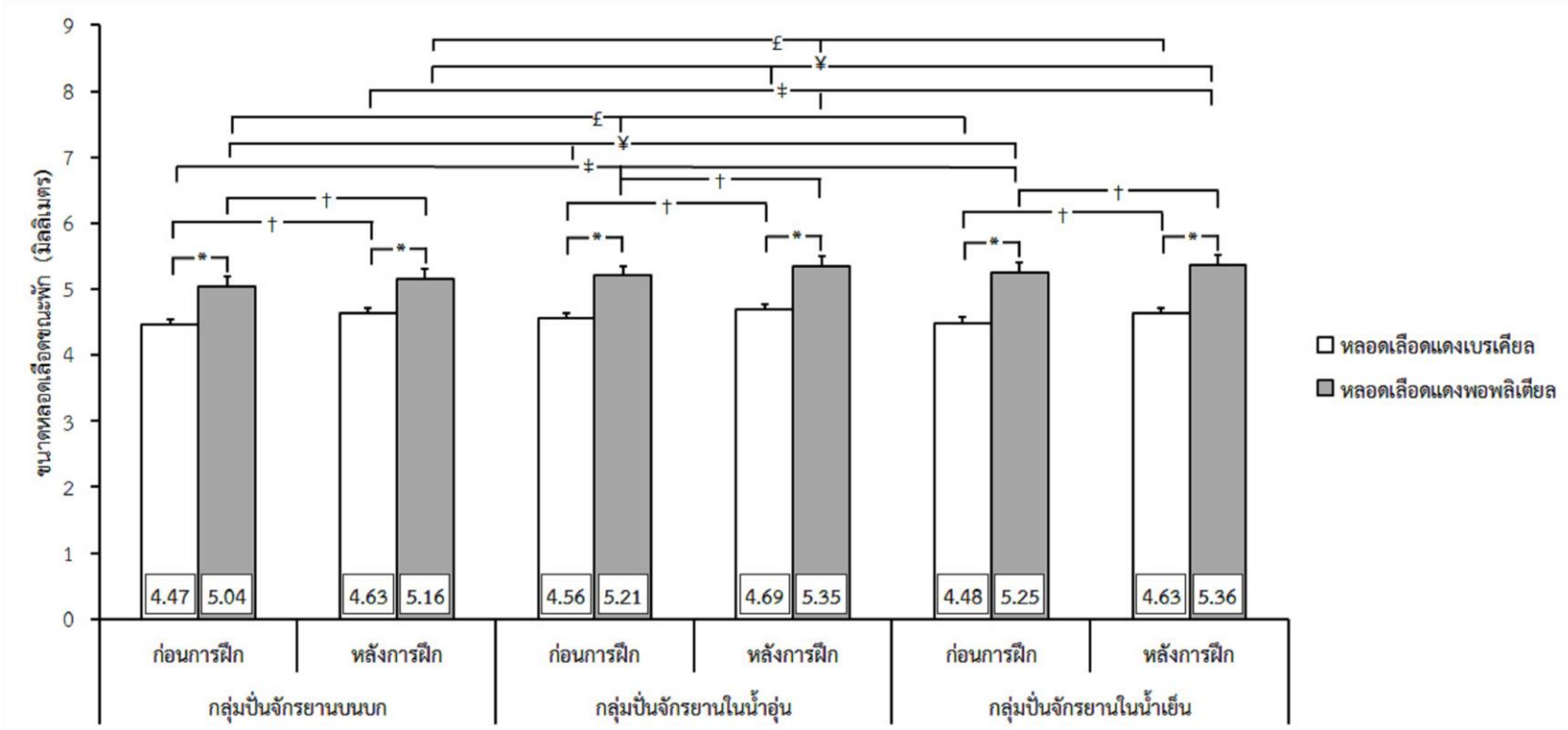
จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มปั่นจักรยานบนบก ก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลไม่แตกต่างกัน แต่ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล และอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลแตกต่างกัน ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังฝึกแตกต่างกับหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึก ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนการฝึกแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังฝึก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังฝึก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนการฝึกแตกต่างกับการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังการฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังการฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น ก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล และอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดเบรเคียลแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดพอพลิเตียล ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังการฝึก ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดพอพลิเตียล ก่อนการฝึกแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดพอพลิเตียล หลังการฝึก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดแดงเบรเคียลหลังการฝึก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดแดงพอพลิเตียล ก่อนการฝึกแตกต่างกับการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูก

ปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล หลังการฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียล หลังการฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนการฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

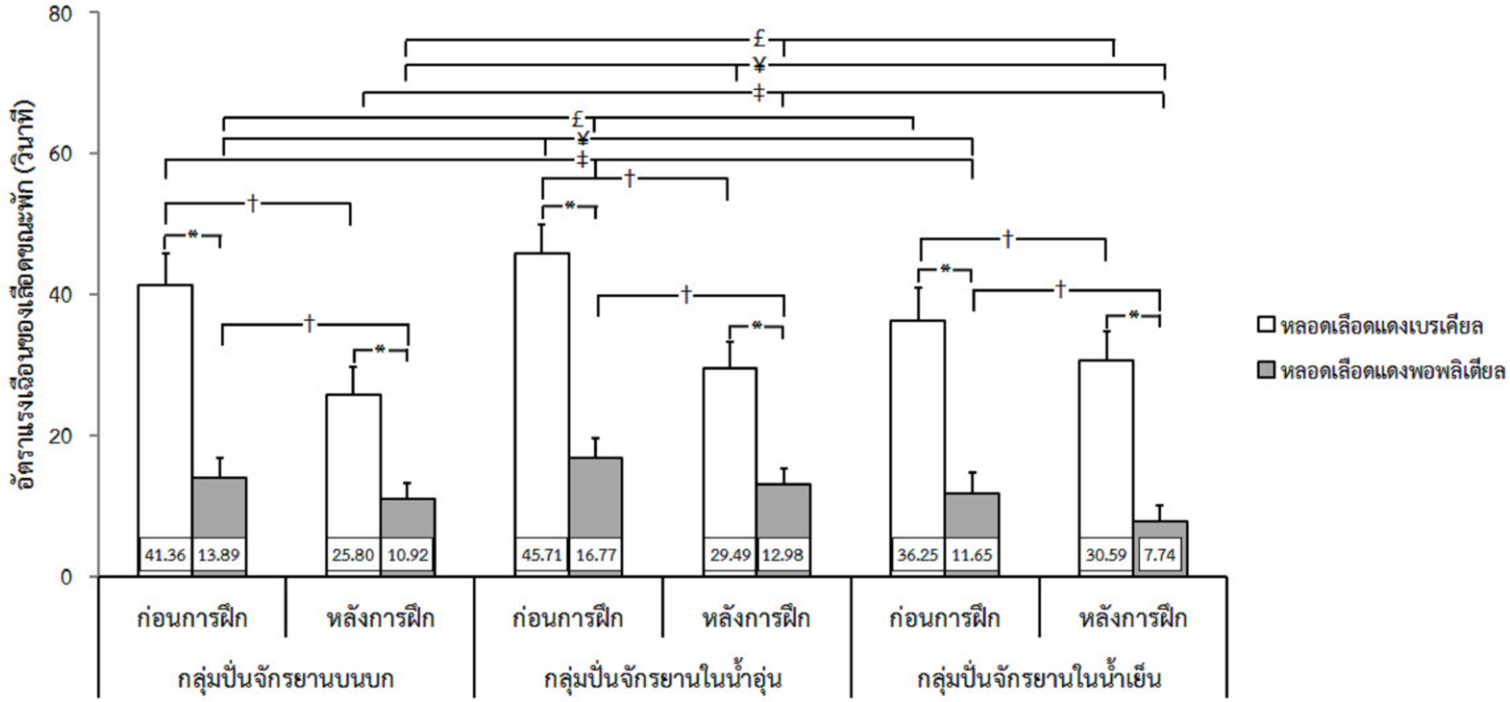
กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น ก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล และอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดพอพลิเตียล ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังการฝึก ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดพอพลิเตียลก่อนการฝึกแตกต่างกับขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดพอพลิเตียล หลังการฝึก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดแดงเบรเคียลหลังการฝึก การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนการฝึกแตกต่างกับการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังการฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลก่อนการฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลหลังการฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลก่อนการฝึกแตกต่างกับอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลหลังการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์และหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น พบว่าค่าเฉลี่ยขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลแตกต่างกับหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล แต่การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



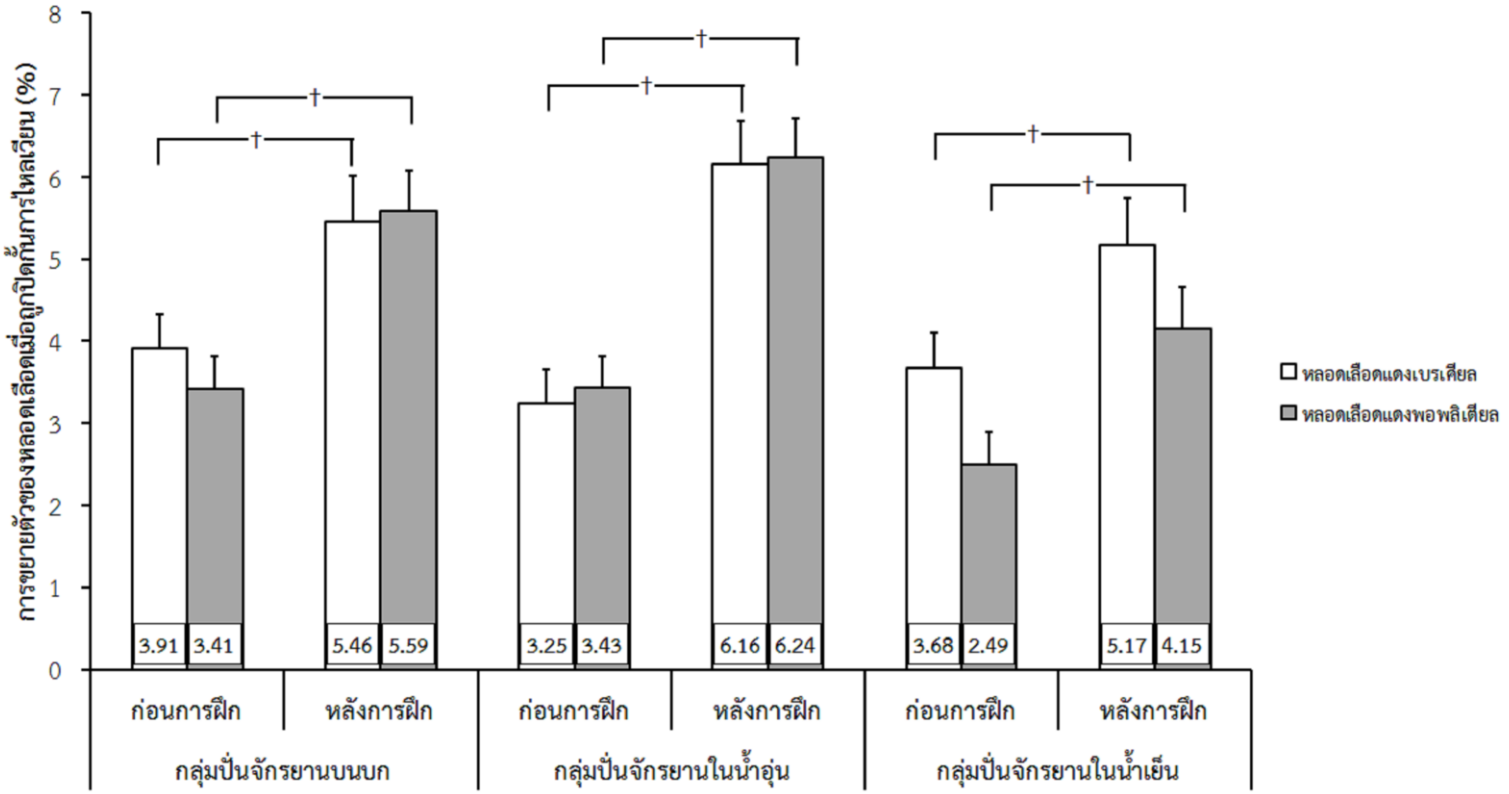
*p<.05 ต่างกับเบรเคียลในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; £p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน

รูปที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลขณะพักก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



*p<.05 ต่างกับเบรเคียลในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; £p<.05 ต่างกับเบรเคียลของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน

รูปที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือนของเลือดของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลขณะพัก เมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



†p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน

รูปที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล เมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก				กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น				กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น			
	ก่อนการฝึก (n=16)		หลังการฝึก (n=13)		ก่อนการฝึก (n=16)		หลังการฝึก (n=15)		ก่อนการฝึก (n=16)		หลังการฝึก (n=12)	
	หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ	หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า	หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ	หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า	หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ	หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า	หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ	หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า	หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ	หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า	หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ	หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า
	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM
การไหลของเลือดชั้นผิวหนัง	63.55±	8.08±	68.52±	11.93±2.	66.93±5.	12.25±1.	75.61±5.	18.59±2.	63.02±6.	6.70±	69.25±5.	10.65±3.
ขณะพัก (AU)	5.84	1.61*¥§	5.52†	85*†¥§	75	57*‡§	34†	75*†‡§#	18	1.67*‡¥	73†	02*†‡¥
การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้น	83.87±1	22.03±2.	92.06±1	30.81±2.	83.34±1	27.89±2.	95.42±1	42.40±2.	74.11±1	16.42±2.	81.20±1	24.69±3.
การไหลของเลือดชั้นผิวหนัง (AU)	3.07	45*¥§	2.94†	37*†¥§	2.62	37*‡§	2.51†	95*†‡§#	3.56	55*‡¥	3.43†	17*†‡¥
เวลาของอัตราการไหลของเลือด	10.79±1.	11.50±2.	6.79±	5.14±	12.33±1.	7.71±	5.28±	1.40±	11.46±1.	9.39±	7.00±	5.62±
ชั้นผิวหนังสูงสุด (วินาที)	73	66	1.28†	0.89†	67	2.57	1.24†	0.86†#	79	2.76	1.33†	0.93†
เวลาที่ใช้ในการกลับสู่	143.00±	48.93±1	122.21±	34.52±8.	116.00±	57.40±1	84.67±1	20.53±8.	131.46±	51.39±1	102.15±	32.46±9.
สภาวะพัก (วินาที)	22.43	2.53*¥§	21.21†	84*†¥§	15.33	2.10*‡§	4.06†	54*†‡§#	16.47	3.00*†‡¥	15.10	18*†‡¥
การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหล	30.61±1	29.01±2.	39.36±1	49.26±3.	24.51±1	24.23±2.	38.26±1	59.54±3.	25.11±1	24.67±2.	34.10±1	42.73±3.
ของเลือดชั้นผิวหนัง (%)	3.07	15	3.96†	22*†¥§	2.62	08	3.48†	11*†‡§#	3.56	24	4.48†	34*†‡¥

*p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; §p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน; #p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในส่วนและเวลาเดียวกัน

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มปั่นจักรยานบนบก ก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือไม่แตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือก่อนการฝึกแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

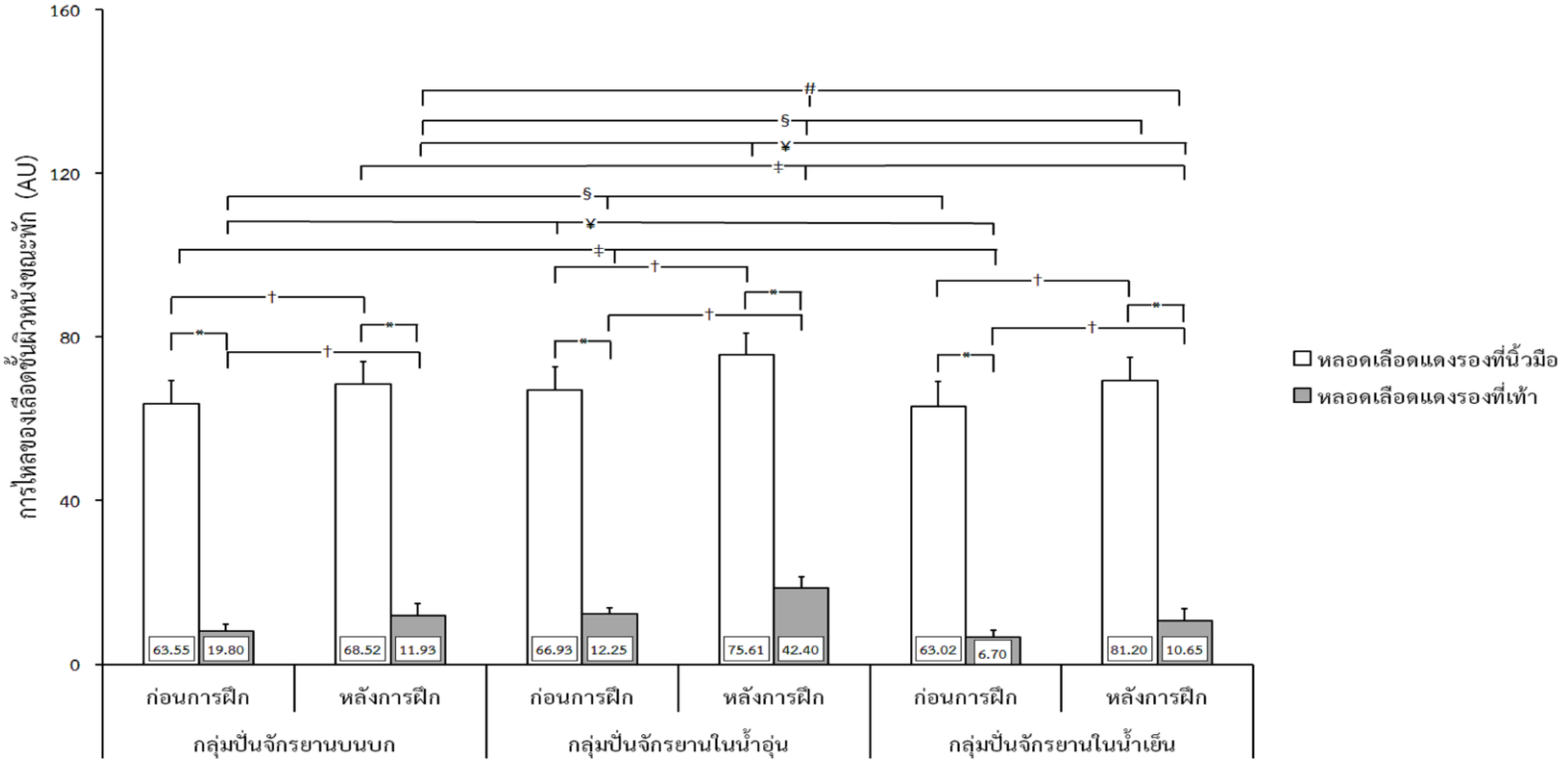
กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น มีค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือไม่แตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์

ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือก่อนการฝึกแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือไม่แตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือก่อนการฝึกแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพัก

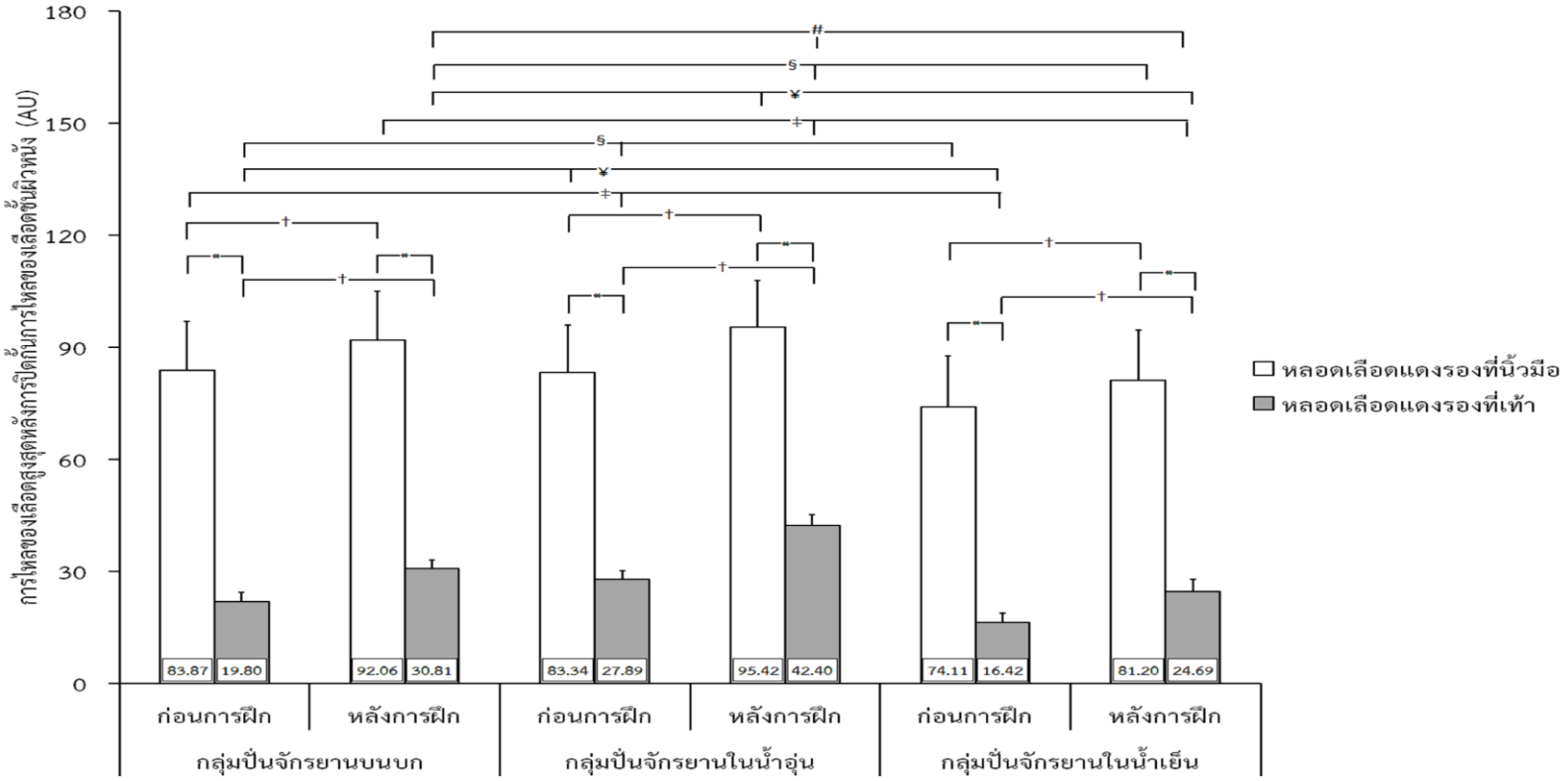
ของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าแตกต่างกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือไม่แตกต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า แตกต่างกับกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



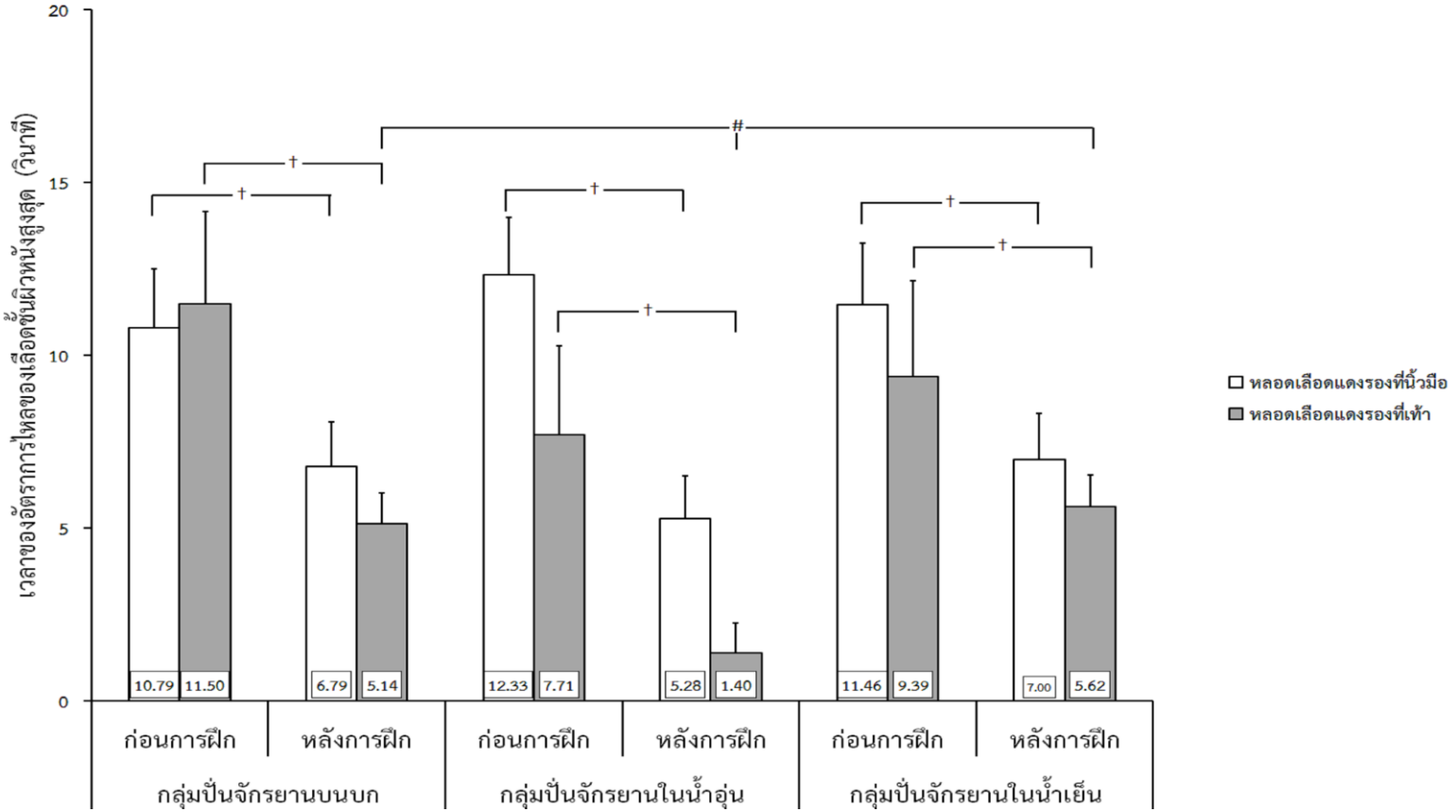
*p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; §p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน; #p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในส่วนและเวลาเดียวกัน

รูปที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



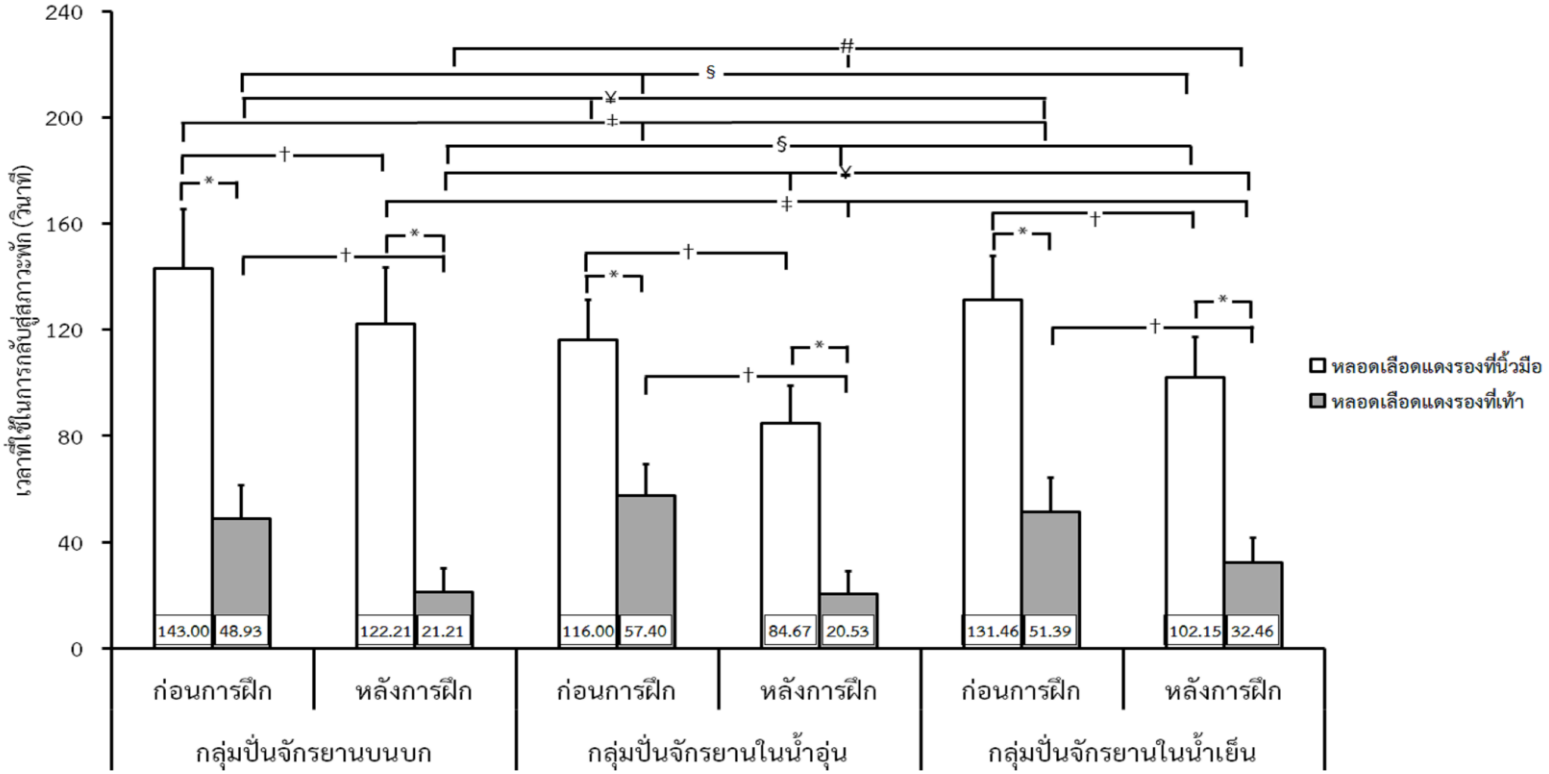
*p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; §p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน; #p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในส่วนและเวลาเดียวกัน

รูปที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



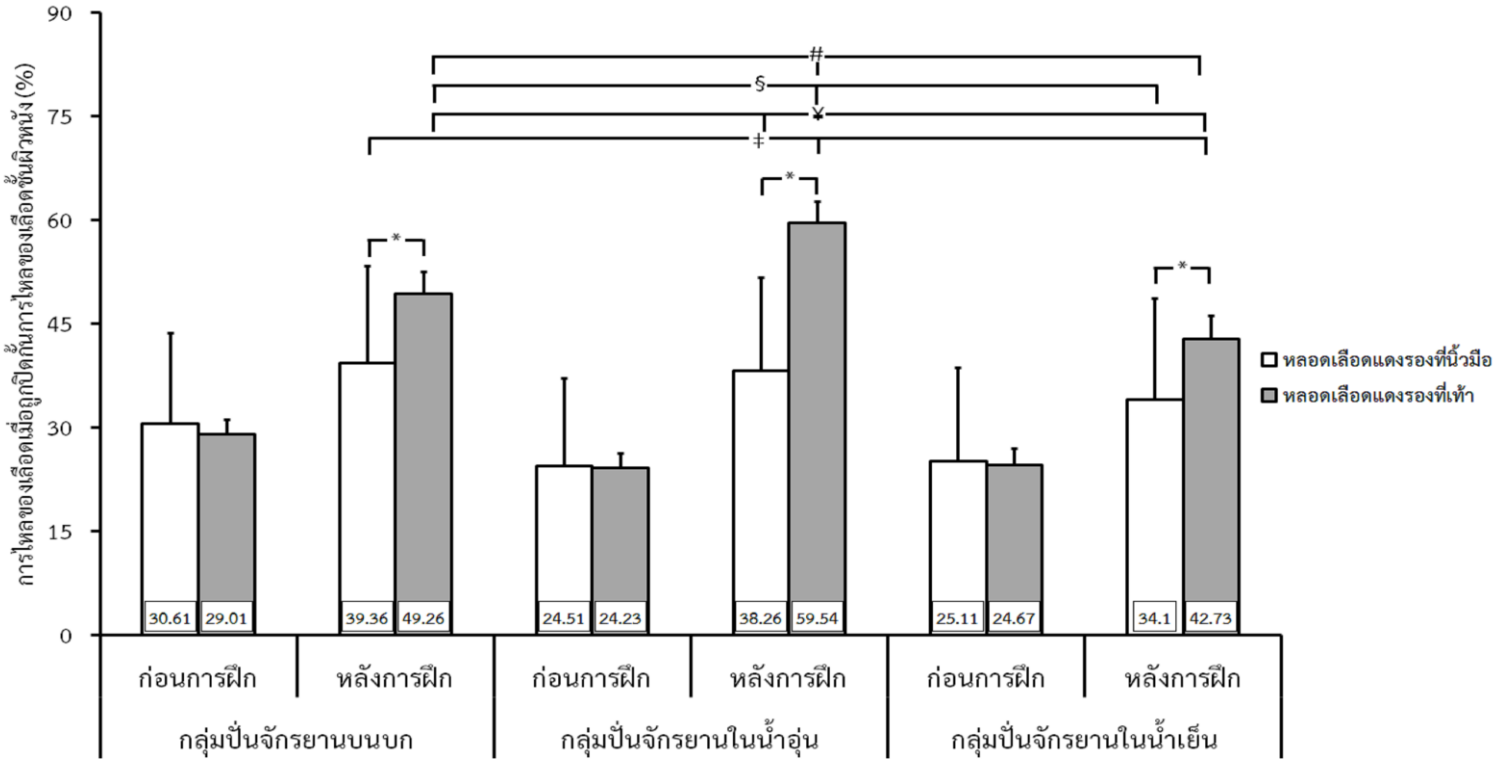
†p<.05 แตกต่างระหว่างกลุ่มในช่วงเวลาเดียวกัน; #p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในส่วนและเวลาเดียวกัน

รูปที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



*p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; §p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน; #p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในส่วนและเวลาเดียวกัน

รูปที่ 57 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



*p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือในเวลาเดียวกัน; †p<.05 ต่างกับก่อนการฝึกในส่วนและกลุ่มเดียวกัน; ‡p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานบนบกในเวลาเดียวกัน; ¥p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นในเวลาเดียวกัน; §p<.05 ต่างกับหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในเวลาเดียวกัน; #p<.05 ต่างจากกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นในส่วนและเวลาเดียวกัน

รูปที่ 58 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของ หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านคุณภาพชีวิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มการปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

ตัวแปรทางด้านคุณภาพชีวิต	กลุ่มปั่นจักรยานบนบก		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น		กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น		F	P-value
	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 13)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 15)	ก่อนการฝึก (n = 16)	หลังการฝึก (n = 12)		
	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM	$\bar{X}$±SEM		
ด้านสุขภาพกาย (คะแนน)	26.08±0.96	27.19±0.84*	25.33±0.61	26.67±0.60*	26.15±0.91	28.85±0.96*	1.001	.377
ด้านจิตใจ (คะแนน)	23.54±0.73	24.08±0.69*	23.13±0.57	24.33±0.49*	21.85±1.10	25.00±1.07*	.074	.929
ด้านสัมพันธภาพบุคคล (คะแนน)	11.38±0.29	12.41±0.18*	11.07±0.23	12.07±0.34*	10.31±0.40	12.15±0.34*	.490	.617
ด้านสิ่งแวดล้อม (คะแนน)	28.15±0.69	28.46±0.60	28.00±0.47	28.27±0.44	27.69±0.73	28.92±0.71	.037	.964
ระดับคุณภาพชีวิตโดยรวม (คะแนน)	89.31±2.01	92.86±1.95*	87.53±1.87	91.33±1.82*	86.00±2.01	94.92±1.95*	.100	.905

*p<.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม

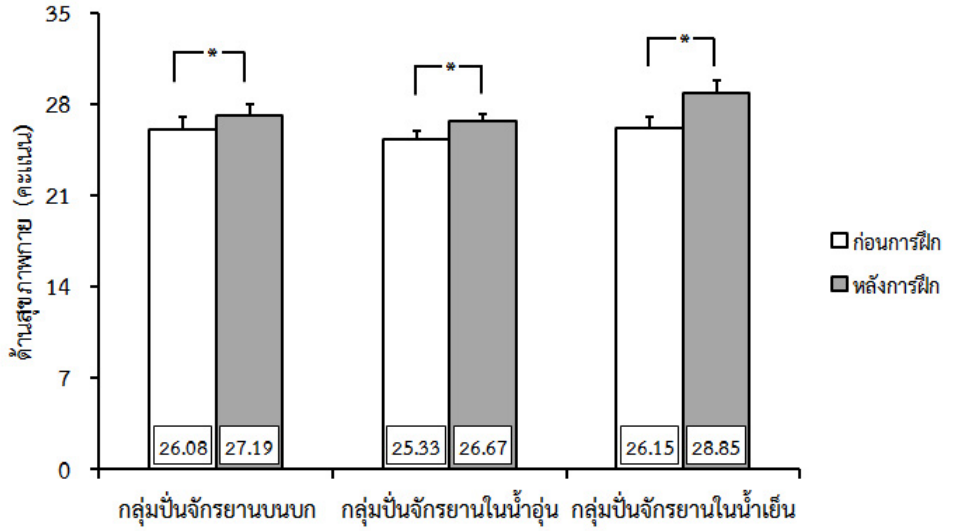
จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก มีค่าเฉลี่ยด้านสิ่งแวดล้อม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยด้านสุขภาพกายด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคล และระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนในน้ำอุ่น มีค่าเฉลี่ย ด้านสิ่งแวดล้อม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยด้านสุขภาพกายด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคล และระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ กลุ่มปั่นจักรยานบนในน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ย ด้านสิ่งแวดล้อม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยด้านสุขภาพกายด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคล และระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

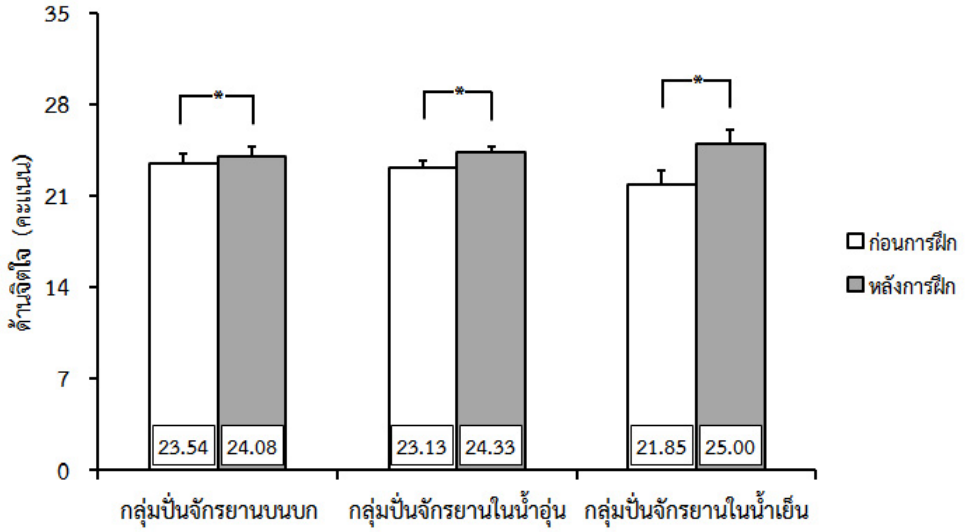
ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกายมีค่าเฉลี่ยด้านสุขภาพกายด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคล ด้านสิ่งแวดล้อม และระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



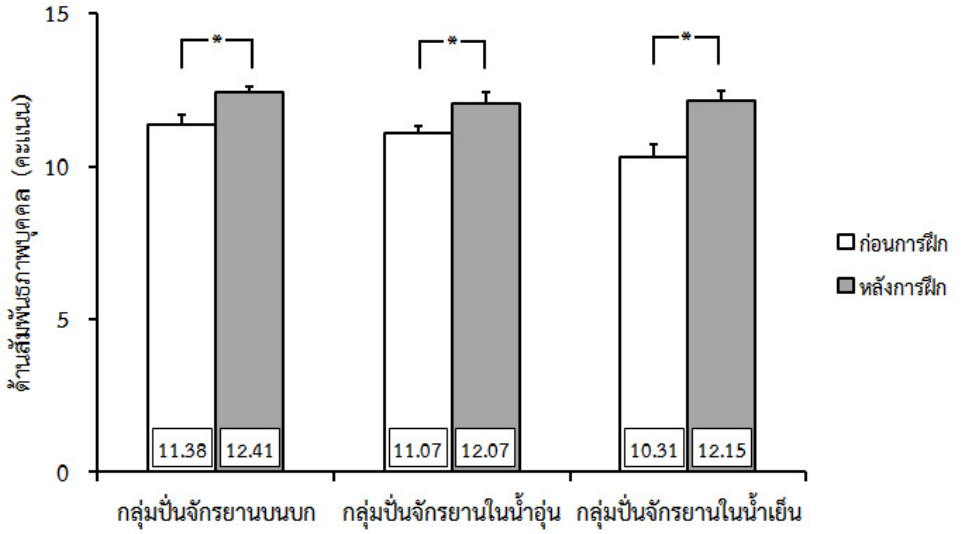
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 59 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิต ด้านสุขภาพกาย ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



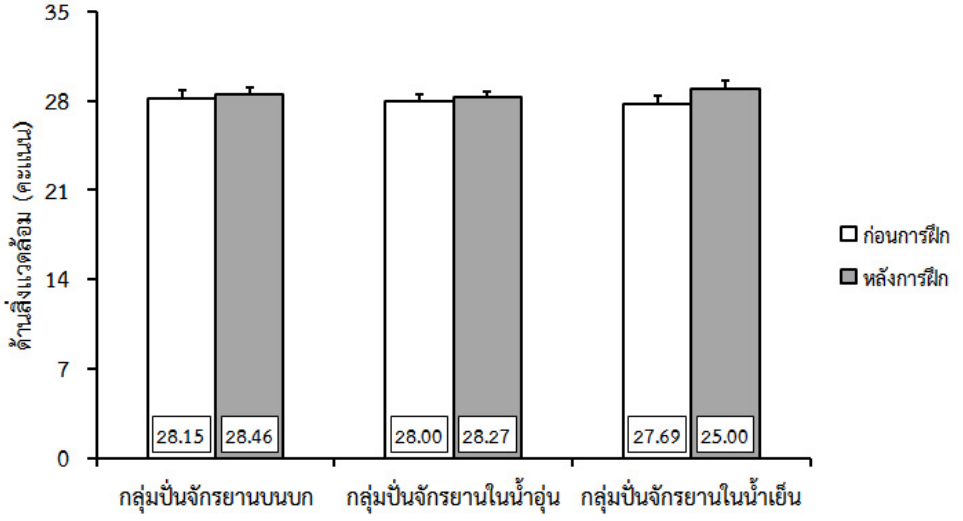
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิตด้านจิตใจ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



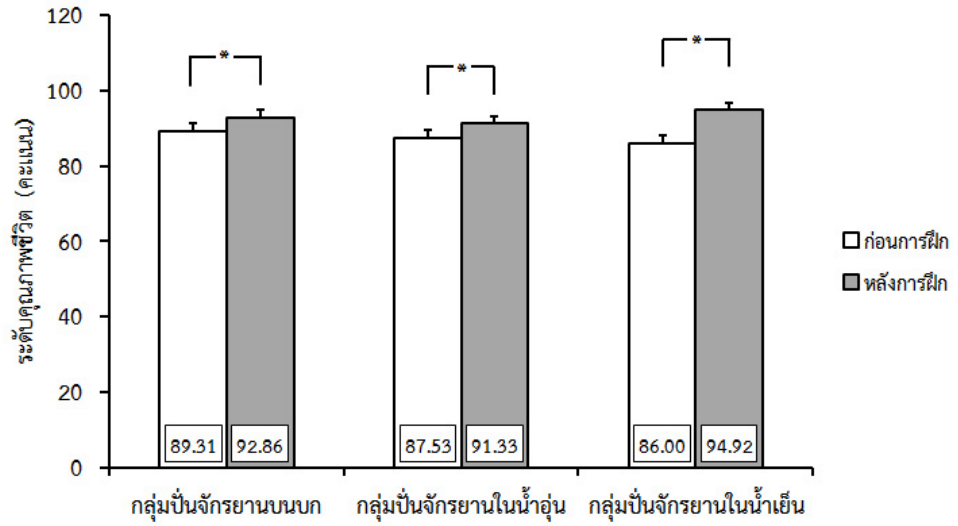
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 61 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิตด้านสัมพันธภาพบุคคลก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .0

รูปที่ 62 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพชีวิต ด้านสิ่งแวดล้อมก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น



* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รูปที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับคุณภาพชีวิตโดยรวม ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ และ 2) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้เป็นคนไข้โรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ อายุระหว่าง 60-75 ปี จำนวน 40 คน ทำการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling) ด้วยเพศและระยะเวลาที่เป็นโรคเบาหวาน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่ม ได้ 3 กลุ่มคือ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก จำนวน 13 คน กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น จำนวน 15 คนและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น จำนวน 12 คน ทั้ง 3 กลุ่มปั่นจักรยานเป็นเวลา 15 นาทีในเดือนแรก เดือนที่ 2 เพิ่มเวลาเป็น 20 นาที และเดือนสุดท้าย 30 นาที สัปดาห์ละ 3 วัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นเป็นการปั่นจักรยานในน้ำอุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียสและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นเป็นการปั่นจักรยานในน้ำอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกายกลุ่มตัวอย่างได้รับการทดสอบได้รับการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด และตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบรายคู่ (Pair-t test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกายของการออกกำลังกายแต่ละกลุ่มที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ [2 way ANOVA with repeated measure (3×2: Group × Time)] เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่ม ได้แก่ ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด และตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต และหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของบอนเฟอโรนี่ (Bonferroni) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ [2 way ANOVA with repeated measure (3×4: Group × Site)] เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคทั้งส่วนที่ไม่แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำระหว่างกลุ่ม ได้แก่ ตัวแปร

ทางการทดสอบการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และหลอดเลือดมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) และตัวแปรทางการทดสอบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole) และหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของบอนเฟอโรนี่ (Bonferroni) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก ปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อค่าเฉลี่ยด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาค สารชีวเคมีในเลือด และคุณภาพชีวิต โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก พบว่า

1.1.1 ด้านสรีรวิทยา

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว แต่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.1.2 ด้านสุขสมรรถนะ

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของไขมัน และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แต่ความอ่อนตัว ความจุปอด และสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.1.3 ด้านสารชีวเคมีในเลือด

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือด ความดื้อต่ออินซูลิน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และซีรีแอคทีฟโปรตีน แต่ไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอร์ไรด์ และแอลดีแอลมีค่าลดลง ส่วนเอชดีแอลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.1.4 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค

ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล มีค่า

เพิ่มขึ้น อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลมีค่าลดลง ส่วนคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.1.5 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค

การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.1.6 ด้านคุณภาพชีวิต

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม แต่องค์ประกอบด้านสุขภาพกาย ด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคลและคุณภาพชีวิตโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2 ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำอุ่น พบว่า

1.2.1 ด้านสรีรวิทยา

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว แต่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2.2 ด้านสุขสมรรถนะ

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของไขมัน แต่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว ความจุปอด และสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2.3 ด้านสารชีวเคมีในเลือด

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือด ความดื้อต่ออินซูลิน และซีรีแอคทีฟโปรตีน แต่ไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอร์ไรด์ แอลดีแอลและมาลอนไดอัลดีไฮด์ม่ค่าลดลง ส่วนเอชดีแอลและไนตริกออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2.4 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค

ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลมีค่าลดลง ส่วนคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2.5 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค

การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าเพิ่มขึ้น เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2.6 ด้านคุณภาพชีวิต

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม แต่องค์ประกอบด้านสุขภาพกาย ด้านจิตใจ ด้านสัมพันธภาพบุคคลและระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3 ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำเย็น พบว่า

1.3.1 ด้านสรีรวิทยา

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว แต่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3.2 ด้านสุขสมรรถนะ

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของไขมัน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แต่สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3.3 ด้านสารชีวเคมีในเลือด

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือด ความดื้อต่ออินซูลิน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และซีรีแอคทีฟโปรตีน แต่ไกลโคซีเลทฮีโมโกลบิน คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอร์ไรด์ และแอลดีแอลมีค่าลดลง ส่วนเอชดีแอลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3.4 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค

ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดเบรเคียลมีค่าลดลง ส่วนคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3.5 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค

การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าเพิ่มขึ้น เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3.6 ด้านคุณภาพชีวิต

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม แต่องค์ประกอบด้านสุขภาพกาย ด้านจิตใจและสัมพันธภาพบุคคลเพิ่มขึ้น และระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายระหว่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น พบว่า ทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างระหว่างตัวแปรด้านสรีรวิทยา สุขสมรรถนะ สารชีวเคมีในเลือด การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค และคุณภาพชีวิต แต่พบว่าการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังเท้าสูงกว่า ส่วนเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้น

ผิวหนังสูงสุดและเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก ปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อค่าเฉลี่ยการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำเปรียบเทียบกับส่วนที่ได้แช่น้ำ และการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำเปรียบเทียบกับส่วนที่ได้แช่น้ำ ทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก พบว่า

2.1.1 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery)

หลอดเลือดแดงเบรเคียลขณะพักก่อนการฝึกมีขนาดเล็กกว่าของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลขณะพัก หลังฝึก 12 สัปดาห์ หลอดเลือดแดงเบรเคียลยังคงมีขนาดเล็กกว่าหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของทั้งหลอดเลือดแดงเบรเคียลและหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลมีค่ามากกว่าก่อนฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลทั้งก่อนและหลังฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าสูงกว่าอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.1.2 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole)

การไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือขณะพักทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์สูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์สูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและเท้ามีค่าลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์มีค่ามากกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้ามีค่าสูงกว่าบริเวณนิ้วมือภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2 ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำอุ่น พบว่า

2.2.1 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดพอพลิเตียล (Popliteal artery)

หลอดเลือดแดงเบรเคียลขณะพักก่อนการฝึกมีขนาดเล็กกว่าของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลขณะพัก หลังฝึก 12 สัปดาห์ หลอดเลือดแดงเบรเคียลยังคงมีขนาดเล็กกว่าหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของทั้งหลอดเลือดแดงเบรเคียลและหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลมีค่ามากกว่าก่อนฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลทั้งก่อนและหลังฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าสูงกว่าอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2.2 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole)

การไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือขณะพักทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์สูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์สูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและหลังเท้ามีค่าลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์มีค่ามากกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้ามีค่าสูงกว่าบริเวณนิ้วมือภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3 ผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำเย็น พบว่า

2.3.1 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) และส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดพอพลิเตียล (Popliteal artery)

หลอดเลือดแดงเบรเคียลขณะพักก่อนการฝึกมีขนาดเล็กกว่าของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลขณะพัก หลังฝึก 12 สัปดาห์ หลอดเลือดแดงเบรเคียลยังคงมีขนาดเล็กกว่าหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของทั้งหลอดเลือดแดงเบรเคียลและหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลมีค่ามากกว่าก่อนฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลทั้งก่อนและหลังฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าสูงกว่าอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3.2 ด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือ (Fingertip arteriole) และส่วนที่ได้แช่น้ำ; หลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า (Dorsal of toe arteriole)

การไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือขณะพักทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์สูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์สูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า เวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดของหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้ามีค่าลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์มีค่ามากกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้ามีค่าสูงกว่าบริเวณนิ้วมือภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายระหว่าง 3 กลุ่ม อันได้แก่ กลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น โดยได้เปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ได้แช่น้ำและส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ และการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ได้แช่น้ำและส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำ พบว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มในด้านการทำงานของหลอดเลือดแดงมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่แช่น้ำ ในส่วนของการขยายตัวของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน แต่ระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าหลอดเลือดแดงเบรเคียลขณะพักมีขนาดเล็กกว่าหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล และอัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลสูงกว่าหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับการทำงานของหลอดเลือดแดงระดับจุลภาคในส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของค่าเฉลี่ยเวลาของอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดในหลอดเลือดแดงรองทั้งบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือและบริเวณหลังเท้าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองขณะพักบริเวณนิ้วมือมีค่าสูงกว่าบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือมีค่าต่ำกว่าบริเวณหลังเท้า เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือมีค่าสูงกว่าบริเวณหลังเท้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองขณะพักบริเวณหลังเท้า การไหลของเลือดสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองที่เท้าสูงกว่า ส่วนเวลาของอัตราการไหลของเลือดสูงสุดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรอง

บริเวณหลังเท้าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัย

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค

การสูญเสียหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดมีบทบาทสำคัญในการเกิดโรคหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวาน ซึ่งเกิดจากภาวะน้ำตาลในเลือดที่สูงเพราะภาวะดื้ออินซูลินและนำไปสู่การเกิดโรคแทรกซ้อนในหลอดเลือดระดับมหภาค (Caballero et al., 1999, Greenstein et al., 2007) การวัดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือด (Flow-mediated dilation) เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เข้าไปในร่างกายและเป็นตัวชี้วัดการทำงานของหลอดเลือดได้เป็นอย่างดี (Stoner et al., 2012) จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก ปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและปั่นจักรยานในน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า ขนาดของหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียล การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนฝึก อัตราแรงเฉือนของเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงเบรเคียลลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ เดอ ฟิลิปปิสและคณะ (De Filippis et al., 2006) พบว่าการออกกำลังกายช่วยปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดในหลอดเลือดแดงของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 อีกทั้งการวิจัยของชรูเดอร์และคณะ (Schreuder, Van Den Munckhof, Poelkens, Hopman, & Thijssen, 2015) ยังพบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกและแรงต้านในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ทำให้ขนาดของหลอดเลือดขณะพักหลังจากการฝึกออกกำลังกายเพิ่มขนาดขึ้น และจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาของมอนเทโร (Montero, Walther, Benamo, Perez-Martin, & Vinet, 2013) พบว่าการออกกำลังกายสามารถปรับปรุงการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดและสามารถทำให้การทำงานของหลอดเลือดฟื้นกลับคืนมาได้ในผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ทั้งๆ ที่เป็นการฝึกออกกำลังกายที่ใช้เฉพาะช่วงล่างในการออกกำลังกายแต่ผลที่ได้นั้นกลับเกิดขึ้นทั้งหลอดเลือดในระดับส่วนบนและส่วนล่างของร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับการทบทวนงานวิจัยของแพดิลลา และคณะ (Padilla, Simmons, Bender, et al., 2011; Padilla, Simmons, Vianna, et al., 2011) พบว่า การฝึกออกกำลังกายที่ใช้เฉพาะส่วนล่างของร่างกาย เช่น การปั่นจักรยานหรือการเดิน มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดบริเวณแขน ซึ่งพบว่าการฝึกออกกำลังกายมีผลต่อหลอดเลือดในส่วนที่ไม่ได้ออกกำลังกาย โดยกลไกของการปรับตัวของหลอดเลือดที่แขนเมื่อฝึกออกกำลังกายด้วยส่วนล่างของร่างกายยังไม่เป็นที่ประจักษ์แน่ชัดในช่วง

ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งกลไกการปรับตัวของหลอดเลือดแดงอาจเกิดจากการมีแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของการไหลของเลือดไปสู่ผิวหนังขณะที่มีการออกกำลังกาย ซึ่งผลนี้จะส่งต่อไปที่หลอดเลือดแดงบริเวณส่วนที่ไม่ได้ออกกำลังกายทำให้เกิดการปรับตัวที่หลอดเลือดแดงส่วนที่ไม่ได้ออกกำลังกายเหมือนกับส่วนที่ได้ออกกำลังกาย (Tinken et al., 2009) และอาจเป็นไปได้ว่าขณะออกกำลังกายระบบประสาทซิมพาเทติกได้ส่งสัญญาณให้หลอดเลือดแดงหดตัวในกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ออกกำลังกายซึ่งเป็นผลทำให้เพิ่มแรงเฉือนและเป็นการส่งสัญญาณไปที่เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Brik et al., 2012) การมีแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นอาจจะไม่ใช่เพียงการปรับตัวของเยื่อบุผนังของหลอดเลือดเพียงอย่างเดียว อาจเกิดจากการที่เยื่อบุผนังหลอดเลือดเผชิญกับความตึงเครียด (Stress) ที่เกิดจากการความตึงตัวของหลอดเลือดแดง (Distention of arteries) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการผ่อนคลายของกล้ามเนื้อเรียบหรือการเพิ่มของความดันในผนังหลอดเลือด ทำให้เยื่อบุผนังหลอดเลือดเพิ่มการสร้างไนตริกออกไซด์มากขึ้นส่งผลทำให้หลอดเลือดมีการหดและขยายตัวได้ดีขึ้นเหมือนกับส่วนที่ได้ออกกำลังกาย กลไกที่สำคัญในการเกิดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงเบรเคียลเนื่องมาจากการออกกำลังกายช่วยทำให้หลอดเลือดมีการขยายตัวดีขึ้นซึ่งเกิดขึ้นทั้งระบบในร่างกายมากกว่าเป็นการตอบสนองเฉพาะที่ (Stewart, 2002) อาจเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นขณะที่มีการออกกำลังกายทำให้เกิดการเพิ่มความดันในระบบหลอดเลือดแดงและการไหลของเลือดที่เพิ่มขึ้นไปกระตุ้นการผลิตไนตริกออกไซด์ (Nakano, Tominaga, Nagano, Okabe, & Yasui, 2000) อีกทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นประจำเป็นกลไกที่สำคัญในการขยายตัวของหลอดเลือดเนื่องมาจากการเพิ่มหรือปลดปล่อยไนตริกออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เยื่อบุผนังหลอดเลือดมีการผลิตไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น (DeSouza et al., 2000)

หลอดเลือดแข็งตัวเกิดจากภาวะภายในหลอดเลือดมีความเสื่อมถอย มีคอลลาเจนและแคลเซียมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผู้ป่วยเบาหวานที่มีอายุมากขึ้นมีโอกาสเพิ่มภาวะหลอดเลือดแข็งตัวสูงเพราะระดับน้ำตาล อินซูลิน และไตรกลีเซอร์ไรด์ที่สูงเป็นปัจจัยส่งเสริมที่ทำให้เกิดหลอดเลือดแข็งตัวและทำให้ความหนาของผนังหลอดเลือดคาโรติดเพิ่มขึ้น (Stewart, 2002) จากการศึกษาวิจัยนี้พบว่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าทั้ง 3 กลุ่มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของมัวร์ และคณะ (Moore et al., 2015) พบว่าการออกกำลังกายในน้ำส่งผลให้ความแข็งตัวของหลอดเลือดลดลงได้ และจากงานวิจัยของเชอร์อคและคณะ (Sherlock et al., 2014) พบว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในน้ำทำให้ความแข็งตัวของหลอดเลือดในผู้สูงอายุลดลง และงานวิจัยของโยโกยามาและคณะ (Yokoyama et al., 2004) พบว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกช่วยลดการแข็งตัวของหลอดเลือดได้ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 อีกทั้งงานวิจัยของ เจและคณะ (Jae et al., 2010) ยังพบว่าการแข็งตัวของหลอดเลือดมีความเกี่ยวข้องการทำงานของหัวใจและมีความสัมพันธ์ผกผันกับ

สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุด การแข็งตัวของหลอดเลือดเป็นส่วนหนึ่งของการสูญเสียหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด การออกกำลังกายทำให้ปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดซึ่งอาจจะมีการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดแดงโดยการเพิ่มแรงเฉือนทำให้ไปกระตุ้นการทำงานของไนตริกออกไซด์และเพิ่มการผลิตไนตริกออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงความแข็งตัวของหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่นมากขึ้น (Donley et al., 2014)

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค

การศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่า การทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคของกลุ่มปั่นจักรยานบนบก กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นดีขึ้นทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของแพดิลลา และคณะ (Padilla, Simmons, Bender, et al., 2011) ซึ่งพบว่าการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานหลายสัปดาห์หรือหลายเดือนส่งผลให้หลอดเลือดชั้นคิวทาเนียสมีการปรับตัวดีขึ้น อีกทั้งจากงานวิจัยของฟรานโซนี่ และคณะ (Franzoni et al., 2004) พบว่าการฝึกออกกำลังกายทำให้การไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด (Post occlusive reactive hypereamia) เพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ดังนั้นจึงทำให้เกิดการป้องกันสารอนุมูลอิสระเป็นผลทำให้หลอดเลือดชั้นคิวทาเนียสมีการปรับปรุงดีขึ้น โดยกลไกของการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคเกิดจากการเพิ่มการหลั่งของสารที่ทำให้หลอดเลือดมีการหดขยายตัวดีขึ้น (Endothelial-mediated vasomotor function) เนื่องมาจากการตอบสนองของการปรับตัวของหลอดเลือดที่เกิดจากระหว่างการออกกำลังกาย ร่างกายมีการสร้างความร้อนทำให้ระบบประสาทที่ควบคุมการหดขยายตัวของหลอดเลือดเกิดการสั่งการให้มีการขยายตัวของหลอดเลือดเฉพาะที่ระหว่างที่มีความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการผลิตไนตริกออกไซด์มากขึ้นในหลอดเลือดชั้นคิวทาเนียส โดยกลไกนี้เกิดจากการตอบสนองจากการเพิ่มขึ้นของอซิติลโคลีนซึ่งเป็นสารที่ทำให้หลอดเลือดชั้นคิวทาเนียสขยายตัว อีกทั้งระหว่างการออกกำลังกายทำให้มีการส่งสัญญาณไปให้ที่หลอดเลือดเพื่อส่งเลือดออกไปนอกเหนือจากบริเวณกล้ามเนื้อที่มีการหดตัว ซึ่งอาจไม่ใช่แค่การเพิ่มแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ในหลอดเลือดเท่านั้น แต่อาจมีการเปลี่ยนลักษณะของแรงเฉือนซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนเลือดระหว่างออกกำลังกายทำให้เยื่อบุผนังหลอดเลือดได้รับแรงเฉือนและความตึงตัวส่งผลให้มีการเพิ่มการผลิตไนตริกออกไซด์มากขึ้น และเกิดการหดขยายตัวของหลอดเลือดในชั้นคิวทาเนียสดีขึ้น (Colberg, Stansberry, McNitt, & Vinik, 2002) นอกจากนี้การแช่น้ำอุ่นยังส่งผลให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัวเป็นผลจากการหลั่งสารที่ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด หรือการทำงานของระบบประสาท (Green, Carter, et al., 2010) และการแช่น้ำเย็นทำให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัวเนื่องมาจากการที่หลอดเลือดบริเวณ

การประสานกันระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขยายตัว (Van der Struijs et al., 2008) และจากการควบคุมโดยระบบประสาทซิมพาเทติกกับปัจจัยเฉพาะที่ (Keramidas et al., 2010) นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีค่าเฉลี่ยของการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังเท้า โดยมีค่าการไหลของเลือดขณะพัก การไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง เวลาอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด เวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพัก และการขยายตัวของหลอดเลือดดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มปั่นจักรยานบนบกและกลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็นหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของณัฐมนวรกุล และคณะ (Nuttamonwarakul et al., 2014) ศึกษาการออกกำลังกายบนบกและในน้ำอุ่นที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค พบว่าการออกกำลังกายในน้ำอุ่นมีผลทำให้การทำงานของหลอดเลือดดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายบนบก และจากงานวิจัยของกรีน และคณะ (Green, Carter, et al., 2010) พบว่า การให้ความร้อนซ้ำๆ ผ่านผิวหนังด้วยการแช่มือในน้ำร้อน 45 องศาเซลเซียสทำให้หลอดเลือดระดับจุลภาคเกิดการปรับตัวเนื่องจากการเพิ่มของแรงเค้นเฉือนและการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของหลอดเลือด (Reactive hyperaemia) เชื่อว่ากลไกที่ทำให้การทำงานของหลอดเลือดมีการเปลี่ยนแปลงดีขึ้นเนื่องมาจากการทำงานร่วมกันของการคลายตัวของกล้ามเนื้อและหลอดเลือด การหลั่งสารที่ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด หรือการทำงานของระบบประสาท และอาจเป็นไปได้ว่าการแช่ในน้ำอุ่นในส่วนล่างของร่างกายทำให้มีการปรับปรุงหน้าที่การทำงานในการหดขยายตัวของหลอดเลือดในระดับจุลภาคดีขึ้น อันเนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเพิ่มการหดและขยายตัวของหลอดเลือด

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ ระหว่าง 3 กลุ่ม ทั้งก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย พบว่า ขนาดหลอดเลือดขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) มีขนาดใหญ่กว่าหลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) ทั้งนี้โดยปกติขนาดหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลมักจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าหลอดเลือดแดงเบรเคียล โดยขนาดของหลอดเลือดมักแปรผันตามอายุและเพศ ซึ่งผู้ใหญ่จะมีขนาดหลอดเลือดใหญ่กว่าเด็ก และผู้ชายมีขนาดหลอดเลือดใหญ่กว่าผู้หญิง (Green, Swart, et al., 2010) และยัง พบว่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนที่หลอดเลือดแดงเบรเคียลและพอพลิเตียลไม่แตกต่างกันอาจเป็นเพราะการออกกำลังกายทำให้หลอดเลือดทั้ง 2 บริเวณมีการปรับตัวที่คล้ายกันจึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน (Walsh et al., 2003) และอัตราแรงเฉือนขณะพัก

ของหลอดเลือดแดงเบรเคียลสูงกว่าหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิชิยามะ และคณะ (Nishiyama et al., 2007) ได้ศึกษาผลของอัตราแรงเฉือนที่มีต่อการขยายตัวของหลอดเลือดที่แขนและขา ซึ่งพบว่าอัตราแรงเฉือนที่แขนสูงกว่าอัตราแรงเฉือนที่ขา จึงทำให้การขยายตัวของหลอดเลือดที่แขนสูงกว่าขา ซึ่งสรุปได้ว่ากลไกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งระบบของร่างกายที่เป็นผลมาจากการฝึกออกกำลังกาย (Padilla, Simmons, Bender, et al., 2011) โดยไม่ได้เกิดจากผลของแรงดันน้ำหรืออุณหภูมิของน้ำ

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคส่วนที่ไม่ได้แช่น้ำและส่วนที่ได้แช่น้ำ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่มทั้งก่อนฝึกและหลังฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือสูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของควอทรินี และคณะ (Quattrini, Harris, Malik, & Tesfaye, 2007) และแม็คคอร์ด และมินสัน (McCord & Minson, 2005) และลอเรนโซ และมินสัน (Lorenzo & Minson, 2007) พบว่าโดยปกติแล้วการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพักบริเวณนิ้วมือมีปริมาณที่มากกว่าบริเวณหลังเท้า จึงทำให้การไหลของเลือดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดชั้นผิวหนังของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือสูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า และเวลาที่ใช้ในการกลับสู่สภาวะพักของหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือสูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า อีกทั้งงานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่าหลังการฝึกออกกำลังกายค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือต่ำกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ทั้งๆ ที่ก่อนการฝึกออกกำลังกายค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงรองบริเวณนิ้วมือสูงกว่าหลอดเลือดแดงรองบริเวณหลังเท้า ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานหรือการออกกำลังกายที่ใช้ส่วนล่างของร่างกายทำให้มีการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคได้ทั้งระบบของร่างกาย แต่หลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณส่วนล่างของร่างกายมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าบริเวณส่วนบนของร่างกาย จึงส่งผลให้หลอดเลือดบริเวณหลังเท้ามีการทำงานที่ดีกว่าบริเวณนิ้วมือ (Ley et al., 2011; Morales, 2005; Wierzbowska et al., 2014)

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะ

การมีสมรรถภาพของระบบหัวใจและหายใจที่ต่ำเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดโดยเฉพาะในผู้ป่วยเบาหวานและยิ่งมีอายุมากขึ้นยิ่งมีปัจจัยเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น (Johannsen

et al., 2013) จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่า ทั้ง 3 กลุ่มออกกำลังกายมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของยัง และคณะ (Young et al., 1995) พบว่าทั้งการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นส่งผลให้สมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยของเอเมอเรนเซียนี่ และคณะ (Emerenziani et al., 2015) พบว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นเป็นการปรับปรุงความสามารถของระบบหายใจทำให้กล้ามเนื้อใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น จากงานวิจัยของลาโรสและคณะ (Larose et al., 2010) พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกส่งผลให้มีการเพิ่มสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนสูงสุดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการรักษาและปรับปรุงสมรรถภาพของหัวใจ (Plowman & Smith, 2011) การปรับปรุงสมรรถภาพของการใช้ออกซิเจนเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดและปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งครั้งเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการที่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง และเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงส่งผลให้มีการปรับปรุงการสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายและทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงได้ (Yang, Scott, Mao, Tang, & Farmer, 2014)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังพบว่ากลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของณัฐมนวรกุล และคณะ (Nuttamonwarakul et al., 2012) และ ซาวเออลูและคณะ (Tsourlou et al., 2006) พบว่า การออกกำลังกายในน้ำมีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถภาพของหัวใจ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสามารถในการเคลื่อนไหว อีกทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นประจำสามารถทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรงได้ (Larose et al., 2010)

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก ปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและปั่นจักรยานในน้ำเย็นมีระดับของไกลโคซีเลทฮีโมโกลบินลดลง และระดับของคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอร์ไรด์ แอลดีแอล และเอชดีแอลเปลี่ยนแปลงดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของณัฐมนวรกุล และคณะ (Nuttamonwarakul et al., 2012) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในน้ำอุ่น พบว่าระดับของไกลโคซีเลทฮีโมโกลบินลดลง และระดับของไขมันมีการเปลี่ยนแปลงดีขึ้น และจากงานวิจัยต่างๆ พบว่าการออกกำลังกายเป็นประจำทำให้ระดับไขมันมีการปรับปรุงดีขึ้น (Hayashino, Jackson, Fukumori, Nakamura, & Fukuhara, 2012; Kelley & Kelley, 2007) นอกจากนี้การออกกำลังกายเป็นประจำในผู้ป่วยเบาหวานสามารถช่วยปรับปรุงระดับไขมันทั้งที่มีการควบคุมหรือไม่ได้ควบคุมการรับประทานอาหาร (Krook, Holm, Pettersson, & Wallberg-Henriksson, 2003) อีกทั้งการออกกำลังกายยังช่วยทำให้ลดระดับของไกลโคซีเลท

ฮีโมโกลบินได้ในผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (De Feyter et al., 2007; Praet & van Loon, 2007; Umpierre et al., 2011; Winnick et al., 2008) ซึ่งเป็นไปได้ว่าการลดลงของไกลโคซีเลทฮีโมโกลเกิดจากการฝึกออกกำลังกายเป็นการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีการตอบสนองอินซูลินได้ดีขึ้นหรือทำให้มีการเมตาบอลิซึมน้ำตาลมากขึ้นและเพิ่มการทำงานของอินซูลินได้ดีขึ้น (O'Gorman et al., 2006) และการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางช่วยทำให้เกิดการสังเคราะห์ไกลโคเจนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกลูโคทรานสปอร์เตอร์ (GLUT4 protein) ทำให้เพิ่มความไวต่ออินซูลิน (Christ-Roberts et al., 2004; Hussey, McGee, Garnham, McConell, & Hargreaves, 2012) และยังทำให้กล้ามเนื้อสามารถใช้น้ำตาลได้ดีขึ้น ลดการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อ (Wang & Thurmond, 2009) ดังนั้นการออกกำลังกายเป็นประจำสามารถลดระดับไกลโคซีเลทฮีโมโกลบินได้ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (Boulé, Haddad, Kenny, Wells, & Sigal, 2001)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่ากลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีระดับไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้นและมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีประสิทธิภาพในการลดไลปิด ออกซิเดชั่น (Lipid oxidation) และการออกกำลังกายแบบแอโรบิกระยะยาวสามารถต้านสารอนุมูลอิสระซึ่งช่วยในการรักษาสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่น (Ha, Kim, & Baek, 2015) ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของออสออริโอและคณะ (Osorio, Christofani, D'Almeida, Russo, & Piçarro, 2003) พบว่า การออกกำลังกายในน้ำอุ่นทำให้ระดับของมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงเนื่องจากการอุณหภูมิของน้ำอุ่นลดการเกิดหรือส่งผลน้อยต่อการเกิดปฏิกิริยาไลปิด เพอรอกซิเดชั่น (Lipid peroxidation) อีกทั้งจากงานวิจัยของลอเรนท์ และคณะ (Laurent et al., 2009) พบว่าการออกกำลังกายในน้ำอุ่นทำให้ไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การรักษาด้วยความร้อนซ้ำๆ หรือการแช่น้ำอุ่นบ่อยๆ ทำให้เพิ่มการสร้างไนตริกออกไซด์ส่งผลให้มีการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดได้ (Ohori et al., 2012; Petrofsky et al., 2010) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดและอาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของไนตริกออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการขยายตัวของหลอดเลือดจึงทำให้มีการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด หรือการเพิ่มการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระทำให้สามารถกำจัดสารอนุมูลอิสระได้ดีขึ้น (Suksom, Siripatt, Lapo, & Patumraj, 2011)

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานบนบก การปั่นจักรยานในน้ำอุ่นและการปั่นจักรยานในน้ำเย็นที่มีต่อตัวแปรด้านคุณภาพชีวิต

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประเมินผลของการออกกำลังกายที่มีต่อคุณภาพชีวิตด้วยการตอบแบบสอบถามการประเมินคุณภาพชีวิตฉบับย่อ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นทั้งในด้านร่างกาย จิตใจและสัมพันธภาพบุคคล ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ โบแคลินี่และคณะ

(Bocalini, Serra, Rica, & dos Santos, 2010) ริคาและคณะ (Rica et al., 2013) และชูชและคณะ (Schuch et al., 2014) พบว่าการออกกำลังกายในน้ำทำให้คุณภาพชีวิตในวัยผู้สูงอายุมีการปรับปรุงดีขึ้น และจากงานวิจัยของ ฟาน เดอ เฮชเดน (van der Heijden, van Dooren, Pop, & Pouwer, 2013) พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกและการใช้แรงต้านทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีการปรับปรุงดีขึ้น อีกทั้งจากงานวิจัยของคุกุสิ และคณะ (Cugusi et al., 2015) พบว่าการออกกำลังกายในน้ำทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ดีขึ้น สาเหตุของการมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นนั้นเนื่องมาจากการมีสุขภาพกาย จิตและสัมพันธภาพบุคคลดีขึ้น เพราะการออกกำลังกายทำให้สุขภาพร่างกายดีขึ้นส่งผลให้เกิดการรับรู้สภาพร่างกายของตนเองสามารถใช้ชีวิตประจำวันได้โดยไม่ต้องพึ่งพาผู้อื่น ส่วนด้านจิตใจนั้นทำให้เกิดความรู้สึกทางบวกมากขึ้น มีความมั่นใจในตนเองเพิ่มขึ้น อีกทั้งสัมพันธภาพกับบุคคลดีขึ้นเพราะการออกกำลังกายทำให้มีการพบปะกับบุคคลอื่นๆ มีการพูดคุยและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน มีการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน จึงส่งผลให้ระดับคุณภาพชีวิตดีขึ้นไปด้วย

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายทั้งแบบปั่นจักรยานบนบก ปั่นจักรยานในน้ำอุ่น และปั่นจักรยานในน้ำเย็น ส่งผลให้มีการปรับปรุงสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดดีขึ้น โดยมีอัตราการเต้นของหัวใจลดลง สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น อีกทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกทำให้ลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด นอกจากนี้ยังมีผลต่อการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคดีขึ้น การแข็งตัวของหลอดเลือดลดลง แต่อย่างไรก็ตามการปั่นจักรยานในน้ำอุ่นมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ดีกว่าการปั่นจักรยานบนบกและการปั่นจักรยานในน้ำเย็น

Chulalongkorn University

ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

1. การหากลุ่มตัวอย่างที่มาเข้าร่วมในการวิจัยที่เข้าเกณฑ์นั้นมีจำนวนน้อย เนื่องมาจากเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเข้าและคัดออกมีรายละเอียดและข้อจำกัดที่มาก ทำให้ใช้ระยะเวลานานในการหากลุ่มตัวอย่าง

2. สถานที่ในการเก็บข้อมูลอยู่ที่ต่างจังหวัดทำให้มีปัญหาเรื่องของน้ำและไฟฟ้า ทำให้มีอุปสรรคในการเก็บข้อมูล ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเวลาของการฝึกออกกำลังกาย

3. การคิดออกแบบและสร้างเครื่องมือแท้งค์น้ำพร้อมด้วยจักรยานและเครื่องผลิตความร้อนเย็น โดยได้ให้บริษัททรูไลน์แมนูแฟคเจอริ่ง ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตเครื่องมือนี้ ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตที่ใช้เวลายาวนานเพื่อที่จะสามารถใช้ในการดำเนินการศึกษาวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ควรได้รับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ซึ่งสามารถเพิ่มสุขสมรรถนะ ควบคุมระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดได้เป็นอย่างดี มีการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาค ลดการแข็งตัวของหลอดเลือด และเพิ่มคุณภาพชีวิต

2. หากมีความเป็นไปได้ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ควรออกกำลังกายแบบแอโรบิกในน้ำอุ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค อันจะทำให้สามารถลดภาวะแทรกซ้อนอันเกิดขึ้นจากการมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงในผู้ป่วยเบาหวานได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการนำรูปแบบการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานในน้ำอุ่นโดยนำไปประยุกต์ใช้สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในชุมชนต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ป่วยเบาหวานได้อย่างแท้จริง

2. ควรมีการเพิ่มระยะเวลาของการออกกำลังกายในแต่ละครั้งให้นานขึ้นเพื่อให้มีผลต่อการพัฒนาด้านระบบหัวใจและหายใจที่มากขึ้น

3. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยมีการควบคุมการบริโภคอาหารด้วย

4. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงและฟื้นฟูต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยโรคเบาหวาน

5. ควรมีการศึกษาอุณหภูมิของน้ำที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จิตานันท์ เหล่าศิริไพศาล, พรรษา อมรมงคล, ปภาวี ชูภาระ, & วิภาวี จันทรัตน์. (2558). ผลของความเร็วในการปั่นจักรยานวัดงานต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคสและกรดแลคติกในเลือดหลังออกกำลังกายในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2. *ธรรมศาสตร์เวชสาร,* 15(1), 50-58.

ปรียาภรณ์ สวัสดิ์ศรี. (2553). ผลของการออกกำลังกายด้วยยางยืดต่อระดับน้ำตาลในเลือด องค์ประกอบของร่างกาย และระบบไหลเวียนโลหิต ของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 หน่วยบริการปฐมภูมิ เครือข่ายโรงพยาบาลองครักษ์ จังหวัดนครนายก. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี,* 21(1), 12-22.

วิทิต มิตรานันท์, ชัยชาญ ดีโรจนวงศ์, & ดรุณวรรณ สุขสม. (2553). ผลของการฝึกแอโรบิกแบบช่วงหนักสลับเบาที่มีต่อสุขสมรรถนะและการควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2. *วารสารพฤฒาวิทยาและเวชศาสตร์ผู้สูงอายุ,* 11(1), 1-12.

ศุภชัย ไชยธีระพันธุ์, & สมชาย เอี่ยมอ่อง. (2540). *Endothelium* (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหาคร.

สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2556). *สุขภาพคนไทย 2556 : ปฏิรูปประเทศไทย ปฏิรูปโครงสร้าง อำนาจเพิ่มพลังพลเมือง.* Retrieved from นครปฐม:

สารัช สุนทรโยธิน, & ปฏิณัฐ บูรณะทรัพย์ขจร. (2555). *ตำราโรคเบาหวาน* (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์

สุวัฒน์ มหัตนิรันดร์กุล, วิระวรรณ ตันติพิวัฒนสกุล, & วนิดา พุ่มไพศาลชัย. (2551). เครื่องชี้วัดคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ ฉบับภาษาไทย. *วารสารกรมสุขภาพจิต*, 4-15.

อติกานต์ เกนี่, เทพ หิมะทองคำ, & ดรุณวรรณ สุขสม. (2557). ผลของการฝึกเดินสมาธิต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและการลดความเครียดในผู้ป่วยเบาหวานประเภทที่ 2. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ,* 15(3), 75-90.

อนุกูล ปีดแก้ว. ผู้อำนวยการศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง. 17 พฤศจิกายน 2557. สัมภาษณ์.

อริสรา สุขวัจนี. (2557). ผลการออกกำลังกายเพื่อความยืดหยุ่นต่อความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมประจำวัน. *วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ,* 9(2), 55-59.

อวยพร เรืองตระกูล. (2541). *สถิติการศึกษาขั้นนำ* (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ตำราและเอกสารทางวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โอภา วัชระคุปต์. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ* (พิมพ์ครั้งที่ 2 ed.). กรุงเทพมหานคร: นิวไทยมิตรการพิมพ์.

ภาษาอังกฤษ

American College of Sports Medicine. (2009). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wikins.

American College of Sports Medicine. (2014). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (9th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wikins.

American Diabetes Association. (2003). Peripheral Arterial Disease and diabetes. *Diabetes Care,* 26(12), 3333-3341.

American Diabetes Association. (2013). Standards of medical care in diabetes--2013. *Diabetes Care,* 36 *Suppl* 1, S11-66. doi:10.2337/dc13-S011

American Diabetes Association. (2014). Standards of medical care in diabetes--2014. *Diabetes Care,* 37 *Suppl* 1, S14-80. doi:10.2337/dc14-S014

American Diabetes Association. (2015). Standards of medical care in diabetes--2015: summary of revisions. *Diabetes Care,* 38 *Suppl*, S4. doi:10.2337/dc15-S003

Arborelius, M., Jr., Ballidin, U. I., Lilja, B., & Lundgren, C. E. (1972). Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerosp Med,* 43(6), 592-598.

Asa, C., Maria, S., Katharina, S. S., & Bert, A. (2012). Aquatic exercise is effective in improving exercise performance in patients with heart failure and type 2 diabetes mellitus. *Evid Based Complement Alternat Med,* 2012, 349209. doi:10.1155/2012/349209

Ayaz, A., & Dabidi Roshan, V. (2012). Effects of 6-weeks water-based intermittent exercise with and without Zingiber officinale on pro-inflammatory Markers and blood lipids in Overweight Women with Breast Cancer. *Journal of Applied Pharmaceutical Science,* 2(5), 218-224. doi:10.7324/JAPS.2012.2547

Bakker, W., Eringa, E. C., Sipkema, P., & van Hinsbergh, V. W. (2009). Endothelial dysfunction and diabetes: roles of hyperglycemia, impaired insulin signaling and obesity. *Cell Tissue Res,* 335(1), 165-189. doi:10.1007/s00441-008-0685-6

Bansi, J., Bloch, W., Gamper, U., & Kesselring, J. (2013). Training in MS: influence of two different endurance training protocols (aquatic versus overland) on cytokine and neurotrophin concentrations during three week randomized controlled trial. *Mult Scler,* 19(5), 613-621. doi:10.1177/1352458512458605

Bergamin, M., Ermolao, A., Tolomio, S., Berton, L., Sergi, G., & Zaccaria, M. (2013). Water- versus land-based exercise in elderly subjects: effects on physical performance and body composition. *Clin Interv Aging,* 8, 1109-1117. doi:10.2147/cia.s44198

Bermingham, M. A., Mahajan, D., & Neaverson, M. A. (2004). Blood lipids of cardiac patients after acute exercise on land and in water. *Arch Phys Med Rehabil,* 85(3), 509-511.

Bocalini, D. S., Serra, A. J., Rica, R. L., & dos Santos, L. (2010). Repercussions of training and detraining by water-based exercise on functional fitness and quality of life: a short-term follow-up in healthy older women. *Clinics,* 65(12), 1305-1309. doi:10.1590/s1807-59322010001200013

Boulé, N. G., Haddad, E., Kenny, G. P., Wells, G. A., & Sigal, R. J. (2001). Effects of Exercise on Glycemic Control and Body Mass in Type 2 Diabetes Mellitus: A Meta-analysis of Controlled Clinical Trials. *JAMA,* 10, 1218-1227. doi:10.1001/jama.286.10.1218.

Christ-Roberts, C. Y., Pratipanawatr, T., Pratipanawatr, W., Berria, R., Belfort, R., Kashyap, S., & Mandarino, L. J. (2004). Exercise training increases glycogen synthase activity and GLUT4 expression but not insulin signaling in overweight nondiabetic and type 2 diabetic subjects. *Metabolism,* 53(9), 1233-1242.

Cochrane, D. J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport,* 5(1), 26-32. doi:10.1016/j.ptsp.2003.10.002

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). New Jersey Lawrence Eribaum Associated.

Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., . . . Braun, B. (2010). Exercise and Type 2 Diabetes: The American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes Care,* 33(12), e147–e167. doi:10.2337/dc10-9990

Colberg, S. R., Stansberry, K. B., McNitt, P. M., & Vinik, A. I. (2002). Chronic exercise is associated with enhanced cutaneous blood flow in type 2 diabetes. *J Diabetes Complications,* 16(2), 139-145.

Cooke, J. P. (2000). The endothelium: a new target for therapy. *Vasc Med,* 5(1), 49-53.

Corretti, M. C., Anderson, T. J., Benjamin, E. J., Celermajer, D., Charbonneau, F., Creager, M. A., . . . Vogel, R. (2002). Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force. *J Am Coll Cardiol,* 39(2), 257-265.

Cugusi, L., Cadeddu, C., Nocco, S., Orru, F., Bandino, S., Deidda, M., . . . Mercuro, G. (2015). Effects of an aquatic-based exercise program to improve cardiometabolic profile, quality of life, and physical activity levels in men with type 2 diabetes mellitus. *Pm r,* 7(2), 141-148; quiz 148. doi:10.1016/j.pmrj.2014.09.004

Daanen, H. A. (2003). Finger cold-induced vasodilation: a review. *Eur J Appl Physiol,* 89(5), 411-426. doi:10.1007/s00421-003-0818-2

Dajpratham, P. (2006). Aquatic Exercise. *Siriraj Med J,* 58, 630-634.

De Feyter, H. M., Praet, S. F., van den Broek, N. M., Kuipers, H., Stehouwer, C. D., Nicolay, K., . . . van Loon, L. J. (2007). Exercise training improves glycemic control in long-standing insulin-treated type 2 diabetic patients. *Diabetes Care,* 30(10), 2511-2513. doi:10.2337/dc07-0183

De Filippis, E., Cusi, K., Ocampo, G., Berria, R., Buck, S., Consoli, A., & Mandarino, L. J. (2006). Exercise-induced improvement in vasodilatory function accompanies increased insulin sensitivity in obesity and type 2 diabetes mellitus. *J Clin Endocrinol Metab,* 91(12), 4903-4910. doi:10.1210/jc.2006-1142

DeSouza, C. A., Shapiro, L. F., Clevenger, C. M., Dinenno, F. A., Monahan, K. D., Tanaka, H., & Seals, D. R. (2000). Regular aerobic exercise prevents and restores age-

related declines in endothelium-dependent vasodilation in healthy men. *Circulation,* 102(12), 1351-1357.

Dobnikar, U., Kounalakis, S. N., & Mekjavic, I. B. (2009). The effect of exercise-induced elevation in core temperature on cold-induced vasodilatation response in toes. *Eur J Appl Physiol,* 106(3), 457-464. doi:10.1007/s00421-009-1035-4

Donley, D. A., Fournier, S. B., Reger, B. L., DeVallance, E., Bonner, D. E., Olfert, I. M., . . . Chantler, P. D. (2014). Aerobic exercise training reduces arterial stiffness in metabolic syndrome. *J Appl Physiol (*1985*),* 116(11), 1396-1404. doi:10.1152/japplphysiol.00151.2014

Ehrman, J. K., Gordon, P. M., Visich, P. S., & Keteyian, S. J. (2009). *Clinical exercise physiology* (2nd ed.). Champaign: Human kinetic.

Emerenziani, G. P., Gallotta, M. C., Meucci, M., Di Luigi, L., Migliaccio, S., Donini, L. M., . . . Guidetti, L. (2015). Effects of Aerobic Exercise Based upon Heart Rate at Aerobic Threshold in Obese Elderly Subjects with Type 2 Diabetes. *Int J Endocrinol,* 2015, 695297. doi:10.1155/2015/695297

Fiscus, K. A., Kaminski, T. W., & Powers, M. E. (2005). Changes in lower-leg blood flow during warm-, cold-, and contrast-water therapy. *Arch Phys Med Rehabil,* 86(7), 1404-1410.

Fiuza-Luces, C., Garatachea, N., Berger, N. A., & Lucia, A. (2013). Exercise is the real polypill. *Physiology (Bethesda),* 28(5), 330-358. doi:10.1152/physiol.00019.2013

Fletcher, G. F., Balady, G. J., Amsterdam, E. A., Chaitman, B., Eckel, R., Fleg, J., . . . Bazzarre, T. (2001). Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation,* 104(14), 1694-1740.

Forbes, J. M., & Cooper, M. E. (2013). Mechanisms of diabetic complications. *Physiol Rev,* 93(1), 137-188. doi:10.1152/physrev.00045.2011

Fowler, M. J. (2008). Microvascular and Macrovascular Complications of Diabetes. *Clinical Diabetes,* 26(2), 77-82. doi:10.2337/diaclin.26.2.77

Franzoni, F., Plantinga, Y., Femia, F. R., Bartolomucci, F., Gaudio, C., Regoli, F., . . . Galetta, F. (2004). Plasma antioxidant activity and cutaneous microvascular

endothelial function in athletes and sedentary controls. *Biomed Pharmacother,* 58(8), 432-436. doi:10.1016/j.biopha.2004.08.009

Gainey, A., Himathongkam, T., Tanaka, H., & Suksom, D. (2016). Effects of Buddhist walking meditation on glycemic control and vascular function in patients with type 2 diabetes. *Complementary Therapies in Medicine,* 26, 92-97. doi:dx.doi.org/10.1016/j.ctim.2016.03.009

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., . . . Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc,* 43(7), 1334-1359. doi:10.1249/MSS.0b013e318213fefb

Glickman, E. L., Caine-Bish, N., Cheatham, C. C., Blegen, M., & Potkanowicz, E. S. (2002). The influence of age on thermosensitivity during cold water immersion. *Wilderness Environ Med,* 13(3), 194-202.

Green, D. J., Carter, H. H., Fitzsimons, M. G., Cable, N. T., Thijssen, D. H., & Naylor, L. H. (2010). Obligatory role of hyperaemia and shear stress in microvascular adaptation to repeated heating in humans. *J Physiol,* 588(Pt 9), 1571-1577. doi:10.1113/jphysiol.2010.186965

Green, D. J., Swart, A., Exterkate, A., Naylor, L. H., Black, M. A., Cable, N. T., & Thijssen, D. H. (2010). Impact of age, sex and exercise on brachial and popliteal artery remodelling in humans. *Atherosclerosis,* 210(2), 525-530. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2010.01.048

Greene, N. P., Greene, E. S., Carbuhn, A. F., Green, J. S., & Crouse, S. F. (2011). VO2 prediction and cardiorespiratory responses during underwater treadmill exercise. *Res Q Exerc Sport,* 82(2), 264-273. doi:10.1080/02701367.2011.10599754

Greenstein, A., Tavakoli, M., M., M., AL-SUNNI, A., Matfin, G., & Malik, R. A. (2007). Microvascular complications: evaluation and monitoring relevance to clinical practice, clinical trials, and drug development :Review. *Br J Diabetes Vasc Dis,* 7(4), 166-171. doi: 10.1177/14746514070070040501

Gregson, W., Black, M. A., Jones, H., Milson, J., Morton, J., Dawson, B., . . . Green, D. J. (2011). Influence of cold water immersion on limb and cutaneous blood flow at rest. *Am J Sports Med,* 39(6), 1316-1323. doi:10.1177/0363546510395497

Guimaraes, G. V., de Barros Cruz, L. G., Fernandes-Silva, M. M., Dorea, E. L., & Bocchi, E. A. (2014). Heated water-based exercise training reduces 24-hour ambulatory blood pressure levels in resistant hypertensive patients: a randomized controlled trial (HEx trial). *Int J Cardiol,* 172(2), 434-441. doi:10.1016/j.ijcard.2014.01.100

Guzik, T. J., Mussa, S., Gastaldi, D., Sadowski, J., Ratnatunga, C., Pillai, R., & Channon, K. M. (2002). Mechanisms of increased vascular superoxide production in human diabetes mellitus: role of NAD(P)H oxidase and endothelial nitric oxide synthase. *Circulation,* 105(14), 1656-1662.

Ha, M.-S., Kim, D.-Y., & Baek, Y.-H. (2015). Effects of Hatha yoga exercise on plasma malondialdehyde concentration and superoxide dismutase activity in female patients with shoulder pain. *J Phys Ther Sci,* 27, 2109-2112.

Halse, R. E., Wallman, K. E., & Guelfi, K. J. (2011). Postexercise water immersion increases short-term food intake in trained men. *Med Sci Sports Exerc,* 43(4), 632-638. doi:10.1249/MSS.0b013e3181f55d2e

Hayashino, Y., Jackson, J. L., Fukumori, N., Nakamura, F., & Fukuhara, S. (2012). Effects of supervised exercise on lipid profiles and blood pressure control in people with type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes Research and Clinical Practice,* 98(3), 349-360. doi:dx.doi.org/10.1016/j.diabres.2012.10.004

Hill, J., & Timmis, A. (2002). Exercise tolerance testing. *Bmj,* 324(7345), 1084-1087.

Hooper, P. L. (1999). Hot-tub therapy for type 2 diabetes mellitus. *N Engl J Med,* 341(12), 924-925. doi:10.1056/nejm199909163411216

Hussey, S. E., McGee, S. L., Garnham, A., McConell, G. K., & Hargreaves, M. (2012). Exercise increases skeletal muscle GLUT4 gene expression in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Obes Metab,* 14(8), 768-771. doi:10.1111/j.1463-1326.2012.01585.x

Jae, S. Y., Heffernan, K. S., Fernhall, B., Oh, Y. S., Park, W. H., Lee, M. K., & Choi, Y. H. (2010). Association between cardiorespiratory fitness and arterial stiffness in men with the metabolic syndrome. *Diabetes Res Clin Pract,* 90(3), 326-332. doi:10.1016/j.diabres.2010.08.025

Johannsen, N. M., Swift, D. L., Lavie, C. J., Earnest, C. P., Blair, S. N., & Church, T. S. (2013). Categorical analysis of the impact of aerobic and resistance exercise training, alone and in combination, on cardiorespiratory fitness levels in patients with type 2 diabetes: results from the HART-D study. *Diabetes Care,* 36(10), 3305-3312. doi:10.2337/dc12-2194

Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2007). Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins in adults with type 2 diabetes: A meta-analysis of randomized-controlled trials. *Public Health,* 121(9), 643-655. doi:dx.doi.org/10.1016/j.puhe.2007.02.014

Keramidas, M. E., Musizza, B., Kounalakis, S. N., & Mekjavic, I. B. (2010). Enhancement of the finger cold-induced vasodilation response with exercise training. *Eur J Appl Physiol,* 109(1), 133-140. doi:10.1007/s00421-010-1374-1

Krook, A., Holm, I., Pettersson, S., & Wallberg-Henriksson, H. (2003). Reduction of risk factors following lifestyle modification programme in subjects with type 2 (non-insulin dependent) diabetes mellitus. *Clin Physiol Funct Imaging,* 23, 21-30.

Larose, J., Sigal, R. J., Boule, N. G., Wells, G. A., Prud'homme, D., Fortier, M. S., . . . Kenny, G. P. (2010). Effect of exercise training on physical fitness in type II diabetes mellitus. *Med Sci Sports Exerc,* 42(8), 1439-1447. doi:10.1249/MSS.0b013e3181d322dd

Lau, Y. S., Tian, X. Y., Huang, Y., Murugan, D., Achike, F. I., & Mustafa, M. R. (2013). Boldine protects endothelial function in hyperglycemia-induced oxidative stress through an antioxidant mechanism. *Biochem Pharmacol,* 85(3), 367-375. doi:10.1016/j.bcp.2012.11.010

Laurent, M., Daline, T., Malika, B., Fawzi, O., Philippe, V., Benoit, D., . . . Jacques, R. (2009). Training-induced increase in nitric oxide metabolites in chronic heart

Chulalongkorn University

failure and coronary artery disease: an extra benefit of water-based exercises? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil,* 16(2), 215-221. doi:10.1097/HJR.0b013e3283292fcf

Lazar, J. M., Morris, M., Qureshi, G., Jean-Noel, G., Nichols, W., Qureshi, M. R., & Salciccioli, L. (2008). The effects of head-out-of-water immersion on arterial wave reflection in healthy adults. *Journal of the American Society of Hypertension,* 2(6), 455-461. doi:10.1016/j.jash.2008.04.013

Lee, J.-Y., Bakri, I., Matsuo, A., & Tochihara, Y. (2013). Cold-induced vasodilation and vasoconstriction in the finger of tropical and temperate indigenes. *Journal of Thermal Biology,* 38(2), 70-78. doi:10.1016/j.jtherbio.2012.11.004

Ley, O., Dhindsa, M., Sommerlad, S. M., Barnes, J. N., Devan, A. E., Naghavi, M., & Tanaka, H. (2011). Use of temperature alterations to characterize vascular reactivity. *Clin Physiol Funct Imaging,* 31(1), 66-72. doi:10.1111/j.1475-097X.2010.00981.x

Lorenzo, S., & Minson, C. T. (2007). Human cutaneous reactive hyperaemia: role of BKCa channels and sensory nerves. *J Physiol,* 585(Pt 1), 295-303. doi:10.1113/jphysiol.2007.143867

Mah, E., & Bruno, R. S. (2012). Postprandial hyperglycemia on vascular endothelial function: mechanisms and consequences. *Nutr Res,* 32(10), 727-740. doi:10.1016/j.nutres.2012.08.002

Maiorana, A., O'Driscoll, G., Cheetham, C., Dembo, L., Stanton, K., Goodman, C., . . . Green, D. (2001). The effect of combined aerobic and resistance exercise training on vascular function in type 2 diabetes. *J Am Coll Cardiol,* 38(3), 860-866. doi:10.1016/S0735-1097(01)01439-5

Malakul, W. (2011). Vascular endothelium in diabetes mellitus *Naresuan University Journal,* 19(1), 81-88.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology nutrition, energy, and human performance* (7th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins

McCarty, M. F., Barroso-Aranda, J., & Contreras, F. (2009). Regular thermal therapy may promote insulin sensitivity while boosting expression of endothelial nitric oxide synthase--effects comparable to those of exercise training. *Med Hypotheses,* 73(1), 103-105. doi:10.1016/j.mehy.2008.12.020

McCord, G. R., & Minson, C. T. (2005). Cutaneous vascular responses to isometric handgrip exercise during local heating and hyperthermia. *J Appl Physiol (*1985*),* 98(6), 2011-2018. doi:10.1152/japplphysiol.00888.2004

Michalsen, A., Ludtke, R., Buhring, M., Spahn, G., Langhorst, J., & Dobos, G. J. (2003). Thermal hydrotherapy improves quality of life and hemodynamic function in patients with chronic heart failure. *Am Heart J,* 146(4), 728-733. doi:10.1016/s0002-8703(03)00314-4

Michiels, C. (2003). Endothelial cell functions. *J Cell Physiol,* 196(3), 430-443. doi:10.1002/jcp.10333

Montero, D., Walther, G., Benamo, E., Perez-Martin, A., & Vinet, A. (2013). Effects of exercise training on arterial function in type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med,* 43(11), 1191-1199. doi:10.1007/s40279-013-0085-2

Moore, C., Fournier, S., DeVallance, E., Lee, K., Bonner, D., Donley, D., . . . Chantler, P. (2015). Deep Water Exercise Training is Associated with Decreased Arterial Stiffening in Women. *The FASEB Journal,* 29(1 Supplement).

Morales, F. (2005). *Improving the clinical applicability of laser Doppler perfusion monitoring.* University Library Groningen.

Naghavi, M. (2010). *Asymptomatic Atherosclerosis: Pathophysiology, Detection, and Treatment* New York: Humana Press.

Naidu, O. A., Rajasekhar, D., & Latheef, S. (2011). Assessment of endothelial function by brachial artery flow mediated dilatation in microvascular disease. *Cardiovascular Ultrasound,* 9(1), 1-5. doi:10.1186/1476-7120-9-40

Nakano, T., Tominaga, R., Nagano, I., Okabe, H., & Yasui, H. (2000). Pulsatile flow enhances endothelium-derived nitric oxide release in the peripheral vasculature. *Am J Physiol Heart Circ Physiol,* 278(4), H1098-1104.

Nishiyama, S. K., Walter Wray, D., Berkstresser, K., Ramaswamy, M., & Richardson, R. S. (2007). Limb-specific differences in flow-mediated dilation: the role of shear rate. *J Appl Physiol (*1985*),* 103(3), 843-851. doi:10.1152/japplphysiol.00273.2007

Nuttamonwarakul, A., Amatyakul, S., & Suksom, D. (2012). Twelve weeks of aqua-aerobic exercise improve health-related physical fitness and glycemic control in elderly patients with type 2 diabetes *JEP,* 15(2), 64-70.

Nuttamonwarakul, A., Amatyakul, S., & Suksom, D. (2014). Effects of water-based versus land-based exercise training on cutaneous microvascular reactivity and c-reactive protein in older women with type 2 diabetes mellitus *JEP,* 17(4), 27-33.

O'Gorman, D. J., Karlsson, H. K., McQuaid, S., Yousif, O., Rahman, Y., Gasparro, D., . . . Nolan, J. J. (2006). Exercise training increases insulin-stimulated glucose disposal and GLUT4 (SLC2A4) protein content in patients with type 2 diabetes. *Diabetologia,* 49(12), 2983-2992. doi:10.1007/s00125-006-0457-3

Ohori, T., Nozawa, T., Ihori, H., Shida, T., Sobajima, M., Matsuki, A., . . . Inoue, H. (2012). Effect of repeated sauna treatment on exercise tolerance and endothelial function in patients with chronic heart failure. *Am J Cardiol,* 109(1), 100-104. doi:10.1016/j.amjcard.2011.08.014

Osorio, R. A. L., Christofani, J. S., D'Almeida, V., Russo, A. K., & Piçarro, I. C. (2003). Reactive oxygen species in pregnant rats: effects of exercise and thermal stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology,* 135(1), 89-95. doi:org/10.1016/S1532-0456(03)00078-4

Padilla, J., Simmons, G. H., Bender, S. B., Arce-Esquivel, A. A., Whyte, J. J., & Laughlin, M. H. (2011). Vascular Effects of Exercise: Endothelial Adaptations Beyond Active Muscle Beds. *Physiology,* 26(3), 132-145. doi:10.1152/physiol.00052.2010

Padilla, J., Simmons, G. H., Vianna, L. C., Davis, M. J., Laughlin, M. H., & Fadel, P. J. (2011). Brachial artery vasodilatation during prolonged lower limb exercise: role of shear rate. *Exp Physiol,* 96(10), 1019-1027. doi:10.1113/expphysiol.2011.059584

Parker, B. A., Ridout, S. J., & Proctor, D. N. (2006). Age and flow-mediated dilation: a comparison of dilatory responsiveness in the brachial and popliteal arteries. *Am J Physiol Heart Circ Physiol,* 291(6), H3043-3049. doi:10.1152/ajpheart.00190.2006

Pechter, U., Ots, M., Mesikepp, S., Zilmer, K., Kullissaar, T., Vihalemm, T., . . . Maaroos, J. (2003). Beneficial effects of water-based exercise in patients with chronic

kidney disease. *Int J Rehabil Res,* 26(2), 153-156. doi:10.1097/01.mrr.0000070755.63544.5a

Petrofsky, J., Gunda, S., Raju, C., Bains, G. S., Bogseth, M. C., Focil, N., . . . Lohman, E. (2010). Impact of hydrotherapy on skin blood flow: How much is due to moisture and how much is due to heat? *Physiother Theory Pract,* 26(2), 107-112. doi:doi: 10.3109/09593980802640059.

Plowman, S., & Smith, D. L. (2011). *Exercise physiology for health, fitness, and performance* (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Praet, S. F., & van Loon, L. J. (2007). Optimizing the therapeutic benefits of exercise in Type 2 diabetes. *J Appl Physiol (*1985*),* 103(4), 1113-1120. doi:10.1152/japplphysiol.00566.2007

Quattrini, C., Harris, N. D., Malik, R. A., & Tesfaye, S. (2007). Impaired skin microvascular reactivity in painful diabetic neuropathy. *Diabetes Care,* 30(3), 655-659. doi:10.2337/dc06-2154

Regensteiner, J. G., Reusch, J. E. B., Stewart, K. J., & Veves, A. (2009). *Diabetes and exercise*. New York: Humana Press.

Rica, R. L., Carneiro, R. M., Serra, A. J., Rodriguez, D., Pontes Junior, F. L., & Bocalini, D. S. (2013). Effects of water-based exercise in obese older women: impact of short-term follow-up study on anthropometric, functional fitness and quality of life parameters. *Geriatr Gerontol Int,* 13(1), 209-214. doi:10.1111/j.1447-0594.2012.00889.x

Ridker, P. M., Rifai, N., Pfeffer, M. A., Sacks, F. M., Moye, L. A., Goldman, S., . . . Braunwald, E. (1998). Inflammation, pravastatin, and the risk of coronary events after myocardial infarction in patients with average cholesterol levels. Cholesterol and Recurrent Events (CARE) Investigators. *Circulation,* 98(9), 839-844.

Rodriguez, D., Silva, V., Prestes, J., Rica, R. L., Serra, A. J., Bocalini, D. S., & Pontes, F. L., Jr. (2011). Hypotensive response after water-walking and land-walking exercise sessions in healthy trained and untrained women. *Int J Gen Med,* 4, 549-554. doi:10.2147/ijgm.s23094

Rosenzweig, J. L., Weinger, K., Poirier-Solomon, L., & Rushton, M. (2002). Use of a disease severity index for evaluation of healthcare costs and management of comorbidities of patients with diabetes mellitus. *Am J Manag Care,* 8(11), 950-958.

Schmid, J. P., Morger, C., Noveanu, M., Binder, R. K., Anderegg, M., & Saner, H. (2009). Haemodynamic and arrhythmic effects of moderately cold (22 degrees C) water immersion and swimming in patients with stable coronary artery disease and heart failure. *Eur J Heart Fail,* 11(9), 903-909. doi:10.1093/eurjhf/hfp114

Schmid, J. P., Noveanu, M., Morger, C., Gaillet, R., Capoferri, M., Anderegg, M., & Saner, H. (2007). Influence of water immersion, water gymnastics and swimming on cardiac output in patients with heart failure. *Heart,* 93(6), 722-727. doi:10.1136/hrt.2006.094870

Schreuder, T. H., Van Den Munckhof, I., Poelkens, F., Hopman, M. T., & Thijssen, D. H. (2015). Combined aerobic and resistance exercise training decreases peripheral but not central artery wall thickness in subjects with type 2 diabetes. *Eur J Appl Physiol,* 115(2), 317-326. doi:10.1007/s00421-014-3016-5

Schuch, F. B., Pinto, S. S., Bagatini, N. C., Zaffari, P., Alberton, C. L., Cadore, E. L., . . . Kruel, L. F. (2014). Water-based exercise and quality of life in women: the role of depressive symptoms. *Women Health,* 54(2), 161-175. doi:10.1080/03630242.2013.870634

Sena, C. M., Pereira, A. M., & Seica, R. (2013). Endothelial dysfunction - a major mediator of diabetic vascular disease. *Biochim Biophys Acta,* 1832(12), 2216-2231. doi:10.1016/j.bbadis.2013.08.006

Sendowski, I., Savourey, G., Launay, J. C., Besnard, Y., Cottet-Emard, J. M., Pequignot, J. M., & Bittel, J. (2000). Sympathetic stimulation induced by hand cooling alters cold-induced vasodilatation in humans. *Eur J Appl Physiol,* 81(4), 303-309. doi:10.1007/s004210050047

Sherlock, L. A., Fournier, S., DeVallance, E., Lee, K., Carte, S., & Chantler, P. (2014). Effects of Shallow Water Aerobic Exercise Training on Arterial Stiffness and

Pulse Wave Analysis in Older Individuals. *IJARE,* 8(4), 310-320. doi:dx.doi.org/10.1123/ijare.2014-0048

Stewart, K. J. (2002). Exercise training and the cardiovascular consequences of type 2 diabetes and hypertension. *JAMA,* 288(13), 1622-1631. doi:10.1001/jama.288.13.1622.

Storey, A. M., Perry, C. J., & Petrie, J. R. (2001). Review: Endothelial dysfunction in type 2 diabetes *Br J Diabetes Vasc Dis,* 1(1), 22-27. doi:10.1177/14746514010010010401

Suksom, D., Siripatt, A., Lapo, P., & Patumraj, S. (2011). Effects of two modes of exercise on physical fitness and endothelial function in the elderly: exercise with a flexible stick versus Tai Chi. *J Med Assoc Thai,* 94(1), 123-132.

Takeshima, N., Rogers, M. E., Watanabe, E., Brechue, W. F., Okada, A., Yamada, T., . . . Hayano, J. (2002). Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women. *Med Sci Sports Exerc,* 34(3), 544-551.

Tee, G. B., Rasool, A. H., Halim, A. S., & Rahman, A. R. (2004). Dependence of human forearm skin postocclusive reactive hyperemia on occlusion time. *J Pharmacol Toxicol Methods,* 50(1), 73-78. doi:10.1016/j.vascn.2004.02.002

Tinken, T. M., Thijssen, D. H., Hopkins, N., Black, M. A., Dawson, E. A., Minson, C. T., . . . Green, D. J. (2009). Impact of shear rate modulation on vascular function in humans. *Hypertension,* 54(2), 278-285. doi:10.1161/hypertensionaha.109.134361

Tsourlou, T., Benik, A., Dipla, K., Zafeiridis, A., & Kellis, S. (2006). The effects of a twenty-four-week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. *J Strength Cond Res,* 20(4), 811-818. doi:10.1519/r-18455.1

Umpierre, D., Ribeiro, P. A., Kramer, C. K., Leitao, C. B., Zucatti, A. T., Azevedo, M. J., . . . Schaan, B. D. (2011). Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *JAMA,* 305(17), 1790-1799. doi:10.1001/jama.2011.576

van der Heijden, M. M., van Dooren, F. E., Pop, V. J., & Pouwer, F. (2013). Effects of exercise training on quality of life, symptoms of depression, symptoms of anxiety and emotional well-being in type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetologia,* 56(6), 1210-1225. doi:10.1007/s00125-013-2871-7

Van der Struijs, N. R., Van Es, E. M., Raymann, R. J., & Daanen, H. A. (2008). Finger and toe temperatures on exposure to cold water and cold air. *Aviat Space Environ Med,* 79(10), 941-946.

Vinik, A. I., Erbas, T., Park, T. S., Nolan, R., & Pittenger, G. L. (2001). Platelet dysfunction in type 2 diabetes. *Diabetes Care,* 24(8), 1476-1485.

Walsh, J. H., Yong, G., Cheetham, C., Watts, G. F., O'Driscoll, G. J., Taylor, R. R., & Green, D. J. (2003). Effects of exercise training on conduit and resistance vessel function in treated and untreated hypercholesterolaemic subjects. *Eur Heart J,* 24(18), 1681-1689.

Wang, Z., & Thurmond, D. C. (2009). Mechanisms of biphasic insulin-granule exocytosis – roles of the cytoskeleton, small GTPases and SNARE proteins. *Journal of Cell Science,* 122, 893-903. doi:10.1242/jcs

White, L. J., Dressendorfer, R. H., Holland, E., McCoy, S. C., & Ferguson, M. A. (2005). Increased caloric intake soon after exercise in cold water. *Int J Sport Nutr Exerc Metab,* 15(1), 38-47.

Widlansky, M. E., Gokce, N., Keaney, J. F., Jr., & Vita, J. A. (2003). The clinical implications of endothelial dysfunction. *J Am Coll Cardiol,* 42(7), 1149-1160.

Wierzbowska, J., Wojtkiewicz, S., Zbiec, A., Wierzbowski, R., Liebert, A., & Maniewski, R. (2014). Prolonged postocclusive hyperemia response in patients with normal-tension glaucoma. *Med Sci Monit,* 20, 2607-2616. doi:10.12659/msm.891069

Winnick, J. J., Sherman, W. M., Habash, D. L., Stout, M. B., Failla, M. L., Belury, M. A., & Schuster, D. P. (2008). Short-term aerobic exercise training in obese humans with type 2 diabetes mellitus improves whole-body insulin sensitivity through gains in peripheral, not hepatic insulin sensitivity. *J Clin Endocrinol Metab,* 93(3), 771-778. doi:10.1210/jc.2007-1524

World Health Organization. (2010). *Global status report on noncommunicable diseases* 2010. Retrieved from

Yang, Z., Scott, C. A., Mao, C., Tang, J., & Farmer, A. J. (2014). Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med,* 44(4), 487-499. doi:10.1007/s40279-013-0128-8

Yokoyama, H., Emoto, M., Fujiwara, S., Motoyama, K., Morioka, T., Koyama, H., . . . Nishizawa, Y. (2004). Short-term aerobic exercise improves arterial stiffness in type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract,* 65(2), 85-93. doi:10.1016/j.diabres.2003.12.005

Young, A. J., Sawka, M. N., Levine, L., Burgoon, P. W., Latzka, W. A., Gonzalez, R. R., & Pandolf, K. B. (1995). Metabolic and thermal adaptations from endurance training in hot or cold water. *Journal of Applied Physiology,* 78(3), 793-801.

Zoppini, G., Targher, G., Zamboni, C., Venturi, C., Cacciatori, V., Moghetti, P., & Muggeo, M. (2006). Effects of moderate-intensity exercise training on plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction in older patients with type 2 diabetes. *Nutr Metab Cardiovasc Dis,* 16(8), 543-549. doi:10.1016/j.numecd.2005.09.004

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก จริยธรรม

AF 01-12

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์/โทรสาร: 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 201/2558

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 142.1/57 : การเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

ผู้วิจัยหลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ The International Conference on Harmonization – Good Clinical Practice (ICH-GCP) อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 29 ตุลาคม 2558 **วันหมดอายุ** : 28 ตุลาคม 2559

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

เงื่อนไข

1. *ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ*
2. *หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย*
3. *ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด*
4. *ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) **เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น***
5. *หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ*
6. *หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ*
7. *โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 03-12) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น*

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (*กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำอุ่น*)

ชื่อโครงการวิจัย การเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 02-218-1002

โทรศัพท์มือถือ 081-3415736 E-mail : daroonwanc@hotmail.com

1. **ขอเรียนเชิญ** ท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. **โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัย** เป็นการออกกำลังกายในน้ำสำหรับผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 เพื่อช่วยให้*สุขภาพ*ดีขึ้น และป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวาน

3. **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

วัตถุประสงค์รอง

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดส่วนที่ได้แช่น้ำและไม่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่มีต่อการทำงานหลอดเลือดขนาดใหญ่และหลอดเลือดขนาดเล็กในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

4. **รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีอายุตั้งแต่ *60-75* ปี *จำนวน 48 คน* ทั้งนี้*ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม โดยการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling) จำนวนกลุ่มละ 16 คน* ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุ่น จำนวน 16 คน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำเย็น จำนวน 16 คน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 16 คน

เลขที่โครงการวิจัย 142.1
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 25
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 255

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 *ทั้งเพศชายและเพศหญิง ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด* 7-9% และดัชนีมวลกายไม่เกิน 30 กิโลกรัม/เมตร^2

2. ต้องไม่มีโรคแทรกซ้อนจากการเป็นเบาหวาน ได้แก่ โรคหัวใจ โรคแทรกซ้อนทางตา โรคความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ โรคแทรกซ้อนทางระบบประสาท และโรคหลอดเลือดสมอง

3. มีการรักษาด้วยการรับประทานยาที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ต้องไม่ได้รับการรักษาด้วยการฉีดอินซูลิน

4. ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำอย่างน้อย 3 เดือน ก่อนการเข้าร่วมโครงการ

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

3. ออกกำลังกายน้อยกว่า *29 ครั้ง* ของการฝึกออกกำลังกายทั้งหมด 36 ครั้ง

5. ***กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย***

5.1. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย*ทำแบบสอบถามประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (จำนวน 7 ข้อ) และแบบวัดคุณภาพชีวิต (จำนวน 26 ข้อ) ใช้เวลา 10 นาที* วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ทดสอบสุขสมรรถนะได้แก่ การวัดองค์ประกอบของร่างกาย การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา การวัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ใช้เวลา 30 นาที

5.2. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้รับการประเมินการทำงานของหลอดเลือด โดยใช้เครื่องอัลตราซาวนด์และเลเซอร์ดอปเลอร์ ใช้เวลา 40 นาที

5.3 ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้รับการประเมินวิเคราะห์หาค่าระดับน้ำตาลในเลือด ระดับไขมันในเลือด ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดออลดีไฮด์ ระดับน้ำตาลในเลือด ความต้านทานอินซูลิน ตัวบ่งชี้รีแอคทีฟออกซิเจนสปีชีส์ ซีรีแอคทีฟโปรตีน และการตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด ทำการเจาะเลือดปริมาณ 2 ช้อนชา โดยนักเทคนิคการแพทย์ แล้วนำส่งศูนย์ตรวจวิเคราะห์ผลเลือด ในการเจาะเลือดใช้เวลา 10 นาที

หากพบว่าผู้มีส่วนร่วมฯ มีความผิดปกติจากการตรวจสุขภาพ แลการตรวจเลือด ผู้วิจัยจะแจ้งให้กลุ่มตัวอย่างทราบและนำผลการตรวจไปปรึกษาแพทย์ประจำตัวต่อไป

เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะถูกทำลาย เลือดจะถูกทำลายโดยนักเทคนิคการแพทย์

5.4 *ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทำการออกกำลังกาย โดยปั่นจักรยานในน้ำอุ่น ที่ความหนัก 60-70% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ความถี่ 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 3 เดือน เดือนที่ 1 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 15 นาที เดือนที่ 2 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 20 นาที และเดือนที่ 3 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 30*

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

นาที อุณหภูมิของน้ำ 36°C ทำการออกกำลังกาย ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง โดยมีผู้ช่วยวิจัยเป็นผู้ดูแล

5.5 การประเมินตามข้อที่ 5.1-5.3 อีก 1 ครั้งภายหลังการฝึกออกกำลังกายแล้ว 3 เดือน โดยใช้เวลารวมทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 30 นาที

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด ในกรณีที่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่สามารถอ่านข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัยได้ ผู้วิจัยจะเป็นผู้อ่านรายละเอียดทั้งหมดให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยรับฟังก่อนลงนามยินยอมการเข้าร่วมการวิจัย หากไม่สามารถเขียนได้ให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย*พิมพ์ลายนิ้วมือ นิ้วชี้ข้างขวา* ต่อหน้าพยานอีก 2 คน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและรายงานแก่ทางศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง เพื่อให้การดูแลเรื่องสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ มีผู้วิจัย คอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และรับการรักษาจนกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นโดยสมัครใจ และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

13. *มีค่าชดเชยการเสียเวลา*สำหรับกลุ่มตัวอย่างในการฝึกออกกำลังกายครั้งละ 100 บาท จำนวนทั้งหมด 36 ครั้งซึ่งจะจ่ายให้เมื่อทำการฝึกการออกกำลังกายเสร็จสมบูรณ์และได้ทดสอบสุขสมรรถนะประเมินการทำงานของหลอดเลือด และเจาะเลือดหลังการฝึกแล้ว

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147 หรือ 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (*กลุ่มปั่นจักรยานในน้ำเย็น*)

ชื่อโครงการวิจัย การเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 02-218-1002

โทรศัพท์มือถือ 081-3415736 E-mail : daroonwanc@hotmail.com

1. **ขอเรียนเชิญ** ท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. **โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัย** เป็นการออกกำลังกายในน้ำสำหรับผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 เพื่อช่วยให้*สุขภาพ*ดีขึ้น และป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวาน

3. **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

วัตถุประสงค์รอง

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดส่วนที่ได้แช่น้ำและไม่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่มีต่อการทำงานหลอดเลือดขนาดใหญ่และหลอดเลือดขนาดเล็กในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

4. **รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีอายุตั้งแต่ *60-75 ปี จำนวน 48 คน* ทั้งนี้*ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่มโดยการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling) จำนวนกลุ่มละ 16 คน* ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุ่น จำนวน 16 คน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำเย็น จำนวน 16 คน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 16 คน

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 *ทั้งเพศชายและเพศหญิง ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด* 7-9% และดัชนีมวลกายไม่เกิน 30 กิโลกรัม/เมตร^2

2. ต้องไม่มีโรคแทรกซ้อนจากการเป็นเบาหวาน ได้แก่ โรคหัวใจ โรคแทรกซ้อนทางตา โรคความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ โรคแทรกซ้อนทางระบบประสาท และโรคหลอดเลือดสมอง

3. มีการรักษาด้วยการรับประทานยาที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ต้องไม่ได้รับการรักษาด้วยการฉีดอินซูลิน

4. ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำอย่างน้อย 3 เดือน ก่อนการเข้าร่วมโครงการ

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

3. ออกกำลังกายน้อยกว่า *29 ครั้ง* ของการฝึกออกกำลังกายทั้งหมด 36 ครั้ง

5. การดำเนินการวิจัย

5.1. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย*ทำแบบสอบถามประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (จำนวน 7 ข้อ) และแบบวัดคุณภาพชีวิต (จำนวน 26 ข้อ) ใช้เวลา 10 นาที* วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ทดสอบสุขสมรรถนะได้แก่ การวัดองค์ประกอบของร่างกาย การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา การวัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ใช้เวลา 30 นาที

5.2. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้รับการประเมินการทำงานของหลอดเลือด โดยใช้เครื่องอัลตราซาวนด์และเลเซอร์ดอปเลอร์ ใช้เวลา 40 นาที

5.3 ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้รับการประเมินวิเคราะห์หาค่าระดับน้ำตาลในเลือด ระดับไขมันในเลือด ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดออลดีไฮด์ ระดับน้ำตาลในเลือด ความต้านทานอินซูลิน ตัวบ่งชี้รีแอคทีฟออกซิเจนสปีชีส์ ซีรีแอคทีฟโปรตีน และการตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด ทำการเจาะเลือดปริมาณ 2 ช้อนชา โดยนักเทคนิคการแพทย์ แล้วนำส่งศูนย์ตรวจวิเคราะห์ผลเลือด ในการเจาะเลือดใช้เวลา 10 นาที

หากพบว่าผู้มีส่วนร่วมฯ มีความผิดปกติจากการตรวจสุขภาพ แลการตรวจเลือด ผู้วิจัยจะแจ้งให้กลุ่มตัวอย่างทราบและนำผลการตรวจไปปรึกษาแพทย์ประจำตัวต่อไป

เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะถูกทำลาย เลือดจะถูกทำลายโดยนักเทคนิคการแพทย์

5.4 *ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทำการออกกำลังกาย โดยปั่นจักรยานในน้ำเย็น ที่ความหนัก 60-70% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ความถี่ 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 3 เดือน เดือนที่ 1 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 15 นาที เดือนที่ 2 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 20 นาที และเดือนที่ 3 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 30*

ลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

นาที อุณหภูมิของน้ำ 20 °C ออกกำลังกาย ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง โดยมีผู้ช่วยวิจัยเป็นผู้ดูแล

5.5 การประเมินตามข้อที่ 5.1-5.3 อีก 1 ครั้งภายหลังการฝึกออกกำลังกายแล้ว 3 เดือน โดยใช้เวลารวมทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 30 นาที

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด ในกรณีที่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่สามารถอ่านข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัยได้ ผู้วิจัยจะเป็นผู้อ่านรายละเอียดทั้งหมดให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยรับฟังก่อนลงนามยินยอมการเข้าร่วมการวิจัย หากไม่สามารถเขียนได้ให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย*พิมพ์ลายนิ้วมือ นิ้วชี้ข้างขวา* ต่อหน้าพยานอีก 2 คน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและรายงานแก่ทางศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง เพื่อให้การดูแลเรื่องสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ มีผู้วิจัย คอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการตึงกล่าว หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และรับการรักษาจนกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นโด**ยสมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57

วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558

วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

13. *มีค่าชดเชยการเสียเวลา*สำหรับกลุ่มตัวอย่างในการฝึกออกกำลังกายครั้งละ 100 บาท จำนวนทั้งหมด 36 ครั้งซึ่งจะจ่ายให้เมื่อทำการฝึกการออกกำลังกายเสร็จสมบูรณ์และได้ทดสอบสุขสมรรถนะประเมินการทำงานของหลอดเลือด และเจาะเลือดหลังการฝึกแล้ว

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147 หรือ 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (*กลุ่มปั่นจักรยานบนบก*)

ชื่อโครงการวิจัย การเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 02-218-1002

โทรศัพท์มือถือ 081-3415736 E-mail : daroonwanc@hotmail.com

1. **ขอเรียนเชิญ** ท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. **โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัย** เป็นการออกกำลังกายในน้ำสำหรับผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 เพื่อช่วยให้*สุขภาพ*ดีขึ้น และป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวาน

3. **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

วัตถุประสงค์รอง

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดส่วนที่ได้แช่น้ำและไม่ได้แช่น้ำในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่มีต่อการทำงานหลอดเลือดขนาดใหญ่และหลอดเลือดขนาดเล็กในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

4. **รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางจาก จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีอายุตั้งแต่ 60-75 *ปี จำนวน 48 คน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่มโดยการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified random sampling) จำนวนกลุ่มละ 16 คน* ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำอุ่น จำนวน 16 คน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายในน้ำเย็น จำนวน 16 คน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการออกกำลังกายบนบก จำนวน 16 คน

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 255
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 255

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 *ทั้งเพศชายและเพศหญิง ที่มีค่าระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด* 7-9% และดัชนีมวลกายไม่เกิน 30 กิโลกรัม/เมตร^2

2. ต้องไม่มีโรคแทรกซ้อนจากการเป็นเบาหวาน ได้แก่ โรคหัวใจ โรคแทรกซ้อนทางตา โรคความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ โรคแทรกซ้อนทางระบบประสาท และโรคหลอดเลือดสมอง

3. มีการรักษาด้วยการรับประทานยาที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ต้องไม่ได้รับการรักษาด้วยการฉีดอินซูลิน

4. ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำอย่างน้อย 3 เดือน ก่อนการเข้าร่วมโครงการ

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

3. ออกกำลังกายน้อยกว่า *29 ครั้ง* ของการฝึกออกกำลังกายทั้งหมด 36 ครั้ง

5. การดำเนินการวิจัย

5.1. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย*ทำแบบสอบถามประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (จำนวน 7 ข้อ) และแบบวัดคุณภาพชีวิต (จำนวน 26 ข้อ) ใช้เวลา 10 นาที* วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ทดสอบสุขสมรรถนะได้แก่ การวัดองค์ประกอบของร่างกาย การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา การวัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ใช้เวลา 30 นาที

5.2. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้รับการประเมินการทำงานของหลอดเลือด โดยใช้เครื่องอัลตราซาวนด์และเลเซอร์ดอปเลอร์ ใช้เวลา 40 นาที

5.3 ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้รับการประเมินวิเคราะห์หาค่าระดับน้ำตาลในเลือด ระดับไขมันในเลือด ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดออลดีไฮด์ ระดับน้ำตาลในเลือด ความต้านทานอินซูลิน ตัวบ่งชี้รีแอคทีฟออกซิเจนสปีชีส์ ซีรีแอคทีฟโปรตีน และการตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด ทำการเจาะเลือดปริมาณ 2 ช้อนชา โดยนักเทคนิคการแพทย์ แล้วนำส่งศูนย์ตรวจวิเคราะห์ผลเลือด ในการเจาะเลือดใช้เวลา 10 นาที

หากพบว่าผู้มีส่วนร่วมฯ มีความผิดปกติจากการตรวจสุขภาพ แลการตรวจเลือด ผู้วิจัยจะแจ้งให้กลุ่มตัวอย่างทราบและนำผลการตรวจไปปรึกษาแพทย์ประจำตัวต่อไป

เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะถูกทำลาย เลือดจะถูกทำลายโดยนักทางเทคนิคการแพทย์

5.4 *ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทำการออกกำลังกาย โดยปั่นจักรยานบนบก ที่ความหนัก 60-70% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ความถี่ 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 3 เดือน เดือนที่ 1 ปั่นจักรยานระยะเวลา 15 นาที เดือนที่ 2 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 20 นาที และเดือนที่ 3 ปั่นจักรยานเป็นระยะเวลา 30 นาที ออกกำลังกาย ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง โดยมีผู้ช่วยวิจัยเป็นผู้ดูแล*

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

5.5 การประเมินตามข้อที่ 5.1-5.3 อีก 1 ครั้งภายหลังการฝึกออกกำลังกายแล้ว 3 เดือน โดยใช้เวลารวมทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 30 นาที

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด ในกรณีที่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่สามารถอ่านข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัยได้ ผู้วิจัยจะเป็นผู้อ่านรายละเอียดทั้งหมดให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยรับฟังก่อนลงนามยินยอมการเข้าร่วมการวิจัย หากไม่สามารถเขียนได้ให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย*พิมพ์ลายนิ้วมือ นิ้วชี้ข้างขวา* ต่อหน้าพยานอีก 2 คน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและรายงานแก่ทางศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางละมุง เพื่อให้การดูแลเรื่องสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ มีผู้วิจัย คอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และรับการรักษาจนกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นโดย**สมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

11. หากท่านมี**ข้อสงสัย**ให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57

วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558

วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

13. *มีค่าชดเชยการเสียเวลา*สำหรับกลุ่มตัวอย่างในการฝึกออกกำลังกายครั้งละ 100 บาท จำนวนทั้งหมด 36 ครั้งซึ่งจะจ่ายให้เมื่อทำการฝึกการออกกำลังกายเสร็จสมบูรณ์และได้ทดสอบสุขสมรรถนะประเมินการทำงานของหลอดเลือด และเจาะเลือดหลังการฝึกแล้ว

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147 หรือ 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

AF 05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ทำที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำอุ่นและน้ำเย็นต่อการทำงานของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

ชื่อผู้วิจัยหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม

ที่อยู่ที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 02-218-1002

อีเมล daroonwanc@hotmail.com

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57

วันที่รับรอง 29 ต.ค. 2558

วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

ข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย **จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว**

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอม ปฏิบัติตามกิจกรรมที่กำหนดในโครงการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการการประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย ตอบแบบสอบถาม วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ทดสอบสุขสมรรถนะ การประเมินการทำงานของหลอดเลือด การประเมินวิเคราะห์หาค่าระดับน้ำตาลในเลือด ระดับไขมันในเลือด ไนตริกออกไซด์ และการตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด โดยนักเทคนิคการแพทย์เป็นผู้เจาะเลือดของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ปริมาณ 2 ช้อนชา ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 30 นาทีทำทั้งหมด 2 ครั้ง ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมออกกำลังกาย ข้าพเจ้าจะออกกำลังกายตามโปรแกรมการออกกำลังกาย สัปดาห์ละ 3 วัน เดือนแรก วันละ 15 นาที เดือนที่ 2 วันละ 20 นาที และเดือนที่ 3 วันละ 30 นาที เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ รวม 36 ครั้งและข้าพเจ้ามีสิทธิถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้ามีสิทธิถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์

AF 05-07

มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-8147, 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 **E-mail: eccu@chula.ac.th**

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้วิจัยหลัก

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

เลขที่โครงการวิจัย 142.1/57
รับที่รับรอง 29 ต.ค. 2558
วันหมดอายุ 28 ต.ค. 2559

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามประวัติทั่วไปก่อนการออกกำลังกาย

PAR-Q & YOU (Physical Activity Readiness Questionaire)

ใช่	ไม่ใช่	
☐	☐	1. คุณเคยได้รับคำบอกกล่าวจากแพทย์เกี่ยวกับปัญหาทางด้านหัวใจและคุณควรจะออกกำลังกายตามคำแนะนำของแพทย์เท่านั้นหรือไม่
☐	☐	2. คุณเคยรู้สึกเจ็บหรือแน่นหน้าอกขณะออกกำลังกายหรือไม่
☐	☐	3. ในช่วงเดือนที่ผ่านมา คุณเคยมีปัญหาเจ็บหรือแน่นหน้าอกเมื่อคุณไม่ได้ออกกำลังกายหรือไม่
☐	☐	4. คุณเคยเสียการทรงตัวเนื่องจากอาการวิงเวียนศีรษะ หรือหมดสติหรือไม่
☐	☐	5. คุณมีปัญหาเกี่ยวกับกระดูกหรือข้อต่อที่อาการอาจจะกำเริบเนื่องจากการออกกำลังกายหรือไม่
☐	☐	6. คุณเคยได้รับการสั่งยาเกี่ยวกับโรคหัวใจหรือยาที่มีผลกับความดันโลหิตหรือไม่
☐	☐	7. คุณทราบถึงเหตุผลอื่น ที่คุณไม่ควรเพิ่มการออกกำลังกายของคุณหรือไม่

ถ้าคุณเลือก“ใช่”ในข้อใดข้อหนึ่ง หรือมากกว่า

คุณควรปรึกษาแพทย์เกี่ยวกับแบบสอบถามในข้อที่ตอบว่า“ใช่”

คุณยังคงสามารถออกกำลังกายได้ตามที่คุณต้องการโดยให้เริ่มออกกำลังกายอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ หรือคุณอาจจะจะกำหนดการออกกำลังกายที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับตนเอง โดยขอคำแนะนำจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชนิดของกิจกรรมที่คุณสามารถทำได้

ถ้าคุณเลือก“ไม่ใช่”ในการตอบคำถามทั้งหมด

คุณแน่ใจได้เลยว่า คุณสามารถเริ่มการออกกำลังกายได้ตามที่คุณต้องการ

- คุณเริ่มออกกำลังกายได้โดยเริ่มจากกการทำช้าๆและทำอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยและง่ายที่สุด
- ถ้าคุณรู้สึกไม่สบายเนื่องจากการเจ็บป่วยเล็กน้อย เช่นเป็นไข้หวัด คุณควรจะพักจนกว่าคุณจะรู้สึกดีขึ้นและหายจากอาการเจ็บป่วยนั้นๆก่อนที่จะกลับมาออกกำลังกายอีกครั้ง
- ถ้าคุณตั้งครรภ์ คุณควรปรึกษาแพทย์ก่อนการออกกำลังกาย

ข้าพเจ้าได้อ่าน ทำความเข้าใจและได้กรอกแบบสอบถามนี้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ด้วยความเต็มใจ

ชื่อ: .....วันที่ :.....

ลายเซ็นต์: .....พยาน: .....

ภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค แบบสอบถามคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ ฉบับภาษาไทย (WHOQOL) –BREF

คำชี้แจง ข้อคำถามต่อไปนี้จะถามถึงประสบการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งของท่าน ในช่วง 2 สัปดาห์ที่ผ่านมา

ให้ท่านสำรวจตัวท่านเอง และประเมินเหตุการณ์หรือความรู้สึกของท่าน แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องคำตอบที่เหมาะสมและเป็นจริงกับตัวท่านมากที่สุด โดยคำตอบมี 5 ตัวเลือก คือ

ไม่เลย หมายถึง ท่านไม่มีความรู้สึกเช่นนั้นเลย รู้สึกไม่พอใจมาก หรือรู้สึกแย่มาก

เล็กน้อย หมายถึง ท่านมีความรู้สึกเช่นนั้นนาน ๆ ครั้งรู้สึกเช่นนั้นเล็กน้อยรู้สึกไม่พอใจหรือรู้สึกแย่

ปานกลาง หมายถึง ท่านมีความรู้สึกเช่นนั้นปานกลาง รู้สึกพอใจระดับกลาง ๆ หรือรู้สึกแย่ระดับกลาง ๆ

มาก หมายถึง ท่านมีความรู้สึกเช่นนั้นบ่อย ๆ รู้สึกพอใจหรือรู้สึกดี

มากที่สุด หมายถึง ท่านมีความรู้สึกเช่นนั้นเสมอ รู้สึกเช่นนั้นมากที่สุด หรือรู้สึกว่าสมบูรณ์ รู้สึกพอใจมาก รู้สึกดีมาก

ข้อที่	ในช่วง 2 สัปดาห์ที่ผ่านมา	**ไม่เลย**	**เล็กน้อย**	**ปานกลาง**	**มาก**	**มากที่สุด**
1.	ท่านพอใจกับสุขภาพของท่านในตอนนี้เพียงใด					
2.	การเจ็บปวดตามร่างกาย เช่น ปวดหัว ปวดท้อง ปวดตามตัว ทำให้ท่านไม่สามารถทำในสิ่งที่ต้องการมากน้อยเพียงใด					
3.	ท่านมีกำลังเพียงพอที่จะทำสิ่งต่าง ๆ ในแต่ละวันไหม(ทั้งเรื่องงาน หรือการดำเนินชีวิตประจำวัน)					
4.	ท่านพอใจกับการนอนหลับของท่านมากน้อยเพียงใด					
5.	ท่านรู้สึกพึงพอใจในชีวิต (เช่น มีความสุข ความสงบ มีความหวัง) มากน้อยเพียงใด					

6.	ท่านมีสมาธิในการทำงานต่าง ๆ ดีเพียงใด					
7.	ท่านรู้สึกพอใจในตนเองมากน้อยแค่ไหน					
8.	ท่านยอมรับรูปร่างหน้าตาของตัวเองได้ไหม					
9.	ท่านมีความรู้สึกไม่ดี เช่น รู้สึกเหงา เศร้า หดหู่ สิ้นหวัง วิตกกังวล บ่อยแค่ไหน					
10.	ท่านรู้สึกพอใจมากน้อยแค่ไหนที่สามารถทำอะไร ๆ ผ่านไปได้ในแต่ละวัน					
11.	ท่านจำเป็นต้องไปรับการรักษาพยาบาลมากน้อยเพียงใดเพื่อที่จะทำงานหรือมีชีวิตอยู่ไปได้ในแต่ละวัน					
12.	ท่านพอใจกับความสามารถในการทำงานได้อย่างที่เคยทำมา มากน้อยเพียงใด					
13.	ท่านพอใจต่อการผูกมิตรหรือเข้ากับคนอื่นอย่างที่ผ่านมาแค่ไหน					
14.	ท่านพอใจกับการช่วยเหลือที่เคยได้รับจากเพื่อน ๆ แค่ไหน					
15.	ท่านรู้สึกว่าชีวิตมีความมั่นคงปลอดภัยดีไหมในแต่ละวัน					
16.	ท่านพอใจกับสภาพบ้านเรือนที่อยู่ตอนนี้มากน้อยเพียงใด					
17.	ท่านมีเงินพอใช้จ่ายตามความจำเป็นมากน้อยเพียงใด					
18.	ท่านพอใจที่จะสามารถไปใช้บริการสาธารณสุขได้ตามความจำเป็นเพียงใด					
19.	ท่านได้รู้เรื่องราวข่าวสารที่จำเป็นในชีวิตแต่ละวันมากน้อยเพียงใด					
20.	ท่านมีโอกาสได้พักผ่อนคลายเครียดมากน้อยเพียงใด					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

21.	สภาพแวดล้อมดีต่อสุขภาพของท่านมากน้อยเพียงใด					
22.	ท่านพอใจกับการเดินทางไปไหนมาไหนของท่าน (หมายถึงการคมนาคม) มากน้อยเพียงใด					
23.	ท่านรู้สึกว่าชีวิตท่านมีความหมายมากน้อยแค่ไหน					
24.	ท่านสามารถไปไหนมาไหนด้วยตนเองได้ดีเพียงใด					
25.	ท่านพอใจในชีวิตทางเพศของท่านแค่ไหน? (ชีวิตทางเพศ หมายถึง เมื่อเกิดความรู้สึกทางเพศขึ้นแล้วท่านมีวิธีจัดการทำให้ผ่อนคลายลงได้ รวมถึง การช่วยตัวเองหรือการมีเพศสัมพันธ์)					
26.	ท่านคิดว่าท่านมีคุณภาพชีวิต (ชีวิตความเป็นอยู่) อยู่ในระดับใด					

การแปลผลคะแนน

การให้คะแนนแบบวัดคุณภาพชีวิต 26 ข้อคำถามที่มีความหมายทางบวก 23 ข้อ และข้อคำถามที่มีความหมายทางลบ 3 ข้อ คือข้อ 2, 9, 11 แต่ละข้อเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ให้ผู้ตอบเลือกตอบ

กลุ่มที่ 1 ข้อความทางลบ 3 ข้อ			กลุ่มที่ ข้อความทางบวก 23 ข้อ		
กลุ่มที่ 1 แต่ละข้อให้คะแนนดังต่อไปนี้			กลุ่มที่ 2 แต่ละข้อให้คะแนนดังต่อไปนี้		
ตอบ	ไม่เลย	ให้ 5 คะแนน	ตอบ	ไม่เลย	ให้ 1 คะแนน
ตอบ	เล็กน้อย	ให้ 4 คะแนน	ตอบ	เล็กน้อย	ให้ 2 คะแนน
ตอบ	ปานกลาง	ให้ 3 คะแนน	ตอบ	ปานกลาง	ให้ 3 คะแนน
ตอบ	มาก	ให้ 2 คะแนน	ตอบ	มาก	ให้ 4 คะแนน
ตอบ	มากที่สุด	ให้ 1 คะแนน	ตอบ	มากที่สุด	ให้ 5 คะแนน

และมีการแปลผลระดับคุณภาพชีวิตโดยมีคะแนนตั้งแต่ 26-130 คะแนน โดยเมื่อผู้ตอบรวมคะแนนทุกข้อได้คะแนนเท่าไร สามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์ปกติที่กำหนดดังนี้

คะแนน 26-61 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี

คะแนน 61-95 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตกลางๆ

คะแนน 96-130 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี

แบ่งระดับคะแนนคุณภาพชีวิต แยกออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ ไดดังนี้

องค์ประกอบ	การมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี	การมีคุณภาพชีวิตกลางๆ	การมีคุณภาพชีวิตที่ดี
1. ด้านสุขภาพกาย	7-16	17-26	27-35
2. ด้านจิตใจ	6-14	15-22	23-30
3. ด้านสัมพันธภาพทางสังคม	3-7	8-11	12-15
4. ด้านสิ่งแวดล้อม	8-18	19-29	30-40
คุณภาพชีวิตโดยรวม	26-60	61-95	96-130

องค์ประกอบด้านสุขภาพกาย ไดแก ข่อ 2,3,4,10,11,12,24

องค์ประกอบด้านจิตใจ ไดแก ขอ 5,6,7,8,9,23

องค์ประกอบด้านสัมพันธภาพทางสังคม ไดแก ข่อ 13,14,25

องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม ไดแก ข่อ 15,16,17,18,19,20,21,22

ส่วนข้อ 1 และข้อ 26 เป็นตัวชี้วัดที่อยู่ในหมวดคุณภาพชีวิตและสุขภาพโดยรวม จะไม่รวมอยู่ในองค์ประกอบทั้ง 4 ด้านนี้

ภาคผนวก ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง ใบบันทึกข้อมูล

PRE- POSTTEST วันที่...../...../..... รหัส.....

ชื่อ-สกุล.....เพศ..... อายุ.....

วัน/เดือน/ปีเกิด.....

❑ ข้อมูลทางสรีรวิทยา

Resting HR.....bpm BP.....mmHg MAP.....

❑ คะแนนคุณภาพชีวิต (WHO).....คะแนน

❑ องค์ประกอบของร่างกาย

น้ำหนัก.....kg ส่วนสูง.....ซม. % fat.....

BMI.....kg/m^2

❑ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

Isometric leg strength test.....kg

❑ ความอ่อนตัว.....cm

❑ ความจุปอด.....cm^3

❑ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

Warm up 5 นาที Cool down 5 นาที

เหตุผลในการหยุดทดสอบ

.....

Load	Time	RPE	HR	RER
50 w (1 kg)	2 min			
75 w (1.5 kg)	2 min			
100 w (2 kg)	2 min			
125 w (2.5 kg)	2 min			
150 w (3 kg)	2 min			

❑ การทำงานของหลอดเลือด

☐ Stiffness

ข้อสังเกต

.....

☐ Laser doppler

ข้อสังเกต

.....

☐ FMD แขน

	Carotid	Baseline	Occlusion 0-5 min	Deflated 5-6 min	After deflated		
					7	8	9
เริ่มบันทึก	....	.....	.....	.....	....	....	....
VDO1							
VDO2							
VDO3							
VDO4							
PW1							
PW2							
ภาพนิ่ง							

ข้อสังเกต

.....

☐ FMD ขา

	Baseline	Occlusion 0-5 min	Deflated 5-6 min	After deflated		
				7	8	9
เริ่ม บันทึก	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VDO1						
VDO2						
VDO3						
VDO4						
PW1						
PW2						
ภาพนิ่ง						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อสังเกต

.....

ภาคผนวก จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

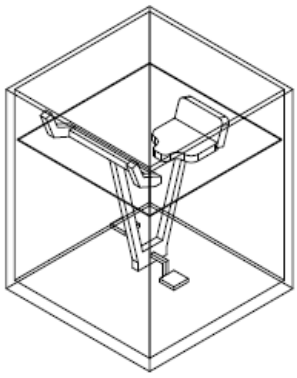
ภาคผนวก จ

รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ออกกำลังกายในน้ำ

ในการทำวิจัยนี้ ได้ออกแบบแท้งค์น้ำที่บรรจุจักรยานโดยการประยุกต์รูปแบบจากอุปกรณ์ที่มีการผลิตในประเทศ ซึ่งได้ให้ทางบริษัททรูไลน์แมนูแฟคเจอริ่ง ประเทศไทยเป็นผู้สร้างแท้งค์น้ำและประดิษฐ์จักรยานเพื่อนำมาติดตั้งในแท้งค์น้ำ โดยแท้งค์น้ำนี้จะมีการติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการนำไปใช้

ลักษณะรูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้ออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานในน้ำ ประกอบด้วย แท้งค์ จักรยาน และเครื่องปรับอุณหภูมิของน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. แท้งค์ (Tank) รูปที่ 1 มีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 250 เซนติเมตร และสูง 120 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ทำแท้งค์ทำมาจากสแตนเลส โดยตัวแท้งค์นี้ได้ประยุกต์มาจากอ่างแช่ ซึ่งตัวแท้งค์จะมีช่องสำหรับใส่ท่อปั๊มน้ำจากเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเครื่องควบคุมอุณหภูมิสามารถปรับอุณหภูมิได้ทั้งร้อนและเย็น



รูปที่ 1 แท้งค์ที่บรรจุจักรยานโดยการจำลองขึ้นมา

รูปที่ 2 แท้งค์ที่บรรจุจักรยานโดยประดิษฐ์ขึ้นจริง

2. จักรยาน ดังรูปที่ 3 ทำมาจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิม สามารถปรับความหนักขึ้นหรือลงได้ตามความต้องการ

รูปที่ 3 จักรยาน

3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำ สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำเย็นและน้ำอุ่นได้ตั้งแต่ 5-45 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมน้ำได้อัตโนมัติและสามารถคงระดับอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ซึ่งมีระบบปั๊มน้ำเพื่อหมุนเวียนน้ำผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อปรับอุณหภูมิน้ำจากนั้นปั๊มน้ำเข้าไปในแท้งค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นางสาวเสาวลักษณ์ สุนทราลักษณ์

วันเกิด 16 สิงหาคม 2527

สถานที่เกิด น่าน

ที่อยู่ปัจจุบัน 99 ม.3 ต.สถาน อ.ปัว จ.น่าน

ประวัติการศึกษา ระหว่างการศึกษาระดับดุษฎีบัณฑิตได้รับทุนผู้ช่วยสอน ทุนโครงการวิจัยทุนอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาลประจำปีงบประมาณ 2558 และทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิต วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551 ระหว่างการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนและทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนปัว ปีพุทธศักราช 2546

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University