การเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

วัชรากร หวังหุ้นกลาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
กันยายน 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ วัชรากร หวังหุ้นกลาง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร.กวีญา สินธารา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.เสกสรรค์ ทองคำบรรจง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ดร.นิรอมลี มะกาเจ)

.....กรรมการ

(ดร.กวีญา สินธารา)

.....กรรมการ

(ดร.เสกสรรค์ ทองคำบรรจง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติพงษ์ ปลั่งสุวรรณ)

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(ดร.ศักดิ์ชาย พิทักษ์วงศ์)

วันที่ 22 เดือน กันยายน พ.ศ.2559

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์
ระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยการชี้แนะการทำงาน และได้ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยจาก ดร.กวีญา สินธารา จนทำให้งานวิจัยลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งความเมตตาและน้ำใจของท่านที่มีต่อผู้วิจัยตลอดระยะเวลาของการทำวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.เสกสรรค์ ทองคำบรรจง ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูล พร้อมให้คำปรึกษาเสมอมา กราบขอบพระคุณ ดร.นิรอมลี มะกาเจ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นประธาน และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติพงษ์ ปลั่งสุวรรณ ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการ ในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำและแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มาก

ขอกราบขอบพระคุณโรงพยาบาลสมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อสูงอายุ จังหวัดชลบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือจากห้องปฏิบัติการ จนผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง นิสิตปริญญาโท-เอก คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพาทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และญาติ ๆ ทุกคน ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา

วัชรากร หวังหุ้นกลาง

54910438: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา;
วท.ม. (วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา)
คำสำคัญ: ปริมาณการใช้ออกซิเจน/ รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย/ รองเท้าวิ่งมินิมัล/ การวิ่งเท้าเปล่า

วัชรากร หวังหุ้นกลาง: การเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า (CHANGES OF OXYGEN CONSUMPTION RESULTING FROM RUNNING WITH ATHLETIC FOOTWEAR, MINIMALIST AND BAREFOOT) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: กวีญา สินธารา, วท.ด., เสกสรรค์ ทองคำบรรจง, วท.ด. 91 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า และผลต่างของความดันโลหิตก่อนและหลังวิ่งออกกำลังกายในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย จำนวน 14 คน อายุระหว่าง 20-25 ปี โดยทำการวัดความดันโลหิตก่อนออกกำลังกายแล้วจึงเริ่มทำการทดสอบหาปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความหนักร้อยละ 78.6 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดกระทั่งปริมาณการใช้ออกซิเจนมีระดับคงที่จึงบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ออกซิเจนและวัดความดันโลหิตหลังออกกำลังกายทันที จากนั้นกลุ่มตัวอย่างใช้เวลา 4 สัปดาห์ ให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แล้วทำการทดสอบหาปริมาณการใช้ออกซิเจน ด้วยวิธีการเดียวกันกับรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย สถิติที่ใช้วิเคราะห์คือ Repeated Measure ANOVA

ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า คือ 28.73 ± 2.86, 26.20 ± 3.30 และ 26.70 ± 2.68 มล./กก./นาที ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = .024$) โดยที่ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีความแตกต่างจากรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = .025$ และ $p = .005$) ตามลำดับ ส่วนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างความดันโลหิตบีบตัว และผลต่างความดันโลหิตคลายตัวก่อนและหลังการวิ่งออกกำลังกายที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน

จากข้อมูลที่ปรากฏทำให้สามารถสรุปได้ว่า การวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่ามีปริมาณการใช้ออกซิเจนน้อยกว่าการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และผลต่างความดันโลหิตก่อนและหลังการวิ่งออกกำลังกายด้วยรองเท้าทั้ง 3 แบบ ไม่แตกต่างกัน

54910438: MAJOR: EXERCISE AND SPORT SCIENCE;
M.Sc. (EXERCISE AND SPORT SCIENCE)
KEYWORDS: OXYGEN CONSUMPTION/ ATHLETIC FOOTWEAR/ MINIMALIST/
BAREFOOT/ HEALTH RUNNING

WATCHARAKORN WANGHUNKLANG: CHANGES OF OXYGEN CONSUMPTION RESULTING FROM RUNNING WITH ATHLETIC FOOTWEAR, MINIMALIST AND BAREFOOT. ADVISORY COMMITTEE: KAWIYA SINTARA, Ph.D., SAKESAN TONGKHAMBANCHONG, Ph.D. 91 P. 2016.

The purpose of this study was to evaluate the oxygen consumption and the difference between pre and post exercise of systolic and diastolic blood pressure resulting from running with from running with athletic footwear, minimalist, and barefoot.

Subjects were 14 healthy men, aged between 20-25 years old. Blood pressure was taken at before running on treadmill with athletic footwear. The intensity of exercise was 78.6 percent of maximum heart rate. Oxygen consumption was recorded during the steady-rate VO_2. Post-exercise blood pressure was examined immediately. After that, the participants were familiarized with minimalist and barefoot running for 4 weeks. Oxygen consumption resulting from running with minimalist and barefoot was recorded using the previous protocols. Repeated Measure ANOVA was used to analyzed the data.

Results showed that the average oxygen consumption from running with athletic footwear, minimalist, and barefoot were 28.73 ± 2.86, 26.20 ± 3.30, and 26.70 ± 2.68 ml. kg^{-1}. min^{-1}, respectively. There was a significant difference between oxygen consumption during running with 3 types of footwear ($p = .024$). Oxygen consumption from athletic footwear was different from minimalist and barefoot running ($p = .025$ and $p = .005$, respectively). However, the oxygen consumption from minimalist and barefoot running was not significantly different. Besides, the average difference between pre and post exercise blood pressure resulting from running with the 3 types of footwear was not different.

It could be concluded from the existing data that oxygen consumption resulting from running with minimalist and barefoot was less than athletic footwear. In running with the 3 types of footwear, there was no significant difference between pre and post exercise blood pressure.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……... ฉ

สารบัญ…… ช

สารบัญตาราง……..... ฌ

สารบัญภาพ……. ญ

บทที่

1 บทนำ…….. 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……..……. 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย……..... 3

สมมุติฐานของการวิจัย……..... 3

กรอบแนวคิด……..…….. 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……..……. 4

ขอบเขตของการวิจัย……. 4

นิยามศัพท์เฉพาะ……. 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 6

ระบบการเผาผลาญพลังงานและการใช้ออกซิเจนในการออกกำลังกาย

แบบแอโรบิก…… 6

สรีรวิทยากล้ามเนื้อและลักษณะของเท้าในการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ…. 15

อุปกรณ์รองเท้า……..... 30

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 34

3 วิธีการดำเนินการวิจัย…….. 38

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง…… 38

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย……... 39

การเก็บรวบรวมข้อมูล……. 41

การวิเคราะห์ข้อมูล…… 46

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย……..	47
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล……..	47
5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ…….....	58
สรุปผลการวิจัย……	58
อภิปรายผล……..……	59
ข้อเสนอแนะ……	63
บรรณานุกรม……	64
ภาคผนวก……...…...	71
ภาคผนวก ก……...	72
ภาคผนวก ข……...	77
ภาคผนวก ค……...	81
ภาคผนวก ง……...	83
ภาคผนวก จ……...	86
ภาคผนวก ฉ……..	89
ประวัติย่อของผู้วิจัย……...	91

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น 17

2-2 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่าง รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักเต็มฝ่าเท้า..... 20

2-3 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น..... 23

2-4 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงลอยตัว 25

4-1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง..... 48

4-2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจน ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า..... 49

4-3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วย Athletic footwear, Minimalist, and Barefoot 52

4-4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วย Athletic footwear, Minimalist, and Barefoot..... 55

ภาคผนวก ก-1 เกณฑ์ทดสอบระดับความเหนื่อยของการกล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน หรือปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด..... 76

ภาคผนวก ข-1 เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายเพศชายของประชาชนไทย..... 80

ภาคผนวก ง-1 ช่วงการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และวิ่งการเท้าเปล่า 4 สัปดาห์ สถานที่สนามกีฬาเซาว์ มณีวงศ์ มหาวิทยาลัยบูรพา 84

ภาคผนวก จ-1 ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มทดสอบจนถึงระดับการใช้ออกซิเจนคงที่ ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วย Athletic footwear, Minimalist, and Barefoot..... 87

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 กรอบแนวคิด..... 4

2-1 การใช้ปริมาณออกซิเจนขณะออกกำลังกายความหนักคงที่..... 13

2-2 ลักษณะเท้า..... 29

2-3 โครงสร้างและส่วนประกอบของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย..... 30

2-4 โครงสร้างและส่วนประกอบของรองเท้าวิ่งมินิมัล..... 33

3-1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูล..... 45

4-1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า 51

4-2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ของความดันโลหิตบีบตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า..... 54

4-3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ของความดันโลหิตคลายตัว ที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า..... 57

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกกำลังกายถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตโดยส่งผลให้อวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมีการเจริญเติบโตและสร้างเสริมการทำงานของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ (2555) พบว่าประชากรไทยออกกำลังกาย และเล่นกีฬา 15.1 ล้านคน ในจำนวนนี้ออกกำลังกายด้วยวิธีการเดินและวิ่ง 5 ล้านคน คิดเป็น ร้อยละ 39 หรือ 1 ใน 3 ของจำนวนผู้ออกกำลังกายทั้งหมด สถาบันวิจัยประชากรและสังคมมหาวิทยาลัยมหิดล (2559) พบว่าประชากรไทยปี พ.ศ. 2558 มีแนวโน้มในการทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายมากขึ้น จากการศึกษาเอกสารงานวิจัย พบว่าการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายของมนุษย์ สามารถเพิ่มความหนาแน่นของกล้ามเนื้อและมวลกระดูก และช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคระบบไหลเวียนโลหิต โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และโรคอ้วน (Drysdale, Collins, Walters, Brid, & Hinkley, 2007; Mata et al., 2009; Wilks et al., 2009; Williams, 2009) นอกจากนี้ การออกกำลังกายยังช่วยส่งเสริมสุขภาพจิตให้ดีขึ้นและลดความเครียดลงได้ รวมทั้งการออกกำลังกายยังสามารถเพิ่มทักษะในการเล่นกีฬา (Schneider et al., 2009) ขณะออกกำลังกายร่างกายได้มีการนำพลังงานจากกระบวนการเผาผลาญมาใช้ 2 แบบ คือ กระบวนการแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic) และกระบวนการแบบแอโรบิก (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008)

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ เช่น เดิน วิ่ง ว่ายน้ำ พายเรือ ปั่นจักรยาน เป็นต้น เป็นการออกกำลังกายที่มีระดับความหนักเบาถึงปานกลาง โดยใช้พลังงานแบบแอโรบิกเพื่อให้ร่างกายสามารถนำออกซิเจนไปสังเคราะห์ ATP จากกรดไขมันและไกลโคเจน และยังช่วยเผาผลาญกรดแลคติกในร่างกาย ซึ่งการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ความถี่ ระยะเวลา และความหนักของการออกกำลังกายเช่น ออกกำลังกาย 3-5 วันต่อสัปดาห์ วันละ 20-30 นาที อย่างต่อเนื่อง และระดับความหนักร้อยละ 60-80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด Maximal Hart Rate (MHR) เพื่อที่จะควบคุมชีพจรเป้าหมาย Target Heat Rate (THR) ให้ออกกำลังกายตามความหนักที่กำหนดไว้ (Plowman & Smith, 2011) เนื่องจากการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพเป็นกิจกรรมที่มีความสะดวกและง่ายต่อการออกกำลังกาย ตามหลักการสรีรวิทยาการออกกำลังกาย การวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพเป็นทำงานของกล้ามเนื้อทุกส่วน ซึ่งจะทำให้อวัยวะและระบบการ

ทำงานต่าง ๆ ของร่างกายทำงานเพิ่มมากขึ้น โดยจะส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจในการสูบฉีดโลหิต 1 ครั้ง มีปริมาณมากขึ้นและเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายเมื่อมีการทำกิจกรรม จึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้น เพื่อนำโลหิตไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ส่วนปลายของร่างกายมากขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณโลหิตที่ออกจากหัวใจเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการสูบฉีดโลหิตจากหัวใจมากขึ้น และทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น เนื่องจากความต้านทานภายในหลอดโลหิตน้อยลง เพราะเส้นโลหิตฝอยขยายตัว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนักของงาน ทั้งนี้ยังส่งผลต่อหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิต ในการทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารและออกซิเจนไปใช้การหดตัวของกล้ามเนื้อในขณะออกกาลังกายที่ต้องใช้ความอดทน ต่อเนื่องและใช้ระยะเวลานาน (Rosato, 2003; Willmore et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพนั้นคืออุปกรณ์รองเท้าที่ใช้ในการวิ่งออกกำลังกาย

รองเท้าวิ่งออกกำลังกายถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีความสามารถในการรับแรงกระแทกในขณะวิ่ง เพราะเมื่อวิ่งออกกำลังกายน้ำหนักของร่างกายจะลงที่ส้นเท้าประมาณ 2-4 เท่า ของน้ำหนักร่างกาย (Puleo & Milroy, 2010) ดังนั้นรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจึงมีการเสริมพื้นและส้นรองเท้าให้มีความหนาด้วยวัสดุอุปกรณ์ เช่น เจล สปริง โฟม และพลาสติก เพื่อให้มีความแข็งแรงยืดหยุ่น และทำให้รองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีน้ำหนักเฉลี่ย 320 ± 8 กรัม (Sobhani et al., 2013) จากการศึกษาของ Franz et al. (2012) พบว่าน้ำหนักของรองเท้า 100 กรัม จะส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาเป็นรองเท้าวิ่งมินิมัลที่มีขนาดเบา บางสามารถพับบิดงอ น้ำหนักเฉลี่ย 136 ± 03 กรัม (Sobhani et al., 2013) โดยมีการนำวัสดุอุปกรณ์ เช่น ผ้าชนิดบางนำมาเย็บบริเวณส่วนบนของรองเท้าวิ่งมินิมัล และนำแผ่นยางบาง ๆ ทำเป็นพื้นรองเท้าเพื่อให้คล้ายกับการวิ่งเท้าเปล่า มีรายงานเมื่อไม่นานมานี้ McDougall (2009) ได้กล่าวว่าชนเผ่าอินเดียแดงทามาฮูมาราในประเทศเม็กซิโกนิยมวิ่งด้วยเท้าเปล่า เนื่องจากมีความเชื่อว่าการวิ่งเท้าเปล่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งระยะไกล หรือลดระยะเวลาในการวิ่งได้

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา Squadrone and Gallozzi (2009), Hanson, Barg, Deka, Meendering, and Ryan (2011) และ Sobhani et al. (2013) พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายที่มีพื้นและส้นรองเท้าหนา และน้ำหนักมาก ส่งผลให้มีการใช้ปริมาณออกซิเจนมากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า เนื่องจากในขณะวิ่งออกกำลังกายกล้ามเนื้อที่ใช้ทำงานสำหรับการสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีการทำงานมากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Radcliffe and Farentinos (1999) พบว่ากล้ามเนื้อที่มีการหดตัวมากจะทำให้ร่างกายมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นนั้นหมายความว่า ร่างกายมีการทำงานหนักขึ้นจึงทำให้

ร่างกายมีความต้องการปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นด้วย และอาจจะส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจเต้นเร็วขึ้น และความดันโลหิตสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของ Divert et al. (2008), Bootier (2012), Franz, Wierzbinski, and Kram, (2012) และ Perl, Daoud, and Lieberman, (2012) ยังมีความขัดแย้งโดยพบว่า ความหนา น้ำหนัก และรูปแบบของการสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่ามีปริมาณการใช้ออกซิเจนไม่แตกต่างกัน

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิตด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ายังคงมีการโต้แย้งกันในประเด็นของลักษณะอุปกรณ์รองเท้าที่มีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า หลังจากทำความเคยชินกับรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า 4 สัปดาห์ เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้รองเท้าสำหรับผู้ที่วิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพให้เกิดประโยชน์

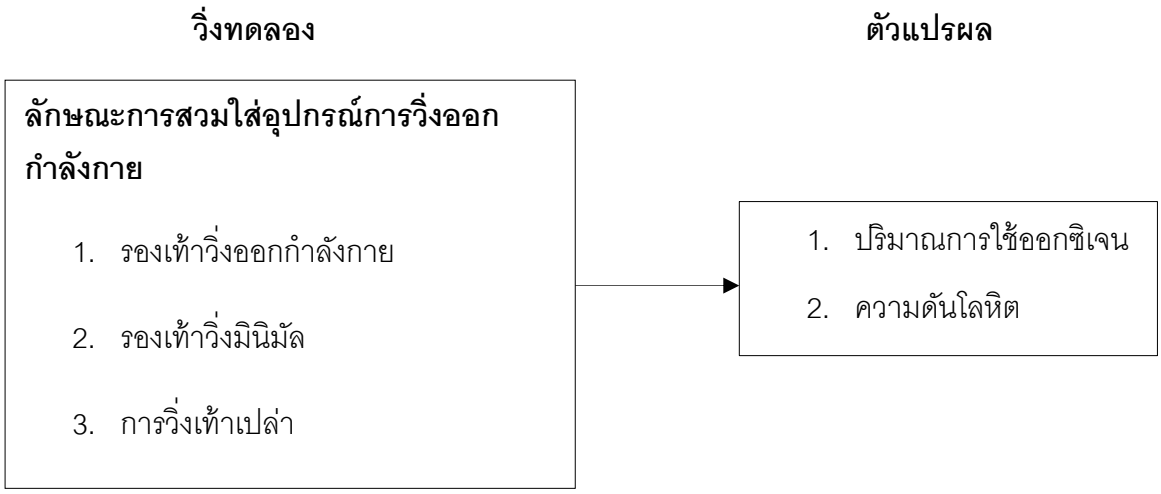
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

สมมุติฐานของการวิจัย

1. ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกัน
2. ความดันโลหิตจากการวิ่งที่เป็นผลจากการด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกัน

กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิด

จากการศึกษางานวิจัยทำให้ผู้วิจัยศึกษาลักษณะการสวมใส่อุปกรณ์สำหรับการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ส่งผลผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนและความดันโลหิต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางหรือทางเลือกในการใช้อุปกรณ์การวิ่งสำหรับผู้ที่วิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ นักกีฬาวิ่งระยะไกล หรือผู้สนใจในการวิ่ง สามารถนำรองเท้าวิ่งมินิมัล หรือการวิ่งเท้าเปล่า ไปใช้ในการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งระยะทางที่ไกล

2. เพื่อนำผลการวิจัยของการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ โดยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พัฒนาการวิจัยเชิงสรีรวิทยาการออกกำลังกายต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตชายศึกษาในระดับอุดมศึกษา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา ที่วิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพเป็นประจำ อายุระหว่าง 20-25 ปี จำนวน 18 คน

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรทดลอง (Experimental variable) คือ การวิ่งด้วยการสวมอุปกรณ์รองเท้าวิ่ง 3 แบบ ได้แก่

2.1.1 รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย

2.1.2 รองเท้าวิ่งมินิมัล

2.1.3 การวิ่งเท้าเปล่า

2.2 ตัวแปรผล (Output variable) คือ

2.2.1 ปริมาณการใช้ออกซิเจน

2.2.2 ความดันโลหิต

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ปริมาณการใช้ออกซิเจน Oxygen consumption (VO_2) หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปใช้ได้ในช่วง 1 นาที มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (มล./กก./นาที) ในการศึกษาครั้งนี้ทำการบันทึกเมื่อเข้าปริมาณการใช้ออกซิเจนเข้าสู่ระดับคงที่ (Steady-rate VO_2)

2. รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย (Athletic footwear) หมายถึง การสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีความสูงของพื้นรองเท้าเฉลี่ย 12-24 มิลลิเมตร ลักษณะของรองเท้าคือ หนา แข็งแรง ยืดหยุ่น และกันกระแทกได้อย่างดี ขนาดรองเท้าอยู่ระหว่างเบอร์ FR 41-43 โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 320 ± 8 กรัม

3. รองเท้าวิ่งมินิมัล (Minimalist) หมายถึง การสวมรองเท้าวิ่งมินิมัลมีความสูงของพื้นรองเท้าเฉลี่ยน้อยกว่า 9 มิลลิเมตร ลักษณะของรองเท้า คือ พื้นบาง น้ำหนักเบา รองเท้าสามารถพับ หรือบิดงอรองเท้าได้ ขนาดรองเท้าอยู่ระหว่างเบอร์ FR 41-43 จำนวน 3 คู่ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 136 ± 03 กรัม

4. การวิ่งเท้าเปล่า (Barefoot) หมายถึง การวิ่งโดยไม่สวมรองเท้าหรืออุปกรณ์ใด ๆ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ระบบการเผาผลาญพลังงานและการใช้ออกซิเจนในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก
   1.1 กลไกการสร้างพลังงานของร่างกาย
   1.2 หลักการเสริมสร้างสมรรถภาพร่างกายของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก
   1.3 อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย
   1.4 ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย
   1.5 การใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย
   1.6 การทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด
2. สรีรวิทยากล้ามเนื้อและลักษณะของเท้าในการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ
3. อุปกรณ์รองเท้า
   3.1 รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย
   3.2 รองเท้าวิ่งมินิมัล
   3.3 การวิ่งเท้าเปล่า
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการเผาผลาญพลังงานและการใช้ออกซิเจนในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกคือการออกกำลังกายหรือกีฬาชนิดต่าง ๆ ที่มีการทำกิจกรรมอย่างต่อเนื่องและมีระยะเวลายาวนาน เช่น ว่ายน้ำ ปั่นจักรยาน วิ่งมาราธอน ไตรกีฬา เต้นแอโรบิก หรือวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (Pollock et al., 1988) ปัจจุบันการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทย จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ (2555) พบว่าประชากรไทยออกกำลังกายและเล่นกีฬา 15.1 ล้านคน ในจำนวนนี้มีผู้ออกกำลังกายด้วยวิธีการเดินและวิ่ง 5 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 39 หรือ 1 ใน 3 ของจำนวนผู้ออกกำลังกายทั้งหมด และจากการรายงานของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม

มหาวิทยาลัยมหิดล (2559) พบว่า ประชากรไทยในปี พ.ศ. 2558 มีแนวโน้มในการทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายมากขึ้น

ระบบการเผาผลาญพลังงานเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตอย่างมาก การเผาผลาญสารอาหารเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีให้เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนไหวของร่างกาย กัลยา กิจบุญชู (2557) กล่าวว่าสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน สารอาหารทั้ง 3 ประเภท นี้ร่างกายจะนำมาสังเคราะห์เป็น Adenosine Triphosphate (ATP) ซึ่งคือแหล่งสะสมพลังงานสำหรับให้กล้ามเนื้อใช้ในการทำกิจกรรม วุฒิพงษ์ ปรมัตถากร และอารี ปรมัตถากร (2545) ได้กล่าวว่าปฏิกิริยาเคมีทั้งหลายในร่างกายได้พลังงานมาจากสารอาหาร ที่ผ่านการดูดซึมของลำไส้ เข้าสู่กระแสเลือดพาไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยกระบานการสร้างพลังงานขณะออกกำลังกายมี 2 กระบวนการ ดังนี้

1. Aerobic metabolism กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อร่างกายมีการออกกำลังกายที่ระดับความหนักเบาถึงปานกลาง โดยมีปริมาณออกซิเจนมีเพียงพอสำหรับการเผาผลาญอาหารจนได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน

2. Anaerobic metabolism กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อร่างการมีการออกกำลังกายอย่างหนัก หากออกซิเจนเข้าสู่กล้ามเนื้อไม่เพียงพอ ATP ที่ได้จะมีจำนวนน้อยและได้กรดไพรูวิก ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก เข้าสู่กระแสเลือดไปที่หัวใจและตับ จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนและกลูโคสนำกลับสู่กล้ามเนื้อเพื่อใช้สร้างพลังงานต่อไป

1. กลไกการสร้างพลังงานของร่างกาย (Energy metabolism system)

การหดตัวของกล้ามเนื้อจะอาศัยพลังงาน ATP ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนของกล้ามเนื้อ ในกล้ามเนื้อนั้นมีปริมาณ ATP อยู่เล็กน้อย ดังนั้น ถ้าต้องการให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไป ร่างกายจึงต้องมีการสร้างพลังงาน ATP ขึ้นมา โดยสามารถจำแนกระบบการสร้างพลังงานได้ดังนี้

1.1 ระบบฟอสฟาเจน (Phosphagen system)

การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก เป็นการออกกำลังกายที่ร่างกายได้รับพลังงานมาจากระบบฟอสฟาเจน หรือเอทีพี-ซีพี (Phosphagen system หรือ ATP-PC) ซึ่ง ATP เป็นแหล่งพลังงานพร้อมใช้ และครีอาทีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate, CP) ที่เก็บสำรองไว้ในกล้ามเนื้อ เมื่อครีอาทีนแยกตัวออกจากฟอสเฟตจะได้เอทีพีขึ้นมาแทนที่ใช้ไปแล้ว การรวมตัวของเอทีพีและฟอสโฟครีอาทีนจึงเรียกว่า ระบบพลังงานฟอสฟาเจน จะให้พลังงานสูงมาก ช่วงเวลาไม่เกิน 15 วินาที กีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้ เช่น วิ่ง 50-100 เมตร ยกน้ำหนัก กระโดดสูง (คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา, 2548;

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และสิทธา พงษ์พิบูลย์, 2554; McArdle, Katch, & Katch, 2011) ดังนั้น พลังงานจากระบบฟอสฟาเจน จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก

1.2 ระบบกรดแลกติก (Lactic acid system)

ระบบกรดแลกติกนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แอนแอโรบิก ไกลโคไลซิส (Anaerobic glycolysis) เป็นกระบวนการแตกตัวของกลูโคส หรือไกลโคเจนซึ่งเกิดในไซโตพลาสซึมของเซลล์ โดยไม่ต้องการออกซิเจน ระบบพลังงานนี้เป็นการออกกำลังกายหรือกิจกรรมที่ต้องใช้แรงมาก ๆ ในช่วงเวลาสั้น หรือในเวลา 1-3 นาที แรกของการออกกำลังกาย กีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้ เช่น วิ่ง 200-1,000 เมตร ว่ายน้ำ 100-200 เมตร ยิมนาสติก ซึ่งเป็นการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก ในระบบกรดแลคติกนี้ร่างกายจะมีการใช้พลังงานอย่างผสมผสานระหว่างระบบฟอสฟาเจนและระบบแอโรบิก เมื่อ ATP ถูกใช้จนหมดกล้ามเนื้อจะไม่สามารถทำงานได้และจะก่อให้เกิดกรดแลกติก แต่หากมีออกซิเจนเพียงพอร่างกายจะสามารถนำสารอาหารและออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อเพื่อใช้ออกกำลังกายต่อไป (ประทุม ม่วงมี, 2527; ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และสิทธา พงษ์พิบูลย์, 2554)

1.3 ระบบออกซิเจน (Oxygen system)

ระบบออกซิเจนเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการออกกำลังกายแบบแอโรบิก อย่างมาก เพราะระบบออกซิเจนถือได้ว่าเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการออกกำลังกายที่มี ความอดทนและต่อเนื่อง ระยะเวลาตั้งแต่ 3 นาที ขึ้นไป กีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้ เช่น วิ่งมาราธอน ว่ายน้ำระยะไกล ปั่นจักรยานทางไกล การเต้นแอโรบิก และวิ่งการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ เนื่องจากร่างกายต้องใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญสารอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ให้ได้เป็นพลังงานสำหรับสังเคราะห์ ATP กระบวนการนี้เรียกว่าเส้นทางของการสร้างพลังงาน (Metabolic pathway) (Willmore et al., 2008) ดังนั้นร่างกายจึงต้องการออกซิเจนที่เพียงพอไปเผาผลาญกรดไขมันและไกลโคเจน ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยพลังงานที่ร่างกายได้นั้นมาจากการเผาผลาญสารอาหารประเภท คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพเป็นการออกกำลังกายที่ต้องอาศัยความอดทน ต่อเนื่อง และใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นร่างกายจึงต้องสร้างพลังงานจากระบบออกซิเจนเป็นหลัก เพื่อใช้ในการเผาผลาญสารอาหารให้เป็นพลังงานในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

2. หลักการเสริมสร้างสมรรถภาพร่างกายของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

เมื่อออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่างกายจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้ออย่างเพียงพอและต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการเผาพลาญสารอาหารที่ให้พลังงานสูงประเภทไขมัน และคาร์โบไฮเดรต การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีหลักการพื้นฐานของการออกกำลังกายเรียกว่า หลักการฝึกความอดทน (Continuous principle) คือการออกกำลังกายที่มีต้องอาศัยความต่อเนื่อง และระยะเวลาที่ยาวนาน โดยมีความหนักในการฝึกตั้งแต่ระดับเบาถึงปานกลาง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความสามารถการทำงานของร่างกายโดยเฉพาะหัวใจและระบบการไหลเวียนโลหิตให้มีความแข็งแรง และสามารถสูบฉีดโลหิตเพื่อลำเลียงสารอาหาร และนำออกซิเจนไปเลี้ยงร่างกายอย่างเพียงพอต่อความต้องการ (คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา, 2548; Wilmore et al., 2008)

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพจัดเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เช่น เดิน วิ่ง ว่ายน้ำ พายเรือ ปั่นจักรยาน เป็นการออกกำลังกายที่มีความต่อเนื่องและใช้เวลานาน โดยมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ ดังนี้

- ความหนักที่ใช้ในออกกำลังกาย (Intensity)
- ระยะเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายแต่ละครั้ง (Time or duration)
- ความบ่อยในการออกกำลังกาย (Frequency)

ความหนักในการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายประเภทต้องใช้ความอดทน ต่อเนื่อง จะเป็นการพัฒนาระบบการใช้ออกซิเจนให้ทำงานดีขึ้น เนื่องจากเป็นการพัฒนาสมรรถภาพทางกายในด้านความอดทน จากการรายงานของ American College of Sports Medicine (2014) กำหนดการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ระดับความหนักปานกลางร้อยละ 60-80 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด Maximum heart rate (MHR) ดังนั้นเมื่อสมรรถภาพทางกายเพิ่มสูงขึ้นจำเป็นต้องปรับระดับความหนักในการออกกำลังกายให้เพิ่มขึ้นอย่างพอเหมาะด้วย (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548; Wilmore et al., 2008)

ระยะเวลาในการออกกำลังกาย

ขณะเริ่มต้นออกกำลังกายร่างกายจะมีการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกและเมื่อผ่านนาทีที่ 3 ขึ้นไป ร่างกายที่จะมีการปรับมาใช้พลังงานแบบแอโรบิกและหากปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้าไปเพียงพอต่อความต้องการในการเผาผลาญเป็นพลังงาน จึงจะสามารถทำการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง และใช้ระยะเวลายาวนานได้ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548) เพื่อพัฒนาหัวใจและระบบการไหลเวียนโลหิต และรักษาระดับสมรรถภาพให้คงสภาพไว้ได้นาน

ความบ่อยของการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายนอกจากจะต้องใช้ระดับความหนักที่เหมาะสมและระยะเวลาในการออกกำลังกายที่เพียงพอแล้ว หากจะให้ผลดีควรมีเวลาในการออกกำลังกายอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ ในระยะเริ่มต้น ต่อจากนั้นจึงค่อย ๆ ปรับเพิ่มความบ่อยเป็น 5 วันต่อสัปดาห์ จะส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายดีขึ้น และจะต้องมีเวลาในการพักผ่อนอย่างเพียงพอ เพื่อฟื้นฟูสภาพร่างกาย และป้องกันการฝึกหรือออกกำลังกายเกิน (Over training) ควรมีเวลาพักผ่อนอย่างน้อย 1 วัน หรือปรับระดับการฝึกให้น้อยลง (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548; Wilmore et al., 2008)

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการทดสอบหาค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนในระดับปริมาณการใช้ออกซิเจนมีค่าคงที่ (Steady-rate VO_2) ที่ระดับความหนักร้อยละ 78.6 อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งเป็นความหนักระดับปานกลางของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

3. อัตราการเต้นของหัวใจ

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) หมายถึงจำนวนครั้งที่หัวใจห้องล่างทำการบีบตัว (Ventricular heart) ใน 1 นาที สามารถตรวจสอบได้โดย เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจ การสัมผัสบริเวณใต้ราวนมข้างซ้ายจับอัตราชีพจร (Pulse rate) หมายถึงอัตราการหดตัวของหัวใจห้องล่างซ้ายหรืออัตราการเต้นของหัวใจในคนสุขภาพปกติบริเวณข้อมือ คอ และเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ สำหรับบุคคลทั่วไปจะมีอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักประมาณ 60-80 ครั้งต่อนาที ส่วนนักกีฬาประเภทต้องใช้ความอดทนจะมีอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักประมาณ 28-40 ครั้งต่อนาที (ประทุม ม่วงมี, 2527) ในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนิยมใช้สูตรในการคำนวณหาอัตราชีพจรของการออกกำลังกายด้วยอัตราการเต้นของชีพจรเป้าหมาย Target Heart Rate (THR) ดังสูตรของ Karvonen (Plowman & Smith, 2011) คือ

THR = (MHR-RHR) x ร้อยละความหนัก + RHR

THR: ชีพจรเป้าหมาย

MHR: ชีพจรสูงสุด 220-อายุ

RHR: ชีพจรขณะพัก

ขณะออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากร่างกายได้รับการตอบสนองจากสมองส่วน Cerebral cortex ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจ และพร้อม ๆ กันนี้มีเส้นประสาทที่ชื่อว่า Sympathetic cholinergic vasodilation fibers ทำหน้าที่กระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจให้สูบฉีดโลหิตออกจากหัวใจใน 1 นาที

(Cardiac output) เพื่อไปเลี้ยงกล้ามเนื้อต่าง ๆ ที่อยู่ไกลมากขึ้น โดยมีปริมาณของเม็ดโลหิตแดงและฮีโมโกลบินทำหน้าที่ในการจับออกซิเจน เพื่อให้กล้ามเนื้อนำไปสร้างพลังงานแบบแอโรบิก นอกจากนี้ยังขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ไปแลกเปลี่ยนที่ปอด (ประทุม ม่วงมี, 2527)

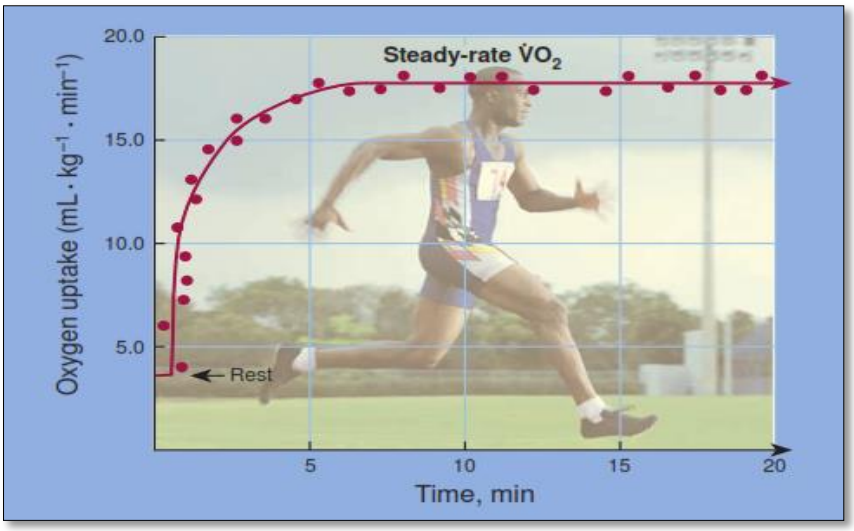
4. ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย

ความดันโลหิต (Blood pressure) คือความดันของโลหิตที่ผ่านหลอดโลหิตแดง สามารถวัดได้จากเครื่องวัดความดันชนิดปรอทและหูฟังแพทย์ ที่มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรปรอท มม.ปรอท ความดันโลหิตแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ความดันโลหิตที่หลอดโลหิตแดง (Arterial blood pressure) ความดันโลหิตที่หลอดโลหิตดำ (Venous blood pressure) ความดันโลหิตที่หลอดโลหิตฝอย (Capillary blood pressure) ความดันโลหิตที่หลอดโลหิตแดงจะมีมากกว่าความดันโลหิตที่หลอดโลหิตฝอย และความดันโลหิตที่หลอดโลหิตดำ ตามลำดับ โดยเฉพาะหลอดโลหิตดำใหญ่ ที่เข้าสู่หัวใจห้องบนขวาจะไม่มีความดัน ส่วนในหลอดโลหิตแดงจะมีแรงดันโลหิตสูงสุดเมื่อหัวใจห้องล่างซ้ายทำหน้าที่ในการบีบตัว (Systolic pressure) ส่งโลหิตไหลไปยังเซลล์และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกายและจะมีความดันต่ำสุดเมื่อหัวใจห้องล่างซ้ายคลายตัว (Diastolic pressure) ความแตกต่างระหว่างความดันบีบตัวและความดันคลายตัวจึงเรียกว่าความดันโลหิต (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และสิทธา พงษ์พิบูลย์, 2554; McArdle et al., 2011) จากการศึกษาที่ผ่านมา พานทิพย์ แสงประเสริฐ (2007) พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ช่วยเพิ่มปริมาณโลหิตที่สูบฉีดออกจากหัวใจมากขึ้นในแต่ละครั้งด้วย จากการศึกษาของ (McArdle, Katch & Katch, 2000 อ้างถึงใน ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์, 2554) พบว่าขณะออกกำลังกายความดันโลหิตบีบตัวสูงเพิ่มขึ้น 45 มม.ปรอท และความดันโลหิตคลายตัวเพิ่มขึ้น 40 มม,ปรอท ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลระดับความดันดันโลหิต ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และสิทธา พงษ์พิบูลย์ (2554) ได้อธิบายดังนี้ 1) แรงบีบตัวของหัวใจ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด ในการกำหนดค่าความดันบีบตัว 2) ขณะออกกำลังกายความดันโลหิตเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับความหนักของการออกกำลังกายสูงขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจจะสูงขึ้นตาม จึงทำให้ปริมาณการสูบฉีดโลหิตของหัวใจมากขึ้น ความต้านทานภายในหลอดโลหิตน้อยลง เพราะหลอดโลหิตฝอยขยายตัว จึงทำให้ความดันโลหิตบีบตัวมากขึ้น และส่งผลให้ความดันโลหิตสูงขึ้น และหลังจากออกกำลังกายมาระยะหนึ่งผนังเซลล์ในหลอดโลหิต (Endothelial cells) จะหลั่งสารไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ช่วยขยายหลอดโลหิตจึงทำให้ความดันของหลอดโลหิตลดลง McArdle et al. (2011) กล่าวว่าหลังการออกกำลังกายระดับความหนักการออกกำลังกายลดลง อัตราการเต้นของหัวใจลดลง หลอดโลหิตมีการขยายตัวจึงลดแรงต้านทานต่อการไหลเวียนโลหิต ทำให้ความดันคลายตัวลดลง 3) ปริมาตรโลหิตที่ไหลเวียนใน

หลอดโลหิตแดง ขณะพักหัวใจบีบโลหิตออกมาประมาณ 4 ลิตรต่อนาที ถ้าออกกำลังกายอย่างหนักอาจถึงปริมาณ 30-40 ลิตรต่อนาที ทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น 4) ความหนืดของโลหิต คือ ความข้นของโลหิต (ฮีมาโตคริท และโปรตีนในพลาสมา) เป็นผลจากความเสียดทานระหว่างโมเลกุลในของเหลว เมื่อโลหิตมีความหนืดมากจะทำให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น 5) ความยืดหยุ่นของผนังหลอดโลหิตแดง หลอดโลหิตเอออร์ตามีเนื้อเยื่ออีลาสติกมากมาย ทำให้ยืดหดตัวได้ดี เมื่อแตกแขนงเป็นหลอดโลหิตเล็กลง และแทนที่ด้วยกล้ามเนื้อเรียบมากขึ้น ความยืดหยุ่นของหลอดโลหิตเอออร์ตามีความสำคัญในการคงสภาพการไหลเวียนโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสม่ำเสมอปริมาณการสูบฉีดโลหิตของหัวใจมากขึ้น แต่ความต้านทานภายในหลอดโลหิตน้อยลงเพราะหลอดโลหิตฝอยขยายตัว เมื่อทำการวิ่งออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้น และส่งผลโดยตรงให้ความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้น โดยร่างกายจะนำออกซิเจนเข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งออกกำลังกาย และถ้าหากกล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งออกกำลังกายมีการทำงานมากขึ้น เท่ากับว่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นด้วย จึงทำให้ร่างกายมีความต้องการออกซิเจนมากขึ้นในการเข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อนำไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งออกกำลังกาย อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงดังนั้นความดันโลหิตจึงสูงขึ้น

5. การใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย

ออกซิเจนมีความสำคัญต่อมนุษย์อย่างมากในการดำรงชีวิต เห็นได้ว่าขณะพักผ่อนร่างกายจะมีความต้องการออกซิเจนระหว่าง 200-300 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที มล./กก./นาที แต่ในขณะที่มีการออกกำลังกายร่างกายจะมีความต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น 20-30 เท่า (ประทุม ม่วงมี, 2527) ในขณะที่ร่างกายเปลี่ยนสภาพจากการพักมาเป็นการออกกำลังกาย ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปใช้ได้ในช่วง 1 นาที Oxygen consumption (VO_2) จะค่อย ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้น จากหลักการสรีรวิทยาการออกกำลังกาย การออกกำลังกายช่วง 1-2 นาทีแรก ร่างกายจะมีการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก เนื่องจากร่างกายขนส่งออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อไม่ทัน ร่างกายจึงต้องใช้กระบวนการสร้าง ATP จากไกลโคเจนที่ไม่ใช้ออกซิเจนมาทดแทนก่อน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเป็นหนี้ออกซิเจน (Oxygen debt) อย่างไรก็ตาม ร่างกายยังสามารถออกกำลังกายต่อไปได้แม้ออกซิเจนที่ได้รับจะไม่เพียงพอ หลังจากนั้นร่างกายจะเริ่มเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานแบบแอโรบิกและจะรักษาระดับออกซิเจนให้คงที่ ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 การใช้ปริมาณออกซิเจนขณะออกกำลังกายความหนักคงที่ (McArdle et al., 2011)

จากภาพที่ 2-1 กราฟแสดงการใช้ปริมาณออกซิเจนระหว่างการออกกำลังกายที่ระดับความหนักในการออกกำลังกายเกือบสูงสุด (Sub maximal exercise) โดยช่วงแรกปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงช่วง 4-6 นาทีแรก ของการออกกำลังกาย หลังจากนั้นปริมาณออกซิเจนมีระดับคงที่ เนื่องจากในช่วงเวลานี้ร่างกายเริ่มมีการสร้างพลังงานแบบระบบแอโรบิก McArdle et al. (2011) ได้กล่าวว่า เมื่อร่างกายมีการสร้างพลังงานแบบระบบแอโรบิก ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้าไปจะใกล้เคียงกับปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายส่งไปให้เซลล์และกล้ามเนื้อ ใช้ในการออกกำลังกายที่ระดับความหนักเท่าเดิมอย่างต่อเนื่อง และเผาผลาญกรด แลกติกที่มีมากขึ้นในกระแสโลหิต ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกข้อมูลโดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งออกกำลังกายจนกระทั้งระดับของปริมาณการใช้ออกซิเจนมีค่าคงที่ ในการวัดค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ระดับความหนักปานกลางร้อยละ 60-80 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ทั้งนี้ความต้องการปริมาณการใช้ของออกซิเจน ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพการใช้ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละบุคคลด้วย

6. การทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกสิ่งหนึ่งที่จะสามารถบอกได้ว่า นักกีฬาหรือคนปกติมีความสามารถในการรับออกซิเจนมากหรือน้อย สามารถทำได้โดยการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด Maximum oxygen consumption (VO_{2max}) มีหน่วยวัดเป็น มล./กก./นาที McArdle et al. (2011) กล่าวว่านักกีฬาประเภทความอดทนมีความสามารถในการใช้ออกซิเจน

สูงสุดมากกว่านักกีฬาประเภทที่ใช้ความว่องไว Janssen (2001) และ Wilmore et al. (2008) ให้ความเห็นว่าผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายดีสิ่งสำคัญที่สุดคือ หัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตมีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหมายความว่าในการออกกำลังกายที่มีระยะเวลานาน ร่างกายมีการลำเลียงสารอาหารและขนส่งออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและอวัยวะทุกส่วนของร่างกายอย่างเพียงพอ โดยมีวิธีการทดสอบหาปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory testing) เพื่อหาระดับสมรรถภาพการทำงานของร่างกายที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

การทดสอบหาปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดสามารถทำได้โดย 2 วิธี คือ

ทดสอบโดยตรง (Direct method) ถือว่าเป็นวิธีที่ดีและได้มาตรฐานที่สุด ในการทดสอบค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนจะถูกทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ เพื่อที่จะดูว่าบุคคลนั้นสามารถใช้ออกซิเจนได้มากแค่ไหน ในการทดสอบจะสิ้นสุดเมื่อผู้ทดลองหมดแรง หรือค่าออกซิเจนนั้นไม่เปลี่ยนแปลง ค่าที่ได้จากการทดสอบนี้เป็นค่าที่ตรงมากที่สุด

ทดสอบโดยทางอ้อม (Indirect method) ผู้ทดสอบจะต้องทำงานในระดับความหนักสูงสุด หรือระดับเกือบสูงสุด โดยมีระยะเวลา 5-10 นาที การทดลองด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่มีความสะดวกไม่ยุ่งยากซับซ่อน และใช้เวลาน้อย ได้แก่ Bruce treadmill protocol, Astrand treadmill test, Treadmill VO_{2max} test, Astrand cycle test, Conconi test, Harvard step test, Queen's college step test เป็นต้น (Mackenzie, 2005)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา Grant, Joseph, and Campagna (1999) ได้ทำการเปรียบเทียบการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีการทดสอบทางอ้อม 7 การทดสอบ ได้แก่ VO_{2max} treadmill test, Max bruce, 85 เปอร์เซ็นต์ Bruce treadmill test, Astrand-Ryhming and heart rate extrapolation cycle ergometer (CE) test, Leger shuttle run, 1.5 m run และ Canadian Aerobic Fitness Test (CAFT) steep test พบว่าการทดสอบด้วยวิธีทางอ้อมทั้ง 7 วิธี ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่มีความแตกต่างกัน ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีทางอ้อมของ Astrand cycle test ในระดับความหนักเกือบสูงสุด

สรีรวิทยากล้ามเนื้อและลักษณะของเท้าในการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ

การวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ ถือได้ว่าเป็นการออกกำลังกายที่มีความสะดวกและง่ายต่อการออกกำลังกาย ตามหลักการของสรีรวิทยาการออกกำลังกาย การเคลื่อนไหวร่างกายด้วยการวิ่งเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อทุกส่วน ซึ่งจะทำให้อวัยวะและระบบการทำงานของร่างกายทำงานเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตจะได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการรับและขนส่งออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจมีความแข็งแรงแล้วยังสามารถสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกายเพิ่มมากขึ้น และยังทำหน้าที่ในการลำเลียงสารอาหารและออกซิเจนไปใช้การหดตัวของกล้ามเนื้อในการออกกำลังกายที่ต้องใช้ความอดทน (Rosato, 2003) สำหรับการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพมีหลักการพื้นฐานมาจากการวิ่งระยะไกล โดยลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายในขณะวิ่งมีการใช้หลักการเดียวกัน (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548)

หลักและวิธีการเคลื่อนไหวของการวิ่ง

การวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพผู้วิ่งออกกำลังกายต้องอาศัยหลักการเคลื่อนไหว 4 ประการ คือ การแกว่งแขน การทำงานของเข่า การลอยตัว และตำแหน่งเท้าสัมผัสกับพื้น โดยมีวิธีปฏิบัติดังนี้ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548)

1. การแกว่งแขน จุดมุ่งหมายของการแกว่งแขนเพื่อช่วยให้เกิดความสมดุลและการทรงตัวที่ดี ช่วยเสริมแรงส่งตัวและความเร็วในการวิ่งให้เกิดความสัมพันธ์ต่อเนื่องในขณะวิ่งที่สำคัญการแกว่งแขนที่ถูกต้องจะช่วยไม่ให้เกิดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อหัวไหล่และกล้ามเนื้อลำตัว

2. การทำงานของเข่า เป็นการเคลื่อนไหวโดยยกเข่าขึ้นสูงจนกระทั่งอยู่ในระดับเดียวกับสะโพก หรือขนานกับพื้นเพื่อให้ปลายเท้าสามารถเหยียดได้ระยะยาวในการก้าวไปด้านหน้าและเป็นการเพิ่มระยะทาง

3. การลอยตัว มีจุดเริ่มต้นจากจังหวะการยืนขาเดียวเพื่อรับน้ำหนักตัวและพร้อมที่จะเคลื่อนไหวไปด้านหน้า โดยที่ปลายเท้าเริ่มไม่สัมผัสกับพื้น ส่วนขาอีกข้างจะลอยเหนือพื้นจนกว่าส้นเท้าของขาข้างนั้นเริ่มลงสัมผัสกับพื้น

4. ตำแหน่งเท้าสัมผัสกับพื้น การวิ่งคือรูปแบบการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ ของการก้าวขาประมาณ 85-95 ครั้งต่อนาที (Anderson, 2013) จึงทำให้ขณะวิ่งเท้าจะสัมผัสกับพื้นประมาณร้อยละ 40 ของรอบวิ่งต่อหนึ่งครั้ง (Puleo & Milroy, 2010)

เท้าเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากในการรับน้ำหนักตัวทั้งหมดของร่างกายในขณะวิ่งออกกำลังกาย ซึ่งเท้าจะทำหน้าที่ในการรับแรงกระแทกและกระจายแรงเมื่อเท้าลงสัมผัสกับพื้น

(Lieberman, Venkadesan, Daoud, & Werbel, 2010) ผู้วิจัยจึงได้แสดงตารางเปรียบเทียบลักษณะของรองเท้าทั้ง 3 แบบ ได้แก่ รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า จากการศึกษาของ Lloyd (2013) ได้ทำการวิจัยเรื่อง มุมการเคลื่อนไหวของข้อเท้าระหว่างรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ามุมการเคลื่อนไหวของข้อเท้าระหว่างรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำทฤษฎีรองเท้าวิ่งออกกำลังกายเปรียบเทียบกับการวิ่งเท้าเปล่า เพื่อศึกษาการทำงานทางกายวิภาคศาสตร์ของข้อต่อเช่น ข้อสะโพก หัวเข่า และข้อเท้า อีกทั้งยังศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนไหวขณะวิ่งออกกำลังกาย โดยมีการแบ่งช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงก่อนเท้าสัมผัสพื้น (Heel strike) ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า (Mid stance) ช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น (Toe off) และช่วงลอยตัว (Swing) (Puleo & Milroy, 2010; Lieberman et al., 2010; Anderson, 2013; Sinclair, Atkins, Richards, & Vincent, 2015) ตามตารางที่ 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 ดังนี้

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น

กายวิภาคศาสตร์	**ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น**	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
สะโพก	- สะโพกมีลักษณะโน้มตัวไปด้านหน้า (Flexion) - กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Concentric contraction) - กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบยืดออก (Excentric contraction)	- สะโพกมีลักษณะโน้มตัวไปด้านหน้า (Flexion) - กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Concentric contraction) - กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบยืดออก (Excentric contraction)
หัวเข่า	- หัวเข่าจะมีลักษณะเหยียดตรงเพื่อทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหวไปด้านหน้า (Extension) (Wesson, James, Thompson, & Hartigan, 2005) - กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus femeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบสั้นเข้า	- หัวเข่าจะมีลักษณะเหยียดและงอเล็กน้อยเพื่อทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหวไปด้านหน้า (Extension) - กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus femeris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า - กลุ่มกล้ามเนื้อ Vastus intermedius, Vastus larteralis, Vastus medialis มีการหดตัวแบบสั้นเข้าและยืดออกเล็กน้อย

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

กายวิภาคศาสตร์	ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
หัวเข่า	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Biceps femoris, Semimembranosus, Semitendinosus มีการหดตัวแบบยืดออก (Puleo & Milroy, 2010)	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Bicep femoris มีการหดตัวแบบยืดออก -กลุ่มกล้ามเนื้อ Semimembranosus, Semitendinosus มีการหดตัวแบบยืดออกและหดตัวแบบสั้นเข้าเล็กน้อย (Puleo & Milroy, 2010; Lieberman et al., 2010)
ข้อเท้า	- ข้อเท้ามีลักษณะกระดกขึ้น (Dorsiflexion) - กล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะหดตัวแบบสั้นเข้า - อุ้งเท้าไม่สัมผัสพื้น (Puleo & Milroy, 2010; Lieberman et al., 2010; Anderson, 2013)	- ฝ่าเท้ามีลักษณะกดลง (Plantar flexion) -กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบสั้นเข้า -อุ้งเท้าและฝ่าเท้าสัมผัสพื้น - ฝ่าเท้าหมุนออกข้างนอกแล้วเข้าข้างใน (Pronation) (Lieberman et al., 2010)

เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวตามหลักกายวิภาคศาสตร์ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น พบว่าการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก ในรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่าจะมีลักษณะเหมือนกันคือ ตำแหน่งของข้อสะโพกจะมีการโน้มตัวไปด้านหน้า (Flexion) โดยมีกล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Concentric contraction) และกล้ามเนื้อ Gluteus maximus ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อตรงข้ามจะมีการหดตัวแบบยืดออก (Excentric contraction) ในส่วนตำแหน่งของหัวเข่า และข้อเท้าของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า จะมีลักษณะแตกต่างกันคือ ตำแหน่งหัวเข่าเมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายหัวเข่าจะมีลักษณะเหยียดตรง (Extension) กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis จะมีการหดตัวแบบสั้นเข้า กลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstring ได้แก่ Biceps femoris, Semimembranosus, Semitendinosus มีการหดตัวแบบยืดออก (Wesson et al., 2005) ส่วนการวิ่งเท้าเปล่าคือหัวเข่าจะเหยียดและงอเล็กน้อยไปด้านหน้า (Extension) กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus femeris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า แต่กล้ามเนื้อ Vastus intermedius, Vastus larteralis, Vastus medialis มีการหดตัวแบบสั้นเข้าแล้วมีการยืดออกเล็กน้อย กลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstring ได้แก่ Bicep femoris มีการหดตัวแบบยืดออก แต่กล้ามเนื้อ Semimembranosus, Semitendinosus มีการหดตัวแบบยืดออกแล้วหดตัวสั้นเข้าเล็กน้อย (Puleo & Milroy, 2010; Lieberman et al., 2010) และส่วนการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อเท้า ในขณะสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายข้อเท้าจะมีลักษณะกระดกขึ้น (Dorsiflexion) ส้นเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น ซึ่งแตกต่างจากขณะการวิ่งเท้าเปล่าข้อเท้าจะมีลักษณะกดลง (Plantar flexed) ฝ่าเท้ากดลงสัมผัสพื้น และฝ่าเท้ามีการหมุนออกข้างนอกแล้วเข้าข้างใน (Pronation) ก่อนถึงพื้น (Lieberman et al., 2010) ดังนั้นช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้นรองเท้าวิ่ง ออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า จะพบว่ากล้ามเนื้อ Quadriceps และ Hamstrings มีการทำงานแตกต่างกันจึงทำให้การเคลื่อนไหวของหัวเข่า และข้อเท้าแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่าง รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักเต็มฝ่าเท้า

กายวิภาคศาสตร์	ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
สะโพก	- สะโพกมีลักษณะงอตัวแล้วเหยียดไปด้านหน้า	- สะโพกมีลักษณะงอตัวแล้วเหยียดไปด้านหน้า
	- กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบยืดออก	- กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบยืดออก
	- กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวสั้นเข้า	- กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวสั้นเข้า
หัวเข่า	- หัวเข่ามีลักษณะเหยียดตรงแล้วงอเล็กน้อย (Wesson et al., 2005)	- หัวเข่ามีลักษณะงอเล็กน้อยแล้วงอมากขึ้น (Lieberman et al., 2010)
	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดตัวออก (Moore, Jones, & Dixon, 2013; Sinclair et al., 2015)	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดตัวออก (Moore et al., 2013; Sinclair et al., 2015)

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

กายวิภาคศาสตร์	ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
หัวเข่า	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Puleo & Milroy, 2010; Anderson, 2013)	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Puleo & Milroy, 2010; Anderson, 2013)
ข้อเท้า	*ระยะที่หนึ่ง* - ส้นเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น ข้อเท้ามีลักษณะกระดกขึ้น และกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบยืดออก (Lieberman et al., 2010)	*ระยะที่หนึ่ง* - ฝ่าเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น ข้อเท้ามีลักษณะกดลง และกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบสั้นเข้าเล็กน้อย
	ระยะที่สอง - ฝ่าเท้าลงสัมผัสพื้น	*ระยะที่สอง* - ข้อเท้าจะมีลักษณะลงเต็มเท้าหรือเกือบลงเต็มเท้า
	- กล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะมีการหดตัวแบบยืดออก	- กล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะมีการหดตัวแบบสั้นเข้าแล้วยืดออก
	- กล้ามเนื้อ Gastronemius จะหดตัวแบบสั้นเข้า	- กล้ามเนื้อ Gastronemius จะหดตัวแบบยืดออกแล้วหดสั้นเข้า

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

กายวิภาคศาสตร์	ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
ข้อเท้า	- อุ้งเท้ามีการยืดออก (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010; Anderson, 2013)	- อุ้งเท้ามีการยืดออก (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010; Anderson, 2013)
	ข้อเท้าหมุนจากข้างนอกเข้าข้างใน (Pronation) (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010; Anderson, 2013)	-ข้อเท้าหมุนจากข้างนอกเข้าข้างใน (Pronation) (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010; Anderson, 2013)

เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวตามหลักกายวิภาคศาสตร์ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่าช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า พบว่าการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อสะโพกของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่าจะมีลักษณะเหมือนกันคือ ตำแหน่งของข้อสะโพกจะมีการงอแล้วยืดเหยียดตัวไปด้านหน้า พบว่ากล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบยืดออกและกล้ามเนื้อตรงข้าม Gluteus maximus จะมีการหดตัวแบบสั้นเข้า ส่วนการเคลื่อนไหวของตำแหน่งหัวเข่า และข้อเท้า เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและวิ่งเท้าเปล่า พบว่ามีความแตกต่างกันคือ รองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีลักษณะหัวเข่าจะเหยียดตรง ซึ่งต่างจากการวิ่งเท้าเปล่าคือหัวเข่าจะงอมาด้านหน้าเล็กน้อย ส่วนการทำงานของกล้ามเนื้อมีลักษณะเหมือนกันคือ กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดตัวออก ในทางตรงข้ามกลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring ได้แก่ Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Puleo & Milroy, 2010; Anderson, 2013; Moore et al., 2013) และการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อเท้าขณะสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ระยะที่หนึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันคือ เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ส้นเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น ข้อเท้ามีลักษณะกระดกขึ้น และกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบยืดออก (Lieberman et al., 2010) ซึ่งแตกต่างจาก

การวิ่งเท้าเปล่า ฝ่าเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น ข้อเท้ามีลักษณะกดลง และกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบสั้นเข้าเล็กน้อย ระยะที่สองพบว่าการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขณะสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่ามีความแตกต่างกันคือ เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ฝ่าเท้าจะลงสัมผัสพื้น กล้ามเนื้อที่ทำงาน ได้แก่ Tibialis anterior จะหดตัวแบบยืดออก ตรงข้ามกันกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบสั้นเข้า ส่วนการวิ่งเท้าเปล่า ข้อเท้าจะมีลักษณะลงเต็มเท้าหรือเกือบลงเต็มเท้า กล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะมีการหดตัวแบบสั้นเข้าแล้วยืดออก ตรงข้ามกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบยืดออกแล้วหดสั้นเข้า ดังนั้นช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้าของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าการเคลื่อนไหวของหัวเข่ามีการทำงานแตกต่างกัน จึงทำให้การเคลื่อนไหวของข้อเท้าช่วงเท้าสัมผัสพื้นระยะที่หนึ่งและระยะที่สอง มีความแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 2-3 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น

กายวิภาคศาสตร์	**ช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น**	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
สะโพก	- สะโพกมีการเหยียดไปด้านหลัง (Extension)	- สะโพกมีการเหยียดไปด้านหลัง (Extension)
	- กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบยืดออก	- กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบยืดออก
	- กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบสั้นเข้า	- กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบสั้นเข้า

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

กายวิภาคศาสตร์	ช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
หัวเข่า	- หัวเข่ามีลักษณะเหยียดตรง (Wesson et al., 2005)	- หัวเข่ามีลักษณะเหยียดตรง (Wesson et al., 2005)
	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดออก	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดออก
	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005)	- กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005)
ข้อเท้า	- ปลายเท้ากดลง กล้ามเนื้อ Gastrocnemius หดตัวแบบสั้นเข้า ส่วนกล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะมีการหดตัวแบบยืดออก	- ปลายเท้ากดลง กล้ามเนื้อ Gastrocnemius หดตัวแบบสั้นเข้า ส่วนกล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะมีการหดตัวแบบยืดออก
	- อุ้งเท้ามีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010)	- อุ้งเท้ามีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Lieberman et al., 2010; Sinclair et al., 2015)

เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวตามหลักกายวิภาคศาสตร์ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่าช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น พบว่าการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก หัวเข่า และข้อเท้าของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่าจะมีลักษณะเหมือนกันคือ เมื่อปลายเท้าสัมผัสพื้นจะทำให้มีแรงเคลื่อนไหวตัวไปด้านหน้า โดยตำแหน่งของข้อสะโพกจะเหยียดไปทางด้านหลัง (Extension) กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบยืดออก กล้ามเนื้อตรงข้ามคือ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบสั้นเข้า การเคลื่อนไหวของตำแหน่งหัวเข่ามีลักษณะเหยียดตรง โดยกลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดออก กลุ่มกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามคือ Hamstring ได้แก่ Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า และการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อเท้ามีลักษณะปลายเท้ากดลงสัมผัสพื้นจึงทำให้กล้ามเนื้อ Gastrocnemius หดตัวแบบสั้นเข้า ส่วนกล้ามเนื้อตรงข้าม Tibialis anterior มีการหดตัวแบบยืดออก (Lieberman et al., 2010) ดังนั้นช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น การเคลื่อนไหวด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่ามีลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อและการทำงานของกล้ามเนื้อเหมือนกัน

ตารางที่ 2-4 การเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ช่วงลอยตัว

กายวิภาคศาสตร์	**ช่วงลอยตัว**	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
สะโพก	- สะโพกมีลักษณะเตรียมยืดตัวไปด้านหน้า - กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า - กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบยืดออก	- สะโพกมีลักษณะเตรียมยืดตัวไปด้านหน้า - กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า - กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีการหดตัวแบบยืดออก

ตารางที่ 2-4 (ต่อ)

กายวิภาคศาสตร์	ช่วงลอยตัว	
	รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย	**การวิ่งเท้าเปล่า**
หัวเข่า	- หัวเข่ามีลักษณะงอไปด้านหน้า (Knee flexed) (Wesson et al., 2005) - กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis หดตัวแบบยืดออก - กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010)	- หัวเข่ามีลักษณะงอไปด้านหน้า (Knee flexed) (Wesson et al., 2005) - กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps, Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis หดตัวแบบยืดออก - กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring, Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010)
ข้อเท้า	- ข้อเท้ามีลักษณะงอขึ้น (Dorsiflexion) กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบยืดออก ส่วนกล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010)	- ข้อเท้ามีลักษณะงอขึ้น (Dorsiflexion) กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบยืดออก ส่วนกล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะหดตัวแบบสั้นเข้า (Wesson et al., 2005; Lieberman et al., 2010)

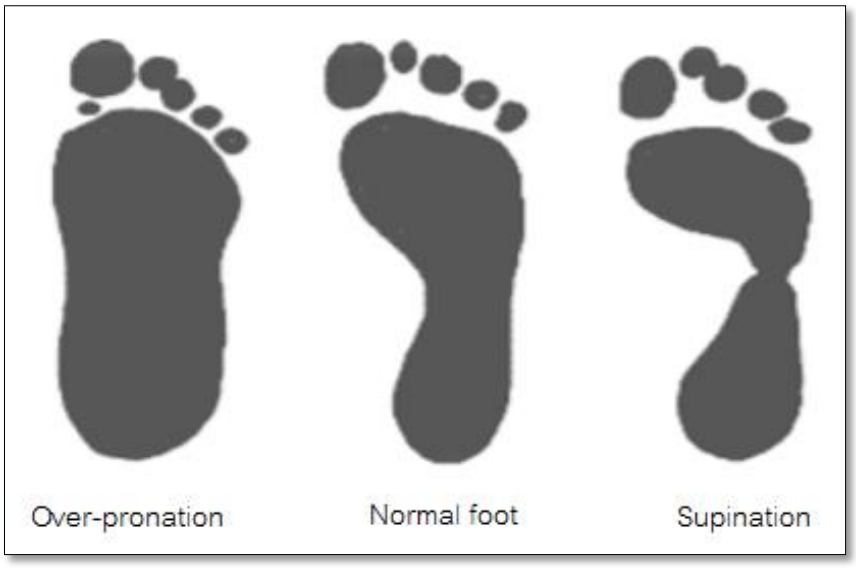
เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวตามหลักกายวิภาคศาสตร์ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่าช่วงลอยตัว พบว่าการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก หัวเข่า และข้อเท้า เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่าจะมีลักษณะเหมือนกันคือ เมื่อปลายเท้าก้าวพ้นจากพื้นเท้าจะลอยตัวกลางอากาศเพื่อเคลื่อนตัวไปด้านหน้า ตำแหน่งของข้อสะโพกจะยืดตัวไปทางด้านหน้า โดยที่กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า กล้ามเนื้อตรงข้าม Gluteus maximus มีการหดตัวแบบยืดออก การเคลื่อนไหวของตำแหน่งหัวเข่ามีลักษณะงอตัวไปด้านหน้า (Knee flexion) โดยมีกลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดออก กลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstring ได้แก่ Semimembranosus, Semitendinosus, Bicep femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า และการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อเท้ามีลักษณะกระดกขึ้น กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบยืดออก ส่วนกล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะหดตัวแบบสั้นเข้า (Lieberman et al., 2010; Sinclair et al., 2015)

จากการเปรียบเทียบรูปแบบเท้าสัมผัสพื้นของการวิ่ง 4 ช่วง ได้แก่ 1. ช่วงก่อนส้นเท้าลงสัมผัสพื้น 2. ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า 3. ปลายเท้าสัมผัสพื้น 4. ช่วงลอยตัว ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ามีการเคลื่อนไหว 2 ช่วง ที่เหมือนกันคือ ช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น และช่วงลอยตัว การเคลื่อนไหวช่วงปลายเท้าสัมผัสพื้น โดยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่าปลายเท้าจะกดลงที่พื้นเพื่อส่งแรงในการดีดตัวก้าวไปด้านหน้า จึงทำให้ตำแหน่งข้อสะโพกเหยียดไปทางด้านหลัง โดยที่กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวยืดออก กล้ามเนื้อตรงข้าม Gluteus maximus มีการหดตัวสั้นเข้า กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดออก กลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstring ได้แก่ Semimembranosus, Semitendinosus, Biceps femoris มีการหดตัวแบบสั้นเข้า ส่วนการเคลื่อนไหวของตำแหน่งหัวเข่ามีลักษณะเหยียดตรง และการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อเท้าจะมีลักษณะปลายเท้ากดลงสัมผัสพื้นเพื่อดีดตัวส่งแรงไปด้านหน้า และช่วงลอยตัว เมื่อปลายเท้าดีดตัวไปด้านหน้าลักษณะรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า จะเหมือนกัน คือกล้ามเนื้อสะโพกจะเหยียดยืดตัวไปทางด้านหน้า โดยที่กล้ามเนื้อ Iliopsoas มีการหดตัวแบบสั้นเข้า กล้ามเนื้อตรงข้าม Gluteus maximus มีการหดตัวแบบยืดออก กลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้แก่ Rectus fermeris, Vastus intermedius, Vatus larteralis, Vastus medialis กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดออก กลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstring ได้แก่ Semimembranosus, Semitendinosus, Bicep femoris มี

การหดตัวแบบสั้นเข้า การเคลื่อนไหวของหัวเข่ามีลักษณะงอตัวไปด้านหน้า และการเคลื่อนไหวของข้อเท้ามีลักษณะงอขึ้น กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบยืดออก ส่วนกล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะหดตัวแบบสั้นเข้า

แต่ขณะวิ่งมี 2 ช่วง ที่การเคลื่อนไหวแตกต่างกัน ได้แก่ ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น และช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่าโดยพบว่าช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น รองเท้าวิ่งออกกำลังกายกลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps มีการหดตัวแบบสั้นเข้า และกลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstrings มีการหดตัวแบบยืดออก แต่การวิ่งเท้าเปล่ากลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps มีการหดตัวแบบสั้นเข้าแล้วมีการยืดออกเล็กน้อย และกลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม Hamstrings มีการหดตัวแบบยืดออกแล้วหดตัวสั้นเข้าเล็กน้อย ในช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย พบว่าตำแหน่งหัวเข่ามีลักษณะเหยียดตรงทำให้กล้ามเนื้อ Gastrocnemius มีการหดตัวแบบสั้นเข้า ปลายเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น ซึ่งแตกต่างจากการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าหัวเข่ามีการงอเล็กน้อยทำให้กล้ามเนื้อ Gastrocnemius มีการหดตัวแบบยืดออก ส้นเท้าเตรียมลงสัมผัสพื้น และในตำแหน่งข้อเท้า พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายส้นเท้าจะลงสัมผัสพื้นก่อน ส่วนการวิ่งเท้าเปล่าฝ่าเท้าจะลงสัมผัสพื้นก่อน

จากที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยการรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าการเคลื่อนไหวของข้อต่อและกล้ามเนื้อมีความแตกต่างกัน 2 ช่วง คือ ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น และช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า จากการศึกษาของ Radcliffe and Farentinos (1999) พบว่ากล้ามเนื้อที่มีการหดตัวแบบสั้นเข้าจะมีความต้องการปริมาณออกซิเจนมากกว่ากล้ามเนื้อที่มีการหดตัวแบบยืดออก จึงอาจส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ความแตกต่างกันเมื่อสวมใส่อุปกรณ์วิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ นอกจากนี้การวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพนั้นเท้าจะทำหน้าที่ในการแบกรับน้ำหนักตัวของร่างกายมากขึ้น และยังรับแรงกระแทกในขณะวิ่งออกกำลังกายเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยสามารถแบ่งลักษณะเท้าออกเป็น 3 ลักษณะ (Schurman, 2014) ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ลักษณะเท้า (Schurman, 2014)

Over pronation หมายถึงเท้าที่มีลักษณะแบน ข้อเท้าจะหมุนเข้าด้านในมากกว่าปกติ ทำให้ฝ่าเท้าด้านในรับน้ำหนักมากกว่า ซึ่งเกิดจากบริเวณอุ้งเท้ามีส่วนเว้าโค้งน้อยหรือไม่มีเลย ส่วนใหญ่จะพบในคนที่มีน้ำหนักตัวมาก ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บข้อเท้า หัวเข่า และสะโพก ในขณะวิ่งออกกำลังกาย ดังนั้นจึงต้องเลือกอุปกรณ์รองเท้าที่เหมาะสมในการวิ่งออกกำลังกาย

Normal foot หมายถึงผู้ที่เท้าปกติ ข้อเท้าจะมีการหมุนออกด้านนอกเล็กน้อยแล้วจึงหมุนเข้าด้านในเล็กน้อย เพื่อช่วยในการรับน้ำหนักตัวของร่างกายและรับแรงกระแทกที่มีต่อหัวเข่าและข้อเท้าในขณะวิ่งออกกำลังกาย

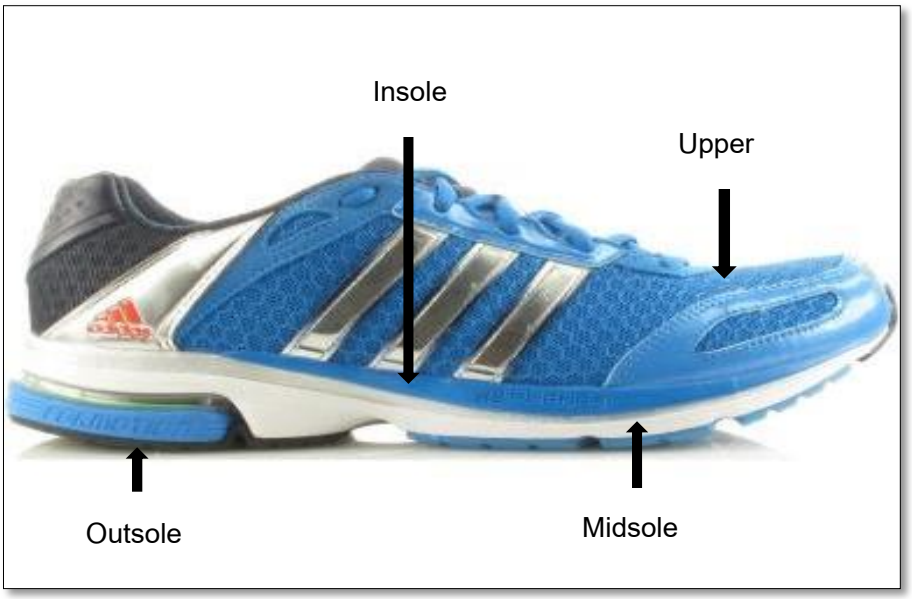
Supination หมายถึงเท้าที่มีลักษณะโก่ง ข้อเท้าจะมีหมุนออกด้านนอกมากกว่าปกติทำให้ขณะวิ่งออกกำลังกายบริเวณนิ้วก้อยทำงานมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เท้ามีการรับแรงกระแทกขณะวิ่งออกกำลังกายได้ไม่ดี ดังนั้นจึงควรเลือกอุปกรณ์รองเท้าที่มีพื้นด้านในรองรับบริเวณอุ้งเท้าและสามารถรับแรงกระแทกได้ดี

จากการศึกษาลักษณะเท้าในการวิ่งออกกำลังกาย พบว่าผู้ที่มีเท้าปกติสามารถรับแรงกระแทกในขณะวิ่งออกกำลังกายได้ดีกว่าผู้ที่มีเท้าแบนหรือเท้าโก่ง แต่อย่างไรก็ตาม Ferber and Macdonald (2014) กล่าวว่าโครงสร้างของลักษณะเท้าที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีการใช้กล้ามเนื้อมัดเดียวกัน

อุปกรณ์รองเท้า

1. รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย

มนุษย์มีความคุ้นเคยกับการเดินและวิ่งตั้งแต่เด็ก และสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยนั้นก็คือรองเท้าที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเดินและวิ่ง ช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ได้เริ่มมีการพัฒนารองเท้าสำหรับออกกำลังกาย บริษัทผู้ผลิตรองเท้ากีฬาจึงมีการพัฒนารูปแบบของรองเท้ากีฬาให้มีลักษณะพื้นรองเท้าแบนเรียบ เรียกว่ารองเท้าผ้าใบที่มีการผลิตจากยางหรือวัสดุสังเคราะห์ เพื่อลดแรงกระแทกเมื่อเท้าลงสัมผัสกับพื้น และช่วยให้เท้ามีความมั่นคงเพิ่มขึ้นในขณะวิ่ง (Divert et al., 2008; Braunstein, Arampatzis, Eysel, & Bruggemann, 2010; Cheung & Ng, 2010) ต่อมาในปี ค.ศ.1970 เทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้นนักวิทยาศาสตร์และบริษัทผู้ผลิตรองเท้าได้มีการคิดค้นวัสดุอุปกรณ์เสริมพื้นและส้นรองเท้า เช่น เจล สปริง โฟม และพลาสติก บริเวณพื้นและส้นรองเท้าให้มีความแข็งแรงและหนาเพื่อทำให้รองเท้าวิ่งออกกำลังกายคุณสมบัติยืดหยุ่นและกันกระแทกได้ดี (Lieberman et al., 2010) รองเท้าจึงมีน้ำหนักเฉลี่ย 541 ± 44 กรัม และมีความสูงของพื้นรองเท้าเฉลี่ย 12-24 มิลลิเมตร (Hutchins, Bowker, Geary, & Richards, 2009; Puleo & Milroy, 2010; Sobhani et al., 2013) เพราะในขณะวิ่ง เท้าจะทำหน้าที่รับน้ำหนักตัวของร่างกายมากถึง 2-4 เท่า ของน้ำหนักตัวที่กดลงบริเวณส้นเท้า (Rosato, 2003) ดังนั้นรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจึงมีโครงสร้าง และส่วนประกอบของรองเท้าที่สำคัญ (Kiat, 2011) ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างและส่วนประกอบของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย (Kiat, 2011)

โครงสร้างและส่วนประกอบของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายที่มีความสำคัญ ได้แก่

- ส่วนบนของรองเท้า (Upper)
- พื้นรองเท้าชั้นใน (Insole)
- พื้นรองเท้าชั้นกลาง (Midsole)
- พื้นรองเท้าชั้นนอก (Outsole)

1. ส่วนบนของรองเท้า มีการใช้วัสดุในการผลิตประกอบด้วยผ้าไนลอนเพื่อให้มีความยืดหยุ่น ระบายอากาศได้สะดวก และมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ด้านหน้าของรองเท้า (Toe box) ลิ้นรองเท้า (Tongue) เชือกผูกรองเท้า (Laces) ด้านข้างของบริเวณหุ้มส้น (Heel counter) ส่วนบนของหุ้มส้น (Collar) (Puleo & Milroy, 2010; Kiat, 2011; Anderson, 2013)

2. พื้นรองเท้าชั้นใน บริเวณอุ้งเท้าจะมีลักษณะพื้นนูนขึ้นเพื่อรับกับส่วนโค้งของเท้าช่วยลดแรงกระแทกขณะวิ่งออกกำลังกาย ซึ่งพื้นด้านในรองเท้าผลิตจากยางสังเคราะห์ที่มีทั้งความเหนียวและความยืดหยุ่น (Taunton et al., 2003)

3. พื้นรองเท้าบริเวณกึ่งกลาง ทำหน้าที่รับแรงกระแทกจากน้ำหนักตัวของร่างกายขณะที่มีการเคลื่อนไหว ดังนั้นพื้นรองเท้าบริเวณกึ่งกลางควรมีความนุ่มที่พอดีและไม่แข็งเกินไป เนื่องจากจะทำให้เท้ารับน้ำหนักตัวของร่างกายมากขึ้นและทำให้การกระจายแรงทำได้ไม่ดี เมื่อต้องเพิ่มความเร็วในการวิ่งออกกำลังกาย (Ingkatecha, 2012) พื้นรองเท้าบริเวณกึ่งกลางมีการใช้วัสดุมาจาก Ethylene vinyl acetate (EVA) และมีการผสมกับวัสดุหลายชนิดเช่น เจล สปริง โฟม และพลาสติก ซึ่งคุณสมบัติเพิ่มความยืดหยุ่นให้รับแรงกระแทกดีขึ้น จึงทำให้บริเวณกึ่งกลางมีความหนา ยืดหยุ่น และแข็งแรง (Puleo & Milroy, 2010)

4. พื้นรองเท้า คือส่วนที่รองเท้าสัมผัสกับพื้นซึ่งมีหน้าที่ช่วยรับแรงกระแทกขณะส้นเท้าลงสู่พื้น (Johnson, 2001) (วัสดุที่ใช้ในการผลิตทำมาจากยางสองชนิดผสมกันคือ Carbon rubber และ Blown rubber) ซึ่งยางที่ผลิตจาก Carbon rubber มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนทาน และมีน้ำหนักมาก ส่วนยางที่ผลิตจาก blown rubber พื้นรองเท้าจะมีคุณสมบัติเบาและมีความยืดหยุ่นมากกว่า (Puleo & Milroy, 2010; Wishhart, 2014) ซึ่งเมื่อนำยางทั้งสองชนิดผสมกันจะทำให้วัสดุมีความทนทานและยืดหยุ่นมากขึ้น

จากอดีตถึงปัจจุบันรองเท้าวิ่งออกกำลังกายได้มีการพัฒนาวัสดุอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องในการออกแบบโครงสร้างของรองเท้าให้มีเหมาะสมกับเท้ามนุษย์มากที่สุด เพื่อให้รองเท้าที่ใช้ในการวิ่งมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักตัว และลดแรงกระแทกในขณะวิ่งออกกำลังกายจึงทำให้พื้นรองเท้าออกกำลังกายมีขนาดใหญ่ และรองเท้ามีน้ำหนักมากขึ้น ในปัจจุบันมีรองเท้าที่ใช้ใน

การวิ่งออกกำลังกายหลากหลายรูปแบบทั้งแบบพื้นใหญ่ แบบพื้นนูน หรือแบบพื้นบาง ผลิตมาเพื่อให้ประสิทธิภาพในการวิ่งออกกำลังกายนั้นดีขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการรองเท้าที่มีลักษณะพื้นรองเท้าบางในการศึกษาครั้งนี้

3.2 รองเท้าวิ่งมินิมัล

ปัจจุบันวิวัฒนาการของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายได้มีการพัฒนารองเท้าให้ลักษณะพื้นรองเท้าบางลง น้ำหนักน้อย เพื่อให้เกิดความรู้สึกคล้ายกับการวิ่งเท้าเปล่า เนื่องจากเป็นการวิ่งที่ฝ่าเท้าสัมผัสกับพื้นอีกทั้งป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับข้อต่อของเท้าได้ และรองเท้าวิ่งมินิมัลจะมีลักษณะการใช้กล้ามเนื้อแตกต่างจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกายด้วย (Casimiro, 2011) จากการวิจัย พบว่าการวิ่งลงด้วยฝ่าเท้าสามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่าการวิ่งลงด้วยส้นเท้า (Shih, Lin, & Shiang, 2013) ในทางสรีรวิทยาลักษณะรองเท้าวิ่งมินิมัล มีลักษณะการก้าวเท้าจะสั้น แต่ความถี่ในการก้าวเท้าจะมาก Hanson et al. (2011) และ Sobhani et al. (2013) พบว่ารองเท้าวิ่งมินิมัลสามารถลดปริมาณการใช้ออกซิเจนได้มากกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ซึ่งรองเท้าวิ่งมินิมัล มีลักษณะเด่นคือ สามารถพับหรือบิดงอได้มีความยืดหยุ่นสูง ขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบาเฉลี่ย 136 ± 03 กรัม และความสูงจากพื้นน้อยกว่า 9 มิลลิเมตร (Hamill, Gruber, Freedman, Bruggemann, & Rohr, 2011; Rixe, Gallo, & Silvis, 2012; Anderson, 2013) รองเท้าวิ่งมินิมัลมีองค์ประกอบรองเท้าเหมือนกับรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย เช่น ส่วนบนของรองเท้า พื้นรองเท้าชั้นในพื้นรองเท้าชั้นนอก เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามมีการใช้วัสดุที่แตกต่างกัน (Casimiro, 2011) ดังภาพที่ 2-4

ภาพที่ 2-4 โครงสร้างและส่วนประกอบของรองเท้าวิ่งมินิมัล (Casimiro, 2011)

โครงสร้างและส่วนประกอบของรองเท้าวิ่งมินิมัล ที่มีความสำคัญ (Buraglio, 2012) ได้แก่

- ส่วนบนของรองเท้า
- พื้นรองเท้าชั้นใน
- พื้นรองเท้าชั้นนอก

1. ส่วนบนของรองเท้า คือส่วนบนของรองเท้าวิ่งมินิมัล มีสายรัดกระชับ และมีการถักทอด้วยผ้าฝ้ายและเส้นใยสังเคราะห์ (Polyester) ที่มีคุณสมบัติเบา ยืดหยุ่น และระบายอากาศได้ดี

2. พื้นรองเท้าชั้นใน เป็นส่วนที่อยู่ข้างในรองเท้าวิ่งมินิมัล มีการเย็บแบบไม่มีตะเข็บบนแผ่นโฟม รองพื้นรองเท้า

3. พื้นรองเท้าชั้นนอก เป็นส่วนที่พื้นรองเท้าสัมผัสกับพื้น ซึ่งมีวัสดุที่ใช้ในการผลิต เป็นยางกันลื่นมีความหนา 1 มิลลิเมตร และ Thermoplastic Polyurethanes (TPU) ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับยาง น้ำหนักเบา สามารถคืนรูปทรงของรองเท้าได้เร็ว ซึ่งมีความบางและนิ่มมากกว่า EVA เนื่องจากพื้นรองเท้ามีความบางทำให้พื้นรองเท้ามีความสูงเพียง 3 มิลลิเมตร

จากการพัฒนารองเท้าวิ่งออกกำลังกายเป็นรองเท้าวิ่งมินิมัล จะพบว่ารองเท้า 2 แบบ นี้มีลักษณะรูปทรงแตกต่างกัน โดยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจะมีลักษณะ คือ เสริมวัสดุอุปกรณ์บริเวณพื้นและส้นรองเท้าให้มีขนาดใหญ่ หนา แข็งแรง และมีความยืดหยุ่นน้อย จึงทำให้ขณะวิ่งออกกำลังกาย ส้นเท้าจะลงสัมผัสพื้นก่อน ส่วนรองเท้าวิ่งมินิมัล จะมีพื้นรองเท้าบาง น้ำหนักเบา

และมีความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้ขณะวิ่งออกกำลังกาย ฝ่าเท้าจะลงสัมผัสพื้นก่อน ดังนั้นกล้ามเนื้อที่ใช้วิ่งออกกำลังกายของรองเท้าทั้ง 2 แบบ จึงมีแตกต่างกัน และอาจจะส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนในการวิ่งออกกำลังกายที่แตกต่างกันด้วย

3. การวิ่งเท้าเปล่า

McDougall (2009) ได้กล่าวในหนังสือ “เกิดมาเพื่อวิ่ง” ถึงเรื่องราวชาวเผ่าอินเดียแดงทามาฮูมาราในประเทศเม็กซิโกที่มีความนิยมในการวิ่งเท้าเปล่า ซึ่งมีความเชื่อว่าการวิ่งเท้าเปล่านั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในวิ่งให้ดีขึ้น จากการศึกษางานวิจัยของ Hanson et al. (2011) พบว่าการวิ่งเท้าเปล่ามีปริมาณการใช้ออกซิเจนน้อยกว่าการวิ่งด้วยรองเท้าออกกำลังกาย จากการศึกษาของ Squadrone and Gallozzi (2009), Puleo and Milroy, (2010) และ Anderson, (2013) พบว่าการวิ่งเท้าเปล่าและรองเท้าวิ่งมินิมัล มีลักษณะการใช้กล้ามเนื้อเหมือนกัน จากที่ได้กล่าวข้างต้นในตารางที่ 2-2 ถึง 2-5 สอดคล้องกับ Lloyd (2013) พบว่าลักษณะการวิ่งเมื่อสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และวิ่งเท้าเปล่าเหมือนกันคือ ฝ่าเท้าจะสัมผัสพื้นก่อนส้นเท้า จึงทำให้กล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งเหมือนกันด้วย Lieberman et al. (2010) ได้รายงานว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าสามารถลดแรงกระแทกช่วงเท้าสัมผัสพื้นได้ดีกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย

การวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพถือได้ว่าเป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมให้ร่างกายมีความแข็งแรงพร้อมทั้งพัฒนาการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวิ่งออกกำลังกายนั้นก็คืออุปกรณ์รองเท้า เนื่องจากปัจจุบันได้มีการผลิตรองเท้าขึ้นมาหลายแบบและรูปทรง เช่น รองเท้าวิ่งออกกำลังกายที่มีพื้นรองเท้าหนาและมีขนาดใหญ่ รองเท้าวิ่งมินิมัลที่มีพื้นบางและน้ำหนักเบา และการวิ่งเท้าเปล่า จากการศึกษาอุปกรณ์รองเท้าพบว่า ลักษณะรองเท้าที่แตกต่างกันส่งผลให้การทำงานของกล้ามเนื้อมีความแตกต่างกันด้วย และอาจมีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนของผู้วิ่งออกกำลังกายได้ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนในรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมายังมีการโต้แย้งถึงประเด็นการใช้ออกซิเจนของรองเท้าทั้ง 3 แบบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ที่ผ่านมา พบว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ใช้ออกซิเจนน้อยกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย Cheung and Ng (2016) ได้ทำการศึกษาการใช้ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งมินิมัล ในนักวิ่งระยะไกลโดยทำการเปรียบเทียบรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ในนักวิ่งจำนวน

13 คน พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 และคล้ายกับ รองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่าการวิ่งเท้าเปล่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 และได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน การศึกษาของ Bellar and Judge (2015) ทำการศึกษาผลของออกซิเจนจากการฝึกด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล ระหว่างการเดิน และการวิ่ง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 13 คน เป็นชาย 7 คน หญิง 6 คน อายุระหว่าง 21.7 ± 1.4 ปี และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด 46.6 ± 6.6 มล./กก./นาที ทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ออกซิเจน โดยการเดินที่ความเร็ว 5.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วิ่งที่ระดับความเร็วต่ำ 7.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และวิ่งที่ระดับความเร็วปานกลาง 9.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($p = .12$) สอดคล้องกับงานวิจัย Hanson et al. (2011) ได้ทำการศึกษาเรื่องปริมาณการใช้ออกซิเจนที่มีผลต่อรองเท้าวิ่งออกกำลังกายเทียบกับการวิ่งเท้าเปล่า โดยกลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 10 คน เพศชายจำนวน 5 คน เพศหญิงจำนวน 5 คน อายุระหว่าง 23.8 ± 3.9 ปี โดยทำการทดสอบ 4 อย่างคือ 1) สวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนลู่วิ่งไฟฟ้า 2) สวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนพื้นดิน 3) วิ่งเท้าเปล่า บนลู่วิ่งไฟฟ้า 4) วิ่งเท้าเปล่า บนพื้นดิน ทำการทดสอบอย่างละ 6 นาที ที่ความหนักร้อยละ 70 ของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด พบว่าอัตราการเต้นหัวใจของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนพื้นดินและลู่วิ่งไฟฟ้า มีความแตกต่างกับการวิ่งเท้าเปล่าบนพื้นดินและลู่วิ่งไฟฟ้าตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .02 พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนพื้นดินและรองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนลู่วิ่งไฟฟ้าตามลำดับ มีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่า การวิ่งเท้าเปล่าบนพื้นดิน และการวิ่งเท้าเปล่าบนลู่วิ่งไฟฟ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Sobhani et al. (2013) ทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนกับรองเท้าที่มีส่วนโค้งของพื้นรองเท้า (Rocker shoes) น้ำหนักรองเท้า 858 ± 97 กรัม รองเท้าวิ่งออกกำลังกายน้ำหนักรองเท้า 541 ± 44 กรัม และรองเท้าวิ่งมินิมัล น้ำหนักรองเท้า 321 ± 25 กรัม กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิงจำนวน 18 คน อายุระหว่าง 23.6 ± 3 ปี ทำการทดสอบบนลู่วิ่งไฟฟ้า 6 นาที บันทึกข้อมูล 2 นาทีสุดท้าย พบว่าอัตราการเต้นหัวใจ และระดับการรับรู้ความรู้สึกขณะออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกัน แต่ปริมาณการใช้ออกซิเจนระหว่างรองเท้าที่มีส่วนโค้งของพื้นรองเท้ามีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายร้อยละ 4.5 และมีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล ร้อยละ 5.6 ที่ระดับความมีนัยสำคัญ .001 Squadrone and Gallozzi (2009) ศึกษาเรื่องชีวกลศาสตร์และเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวของ การวิ่งเท้าเปล่า กับผู้ที่มีประสบการณ์การวิ่งเท้าเปล่า กลุ่มตัวอย่างจำนวน 8 คน อายุระหว่าง 32 ± 5 ปี แบ่งกลุ่มตัวอย่าง

2 กลุ่ม คือ กลุ่มวิ่งเท้าเปล่า และกลุ่มรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย พบว่าการวิ่งเท้าเปล่าสามารถลดแรงกระแทกได้ดีกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และลดระยะการก้าวเท้าให้สั้นลง จึงทำให้ความถี่ในการก้าวเท้ามากขึ้น และยังพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจไม่เปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณการใช้ออกซิเจนและปริมาณความสามารถสูงสุดของการใช้ออกซิเจนที่ทำได้ (VO_{2peak}) ของการวิ่งเท้าเปล่ามีความแตกต่างจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า มีปริมาณการใช้ออกซิเจนน้อยกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย เนื่องจากลักษณะของรองเท้าวิ่งมินิมัล มีน้ำหนักน้อยและพื้นรองเท้ามีขนาดบาง จึงทำให้กล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล มีความแตกต่างไปจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ดังนั้นรองเท้าวิ่งมินิมัล จึงมีการใช้ออกซิเจนน้อยกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายด้วย จากทฤษฎีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าส่งผลให้นักวิ่งมีประสิทธิภาพในการวิ่งได้ไกลมากขึ้น (McArdle et al., 2011)

แต่อย่างไรก็ตาม มีการวิจัยที่โต้แย้งในประเด็นของน้ำหนักรองเท้า ตำแหน่งการลงเท้าเมื่อสัมผัสพื้น และปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าพบว่า รองเท้าทั้ง 3 แบบ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่แตกต่างกัน จากการวิจัยของ Divert et al. (2008) ศึกษาความแตกต่างของน้ำหนักรองเท้าระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล กลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของน้ำหนักรองเท้า และปริมาณการใช้ออกซิเจนโดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างรองเท้าวิ่งมินิมัล ที่มีน้ำหนัก 150 กรัม และสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ที่มีน้ำหนัก 350 กรัม ทำการทดสอบบนลู่วิ่งไฟฟ้า 3 D ที่ความเร็ว 3.61 ไมล์ต่อชั่วโมง พบว่าน้ำหนักของรองเท้าทั้ง 2 แบบไม่มีผลต่อการใช้ออกซิเจน คล้ายคลึงกับ Franz et al. (2012) ศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล กลุ่มตัวอย่างเพศชายจำนวน 12 คน ทำการทดลองโดยให้กลุ่มสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล มีน้ำหนัก 150 กรัม และกลุ่มสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย มีน้ำหนัก 300 และ 450 กรัม ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบบนลู่วิ่งไฟฟ้า 3.35 ไมล์ต่อชั่วโมง พบว่าน้ำหนักของรองเท้า 100 กรัม จะส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 แต่อย่างไรก็ตาม รองเท้าวิ่งมินิมัล กับรองเท้าวิ่งออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณการใช้ออกซิเจน สอดคล้องกับ Perl, Daoud, and Lieberman (2012) ศึกษาผลของชนิดรองเท้าและตำแหน่งเท้าลงสัมผัสพื้นในปริมาณการใช้ออกซิเจน กลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน เพศชาย 13 คน เพศหญิง 2 คน ที่มีประสบการณ์วิ่งเท้าเปล่า และสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายเป็นประจำ ทำการแบ่งเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยกลุ่มควบคุมรองเท้าวิ่งมินิมัล วิ่งลงส้นเท้าและปลายเท้า ส่วนกลุ่มทดลองสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย วิ่งลงส้นเท้า

และลงปลายเท้า ทดสอบบนลู่วิ่งไฟฟ้าที่ความเร็ว 3.0 ไมล์ต่อชั่วโมง พบว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และรองเท้าวิ่งออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างของปริมาณการใช้ออกซิเจน ทั้งการวิ่งแบบลงส้นเท้าและการวิ่งแบบลงปลายเท้า สอดคล้องกับ Ridge et at. (2015) ทำการฝึกวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัลที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน ทำการทดสอบก่อนและหลังแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ 1 ทำการฝึกด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และกลุ่มที่ 2 ฝึกด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล ทำการฝึกจำนวน 10 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างจำนวน 25 คน หลังจากทำการฝึกพบว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ Bootier (2012) ได้ศึกษาผลของชีวกลศาสตร์และปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและรองเท้าวิ่งมินิมัล กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน อายุ 18-35 ปี ที่มีระยะทางในการวิ่ง 5 กิโลเมตรภายใน 20 นาที กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบบนลู่วิ่งไฟฟ้า 5 นาที ที่ระดับความเร็ว 6, 7.5 และ 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล ไม่มีความแตกต่างกัน ($p < .93$) Vincent et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณการใช้ออกซิเจนด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า กลุ่มตัวอย่างเป็นชายจำนวน 16 คน โดยทำการวิ่งบนลู่วิ่งไฟฟ้า 20 นาที ที่ระดับความหนักร้อยละ 77 อัตราการเต้นของหัวใจ ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ พบว่า ในปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ (Steady-rate VO_2) ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า ไม่มีความแตกต่างกัน และยังเสนอแนะว่า กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองควรผ่านการฝึกหรือมีความชำนาญในการวิ่งเท้าเปล่า เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักรองเท้าและตำแหน่งเท้าเมื่อลงสัมผัสพื้นของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและรองเท้าวิ่งมินิมัล ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจน

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่ง และน้ำหนักของรองเท้าที่ใช้วิ่งออกกำลังกาย โดยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ามีงานวิจัยที่ยังคงโต้แย้งกันในประเด็นของรองเท้าออกกำลังกายที่มีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนในการวิ่งเมื่อสวมรองเท้าทั้ง 3 แบบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่ง รวมถึงข้อเสนอแนะในเรื่องประสบการณ์ของผู้ทดสอบด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ทำการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ การศึกษารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า เพื่อเป็นทางเลือกการใช้รองเท้าให้แก่ผู้ที่วิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

เป็นนิสิตชายศึกษาในระดับอุดมศึกษา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง มีการวิ่งออกกำลังกายเป็นประจำอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ หรือมีการวิ่งร่วมระยะทาง 25 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ อายุระหว่าง 20-25 ปี โดยมีขนาดรองเท้าที่สวมใส่ทดลองเบอร์ FR 41-43

กลุ่มตัวอย่าง

ตัวแทนประชากรที่เป็นนิสิตชายที่ศึกษาในระดับอุดมศึกษา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งเป็นผู้มีร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์ ออกกำลังกายเป็นประจำ จำนวน 18 คน อายุระหว่าง 20-25 ปี ทำการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Bellar and Judge (2015) ทำการศึกษาผลของปริมาณการใช้ออกซิเจนจากการฝึกด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล ระหว่างการเดินและการวิ่ง โดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 13 คน และ Hanson et al. (2011) ศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนที่มีผลต่อการสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายเทียบกับการวิ่งเท้าเปล่า โดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน โดยคุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่าง มีดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1. มีการออกกำลังกายเป็นประจำด้วยการวิ่ง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยออกกำลังกายด้วยการวิ่งไม่น้อยกว่า 25 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ อย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ อย่างน้อย 6 เดือน (Franz et al., 2012) และมีปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ใกล้เคียงกันที่ระดับ 38-47 มล./กก./นาที (การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2543)

2. ผู้เข้าร่วมสามารถสวมรองเท้าที่มีขนาดรองเท้าใช้ในการทดลองเบอร์ FR 41-43

3. เป็นผู้ที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทำแบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) ก่อนการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีทางอ้อม และได้รับการตรวจสุขภาพจากแพทย์ โดยไม่มีประวัติของการเป็นโรคร้ายแรง เช่น โรคกระดูก โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง เป็นต้น หรือได้รับการบาดเจ็บอย่างรุนแรง ที่กล้ามเนื้อหรือเอ็นที่ระดับสะโพก เข่า และข้อเท้าที่เกิดขึ้นกับขาข้างใดข้างหนึ่ง หรือขาทั้งสองข้างอย่างน้อย 6 เดือน ก่อนการทดสอบ

4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยตกลงยินยอมและลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการทดลอง

เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออก

1. ระหว่างทำการวิจัยกลุ่มตัวอย่างประสบอุบัติเหตุ เช่น ขาแพลง ข้อเท้าเคล็ด เป็นต้น

2. กลุ่มตัวอย่างมีความผิดปกติที่ส่งผลต่อการเดิน หรือการวิ่ง เช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง สูญเสียความรู้สึก อาการปวด และการควบคุมการเคลื่อนไหวบกพร่อง

3. กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถทำการทดสอบตามข้อกำหนดของการวิจัยได้

กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมวิจัยเป็นเพศชายที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ จำนวน 18 คน และต้องคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกระหว่างการวิจัยจำนวน 4 คน เนื่องจากผู้วิจัยทราบภายหลังว่ากลุ่มตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์ระหว่างการวิจัย ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องตัดกลุ่มตัวอย่างออก ดังนั้นข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 14 คน สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ จากการศึกษาของ Cheung and Ng (2016) ศึกษางานวิจัยโดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 13 คน Hanson et al. (2011) ศึกษางานวิจัยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน

เกณฑ์การยุติการเข้าร่วมการวิจัย

1. เมื่อการศึกษาเสร็จสิ้นและบรรลุวัตถุประสงค์

2. กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถให้ความร่วมมือหรือไม่สามารถปฏิบัติตามวิธีการที่ตั้งไว้

3. กลุ่มตัวอย่างสามารถถอนตัวออกการวิจัยได้ตลอดเวลา

การศึกษาครั้งนี้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบบันทึกข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูล อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับ VO_{2max} ระดับ VO_2 แบบประเมิน Physical Activity Readiness Questionnaire

(PAR-Q) การทดสอบระดับความเหนื่อยโดยวิธีการประเมิน (Rating of Perceived Exertion, RPE) (ภาคผนวก ก)

2. รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ขนาดรองเท้าอยู่ระหว่างเบอร์ FR 41-43 จำนวน 3 คู่ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 320 ± 8 กรัม)

3. รองเท้าวิ่งมินิมัล ขนาดรองเท้าอยู่ระหว่างเบอร์ FR 41-43 จำนวน 3 คู่ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 136 ± 03 กรัม)

4. นาฬิกาจับเวลา (Casio HS-30 W ผลิตที่ประเทศญี่ปุ่น) สามารถบอกเวลา/วันที่/เดือน/ปี จับเวลาละเอียด 1/100 วินาที จับเวลาได้ 2 รูปแบบ คือ แยกเวลา (Split) และเวลารวม (Lap) มีหน่วยความจำ 10 รอบ และสามารถเรียกดูเวลาของแต่ละรอบหรือเวลารวมได้

5. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ มีหน่วยวัด ครั้งต่อนาที Beats per minute (bpm) (Polar รุ่น FT 7 ผลิตที่ประเทศฟินแลนด์)

6. เครื่องวัดความดันโลหิต (Spirit รุ่น CK-101 ผลิตที่ประเทศเยอรมนี)

7. เครื่องฟังการเต้นหัวใจ (Littmann รุ่น Classic II S.E. ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา)

8. ลู่วิ่งไฟฟ้า (รุ่น T2000 ขนาด 18 x 60/ 45.7 x 152.4 เซนติเมตร ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา) เป็นลู่วิ่งออกกำลังกาย สามารถหยุดการใช้งานได้ 2 วิธี และปุ่มหยุดฉุกเฉิน มีราวเหล็กจับ ความเร็วสูงสุดถึง 13.5 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 21.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ปรับระดับความชันสูงสุดถึงร้อยละ 35 ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 3 แรงม้า สามารถตรวจสอบข้อมูลภายใต้การควบคุมด้วยระบบดิจิตอล ติดต่อการใช้เครื่องมือจากห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาลสมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อสูงอายุ จังหวัดชลบุรี

9. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analysis) (Sensor medics (YIASYS) รุ่น Vmax 29 ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา) เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนขณะวิ่งออกกำลังกาย เป็นอุปกรณ์ที่สวมใส่กับร่างกาย ซึ่งข้อมูลจะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเซ็นเซอร์ และข้อมูลมีการแลกเปลี่ยนก๊าซโดยผ่านโปรแกรมการวัดเทียบ Calibration หมายถึงการเปรียบเทียบความแม่นยำของก๊าซโดยผ่านระบบเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ มีหน่วยวัดเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (มล./กก./นาที) ติดต่อการใช้เครื่องมือจากห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาลสมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อสูงอายุ จังหวัดชลบุรี

10. จักรยาน Bicycle ergometer (Monark รุ่น 894E ผลิตที่ประเทศสวีเดน) เป็นจักรยานล้อเดียวอยู่กับขับเคลื่อนด้วยสายพาน สามารถทำให้ตึงหรือคลายให้หย่อยได้ในระหว่าง

การปั่นจักรยาน มีตัวเลขบอกน้ำหนักถ่วงจากสายพาน สำหรับเคลื่อนที่ 1 รอบ สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 6 เมตร (ภาคผนวก ข)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

1. ระยะก่อนการทดลอง

1.1 รับอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัยจำนวน 18 คน

1.2 ชี้แจงจุดประสงค์ของการวิจัยและขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัยโดยมีข้อตกลงในการเตรียมความพร้อมของกลุ่มตัวอย่างและหลักเกณฑ์ในการทดลองระหว่างการทำวิจัยดังต่อไปนี้

1.2.1 กลุ่มตัวอย่างงดรับประทานอาหารอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนการทดลอง

1.2.2 กลุ่มตัวอย่างนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 7-8 ชั่วโมง ในช่วงที่มีการทดลอง

1.2.3 กลุ่มตัวอย่างงดการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ก่อนเข้าร่วมการทดลอง

1.2.4 กลุ่มตัวอย่างงดการออกกำลังกายอย่างหนัก เช่น การเล่นฟุตบอล การว่ายน้ำ เล่นเทนนิส เป็นต้น ก่อนเข้าร่วมการทดสอบอย่างน้อย 7-8 ชั่วโมง

1.3 กลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)

1.4 การทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีทางอ้อมของ Astrand cycle test (Mackenzie, 2005) แล้วจึงนำค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคนมาเทียบกับเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ระดับ 38-47 มล./กก./นาที (ภาคผนวก ข)

1.5 ทำการตรวจสุขภาพร่างกายจากแพทย์

1.6 ติดต่ออุปกรณ์ และสถานที่สำหรับใช้ในการทดลอง 1) ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาการออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา 2) โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา 3) ห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาลสมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อสูงอายุ จังหวัดชลบุรี

1.7 นัดประชุมผู้ช่วยวิจัยจำนวน 2 ท่าน ทำการอบรมการใช้โปรแกรมการวิ่งของลู่วิ่งไฟฟ้าและการใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโดยผู้เชี่ยวชาญ และขั้นตอนการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ

1.8 ทำการนัดหมายกลุ่มตัวอย่างจำนวน 18 คน เกี่ยวกับ วัน เวลา และสถานที่สำหรับใช้ในการทดลอง

ในการออกกำลังกายวิ่งเพื่อสุขภาพสามารถใช้ระดับความหนักที่ร้อยละ 65 ของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (American College of Sports Medicine, 2014) หรือประมาณร้อยละ 78.6 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ในการทดสอบหาปริมาณการใช้ออกซิเจน จากสมการความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดกับปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548) ดังต่อไปนี้

อัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกาย สามารถปรับเปลี่ยนเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสูด โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละ } VO_{2max} = \frac{\text{(Working HR-Resting HR) x 100}}{\text{(Maximum HR-Restting HR)}}$$

เมื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกาย กับร้อยละปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด สามารถใช้สูตรดังนี้

$$\text{Working HR} = \frac{\text{Maximum HR-Resting}}{100} \text{ x ร้อยละ Training load + Resting HR}$$

ตัวอย่างเช่น นักกีฬาอายุ 20 ปี ออกกำลังกายที่ระดับความหนักร้อยละ 65 ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสูด มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 220-20 = 200 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก 70 ครั้งต่อนาที ดังนั้นที่ระดับความหนักร้อยละ 65 ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะมีความสัมพันธ์หรือเทียบเท่ากับอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกาย ดังนี้

แทนค่าจากสูตร

อัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกาย $= \frac{200\text{-}70}{100} \text{ x } 65 + 70$

$= 155$ ครั้งต่อนาที

เมื่อต้องการทราบร้อยละความหนักที่ใช้ออกกำลังกาย สามารถเทียบได้ดังนี้

แทนค่าจากสูตร

ร้อยละปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสูด $= \frac{(155\text{-}70) \times 100\ \%}{200\text{-}70}$

$= 65.38$

เมื่ออัตราการเต้นหัวใจมีความสัมพันธ์กับร้อยละปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผู้วิจัยจึงใช้อัตราการเต้นหัวใจเป็นสิ่งกำหนดระดับความหนักในการวิจัยนี้

2. ระยะการทดลอง

2.1 ผู้วิจัยทำการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Calibration) (ภาคผนวก ค) ณ ห้องปฏิบัติการ โรงพยาบาลสมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อสูงอายุ จังหวัดชลบุรี

2.2 โปรแกรมการทดสอบมีดังนี้ อบอุ่นร่างกายบนลู่วิ่งไฟฟ้าเป็นเวลา 3 นาที โดยปรับความเร็วในระดับคงที่ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และทำการทดสอบหาปริมาณการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ซึ่งกำหนดระดับความหนักในการวิ่งบนลู่วิ่งไฟฟ้าด้วยอัตราการเต้นของหัวใจกำหนดไว้ที่ร้อยละ 65 ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสูด หรือเท่ากับร้อยละ 78.6 อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ที่ระดับความชันร้อยละ 1 (Sobhani et al., 2013)

2.3 กลุ่มตัวอย่างสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย จากนั้นนั่งพักประมาณ 5-10 นาที ทำการวัดความดันโลหิตบีบตัวและคลายตัวก่อนออกกำลังกาย หลังจากนั้นสวมอุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซกับกลุ่มตัวอย่าง และสวมเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

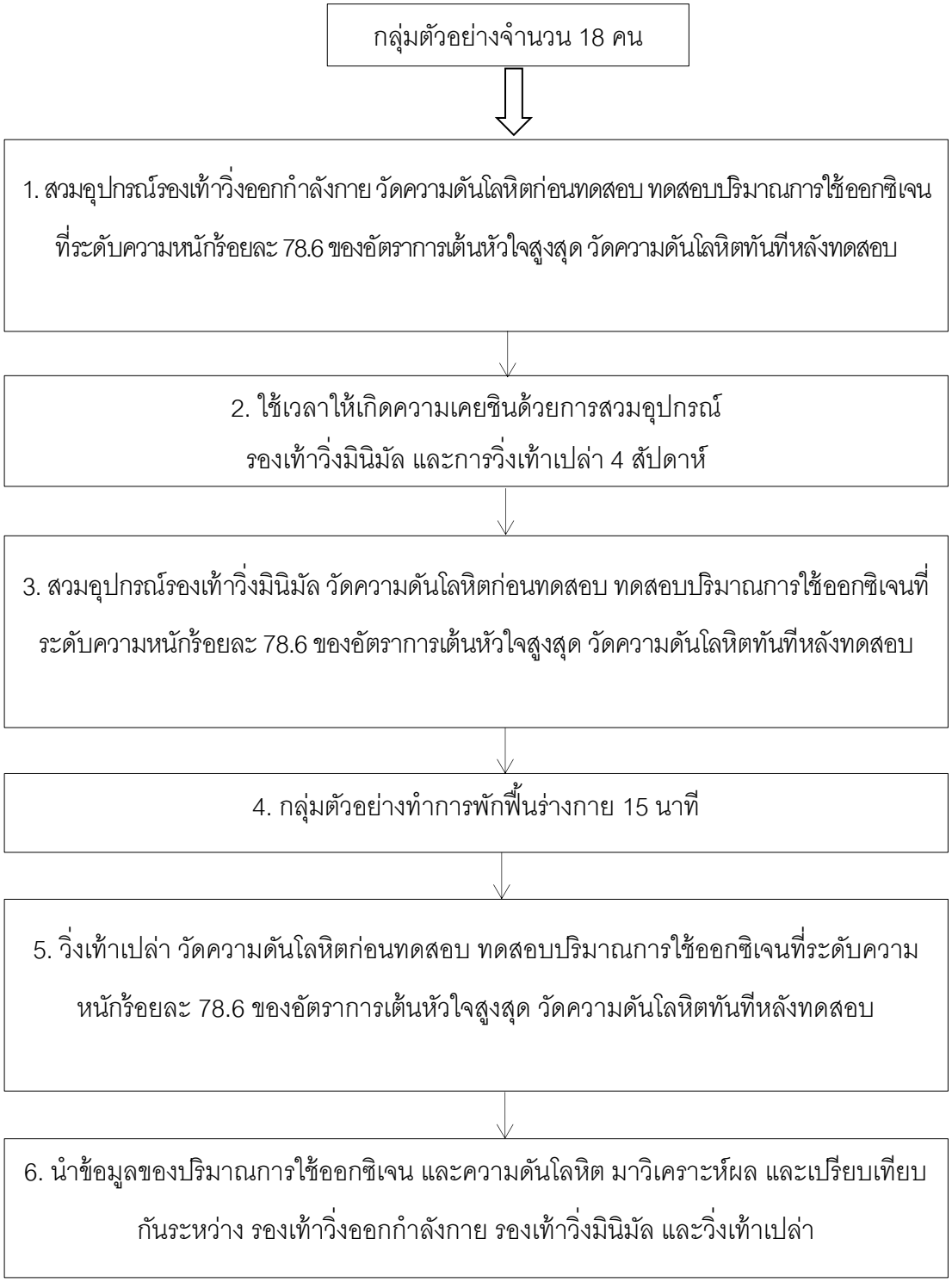
2.4 กลุ่มตัวอย่างเริ่มทำการทดสอบด้วยทำการเดินอบอุ่นร่างกายบนลู่วิ่งไฟฟ้าด้วยความเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นปรับความเร็วเพิ่มขึ้นโดยกำหนดที่ระดับความหนักร้อยละ 78.6 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด จนกระทั่งปริมาณการใช้ออกซิเจนถึงระดับคงที่ (Steady-rate VO_2) ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ จึงทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ออกซิเจน นาทีแรก และนาทีที่สอง ต่อจากนั้นผู้ช่วยวิจัยทำการวัดความดันโลหิตบีบตัวและคลายตัวทันที

2.5 หลังจากการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนด้วยการสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า 4 สัปดาห์ (ภาคผนวก ง) (Warne & Warrington, 2012; Baroody, 2013) ซึ่งได้รับการตรวจสอบเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญ (ภาคผนวก จ)

2.6 หลังจากใช้เวลาให้เกิดความเคยชินจึงให้กลุ่มตัวอย่างสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล ทำการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน ตามข้อ 2.3-2.4

2.7 ภายหลังจากกลุ่มตัวอย่างทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล จึงทำการพักฟื้นร่างกายเป็นระยะเวลา 15 นาที โดยวิธีการนั่ง (กฤตพล พิทธไชย, ประทุม ม่วงมี และไพรัตน์ วงษ์นาม, 2553) เพื่อลดการสะสมกรดแลกติก และหลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างเปลี่ยนเป็นการวิ่งเท้าเปล่า

2.8 กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบวิ่งเท้าเปล่า ตามข้อ 2.3-2.4



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

3. ระยะหลังการทดลอง

3.1 นำค่าข้อมูลของปริมาณการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิตด้วยการหาผลต่างของความดันบีบตัวและคลายตัว ที่ได้มาจัดกระทำข้อมูลทางสถิติ

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลแล้วนำเสนอในรูปตารางพร้อมกับคำบรรยายประกอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำผลการทดสอบของผู้ที่เข้าร่วมการทดลองมาดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลค่าสถิติพื้นฐานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า โดยใช้สถิติการวัดความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ Repeated Measure ANOVA

3. เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวและคลายตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า โดยใช้สถิติการวัดความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ Repeated Measure ANOVA

บทที่ 4
ผลการวิจัย

วิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า การวิจัยแบบกึ่งทดลอง (Quasi-experiment design) แผนการวิจัยแบบวัดซ้ำ โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะทำการวัดซ้ำเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์รองเท้า จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนและความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ในรูปของค่าเฉลี่ยผลต่างของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติ Repeated Measure ANOVA

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล นำเสนอข้อมูลในรูปตารางข้อมูล และความเรียงตามหัวข้อดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

$\overline{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ย
Max	แทน	ค่าสูงสุด
Min	แทน	ค่าต่ำสุด
SS	แทน	ค่า Sum square
df	แทน	ค่า Degree of freedom
MS	แทน	ค่า Mean square
SE	แทน	ค่า Standard error
SD	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Λ	แทน	Wilks' lambda

Partial η^2 แทน ค่าอิทธิพลของการทดลอง

F-statistic แทน ค่าความแปรปรวน

p-value แทน ค่านัยสำคัญของการทดสอบ (Significance test)

* แทน การมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ส่วนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมวิจัยเป็นเพศชายที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ จำนวน 14 คน

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะทั่วไป	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Max	Min
อายุ (ปี)	20.71	1.06	23	20
น้ำหนัก (กก.)	69.36	6.95	85	61
ส่วนสูง (ซม.)	173.29	4.73	184	168
ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด มล./กก./นาที	43.40	2.97	47	38

จากตารางที่ 4-1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย (20.71 ± 1.06 ปี) มีน้ำหนักตัว (69.36 ± 6.95 กิโลกรัม) มีส่วนสูง (173.29 ± 4.73 เซนติเมตร) และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (43.40 ± 2.97 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คัดเข้าที่กำหนด 38-47 มล./กก./นาที

ส่วนที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนและความดันโลหิตที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

ตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจน มล./กก./นาที ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย (Athletic footwear) รองเท้าวิ่งมินิมัล (Minimalist) และการวิ่งเท้าเปล่า (Barefoot)

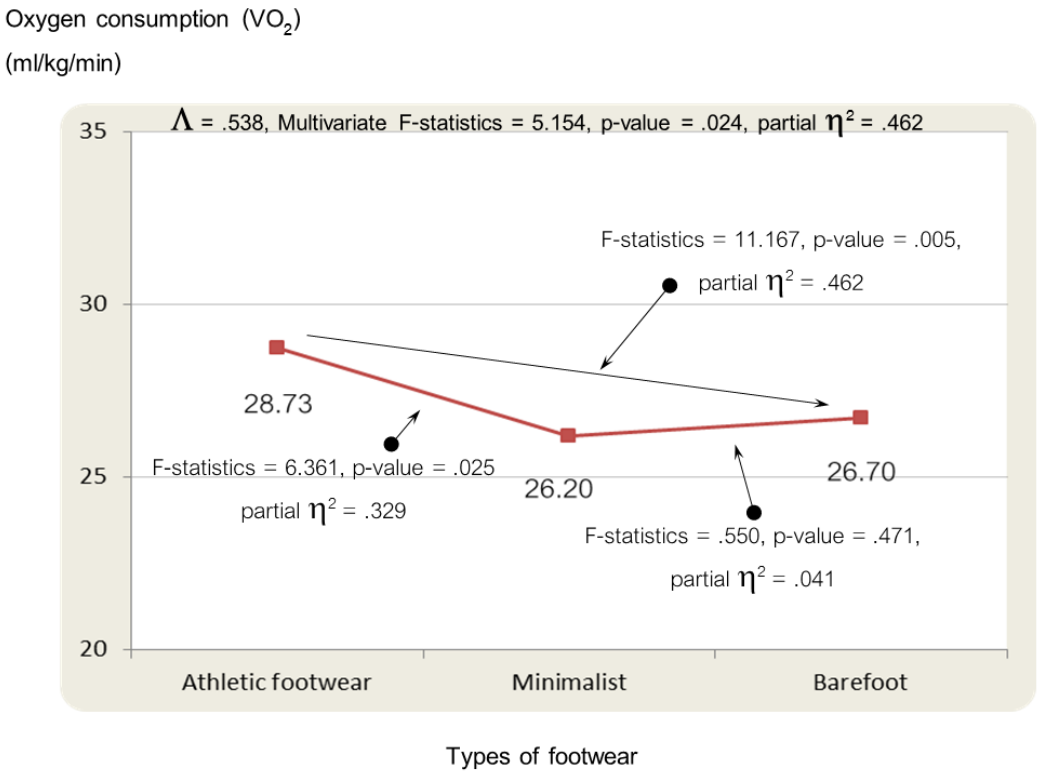
Multivariate test: Wilks' Lambda (Λ) = .538, Multivariate F-statistic = 5.154, p-value = .024, Partial η^2 = .462												
Shoe character	Descriptive statistics				Tests of within-subjects contrasts							
	$\overline{X}$	SD	Max	Min	Contrast	SOV	SS	df	MS	F-statistic	p-value	Partial η^2
Athletic Footwear: AF	28.73	2.86	32.75	24.10	AF vs. ML	Time	89.764	1	89.764	6.361	.025	.329
						error	183.443	13	14.111			
Minimalist: ML	26.20	3.30	30.30	17.65	AF vs. BF	Time	57.611	1	57.611	11.167	.005	.462
						error	67.069	13	5.159			
Barefoot: BF	26.70	2.68	30.60	22.60	ML vs. BF	Time	3.550	1	3.550	.550	.471	.041
						error	83.892	13	6.453			

$p < .05$

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ในระดับ Wilks' lambda (Λ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Λ = .538; Multivariate F-statistic = 5.154, p-value = .024) แสดงว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size) ระหว่างการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าที่มีต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับกลาง (Partial η^2 = .462)

เมื่อทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและรองเท้าวิ่งมินิมัล (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งออกกำลังกายกับรองเท้าวิ่งมินิมัล แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = .025) และทำการพิจารณารายคู่ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายกับการวิ่งเท้าเปล่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = .005) และทำการพิจารณารายคู่ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัลกับการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน (p-value = .471)

เมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size) ระหว่างการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและรองเท้าวิ่งมินิมัลที่มีต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายและรองเท้าวิ่งมินิมัลมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับกลาง (Partial η^2 = .329) และเมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size) ระหว่างการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่าที่มีต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่ามีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับกลาง (Partial η^2 = .462) และเมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size) ระหว่างการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่าที่มีต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน พบว่ารองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่ามีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับต่ำ (Partial η^2 = .041)



ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

จากภาพที่ 4-1 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และได้เปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าไม่แตกต่างกัน จากภาพที่ 4-1 ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีค่าสูงกว่า การวิ่งด้วยเท้าเปล่า และการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล ตามลำดับ

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัว (Systolic) มม.ปรอท ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วย Athletic footwear, Minimalist, and Barefoot

Multivariate test: Wilks' Lambda (Λ) = .815, Multivariate F-statistic = 1.261, p-value = .293, Partial η^2 = .185

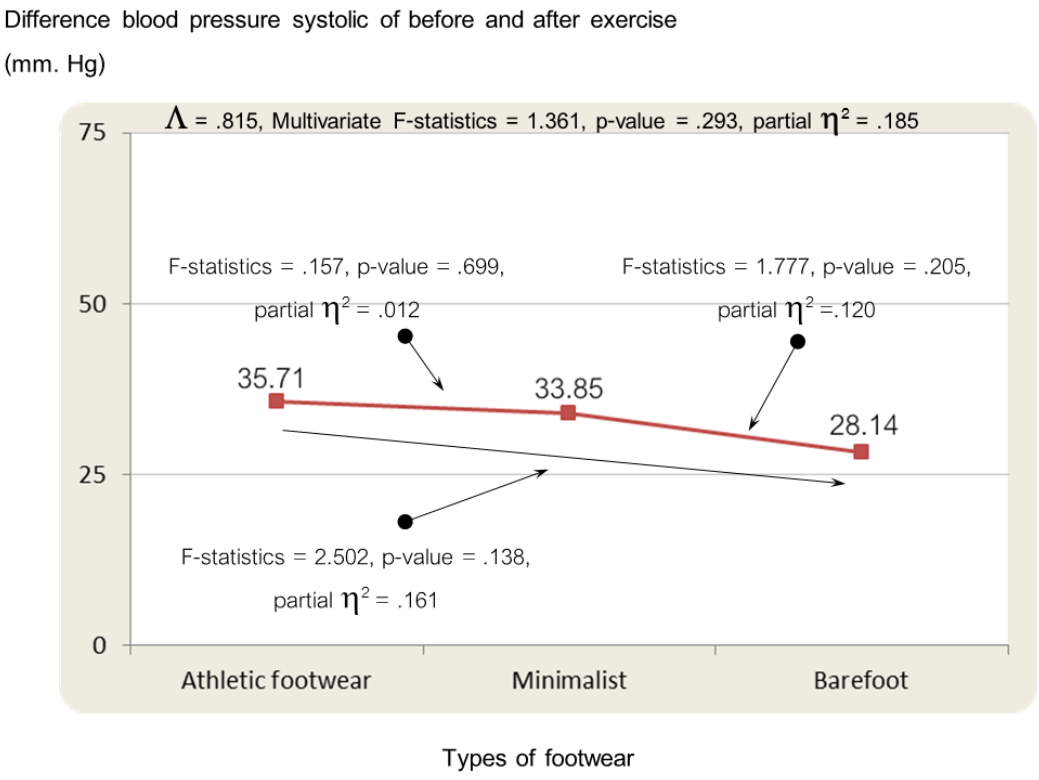
Shoe character	Descriptive statistics											
	$\overline{X}$	SD	Max	Min	$\overline{X}$	SD	Max	Min	$\overline{X}$	SD	Max	Min
Athletic Footwear: AF	112.64	13.17	140	83	148.35	16.10	170	122	35.71	11.68	50	10
Minimalist: ML	108.50	13.12	130	80	142.35	14.17	170	120	33.85	14.79	61	10
Barefoot: BF	108.64	12.97	130	80	136.78	12.65	150	110	28.14	13.10	53	6

	Contrast	SOV	SS	df	MS	F-statistic	p-value	Partial η^2
Tests of within-subjects contrasts	AF vs. ML	Time	48.286	1	48.286	.157	.699	.012
		error	4005.714	13	344.275			
	AF vs. BF	Time	802.571	1	802.571	2.502	.138	.161
		error	4169.429	13	320.725			
	ML vs. BF	Time	457.143	1	457.143	1.777	.205	.120
		error	3344.857	13	257.297			

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ในระดับ Wilks' lambda (Λ) ไม่แตกต่างกัน (Λ = .815 ; Multivariate F-statistic = 1.261, p-value = .293) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size) ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่า รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับต่ำ (Partial η^2 = .185)

และผลการทดสอบค่าเฉลี่ยผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวเมื่อทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล (Univariate test) ไม่แตกต่างกัน และทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวไม่แตกต่างกัน และเมื่อทำการพิจารณารายคู่ที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวไม่แตกต่างกัน

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ของความดันโลหิตบีบตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

จากภาพที่ 4-2 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าไม่แตกต่างกัน จากภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย มีค่าสูงกว่า รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัว (Diastolic) มม.ปรอท ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วย Athletic footwear, Minimalist, and Barefoot

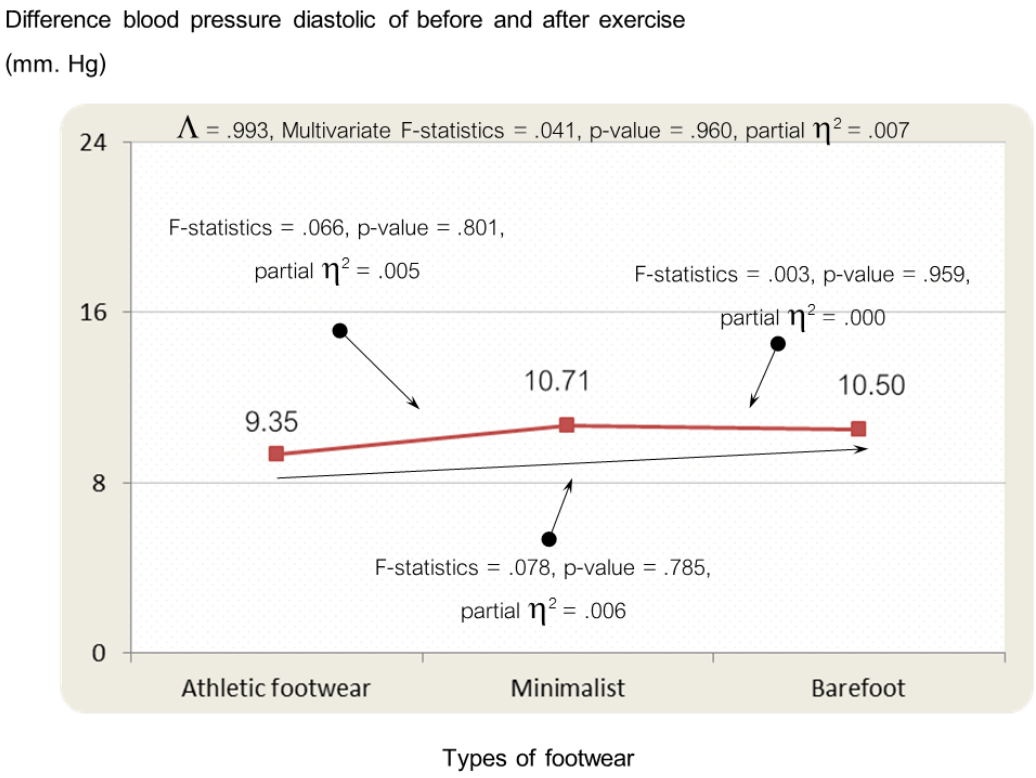
Multivariate test: Wilks' Lambda (Λ) = .993, Multivariate F-statistic = .041, p-value = .960, Partial η^2 = .007												
Shoe character	Descriptive statistics											
	$\overline{X}$	SD	Max	Min	$\overline{X}$	SD	Max	Min	$\overline{X}$	SD	Max	Min
Athletic Footwear: AF	73.21	11.53	100	55	82.57	2.933	110	70	9.35	12.73	130	80
Minimalist: ML	64.64	10.82	90	50	75.35	4.109	90	30	10.71	18.69	30	-30
Barefoot: BF	67.71	11.57	90	50	78.21	2,436	90	60	10.50	12.42	32	0

Tests of within-subjects contrasts	Contrast	SOV	SS	df	MS	F-statistic	p-value	Partial η^2
	AF vs. ML	Time	25.786	1	25.786	.078	.785	.006
		error	4317.214	13	332.093			
	AF vs. BF	Time	18.286	1	18.286	.066	.801	.005
		error	3603.714	13	277.209			
	ML vs. BF	Time	.643	1	.643	.003	.959	.000
		error	3078.357	13	236.797			

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ในระดับ Wilks' lambda (Λ) ไม่แตกต่างกัน (Λ = .993, Multivariate F-statistic = .041, p-value = .960) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size) ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า มีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับต่ำ (Partial η^2 = .007)

และผลการทดสอบค่าเฉลี่ยผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวเมื่อทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล (Univariate test) ไม่แตกต่างกัน และทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวไม่แตกต่างกัน และเมื่อทำการพิจารณารายคู่ที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวไม่แตกต่างกัน

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าไม่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 4-3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ของความดันโลหิตคลายตัว ที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

จากภาพที่ 4-3 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าไม่แตกต่างกัน จากภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตคลายตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้ามินิมัลวิ่งมีค่าสูงกว่า การวิ่งเท้าเปล่า และรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ตามลำดับ

บทที่ 5
สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาจากวัตถุประสงค์และสมมุติฐานของการวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

2. เพื่อเปรียบเทียบผลการใช้ออกซิเจน และความดันโลหิต ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า

สมมุติฐานในการวิจัย

1. ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกัน

2. ความดันโลหิตที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < .05$)

2. ค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < .05$) ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < .05$) แต่ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน

3. ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของบีบตัวและคลายตัวที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน

อภิปรายผล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องและสามารถนำมาอภิปรายผลตามสมมุติฐานในแต่ละข้อดังนี้

1. ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐาน

เมื่อพิจารณาในรายคู่ระหว่างจากรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย 28.73 ± 2.86 มล./กก./นาที มากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล 26.20 ± 3.30 มล./กก./นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value = .025) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Sobhani et al. (2013); Cheung and Ng (2016) ได้ทำการศึกษาการใช้ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล แตกต่างกันโดยอาจจะไม่มีผลจากน้ำหนักของรองเท้าวิ่ง แต่จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาของ Divert et al. (2008) ศึกษาความแตกต่างของน้ำหนักรองเท้าที่ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล พบว่าน้ำหนักของรองเท้าทั้ง 2 แบบ ไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Franz et al. (2012) ศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและรองเท้าวิ่งมินิมัล พบว่าน้ำหนักของรองเท้า 100 กรัม จะส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 แต่อย่างไรก็ตาม รองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณการใช้ออกซิเจน

เมื่อพิจารณารายคู่ระหว่างสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย 28.73 ± 2.86 มล./กก./นาที มากกว่าการวิ่งเท้าเปล่า 26.70 ± 2.68 มล./กก./นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value = .005) จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheung and Ng (2016) ได้ทำการศึกษาการใช้ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายมีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่าการวิ่งเท้าเปล่า และผลการศึกษาของ Hanson et al. (2011) ศึกษาปริมาณ

การใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าออกกำลังกายเทียบกับการวิ่งเท้าเปล่า บนพื้นดิน และบนลู่วิ่งไฟฟ้า พบว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายบนพื้นดิน และบนลู่วิ่งไฟฟ้าตามลำดับ มีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่าการวิ่งเท้าเปล่าบนพื้นดินและบนลู่วิ่งไฟฟ้า แต่จากการงานวิจัยของ Vincent et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า พบว่าปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ (Steady rate VO_2) ของรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน

สำหรับการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ออกซิเจนของรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน (p-value = .471) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheung and Ng (2016) ได้ทำการศึกษาการใช้ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า พบว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล มีปริมาณการใช้ออกซิเจนไม่แตกต่างจากการวิ่งเท้าเปล่า และคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Bellar and Judge (2015) ที่ศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการฝึกด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัลระหว่างการเดินและการวิ่ง พบว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนเมื่อสวมรองเท้าวิ่งมินิมัลและวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของปริมาณออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า มีความแตกต่างกัน อาจเป็นผลจากรองเท้าทั้ง 3 แบบ เนื่องจากกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหดตัวมีความแตกต่างกัน Rosato (2003) กล่าวว่าเมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายกล้ามเนื้อจะมีการทำงานหนักขึ้น ร่างกายจึงต้องการออกซิเจนไปใช้ในการลำเลียงสารอาหารเพิ่มมากขึ้นด้วย เพื่อนำไปใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ จากการรายงานของ Radcliffe and Farentinos (1999) พบว่ากล้ามเนื้อที่มีการหดตัวแบบสั้นเข้าจะมีความต้องการปริมาณออกซิเจนมากกว่ากล้ามเนื้อที่มีการหดตัวแบบยืดออก McArdle et al. (2011) กล่าวว่าสิ่งสำคัญในการวิ่งออกกำลังกายที่มีระยะไกลหรือต้องใช้กระบวนการแบบแอโรบิกนั้น คือความสามารถในการรับออกซิเจนเข้าไปในร่างกาย เพื่อใช้ในการเผาพลาญสารอาหารเป็นพลังงาน ซึ่งผู้ที่มีสมรรถภาพปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดดีจะมีความต้องการปริมาณออกซิเจนได้น้อยกว่า ในระดับความหนักของงานที่เท่ากัน จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา Squadrone, and Gallozzi (2009); Puleo and Milroy, (2010); Anderson, (2013) ได้ทำการศึกษา พบว่ารองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า มีลักษณะการใช้กล้ามเนื้อเหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lloyd (2013) พบว่าลักษณะที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล และวิ่งเท้าเปล่าเหมือนกันคือฝ่าเท้าจะสัมผัสพื้นก่อนส้นเท้า จึงทำให้กล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งเหมือนกันด้วย ได้มี

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อขณะวิ่งออกกำลังกายที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และวิ่งเท้าเปล่า Wesson et al. (2005); Puleo and Milroy (2010); Lieberman et al. (2010) และ Anderson (2013) เปรียบเทียบการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อขณะวิ่งออกกำลังกายที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและวิ่งเท้าเปล่า พบว่ามี 2 ช่วง ที่แตกต่างกัน คือ

ก. ช่วงก่อนส้นเท้าสัมผัสพื้น เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจำนวนมัดกล้ามเนื้อ Quadriceps มีการหดตัวแบบสั้นเข้าเต็มที่ทั้ง 4 มัด ส่วนการวิ่งเท้าเปล่าจำนวนมัดกล้ามเนื้อ Quadriceps มีการหดตัวแบบสั้นเข้าเต็มที่ 1 มัด เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจำนวนมัดกล้ามเนื้อ Hamstrings มีการหดตัวแบบยืดออกเต็มที่ทั้ง 3 มัด ส่วนการวิ่งเท้าเปล่า จำนวนมัดกล้ามเนื้อ Hamstrings มีการหดตัวแบบยืดออกและหดตัวแบบสั้นเข้าเล็กน้อยทั้ง 2 มัด ดังนั้นเมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจำนวนมัดกล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบสั้นเข้ามากกว่าการวิ่งเท้าเปล่า การสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายจึงน่าจะมีความต้องการปริมาณออกซิเจนมากกว่า

ข. ช่วงเท้าสัมผัสพื้นไปถึงน้ำหนักลงเต็มฝ่าเท้า ระยะที่หนึ่ง พบว่าเมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายกล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีการหดตัวแบบสั้นเข้าเต็มที่ ส่วนการวิ่งเท้าเปล่ากล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีการหดตัวแบบสั้นเข้าและยืดออกเล็กน้อย เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายกล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะหดตัวแบบยืดออก ส่วนการวิ่งเท้าเปล่า กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบยืดออกและสั้นเข้าเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย พบว่ากล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีการหดตัวเต็มที่มากกว่าจึงน่าจะมีความต้องการปริมาณการใช้ออกซิเจนมากกว่า และระยะที่สอง เมื่อสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกายและการวิ่งเท้าเปล่า กล้ามเนื้อมีการหดตัวคล้ายกัน จึงน่ามีปริมาณการใช้ออกซิเจนใกล้เคียงกัน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้ไม่ได้วัดกล้ามเนื้อโดยตรง แต่ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างได้ทำการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า เป็นระยะ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นการปรับตัวของกล้ามเนื้อให้มีความแข็งแรงและมีความเคยชินกับรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าในการเคลื่อนไหวดังกล่าว (Warne & Warrington, 2012; Baroody, 2013)

สิ่งสำคัญของร่างกายเมื่อทำการวิ่งออกกำลังกาย คือ การนำออกซิเจนเข้าไปเลี้ยงเซลล์และกล้ามเนื้ออย่างเพียงพอและต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการเผาผลาญสารอาหารให้เป็นพลังงานในรูปแบบการวิ่งออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องที่ต้องใช้ระยะเวลานาน หรือมีระยะทางที่ไกล ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการวิ่งที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล มีลักษณะการใช้กล้ามเนื้อเหมือนกับการวิ่งเท้าเปล่าในการวิ่งออกกำลังกาย ซึ่งมีปริมาณการใช้ออกซิเจนไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณการใช้ออกซิเจนน้อยกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกายอย่างแตกต่างกัน ดังนั้นการวิ่งที่เป็น

ผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล หรือการวิ่งเท้าเปล่า จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งระยะทางไกลมากขึ้นด้วย

2. จากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของความดันโลหิตบีบตัว และคลายตัว ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่มีความแตกต่างกัน ไม่สอดคล้องกับสมมุติฐาน

ขณะพักผ่อนผู้ที่มีสุขภาพดีนั้นความดันโลหิตบีบตัวมีค่าประมาณ 120 มม.ปรอท และความดันโลหิตคลายตัว 80 มม.ปรอท ในการวิจัยนี้ขณะวิ่งออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางหรือมีอัตราการเต้นของหัวใจ ร้อยละ78.6 และใช้ระยะเวลานาน ร่างกายจะต้องสร้างพลังงานจากระบบออกซิเจนในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก จึงทำให้ค่าความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากปริมาณของโลหิตที่หัวใจสูบฉีดสู่เส้นโลหิตแดงใหญ่มากขึ้นเพื่อนำไปเลี้ยงกล้ามเนื้อขณะวิ่งออกกำลังกาย (McArdle et al., 2011) จากการรายงานของถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และสิทธา พงษ์พิบูลย์ (2554) กล่าวว่าความดันโลหิตขณะเริ่มออกกำลังกายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณโลหิตที่ออกจากหัวใจเพิ่มขึ้น แต่ความดันต้านทานภายในหลอดโลหิตลดลงเพราะเส้นโลหิตฝอยขยายตัว จึงทำให้ความดันโลหิตบีบตัวมากขึ้น และส่งผลให้ความดันโลหิตคลายตัวสูงขึ้นตามด้วย McArdle et al. (2011) กล่าวว่าขณะออกกำลังกายเมื่อปริมาณการใช้ออกซิเจนถึงระดับคงที่ (Steady-rate VO_2) ความดันโลหิตบีบตัวจะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยแต่ความดันโลหิตคลายตัวจะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะวิ่งออกกำลังกาย เนื่องจากเมื่อปริมาณการใช้ออกซิเจนถึงระดับคงที่ร่างกายสามารถสูบฉีดเลือดเพื่อนำออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อเพียงพอต่อความต้องการแล้ว หลังจากการออกกำลังกายเสร็จสิ้นหลอดโลหิตที่มีการขยายตัวทำให้แรงต้านทานของการไหลเวียนโลหิตลดลง ปริมาณโลหิตในหลอดโลหิตแดงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความดันโลหิตบีบตัว และคลายตัวลดลงด้วย ดังนั้นผลต่างของค่าความดันโลหิตก่อนและหลังการออกกำลังกายจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความหนักของงานที่ทำเท่ากันและกลุ่มตัวอย่างมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดใกล้เคียงกัน

ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถวัดทำการความดันโลหิตขณะทำการทดสอบวิ่งออกกำลังกายด้วยการสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า เนื่องจากมีข้อจำกัดคืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันโลหิตขณะทำการทดสอบวิ่ง เพราะเมื่อทำการทดสอบขณะวิ่งร่างกายมีการเคลื่อนไหวจึงทำให้ค่าที่ได้ไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ตามการปรับตัวด้านความดันโลหิตและการขนส่งออกซิเจนของร่างกายเมื่อออกกำลังกายเป็นผลมาจากสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

สูงสุด (McArdle et al., 2011) ดังนั้นความดันโลหิตระหว่างวิ่งออกกำลังกายเมื่อสวมรองเท้าทั้ง 3 แบบ อาจจะไม่แตกต่างกัน

สรุปผลวิจัยพบว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าแตกต่างกันโดยการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกายใช้ปริมาณออกซิเจนมากกว่ารองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า และพบว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างของความดันโลหิตก่อนและหลังออกกำลังกายจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่าไม่มีความแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1. รองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งระยะทางที่ไกลขึ้น เนื่องจากเมื่อวิ่งแล้วปริมาณการใช้ออกซิเจนน้อยกว่ารองเท้าวิ่งออกกำลังกาย

2. ควรทำความเคยชินกับรองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่า เพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อขาก่อนการใช้รองเท้าวิ่งมินิมัลและการวิ่งเท้าเปล่าในการวิ่งออกกำลังกาย

สำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งมินิมัล หรือการวิ่งเท้าเปล่าเป็นประจำในรูปแบบต่าง ๆ เช่น รูปแบบของการวิ่งระยะทางไกล และศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อร่วมด้วย

บรรณานุกรม

กฤตพล พิทธไชย, ประทุม ม่วงมี และไพรัตน์ วงษ์นาม. (2553). ผลของการฟื้นตัวต่างแบบที่มีต่อการเคลื่อนย้ายกรดแลกติก อัตราการเต้นหัวใจ และความดันโลหิตภายหลังจากการวิ่ง 800 เมตร ในนักกีฬาบาสเกตบอลชาย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา, 10*(1), 145-162.

กัลยา กิจบุญชู. (2557). อาหารเพื่อพลังชีวิต. ใน *เพิ่มสมรรถภาพนักกีฬาด้วยโภชนาการ* (หน้า 2-10). กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

การกีฬาแห่งประเทศไทย. (2543). *เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของประชาชนไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www. sportscience.sat.or.th/utility.aspx

คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา. (2548). *วิทยาศาสตร์การกีฬา*. กรุงเทพฯ: มีเดียเพรส.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2548). *หลักการและเทคนิคการฝึกกรีฑา* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และสิทธา พงษ์พิบูลย์. (2554). *สรีรวิทยาการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: ตีรณสาร.

ประทุม ม่วงมี. (2527). *รากฐานสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและการพลศึกษา*. กรุงเทพฯ: บูรพาสาร์น.

พานทิพย์ แสงประเสริฐ (2007). ความดันโลหิตสูงกับการออกกำลังกาย: บทบาทของพยาบาล. *Hypertension and Exercise: Nursing Role, 56*(1-2), 1-13.

วุฒิพงษ์ ปรมัตถากร และอารี ปรมัตถากร. (2545). *วิทยาศาสตร์การกีฬา Sports Science* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สถาบันวิจัยประชากรและสังคมมหาวิทยาลัยมหิดล. (2559). *สถานการณ์การมีกิจกรรมทางกาย/ออกกำลังกายของคนไทย*. เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/exercisemoph/

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2555). *เพื่อสุขภาพไทย เพื่อสงคมไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.dailynews.co.th/Content/Article

American College of Sports Medicine. (2014). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (9th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Anderson, O. (2013). *Running science*. Champaign: Human Kinetics.

Baroody, N. J. (2013). *The effect of a barefoot running training program on running economy and performance*. Retrieve from http://www.unh.edu/inquiryjournal/spring-2013/effect-barefoot-training-program-running-economy-and-performance

Bellar, D., & Judge, L. W. (2015). Effect of training in minimalist footwear on oxygen consumption during walking and running. *Biology of Sport, 32*(2), 149-154.

Bootier, J. (2012). *Biomechanical efficiency and metabolic economy: Vibram five fingers versus conventional running shoes*. Retrieved from http://sonoma-dspace.calstate.edu/handle/10211.1/1512

Borg, G. A. V. (1988). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign: Human Kinetics.

Braunstein, B., Arampatzis, A., Eysel, P., & Bruggemann, G. P. (2010). Foot affects the gearing at the ankle and knee joint during running. *Biomechanics, 43*(11), 2120-2125.

Buraglio, D. (2012). *Vibram fivefingers seeya*. Retrieved from http://www.gearinstitute,com/running/minimalist/tem/vibram-fivefingers-seeya

Casimiro, S. (2011). *Outdoor retailer sneak peek: Vibram five fingers for spring 2012*. Retrieved from http://www.adventure-journal.com/2011/08/outdoor-retailer-sneak-peek-vibram-five-fingers-for-spring-2012-barefoot-running/

Cheung, R. T. H., & Ng, G. Y. F. (2010). Motion control shoe delays fatigue of shank muscle in runner with overpronating feet. *Sports Medicine, 38*(3), 486-491.

Cheung, R. T. H., & Ng, G. Y. F. (2016). Effects of footwear on running economy in distance runners: A meta-analytical review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *19*(3) 260-266.

Divert, C., Mornieux, G., Freycha, P., Baly, L., Mayer, F., & Belli, A. (2008). Barefoot-shod running differences: Shoe or mass effect ?. *International Journal of Sports Medicine, 29*(6), 512-518.

Drysdale, I. P., Collins, A. L., Walters, N. J., Brid, D., & Hinkley, H. J. (2007). Potential benefits of marathon training on bone health as assessed by calcaneal broadband ultrasound attenuation. *Journal Clinical Densitometry, 10*(2), 179-183.

Franz, J. R., Wierzbinski, C. M., & Kram, R. (2012). Metabolic cost of running barefoot versus shod: Is lighter better ?. *Medicine & Science in Sports Exercise, 44*(8), 1519-1525.

Grant, J. A., Joseph, A. N., & Campagna, P. D. (1999). The prediction of Vo_{2max}: A comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *Strength Cond, 13*(4), 346-352.

Guglielmo, L. G. A., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *Journal Sports Med, 30*, 27-32.

Hamill, J., Gruber, A. H., Freedman, J., Bruggemann, G. P., & Rohr, E. (2011). Are footfall patterns a function of running surface?. *Footwear Science, 3*(1), 66-68.

Hanson, N. J., Barg, K., Deka, P., Meendering, J. R., & Ryan, C. (2011). Oxygen cost of running barefoot vs. running shod. *Journal sport medicine, 32*(6), 401-406.

Hutchins, S., Bowker, P., Geary, N., & Richards, J. (2009). Biomechanics and clinical efficacy of footwear adapted with rocker profile-evidence in the literature. *Foot, 19*(3), 2426-2431.

Ingkatecha, O. (2012). Barefoot running. *Journal Exercise & Sport Science, 9*(1), 67-83.

Janssen, P. (2001). *Lactate threshold training*. Gorham: Human Kinetics.

Johnson, J. A. (2001). The running shoe. *In textbook of running medicine*. New York: McGraw-Hill.

Joyner, M. J. (1991). Modeling: Optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal Apply Physio, 70*(2), 683-687.

Kiat, L. K. (2011). *Running shoes 101-The anatomy of a running shoe (part 2).* Retrieved from www.orthosportssg.com/?p=380

Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Daoud, A. L., & Werbel, W. A. (2010*). Biomechanics of foot strikes & applications to running barefoot or in minimal footwear*. Retrieved from http://www.barefootrunning.fas.harvard.edu/index.html

Lloyd, S. (2013). The examination of ankle joint motion between barefoot and minimalist shoes on various inclines. *Undergraduate Review, 9*(18) 82-86.

Lucia, A., Esteve, L. J., Olivan, J., Gomez, G. F., San, A. F., Santiago, C., Perez, M., Chamorro, C., & Foster, C. (2006). Physiological characteristics of the best eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physilo Nutr Metab, 31*(5), 530-540.

Mackenzie, B. (2005). *101 Performance evaluation tests*. London: Electric Word Plc.

Mata, M. R., Pardono, E., Lima, L. C., Arsa, G., Bottaro, M., Campell, C. S., & Somoes, H. G. (2009). Effects of treadmill running and resistance exercise on lowering blood pressure during the daily work of hypertensive subject. *Journal Strength Cond Res, 23*(8), 2331-2338.

McArdle, W. D., Katch. V., & Katch F. I. (2011). *Essential of exercise physiology* (4th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

McDougall, C. (2009). *Born to run*. New York: Knopf.

Moore, I. S., Jones, A. M., & Dixon, S. J. (2013*). Relationship between metabolic cost and muscular coactivation across running speeds*. Retrieved from http://www.ncbi.nim.nih.gov/pubmed/24210693

Perl, D. P., Daoud, A. I., & Lieberman, D. E. (2012). Effects of footwear and strike type on running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 44*(7), 1335-1343.

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

Pollock, M. L., Glenn, A., Butcher, J. D., Despres, J. P., Dishman, R. K., Franklin, B. A., & Garber, C. E. (1988). Acam position stand: The recommended quantity and quality of exercise fir developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in hearthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 30*(6), 975-991.

Puleo, J., & Milroy, P. (2010). *Running anatomy.* Champaign: Human Kinetics.

Radcliffe, J. C., & Farentinos, R. C. (1999). *High-powered plyometric*. Champaign: Human Kinetics.

Reichert, T., Kanitz, A. C., Delevatti, R. S., Bagatini, N. C., Barroso, B. M., & Kruel, L. F. M. (2016). Continuous and interval training programs using deep water running improves functional fitness and blood pressure in the older adults. *Age, 38*(1), 1-9.

Ridge, S. T., Standifird, T., Rivera, J., Johnson, A. W., Mitchell, U., & Hunter, I. (2015). The effect of training in minimalist running shoes on running economy. *Journal Sport Sci Med, 14*(3), 643-647.

Rixe, J. A., Gallo, R. A., & Silvis, M. L. (2012). The barefoot debate: Can minimalist shoes reduce running-related injuries?. *Current Sports Medicine Reports, 11*(3), 160- 165.

Rosato, F. (2003). *Walking and jogging for health and wellness* (5th ed.). Champaign: Barbara Britton.

Schneider, S., Askew, C. D., Diehl, J., Mierau, A., Kleinert, J., Abel, T., Carnahan, H., & Struder, H. K. (2009). EEG activity and mood in health orientated runners after different exercise intensities. *Physiology Behavior, 96*(4), 709-716.

Schurman, C. (2014). *Foot health for outdoor enthusiasts*. Retrieved form http://www.bodyresults.com/e2footcare.asp

Shih, Y., Lin, K. L., & Shiang, T. Y. (2013). Is the foot striking pattern more important than barefoot or shod conditions in running?. *Gait & Poture, 38*(3), 490-494.

Sinclair, J., Atkins, S., Richards, J., & Vincent, H. (2015). Modelling of muscle force distribution during barefoot and shoe running. *Section I-Kinesiology, 47*(1), 9-17.

Sobhani, S., Bredeweg, S., Dekker, R., Kluitenberg, B., Edwin van der, H., Hilmans, J., & Postema, K. (2013). Rocker shoe, minimalist shoe, and standard running shoe: A comparison of running economy. *Journal of Science Medicine in Sport, 17*(3), 312-316.

Squadrone, R., & Gallozzi, C. (2009). Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot running. *Journal of Sport Medicine and Physical Fitness, 49*(1), 6-13.

Taunton, J. E., Ryan, M. B., Chement, D. B., McKenzie, D. C., Lloyd-Smith, D. R., & Zumbo, B. D. (2003). A prospective study of running injury: The vancouver sun run “in training” clinics. *British Journal of American Geriatrics Society, 52*(11), 1860-1846.

Vincent, H. K., Montero, C., Conrad, B. P., Seay, A., Edenfield, K., & Vincent, K. R. (2014). Metabolite responses of running shod and barefoot in mid-forefoot runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 54*(1), 447-455.

Warne, J. P., & Warrington, G. D. (2012). Four-week habituation to simulated barefoot running improves running economy when compare with shod running. *Journal of Medicine & Science in Sports, 24*(3), 563-568.

Wesson, K., James, N. W., Thompson, G., & Hartigan, S. (2005). *Sport and physical education a complete guide to advanced level study* (3rd ed.). India: Charon.

Wilks, D. C., Winwood, K., Gilliver S. F., Kwiet, A., Chatfield, M,. Michaelis, I., Sun, L. W., Ferretti, J. L., Sargeant, A. J., Felsenberg, D., & Rittweger, J. (2009). Bone mass and geometry of the tibia and the radius of master sprinters, middle and long distance runners, race-walkers and sedentary control participants: A pQCT study. *Bone, 45*(1), 91-97.

Williams, P. T. (2009). Reduction in incident stroke risk with vigorous physical activity: Evidence from 7.7-year follow-up of the national runners' health study. *Stroke, 40*(5), 1921-1923.

Wilmore, J., Costill, D., & Kenney, W. (2008). *Physiology of sport and exercise* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Wishhart, M. (2014). *About different type of soles for sport shoes*. Retrieve from http://livehealthy.chron.com/ddifferent-type-soles-shoes-3809.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบบันทึกการทดสอบความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีทางอ้อมของ Astrand cycle test และแบบบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ออกซิเจน

รหัส

แบบบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด
ด้วยวิธีทางอ้อมของ Astrand cycle test

วันที่:.....เวลา:……..

รายชื่อผู้เข้าร่วมวิจัย:……..โทรศัพท์:..……

อายุ:……..ปี น้ำหนัก:……..กิโลกรัม ส่วนสูง:……..เซนติเมตร

อัตราการเต้นหัวใจ (HR):……..ครั้ง/นาทีขณะพัก

ความดันโลหิต (BP):……/……มิลลิเมตรปรอทขณะพัก

หน่วยวัด	**อบอุ่นร่างกาย**	**อัตราการเต้นของหัวใจนาทีที่**							**ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจนาทีที่ 5 และ 6**	VO_2max (ml/kg/min)
	1-3	1	2	3	4	5	6	7		
อัตราการเต้นของหัวใจ										
น้ำหนักถ่วงงาน										

ผลการคัดเลือก ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน

ลงชื่อ……ผู้บันทึกผลการทดสอบ

รหัส

แบบบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ออกซิเจน

วันที่/ เดือน/ ปีที่ทดสอบ:.....เวลา:.....น.

ความดันโลหิตก่อนทดสอบทันที (BP):...../.....มิลลิเมตรปรอทขณะพัก

นาที	**ปริมาณการใช้ออกซิเจน** (VO_2)	**อัตราการเต้นหัวใจ** (HR)
อบอุ่นร่างกาย		
1		
2		
3		
ทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

ความดันโลหิตหลังทดสอบทันที (BP):...../.....มิลลิเมตรปรอทขณะพัก

ลงชื่อ.....ผู้บันทึกผลการทดสอบ

แบบประเมิน Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)

ชื่อ-สกุล.....

กรุณาตอบคำถาม 7 ข้อ ดังต่อไปนี้

	ใช่	**ไม่ใช่**
1. แพทย์เคยบอกว่าท่านมีปัญหาเรื่องหัวใจและต้องระมัดระวังถ้าต้องออกแรงหรือออกกำลังกาย และควรปรึกษาแพทย์ก่อน	☐	☐
2. เวลาท่านออกแรงหรือออกกำลังกายรู้สึกเจ็บ-แน่นหน้าอก	☐	☐
3. ในช่วงประมาณ 1 เดือน ที่ผ่านมา ท่านมีอาการเจ็บ-แน่นหน้าอกทั้ง ๆ ที่ไม่ได้ออกแรงหรือออกกำลังกาย	☐	☐
4. ท่านเคยเสียการทรงตัว เนื่องจากอาการหน้ามืด วิงเวียน หรือเคยหมดสติ	☐	☐
5. ท่านมีปัญหาเรื่องกระดูกและข้อ และการออกกำลังกายจะทำให้อาการหนักขึ้น	☐	☐
6. ปัจจุบันท่านรับประทานยาลดความดันโลหิต หรืออาการเกี่ยวกับหัวใจซึ่งแพทย์เป็นผู้สั่งยา	☐	☐
7. ท่านมีเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ท่านไม่ควรออกแรงหรือออกกำลังกาย	☐	☐

.....

ที่มา: (American college of sports medicine, 2014)

แบบทดสอบระดับความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion, RPE)

ตารางภาคผนวก ก-1 เกณฑ์ทดสอบระดับความเหนื่อยของการกล้ามเนื้อที่ใช้ในการวิ่งทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน หรือปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Borg, 1988)

6	No exertion at all
7	
8	Extremely light
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard (heavy)
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximum exertion

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีทางอ้อมของ Astrand cycle test

ขั้นตอนการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีทางอ้อมของ Astrand cycle test

การทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธี Astrand cycle test เป็นการทดสอบทางอ้อมซึ่งมีการใช้ระยะเวลาในการดำเนินไม่นาน โดยมีอุปกรณ์ คือ จักรยานวัดงาน เครื่องเคาะจังหวะ เครื่องช่วยหูฟัง นาฬิกาจับเวลา และผู้ช่วยวิจัยที่มีความแม่นยำในการทดสอบเมื่อเทียบกับการทดสอบทางตรง โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. ปรับอานจักรยานวัดงานให้เหมาะสมแก่กลุ่มตัวอย่าง โดยเข่าข้างที่เท้าเหยียบบันไดขั้นต่ำสุด งอเล็กน้อยประมาณ 5 องศา (หรือก่อนขึ้นนั่งบนอานให้ผู้ทดสอบยืนข้างจักรยานและปรับระดับอานให้ต่ำกว่าระดับสะดือประมาณ 4 นิ้วมือ)

2. ตั้งเครื่องเคาะจังหวะ ที่ความเร็ว 100 ครั้ง หรือ 50 รอบต่อนาที ให้ผู้ทดสอบถีบจักรยานวัดงานตามเสียงจังหวะเพื่อรักษาระดับความเร็วให้คงที่ โดยเท้าข้างใดข้างหนึ่งต้องอยู่ที่บันไดต่ำสุดขณะเสียงเคาะจังหวะดัง

3. ให้ผู้ทดสอบถีบจักรยานวัดงาน 2-3 นาที เพื่ออบอุ่นร่างกายและสร้างความคุ้นเคยกับจักรยานวัดงาน

4. การเลือกน้ำหนักถ่วงขึ้นอยู่กับอายุ เพศ สุขภาพ และสมรรถภาพของแต่ละคนโดยทำให้อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ระหว่าง 120-170 ครั้งต่อนาที

โดยปกติ

ผู้ชายที่ไม่ออกกำลังกาย	1-2 กิโลปอนด์ (300-600 kpm.min^{-1})
ผู้ชายที่ออกกำลังกาย	2-3 กิโลปอนด์ (600-900 kpm.min^{-1})
ผู้หญิงที่ไม่ออกกำลังกาย	1 กิโลปอนด์ (300-450 kpm.min^{-1})
ผู้หญิงที่ออกกำลังกาย	1-2 กิโลปอนด์ (450-600 kpm.min^{-1})

5. ขณะทดสอบผู้ช่วยวิจัยจะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทุกนาที เป็นเวลา 6 นาที (นับจากวินาทีที่ 45 ถึงวินาทีที่ 60 ของแต่ละนาที) โดยใช้เครื่องฟังการเต้นหัวใจ ฟังที่บริเวณ Apex หรือ เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

6. เริ่มจับเวลาเมื่อผู้ทดสอบถีบจักรยานวัดงาน รักษาความเร็วคงที่ 50 รอบต่อนาที ตามน้ำหนักถ่วงที่กำหนดให้ โดยเริ่มต้นที่ระดับความหนัก 2-3 กิโลปอนด์ (600-900 kpm.min^{-1})

7. ในนาทีที่ 2 หากอัตราการเต้นหัวใจยังคงต่ำกว่า 120 ครั้งต่อนาที ให้เพิ่มน้ำหนักถ่วงอีก 0.5 กิโลปอนด์ สำหรับผู้หญิง ผู้ชายเพิ่มน้ำหนักถ่วง 1 กิโลปอนด์ และขยายเวลาออกไปอีก 1 นาที หรือมากกว่านั้น เพื่อให้อัตราการเต้นของหัวใจสม่ำเสมอ

8. นำผลการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจช่วงนาทีที่ 5 และ 6 อัตราการเต้นหัวใจไม่แตกต่างกันไม่เกิน 5 ครั้งต่อนาที จึงทำการหาค่าเฉลี่ย แต่ถ้าหากอัตราการเต้นของหัวใจทั้ง 2 ช่วงแตกต่างกันเกินมากกว่า 5 ครั้งต่อนาที ให้ขยายระยะเวลาการทดสอบออกไปอีก 1 นาที หรือมากกว่านั้น จนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะแตกต่างกันไม่เกิน 5 ครั้งต่อนาที จึงทำการหาค่าเฉลี่ย

วิธีการคำนวณค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด

1. อ่านค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากตารางโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยที่นับได้ และน้ำหนักที่ใช้ถ่วงที่จักรยานวัดงานมีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที

2. นำค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่อ่านได้คูณกับค่า Correction factor ตามอายุเพื่อปรับแก้ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น

3. เปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดกับน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม โดยนำค่าที่ได้ในข้อ 2 คูณด้วย 1,000 มิลลิลิตร และหารน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัมของผู้ทดสอบ ค่าที่ได้เป็นปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

นำค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพเพศชายของประชาชนไทยให้อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ได้ดังนี้

ตารางภาคผนวก ข-1 เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายเพศชายของประชาชนไทย
(การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2543)

อายุ	เกณฑ์มาตรฐาน (VO_{2max}) สำหรับผู้ชาย มล./กก./นาที				
	ต่ำมาก ๆ	ต่ำ	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
17-19	≤35.7	35.8-40.6	40.7-50.5	50.6-55.4	55.5≥
20-29	≤33.4	33.5-37.9	38-47.0	47.1-51.5	51.6≥
30-39	≤27.5	27.6-31.4	31.5-39.3	39.4-43.2	43.3≥
40-49	≤24.0	24.1-27.3	27.4-34.0	34.1-37.3	37.4≥
50-59	≤20.9	21.0-24.1	24.2-30.6	30.7-33.8	33.9≥
60-72	≤19.3	19.4-22.1	22.2-27.8	27.9-30.6	30.7≥

เกณฑ์การหยุดการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ขณะทำการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน หรือปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของกลุ่มตัวอย่าง โดยมีข้อกำหนดในการทดสอบ American College of Sports Medicine (2014) ดังนี้

1. ให้หยุดการทดสอบ ถ้าอัตราการเต้นหัวใจของผู้ทดสอบมากกว่าร้อยละ 85 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (220-อายุ)

2. มีอาการหายใจติดขัด

3. ความดันโลหิตบีบตัวสูงกว่า 250 มม.ปรอท หรือความดันโลหิตคลายตัวสูงกว่า 115 มม.ปรอท

4. ใจสั่น หายใจลำบาก ตะคริว เมื่อยล้า

5. สู้สึกสับสน มึนงง หน้าซีด เจ็บหน้าอก คลื่นไส้อาเจียน

6. หัวใจล้มเหลวขณะทำการทดสอบ หรือกลุ่มตัวอย่างมีอาการแสดงที่บ่งบอกว่ามีปัญหาของหัวใจ หรือมีภาวะฉุกเฉิน

7. จังหวะการเต้นของหัวใจผิดจังหวะ

8. กลุ่มตัวอย่างต้องการหยุดการทดสอบ

9. อุปกรณ์การทดสอบเสียหายขณะทดสอบ

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Calibration)

ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

การตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Calibration gas) (Sensor Medics (YIASYS) รุ่น Vmax 29 คือ ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ โดยกำหนดปริมาณการใช้ไหลของก๊าซ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ในปริมาณที่เหมาะสมเทียบกับร่างกาย อีกทั้งยังทำการวิเคราะห์ความดันโลหิต อัตราการเต้นหัวใจ การไหลเวียนโลหิต อุณหภูมิ สันส่วนอากาศ ฯลฯ ในขณะทำการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน หรือปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด อย่างแม่นยำ

1. เปิดเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และโปรแกรมวิเคราะห์ก๊าซ ผ่านการแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

2. เริ่มต้นตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ โดยเข้าโหมดการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ก่อน โดยเริ่มต้นที่ Flow sensor calibration โดยใช้กระบอก Syringe ขนาด 3 ลิตร ปั้มอากาศ เพื่อไล่อากาศที่อยู่ข้างในเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และตรวจสอบระบบเซ็นเซอร์การไหลเวียนของอากาศ จากนั้นกดปุ่ม Spacebar to continue ต่อจากนั้นทำการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ โดยดึง Syringe เข้า-ออก 15 ครั้ง อย่างสม่ำเสมอตามจังหวะการหายใจ

3. จากนั้นเข้าโปรแกรม New study ทำการกรอกข้อมูลของผู้ทดลอง มีรายละเอียดดังนี้ ชื่อ-สกุล วัน/เดือน/ปี อายุ เพศ ชนชาติ น้ำหนัก ส่วนสูง จากนั้นกด F3 เพื่อยืนยันข้อมูล

4. ภายหลังจากกรอกข้อมูลผู้ทดลองเสร็จจึงเข้า Menu เพื่อทดสอบ Exercise/ Metabolism test ทำการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ โดยตรวจสอบการไหลเวียนของอากาศจะมีค่า Oxygen ร้อยละ 16 Carbondioxide ร้อยละ 0 และ Nitrogen balance โดยใช้สาย Gas sample line วัดทดสอบค่าก๊าซโดยผ่านโปรแกรมการวัดเทียบ Calibration complete หมายความว่า โปรแกรมได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของก๊าซโดยผ่านระบบเครื่องวิเคราะห์

5. จากนั้น ใช้สาย Gas sample line เสียบที่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซมาต่อกับ Mass flow sensor ที่หน้ากากและดำเนินการสวมใส่กับผู้ทดลอง

ภาคผนวก ง

ช่วงการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และวิ่งการเท้าเปล่า

4 สัปดาห์

ช่วงการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า 4 สัปดาห์

ตารางภาคผนวก ง-1 ช่วงการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า 4 สัปดาห์ สถานที่สนามกีฬาเชาว์ มณีวงศ์ มหาวิทยาลัยบูรพา (ดัดแปลงจาก Warne & Warrington, 2012; Baroody, 2013)

เวลา 16.00-18.00 น.

สัปดาห์	วัน	ช่วงการใช้เวลาให้เกิดความเคยชิน 4 สัปดาห์	
		สวมรองเท้าวิ่งมินิมัล	การวิ่งเท้าเปล่า
1	จันทร์	เดิน 10 นาที/ วิ่ง 5 นาที	เดิน 10 นาที/ วิ่ง 5 นาที
	พุธ	เดิน 10 นาที/ วิ่ง 5 นาที	เดิน 10 นาที/ วิ่ง 5 นาที
	ศุกร์	เดิน 10 นาที/ วิ่ง 5 นาที	เดิน 10 นาที/ วิ่ง 5 นาที
2	จันทร์	เดิน 8 นาที/ วิ่ง 7 นาที	เดิน 8 นาที/ วิ่ง 7 นาที
	พุธ	เดิน 8 นาที/ วิ่ง 7 นาที	เดิน 8 นาที/ วิ่ง 7 นาที
	ศุกร์	เดิน 8 นาที/ วิ่ง 7 นาที	เดิน 8 นาที/ วิ่ง 7 นาที
3	จันทร์	เดิน 6 นาที/ วิ่ง 9 นาที	เดิน 6 นาที/ วิ่ง 9 นาที
	พุธ	เดิน 6 นาที/ วิ่ง 9 นาที	เดิน 6 นาที/ วิ่ง 9 นาที
	ศุกร์	เดิน 6 นาที/ วิ่ง 9 นาที	เดิน 6 นาที/ วิ่ง 9 นาที
4	จันทร์	เดิน 4 นาที/ วิ่ง 11 นาที	เดิน 4 นาที/ วิ่ง 11 นาที
	พุธ	เดิน 4 นาที/ วิ่ง 11 นาที	เดิน 4 นาที/ วิ่ง 11 นาที
	ศุกร์	เดิน 4 นาที/ วิ่ง 11 นาที	เดิน 4 นาที/ วิ่ง 11 นาที

โปรแกรมวิ่งให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ได้มีการดัดแปลงมาจาก Warne and Warrington (2012) และ Baroody (2013) ทำการศึกษาเรื่องฝึกความเคยชิน 4 สัปดาห์ ในการวิ่งเท้าเปล่าเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับการสวมรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการใช้เวลาให้เกิดความเคยชินด้วยการสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล

และการวิ่งเท้าเปล่า 4 สัปดาห์ ที่สนามกีฬาเชาว์ มณีวงศ์ มหาวิทยาลัยบูรพาโดยจะทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ คือ วันจันทร์ พุธ ศุกร์ ในช่วงเวลา 16.00-18.00 น. ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การใช้เวลาให้เกิดความเคยชินโดยแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล และกลุ่มวิ่งเท้าเปล่า

2. โปรแกรมการใช้เวลาให้เกิดความเคยชิน 4 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 สัปดาห์ที่ 1 กลุ่มสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล ทำการเดินบนพื้นหญ้า 10 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 5 นาที จากนั้นสลับไปฝึกการวิ่งเท้าเปล่า ด้วยการเดินบนพื้นหญ้า 10 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 5 นาที

2.2 สัปดาห์ที่ 2 กลุ่มสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล ทำการเดินบนพื้นหญ้า 8 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 7 นาที จากนั้นสลับไปฝึกการวิ่งเท้าเปล่า ด้วยการเดินบนพื้นหญ้า 8 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 7 นาที

2.3 สัปดาห์ที่ 3 กลุ่มสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล ทำการเดินบนพื้นหญ้า 6 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 9 นาที จากนั้นสลับไปฝึกการวิ่งเท้าเปล่า ด้วยการเดินบนพื้นหญ้า 6 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 9 นาที

2.4 สัปดาห์ที่ 4 กลุ่มสวมรองเท้าวิ่งมินิมัล ทำการเดินบนพื้นหญ้า 4 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 11 นาที จากนั้นสลับไปฝึกการวิ่งเท้าเปล่า ด้วยการเดินบนพื้นหญ้า 4 นาที และวิ่งบนพื้นหญ้า 11 นาที

3. โดยกำหนดความหนักที่ระดับ 40-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งเป็นการออกกำลังกายระดับเบา (American College of Sports Medicine, 2014)

ภาคผนวก จ

ช่วงระยะเวลาของการใช้ปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ (Steady-rate VO_2)

ตารางภาคผนวก จ-1 ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มทดสอบจนถึงระดับการใช้ออกซิเจนคงที่ (Steady-rate VO_2) ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วย Athletic footwear, Minimalist, and Barefoot

Shoe character		$\overline{X}$	SD	Max	Min
Athletic footwear		12.86	2.95	18.00	2.85
Minimalist		13.84	3.91	23.00	2.77
Barefoot		12.21	1.80	16.00	1.74
Multivariate test	Λ			.919	
	F-statistic			.530	
	p-value			.602	
	Partial η^2			.081	

		Shoe character	SS	df	MS	F	P	Partial η^2
Tests of within subjects contrasts	Time	Athletic footwear VS. Minimalist	8.643	1	8.643	.529	.480	.039
	Error (time)		212.357	13	16.335			
	Time	Athletic footwear VS. Barefoot	5.786	1	5.786	.398	.539	.030
	Error (time)		189.214	13	14.555			
	Time	Minimalist VS. Barefoot	28.571	1	28.571	11.148	.303	.081
	Error (time)		323.429	13	24.879			

ผลการเปรียบเทียบช่วงระยะเวลาของการใช้ปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ (Steady-rate VO_2) ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ในระดับ Wilks' lambda (Λ) ไม่แตกต่างกัน (Λ = .919; Multivariate F-statistic = .530, p-value = .602, Partial η^2 = .081) แสดงว่า ช่วงระยะเวลาของการใช้ปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ ที่เป็นผลจากการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย รองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า ไม่แตกต่างกัน และผลการช่วงระยะเวลาของการใช้ปริมาณออกซิเจนระดับคงที่เมื่อทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และรองเท้าวิ่งมินิมัล (Univariate test) ไม่แตกต่างกัน และทำการพิจารณารายคู่ระหว่างรองเท้าวิ่งออกกำลังกาย และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าช่วงระยะเวลาของการใช้ปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ ไม่แตกต่างกัน และเมื่อทำการพิจารณารายคู่ที่เป็นผลจากรองเท้าวิ่งมินิมัล และการวิ่งเท้าเปล่า (Univariate test) พบว่าช่วงระยะเวลาของการใช้ปริมาณออกซิเจนระดับคงที่ ไม่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ฉ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบช่วงการใช้เวลาให้เกิดความเคยชิน

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

1. รศ.ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์	วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
2. ดร.ถวิชัยย์ ขาวถิ่น	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. ดร.วิรัตน์ สนธิ์จันทร์	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา