



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37
และ 25 องศาเซลเซียส

Physiological Responses During Yoga at 37 and 25 Degrees Celsius

นามผู้วิจัย นางสาวณิกกุล ทัพชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์อภัสรา อัครพันธุ์, ประ.ค.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิรักษ์ เทียนทอง, วท.ม.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริพร ศศิเมณฑกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะ
ที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

Physiological Responses During Yoga at 37 and 25 Degrees Celsius

โดย

นางสาววณิกกุล ทัพซาย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการกีฬา)
พ.ศ. 2552

วณิกกุล ทัพชัย 2552: การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะที่ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียส ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์อภัสรา อัครพันธุ์, ประ.ด. 157 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะที่ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียส กลุ่มตัวอย่างเป็นสมาชิกแอ็บเซอลูทโยคะได้มาจากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจงและสมัครใจเข้าร่วมงานวิจัย เพศหญิง อายุ 20 -40 ปี จำนวน 30 คน และครูฝึก เพศหญิง อายุ 25 ปี จำนวน 1 คน กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนและครูฝึกได้รับการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียส โดยแต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ ในแต่ละครั้งที่ฝึกโยคะนั้นจะมีการทดสอบ น้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ความยืดหยุ่นของร่างกาย ชีพจรขณะฝึก อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าความดันโลหิต ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย และส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ และวิเคราะห์หาปริมาณกรดแลคติกในเลือด ปริมาณพลาสมา และปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มเติมในครูฝึก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปร โดยใช้ dependent t – test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างเมื่อฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสทำให้อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ชีพจรขณะฝึก ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย ปริมาณเหงื่อ และมีอัตราการขับยูเรียออกทางเหงื่อมากกว่า ขณะที่ค่าความดันโลหิตไดแอสโตลิกในช่วงท้ายของการฝึกมีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าความยืดหยุ่นของร่างกายในการฝึกโยคะทั้งสองอุณหภูมิตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนการวิจัยในครูฝึกแสดงให้เห็นว่า เมื่อฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส ปริมาณพลาสมามีแนวโน้มลดลงหลังการฝึกมากกว่าเมื่อทำการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส และจากค่าปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด ปริมาณการใช้ออกซิเจน และค่าเศษส่วนการหายใจในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสยังมีแนวโน้มว่าในระหว่างการฝึกมีการใช้พลังงานจากไขมันมากกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียสพบมีแนวโน้มการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกสู่กระแสเลือดช้ากว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส

Wanikkul Tapsai 2009: Physiological Responses During Yoga at 37 and 25 Degrees Celsius. Master of Science (Sports Science), Major Field: Sports Science, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Miss Apasara Arkarapanthu, Ph.D. 157 pages.

The objective of the present study was to examine the physiological responses during yoga at 37 and 25 degrees Celsius. Thirty female volunteers, aged between 20 – 40 years old, were purposive selected from Absolute Yoga Bangkok members to take part in this study. In addition, one female instructor, of 25 years of age, also took part. All subjects and instructor practiced yoga in a heated, 37 - degree Celsius room and in a 25 - degree Celsius room. Each practice was performed 1 week apart. In each practice body weight, water intake, flexibility, heart rate, blood pressure, core temperature, composition and concentration of sweat and rating of perceived exertion were examined. Furthermore, blood lactate, plasma volume and oxygen consumption were examined in the instructor. The data were analyzed for the mean and standard error. Significant differences were tested by using dependent t – test at significance level of 0.05.

The results revealed that core temperature, heart rate, rating of perceived exertion, total sweat and sweat nitrogen loss of subjects were significantly higher, but diastolic blood pressure in the last 10 minutes was significantly lower when practiced in 37 - degree Celsius room than in 25 - degree Celsius room. There was no significant difference in flexibility between the two conditions. The results from the instructor indicated a greater reduction in plasma volume when practiced in 37 - degree Celsius room than in 25 - degree Celsius room after practice. The data of oxygen consumption, respiratory exchange ratio and blood lactate concentration indicated that during practice in 37 - degree Celsius room, fat was utilized more than carbohydrate to supply the working muscles, whereas, lactic acid mobilization during practice was slower when practiced in 25 - degree Celsius room.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงเป็นไปด้วยดีด้วยความเมตตากรุณา และความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงในการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจสอบพร้อมกับแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จากอาจารย์ ดร.อาทิตย์ อัครพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย และผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิรักษ์ เทียนทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มสมาชิกแอ็บเซอลูทโยคะสาขาเซ็นทรัลปิ่นเกล้า ที่กรุณาสละเวลา เข้าร่วมการวิจัย ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารแอ็บเซอลูทโยคะที่ให้โอกาสในการทำงานวิจัยเล่มนี้ ขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมงานที่แอ็บเซอลูทโยคะที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ และขอขอบคุณคุณรัชชวิสต์ ตั้งตรงขันติและคุณมังกร จำเนียรสุข ผู้ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย ทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างราบรื่นจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้พร้อมทั้งให้การอบรมสั่งสอนให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านการศึกษาด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ รองศาสตราจารย์นิเทศสุขกิจ ทัพชัย คุณแม่ลัดดา ทัพชัย น้องสาวคุณชญาณิศ ทัพชัย ที่สนับสนุนด้านการศึกษาและเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา ขอขอบคุณพี่และเพื่อนนิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ช่วยเหลือ ให้กำลังใจและทำให้การศึกษาในระดับปริญญาโทเป็นช่วงเวลาที่มีความสุขตลอดมา

วณิกกุล ทัพชัย

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	8
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
วิธีการ	47
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	54
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	98
สรุปผลการวิจัย	98
ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	101
ภาคผนวก	108
ภาคผนวก ก ทำที่ใช้ในการฝึกโยคะจำนวน 32 ท่า	109
ภาคผนวก ข เอกสารชี้แจงข้อมูล	111
ภาคผนวก ค การตรวจวัดปริมาณยูเรียและโซเดียม	115
ภาคผนวก ง การวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย	137
ภาคผนวก จ การเก็บเหงื่อและการคำนวณความเข้มข้นของเหงื่อ	140
ภาคผนวก ฉ วิธีการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวัดปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด	144
ภาคผนวก ช การคำนวณปริมาณพลาสมา	147
ภาคผนวก ซ วิธีการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย	150
ภาคผนวก ฌ การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของร่างกาย	155
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	157

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า BMI ซีพจรขณะพักและความดันโลหิตของ กลุ่มตัวอย่าง	55
2	การเปรียบเทียบอุณหภูมิแกนกลางร่างกายของกลุ่มตัวอย่างในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	56
3	การเปรียบเทียบซีพจรของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึก โยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศา เซลเซียส	59
4	การเปรียบเทียบความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของกลุ่ม ตัวอย่างในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	62
5	การเปรียบเทียบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่าง ในช่วงเวลา ต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	65
6	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มและปริมาณ เหงื่อทั้งหมด อัตราการหลั่งเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	68
7	การเปรียบเทียบปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อทั้งหมดและอัตราการขับ ของเสียออกทางเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	70
8	การเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างก่อนฝึกโยคะ หลัง ฝึกโยคะ และผลต่างของความอ่อนตัวของร่างกายก่อนฝึกโยคะ หลังฝึกโยคะ ของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
9	อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า BMI ชีพจรขณะพักและความดันโลหิตของครูฝึก	74
10	การเปรียบเทียบอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของครูฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	74
11	การเปรียบเทียบชีพจรของครูฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	76
12	การเปรียบเทียบความดันโลหิตของครูฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	77
13	การเปรียบเทียบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครูฝึก ในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	79
14	การเปรียบเทียบปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดในของครูฝึกเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	81
15	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ปริมาณเหงื่อทั้งหมด อัตราการหลั่งเหงื่อของครูฝึก ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	84
16	ปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อทั้งหมด อัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อและโซเดียมที่ขับออกทางเหงื่อของครูฝึกระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	86
17	การเปรียบเทียบปริมาณพลาสมาของครูฝึกก่อนการฝึกโยคะ หลังการฝึกโยคะ และผลต่างระหว่างก่อนฝึกโยคะและหลังฝึกโยคะ ของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	87
18	การเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของครูฝึกก่อนการฝึกโยคะ หลังการฝึกโยคะ และผลต่างระหว่างก่อนฝึกโยคะและหลังฝึกโยคะ ของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนของครุฟีกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	91
20	การเปรียบเทียบปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์ของครุฟีก ในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	92
21	การเปรียบเทียบ Respiratory exchange ratio ในเวลาต่าง ๆ ของครุฟีก ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิแกนกลางร่างกายของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	57
2	ชีพจรตลอด 90 นาทีของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส	60
3	การเปรียบเทียบความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของกลุ่มตัวอย่างในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	63
4	แสดงผลการทดสอบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่าง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	66
5	การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มและปริมาณเหงื่อทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	69
6	แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิแกนกลางร่างกายของครูฝึกในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	75
7	ชีพจรตลอด 90 นาทีของครูฝึก ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	76
8	ค่าความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของครูฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	78
9	ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครูฝึก ในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	80
10	ปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดของครูฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม และปริมาณเหงื่อทั้งหมดของครูฝึกในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส	85
12	ค่าปริมาณพลาสมาของครูฝึกก่อนการฝึกโยคะ และหลังการฝึกโยคะในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	88
13	ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	92
14	ค่าปริมาณการขับคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	93
15	ค่า Respiratory exchange ratio ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	94
ภาพผนวกที่		
ง1	แสดงเครื่อง Infrared Ear Thermometer	138
ง2	แสดงการวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายผ่านทางหู	139
จ1	แสดงวิธีการการติดอุปกรณ์การเก็บเหงื่อ	143
ฉ1	แสดงเครื่องตรวจ Blood Lactate ยี่ห้อ Roche รุ่น Accutrend Plus Meter	145
ฉ2	แสดงการตรวจหาปริมาณกรดแลคติก	146
ช1	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซและชุดอุปกรณ์ Metabolic Cart ยี่ห้อ Sensor Medics รุ่น Vmax 229 Series ประเทศสหรัฐอเมริกา	152
ช2	แสดงขั้นตอนการ Calibrate Flow	152
ช3	แสดงขั้นตอนการ Calibrate standard O ₂ และ standard CO ₂	153
ช4	แสดงการสวมหน้ากากเตรียมพร้อมก่อนการฝึก	153
ช5	แสดงตัวอย่างการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะฝึกโยคะ	154

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะที่ฝึกโยคะ ที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

Physiological Responses During Yoga at 37 and 25 Degrees Celsius

คำนำ

การออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาเป็นการทำให้ร่างกายได้เคลื่อนไหวและมีการใช้พลังงานจากอาหาร โดยเฉพาะพลังงานที่เกินความจำเป็น ได้ผ่อนคลายความตึงเครียดจากการเรียนหรือการทำงาน สมองก็ได้ออกกำลังกายหรือสั่งงานให้ร่างกายได้เคลื่อนไหว ระบบต่างๆ ในร่างกายทำงานเป็นปกติ ชีวิตเราจึงดำรงอยู่ได้อย่างดี ไม่เจ็บป่วย และไม่เสื่อมก่อนวัยอันควร (วาสนา, 2549)

ในปัจจุบันกิจกรรมการออกกำลังกายเพื่อสร้างเสริมสุขภาพนั้นมีมากมาย แต่กิจกรรมที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในขณะนี้คือ การฝึกโยคะ ซึ่งโยคะนั้นหมายถึง การสัมพันธ์รวมกันระหว่างร่างกายและจิตใจ เพื่อให้สรีระและจิตใจอยู่ในสภาพสมดุล โยคะศาสตร์มีมากมายหลายสาขา เช่น หะระ ราชะ ฉานะ ภักติ กัมมะ และมนตระ (ประสิทธิ์, 2538) ซึ่งแต่ละสาขาล้วนช่วยสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การฝึกโยคะช่วยยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ข้อต่อ เส้นเอ็นต่างๆ ทำให้มีเลือดไหลเวียนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายเพิ่มขึ้นและทำให้จิตใจคลายจากความตึงเครียดซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพโดยตรง (สาลี, 2544)

โยคะสาขาที่มีผู้นิยมฝึกในปัจจุบันนั้นมีมากมาย หะระโยคะเป็นสาขาหนึ่งที่เป็นที่นิยม หะระโยคะเป็นโยคะที่เน้นการอบรมกายและจิตใจให้ประสานกันอย่างสมบูรณ์ (จุฑาภรณ์, 2545) และในปี 1996 มร.บีแครม เชาคูรี เป็นปรมาจารย์โยคะชาวอินเดีย ได้นำหลักการและท่าโยคะของหะระโยคะมาฝึกในห้องควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งต่อมารู้จักในชื่อโยคะร้อน โยคะร้อนนี้เป็นการออกกำลังกายที่กำลังเป็นที่สนใจและได้รับความนิยมของคนหันมาใส่ใจสุขภาพ ด้วยการออกกำลังกายอย่างมาก แต่ละท่วงท่าที่ฝึกสามารถรวบรวมเอาร่างกาย สมาธิ และจิตใจไว้ด้วยกัน ได้มีการกล่าวถึงข้อดีของการฝึกโยคะร้อนไว้มากมายว่าช่วยบรรเทาอาการเจ็บป่วย ผ่อนคลายความเครียด เสริมสร้างสมาธิ รวมทั้งรักษารูปร่างทรวดทรงให้คงงามได้ การเล่นโยคะในห้องร้อนนี้จะทำให้กล้ามเนื้อยืดหยุ่นได้มากกว่าในห้องอุณหภูมิปกติ ท่าต่างๆ ของโยคะร้อนจะ

ช่วยกระชับกล้ามเนื้อในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ลดปัญหาการปวดหลังและปวดคอ รวมทั้งทำให้การทำงานของระบบการไหลเวียนเลือดดีขึ้นกว่าเดิม นอกจากนี้คุณสมบัติที่สูงยังช่วยให้ร่างกายสามารถกำจัดของเสียออกมาในรูปของเหงื่อได้เป็นอย่างดี และทำให้รู้สึกสดชื่นสบายตัวหลังการฝึก (เพชรพรรณ, 2548)

สุขภาพร่างกายที่สมบูรณ์แข็งแรงนั้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งการจะสร้างเสริมให้มีสุขภาพร่างกายแข็งแรงจำเป็นต้องออกกำลังกายจากประโยชน์ในด้านต่างๆ ของการฝึกโยคะที่ได้กล่าวมานั้นจะเห็นได้ว่า การฝึกโยคะสามารถเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายได้เป็นอย่างดี ซึ่งสมรรถภาพของร่างกายที่ดีขึ้นนั้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายขณะที่ฝึกโยคะ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ทราบถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะและทราบความแตกต่างของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะในที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส
2. เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

สมมติฐานการวิจัย

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส
2. ผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งต่อไป

ขอบเขตงานวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ สมาชิกของแอ็บเซอลูทโยคะ เพศหญิง อายุระหว่าง 20 – 40 ปี
2. ครูฝึกโยคะของแอ็บเซอลูทโยคะ (ผู้วิจัย) ซึ่งเป็นครูฝึกให้กับกลุ่มตัวอย่าง เพศหญิง อายุ 25 ปี จำนวน 1 คน

3. กลุ่มตัวอย่างเคยฝึกโยคะมาแล้วอย่างน้อย 10 ครั้ง และครูฝึกโยคะมีการฝึกโยคะเป็นประจำ

4. กลุ่มตัวอย่างและครูฝึกไม่มีโรคประจำตัวที่อาจเป็นอันตรายในระหว่างการออกกำลังกาย

5. กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัยด้วยความสมัครใจ

6. การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

7. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

ตัวแปรต้น (Independent variable)

- โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ก)
- โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ก)

ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึก โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านต่างๆ ดังนี้

- 1) ชีพจรขณะฝึก (Heart rate)
- 2) ค่าความดันโลหิต (Blood pressure)
- 3) การสูญเสีย^๑น้ำในร่างกาย (Sweat loss) ประมาณค่าจาก
 - การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว
 - ปริมาณน้ำที่ดื่มระหว่างฝึก
- 4) อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย (Core temperature)

5) ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion: RPE / Borg' s scale)

6) ความยืดหยุ่นของร่างกาย

7) ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ

และครูฝึกจะได้รับการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ชีพจรขณะฝึก (Heart rate)

2) ค่าความดันโลหิต (Blood pressure)

3) การสูญเสียน้ำในร่างกาย (Sweat loss) ประมาณค่าจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มระหว่างฝึก

4) อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย (Core temperature)

5) ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion: RPE / Borg' s scale)

6) ความยืดหยุ่นของร่างกาย

7) ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ

8) ปริมาณการใช้ออกซิเจน

9) ปริมาณพลาสมา (Plasma volume)

10) กรดแลคติก

นิยามศัพท์

การตอบสนองทางสรีรวิทยา หมายถึง เมื่อมีการออกกำลังกายร่างกายจะมีการเปลี่ยนแปลงทางหน้าที่และกลไกการทำงาน ซึ่งเกิดขึ้นทันที การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเพียงชั่วคราว และหมดไปในระยะเวลาอันสั้นภายหลังจากออกกำลังกาย การตอบสนองต่อการออกกำลังกายในงานวิจัยนี้ได้แก่ ชีพจรขณะฝึก ความดันโลหิต อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย การสูญเสียเหงื่อของร่างกาย ปริมาณการใช้ออกซิเจน กรดแลคติกในกระแสเลือด ความยืดหยุ่น และส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ

การฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส หรือโยคะร้อน หมายถึง การบริหารร่างกายด้วยชุดท่าโยคะ 32 ท่า (ภาคผนวก ก) ที่ต่อเนื่องผสมผสานกับการหายใจ โยคะร้อนนี้จะทำการฝึกในห้องที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และจะใช้เวลาประมาณ 90 นาที

การฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หมายถึง การบริหารร่างกายด้วยชุดท่าโยคะ 32 ท่า (ภาคผนวก ก) ที่ต่อเนื่องผสมผสานกับการหายใจ โยคะนี้จะทำการฝึกในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และจะใช้เวลาประมาณ 90 นาที

ปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption; VO_2) หมายถึง อัตราของก๊าซออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้เซลล์เพื่อใช้ในการสันดาปเป็นพลังงานต่อหนึ่งนาที โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ และระบบกล้ามเนื้อ หน่วยที่ใช้วัดปริมาณการใช้ออกซิเจนสามารถวัดออกมาได้ทั้งหน่วยที่เป็นค่าสัมบูรณ์ (absolute) ซึ่งได้แก่ ลิตรต่อนาที หรือมิลลิลิตรต่อนาที และหน่วยที่เป็นค่าสัมพัทธ์ ซึ่งได้แก่ มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที โดยทั่วไปในการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนระหว่างบุคคลนั้น จะใช้หน่วยที่เป็นค่าสัมพัทธ์ เนื่องจากปริมาณการใช้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของร่างกาย

กรดแลคติก (Lactic acid) หมายถึง กรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดกรดแลคติกสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและเลือดเป็นสาเหตุสำคัญของการเมื่อยล้า

การสูญเสียน้ำในร่างกาย (Sweat loss) หมายถึง ภาวะที่ร่างกายมีการสูญเสียน้ำออกไป เนื่องจากการออกกำลังกายต่อเนื่อง ทำให้ร่างกายมีอัตราการขับเหงื่อเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้มีปริมาณน้ำในร่างกายลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อออกกำลังกายในที่ร้อนและมีความชื้นในอากาศจะทำให้ร่างกายมีการเสียน้ำไปในรูปของเหงื่อได้มากกว่าปกติ สามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวหลังจากการออกกำลังกายหักลบด้วยปริมาณน้ำที่ดื่มในระหว่างการออกกำลังกาย

ปริมาณพลาสมา (Plasma volume) หมายถึง ปริมาตรน้ำเลือดในร่างกาย สามารถคำนวณได้จากการประมาณปริมาตรเลือดทั้งหมดในร่างกายลบด้วยปริมาตรเม็ดเลือดแดง

ความยืดหยุ่นของร่างกาย (Flexibility) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อและข้อต่อในการเคลื่อนไหวได้เต็มช่วงการเคลื่อนไหว (Range of motion) การขาดความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อจะทำให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวลดลง ในที่นี้วัดโดย Sit and reach test

การตรวจเอกสาร

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. โยคะและโยคะร้อน
2. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายขณะออกกำลังกาย
3. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายขณะออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูง
4. กลไกการรักษาอุณหภูมิและสมดุลน้ำในร่างกาย
5. ปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกาย
6. กรดแลคติกในขณะออกกำลังกาย
7. ความอ่อนตัวและช่วงของการเคลื่อนไหว

โยคะและโยคะร้อน

โยคะเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์แห่งการบริหารชีวิตให้กายและจิตมีความสมดุลกับธรรมชาติ มีต้นกำเนิดมาจากอินเดีย พวกที่ฝึกโยคะแรก ๆ เป็นพวกโยคี มีการปฏิบัติสืบต่อกันมากกว่า 6,000 ปี เนื่องจากโยคะเป็นการฝึกที่ได้ประโยชน์ทั้งต่อร่างกายและจิตใจ ทำให้เกิดสมาธิ จึงมีผู้สนใจศึกษาและฝึกโยคะมากมาย โยคะได้แตกแขนงออกไปเป็นหลากหลายสาขา ถึงแม้จะมีความแตกต่างกันบ้างในแต่ละสาขาของโยคะ แต่ประโยชน์ที่ได้จากการฝึกนั้นก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก มีผู้ให้ความหมายของโยคะไว้ดังนี้

สาลี (2544) ได้ให้ความหมายของโยคะไว้ว่า โยคะ (Yoga) เป็นภาษาสันสกฤต แปลว่าการรวมให้เป็นหนึ่ง (Union) ซึ่งหมายถึงการรวมกาย จิตและวิญญาณให้เป็นหนึ่งเดียวกัน การฝึกโยคะจึงเป็นกระบวนการสำหรับฝึกกาย ฝึกการหายใจ และฝึกจิตใจให้มีความจดจ่อกับเรื่องลมหายใจเข้าออก อันจะนำไปสู่การมีสมาธิที่ดีขึ้น

พิระ (2538) กล่าวว่า โยคะมาจากรากศัพท์สันสกฤตว่า โยค ซึ่งหมายถึง หนึ่งหรือรวม (Union) คือ การสร้างสมดุลระหว่างร่างกาย จิตใจและวิญญาณ และเป็นการรวมพลังร้อนกับพลังเย็นในร่างกายให้มีความสมดุล ในการสร้างสมดุลจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ประการ คือ

การบริหารร่างกาย การหายใจเพื่อให้พลังชีวิต หรือปราณวิ่งเข้าสู่ร่างกายเพื่อถ่ายเทสารพิษออกจากร่างกาย การทำสมาธิเพื่อให้จิตสงบ การมีสติอยู่ตลอดเวลา และการผ่อนคลายและพักผ่อน

แพทย์พงศ์ (2542) ให้ความหมายของโยคะไว้ว่า หมายถึงการกระทำ การลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ถึงจุดหมายหมาย คือ โมกษะ ความหลุดพ้นจากทุกข์ นอกจากนี้ ความหมายของโยคะตามหลักของท่านปตัญจลี ยังหมายถึง วิริยะ ความพากเพียร เพื่อให้จิตหลุดพ้น เพราะตามหลักปรัชญาโยคะเชื่อว่า จิตโดยสภาพของมันย่อมมีปกติดิ้นรน กวัดแกว่ง ห้ามได้ยาก รักษาให้อยู่กับที่ได้ยาก มีปกติหงุดหงิด และมักจะคิดฟุ้งซ่านไปตามอำนาจของกิเลสตัณหา ซึ่งวิธีการที่จะดับอาการดังกล่าวของจิตได้จะต้องปฏิบัติตามแนวโยคะ

พงษ์ศักดิ์ (2542) โยคะ แปลว่า การประกอบ การผูก การเกี่ยวข้อ การร่วม ความพยายาม ความเพ่งเล็ง แน่วแน่ ความตั้งใจจริง การสงบตัว หรือแปลว่า ความเป็นระเบียบเรียบร้อยหรือแถวแนวของธรรมต่างๆ

มานพ (2543) กล่าวว่า โยคะเป็นภาษาสันสกฤต หมายถึง การรวมตัวเป็นหนึ่งเดียวกัน จุดมุ่งหมายของการฝึกโยคะ ก็เพื่อสร้างความเป็นหนึ่งเดียวระหว่างโลกภายในตัวเรากับโลกภายนอก และสลายความปั่นป่วนวุ่นวายภายในเพื่อจะช่วยให้เรามีศักยภาพในตัวเองอย่างเต็มที่

Metha *et al.* (1990) กล่าวว่า โยคะเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของชาวอินเดีย เพื่อแสวงหาความจริงแท้ของจิตวิญญาณ ดังนั้นคำว่า โยคะจึงหมายถึงการค้นหาจิตวิญญาณและประสานไว้ให้เป็นหนึ่งเดียวกัน

วรวิภา (2547) กล่าวว่าโยคะหมายถึง การรวมกายและจิตวิญญาณให้เป็นหนึ่งเดียวกัน เพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ การฝึกโยคะจึงมีส่วนช่วยให้มนุษย์มีสภาพจิตใจและร่างกายที่สมบูรณ์ขึ้น อันจะส่งผลให้ดำเนินชีวิตได้อย่างเป็นปกติสุข

กล่าวโดยสรุป โยคะจึงหมายถึง การฝึกกาย ฝึกจิตให้ประสานเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน สร้างให้เกิดดุลยภาพของร่างกายและจิตวิญญาณ ซึ่งผลของการฝึกโยคะนั้นจะช่วยให้ร่างกายสมบูรณ์แข็งแรง เกิดสมาธิเกิดความสงบในจิตใจอันส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางอารมณ์ มีสุขภาพจิตดี สามารถดำเนินชีวิตได้อย่างปกติสุข

องค์ประกอบ 8 ประการของการฝึกโยคะ

สตาลี (2546) กล่าวว่า โยคะไม่ใช่เป็นเพียงแต่การฝึกท่าต่างๆ แต่ยังเป็นเรื่องของการศึกษา และทำความเข้าใจกับตนเอง การฝึกโยคะจึงเป็นการฝึกตนเองใน 8 ด้าน ดังนี้

1. ยมะ (Yama) เป็นการรักษาศีลและฝึกฝนตนเองให้เป็นผู้ที่มีจริยธรรมอันดีงาม รู้จักตั้งอยู่ในความพอดี มีชีวิตที่เรียบง่าย ผู้ที่รู้จักรักษาศีล ฝึกควบคุมความคิดและการกระทำให้เหมาะสม ตั้งอยู่ในความพอดี ไม่เบียดเบียนตนเองและคนอื่นจะเป็นผู้ที่ฝึกโยคะก้าวหน้าไปได้เร็ว
2. นียมะ (Niyama) คือความมีวินัยในตนเอง รู้จักรักษาร่างกายให้สะอาดและรักษาจิตให้บริสุทธิ์ ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับตนเอง ไม่สร้างปัญหาแก่ตนเองหรือสร้างความเดือดร้อนให้กับผู้อื่น
3. อาสนะ (Asana) หมายถึงท่าโยคะ เป็นท่าที่ใช้ในการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพื่อบริหารกาย ฝึกจิตและวิญญานให้รวมเข้าด้วยกัน
4. พรานายามะ (Pranayama) หรือ ปราณ เป็นการกำหนดลมหายใจเข้าออก อย่างเป็นระบบ
5. พรายาหาระ (Pratyahara) เป็นการศึกษาโลกภายใน ฝึกควบคุมจิตหรือความคิดของตนเอง มีความสุขกับชีวิตที่เรียบง่าย
6. ธารณะ (Dharana) ความนิ่งหรือความจดจ่อ เป็นสภาวะที่กายนิ่งอยู่ในท่าโยคะและจิตก็อยู่กับลมหายใจเข้าออก ธารณะก็คือสมาธิขั้นต้นนั่นเอง
7. ธยานะ (Dyhana) เป็นความนิ่งหรือสมาธิที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน เป็นสภาวะที่กายและจิตสมดุล มีความสงบเยือกเย็น

8. สมาธิ (Smadhi) ถือว่าเป็นภาวะสงบเย็น ร่างกายและจิตใจอยู่ในภาวะพัก ไม่ถูกรบกวน ด้วยวัตถุจากโลกภายนอก ค้นพบได้ว่าความสุขที่แท้จริงนั้นเกิดขึ้นได้จากความสงบภายในตัวเราเอง มิใช่ได้จากวัตถุหรือสิ่งของที่แสวงหามาจากภายนอก

ชนิดของโยคะ

ในสมัยก่อนกว่าพันปีมีผู้ฝึกโยคะมากมายทั้งในอินเดีย และมีการเผยแพร่ไปทั่วโลก ทำให้มีการเรียกชื่อโยคะแตกต่างออกไปมากมาย แต่คงเป็นการยากหากจะสรุปว่าโยคะแบ่งเป็นกี่ประเภท สาลี่ (2546) ได้จำแนกโยคะที่นิยมและรู้จักกันมากในปัจจุบัน ดังนี้

1. หาระโยคะ (Hatha yoga)
2. ไอเณกะโยคะ (Iyengar yoga)
3. คุณดาลินีโยคะ (Kundalini yoga)
4. โยคะสมาธิ (Yoga meditation)
5. อัสดังกะโยคะ (Ashtanga yoga)
6. โยคะแนวสิวะนันทะ (Sivananda yoga)
7. โยคะแนวคริปาลู (Kripalu yoga)
8. ราชาโยคะ (Raja yoga)
9. โยคะร้อน (Bikram yoga or hot yoga)

การศึกษาของ อุดร (2545) พบว่า การฝึกไอเณกะโยคะในกลุ่มนักเรียนชายอายุ 14-15 ปี จะทำให้ความอ่อนตัวของหัวไหล่ ลำตัว สะโพกและข้อเท้าเพิ่มขึ้น ยังมีการศึกษาของ Vaze *et al.* (1998) พบว่า เมื่อฝึกโยคะเป็นประจำ ในกลุ่มผู้หญิงอายุ 22-69 ปี ทำให้น้ำหนักตัว รอบเอว รอบสะโพกลดลง และปอดมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และการศึกษาของ Tran *et al.* (2001) พบว่า การฝึกโยคะทำให้ความแข็งแรง ความอดทนของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัวและความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น

หาระโยคะ (Hatha yoga) เป็นโยคะสาขาที่เกี่ยวข้องกับร่างกายโดยตรง เพื่อพัฒนาร่างกายให้สมบูรณ์และมีสุขภาพร่างกายแข็งแรง ซึ่งเป็นปัจจัยให้สุขภาพของจิตใจสมบูรณ์ด้วย (ฤทธิ, 2542) หลักการของหาระโยคะ คือ สุขภาพทางกายเป็นรากฐานของสุขภาพทางจิต หาระโยคะเริ่มต้นด้วยการเน้นหนักถึงความสำคัญของการหายใจที่ถูกต้อง แล้วจึงไปสู่กระบวนการฝึกอาสนะ

ต่าง ๆ ประโยชน์ที่จะได้รับก็คือ เป็นผู้มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง เป็นปัจจัยให้มีสุขภาพทางจิตสมบูรณ์ต่อไป (สุวณีย์ และ เขียวเรศ, 2542)

พงษ์ศักดิ์ (2542) ได้กล่าวว่า การฝึกหะระโยคะ ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ อาสนะ (Asana) หรือการบริหารกายของโยคะ และปราณ (Pranayama) หรือการบริหารลมหายใจตามหลักโยคะ

1. อาสนะ (Asana) แปลว่า ท่า อาการ ท่าบริหารกายตามหลักวิชาโยคะ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการบำรุงกล้ามเนื้อ กระตุ้นเร้าทางประสาทจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยผลลัพธ์จากการปฏิบัติ ช่วยการยืดหยุ่น และผ่อนคลายจนเกิดความสุข (จุฑาภรณ์, 2545)

2. ปราณ (Pranayama) มีความหมายว่า การควบคุมลมหายใจ (จุฑาภรณ์, 2545) หรือการบริหารลมหายใจตามหลักโยคะ วิธีปฏิบัติคือ ฝึกหัดตนให้หายใจให้ลึกเป็นปกติ (พงษ์ศักดิ์, 2542)

โดยมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการฝึกหะระโยคะของ จิรภรณ์ และ นฤพนธ์ (2543) พบว่าการออกกำลังกายแบบหะระโยคะ ทำให้ความจุปอด อัตราการหายใจ ความอ่อนตัว และภาวะความเครียดทางจิตใจดีขึ้น และการศึกษาของ Schell et al. (1994) พบว่า การฝึกหะระโยคะในวัยรุ่นผู้หญิง ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง ความดันโลหิตดีขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาของ Ray et al. (2001) พบว่า การฝึกหะระโยคะ ทำให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นและคะแนนการรับรู้ความเหนื่อยน้อย (Perceived exertion) ลดลง

ประโยชน์ของการฝึกโยคะ

โยคะมีประโยชน์มากมายหลายด้าน สาลี (2544) ได้สรุปประโยชน์ของโยคะได้ดังนี้

1. ช่วยให้เลือดไหลเวียนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ดีขึ้น ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อด้วยท่าต่างๆ ตามแบบของโยคะ ประกอบกับการฝึกหายใจเข้าออกช้าๆ และลึกๆ อย่างเป็นระบบ การยืดเหยียดทำให้หลอดเลือดขยายตัวและเลือดสามารถไหลเวียนไปยังส่วนต่างๆ ได้มากขึ้น

2. ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับข้อต่อต่างๆ ทำให้ข้อต่อสามารถเคลื่อนไหวได้ระยะหรือมุมการเคลื่อนไหว (Range of motion: ROM) ที่มากกว่าเดิม

3. ช่วยผ่อนคลายและลดความตึงเครียดที่เกิดจากการทำงานในชีวิตประจำวัน โยคะเป็นการฝึกหายใจให้สอดคล้องกับท่าปฏิบัติทำโยคะ นอกจากนั้น ยังมีการฝึกกำหนดลมหายใจหรือที่เรียกว่าปราณ ซึ่งให้ผลโดยตรงในด้านการผ่อนคลายทั้งร่างกายและจิตใจ

4. ช่วยแก้ไขทรวดทรง (Posture) ให้ดีขึ้นเพราะขณะที่มีการปฏิบัติทำโยคะ ผู้ฝึกจะเรียนรู้เกี่ยวกับการทรงตัวที่ดี ฝึกการกระจายน้ำหนักผ่านแขน ขา และกระดูกสันหลังอย่างเหมาะสม

5. ช่วยทำให้สมาธิดีขึ้น ทั้งนี้เพราะการฝึกโยคะก็คือวิธีการฝึกสมาธิรูปแบบหนึ่งร่างกายจะมีการเคลื่อนไหวให้สัมพันธ์กับความคิด (จิต) และลมหายใจเข้าออก

6. ช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อยที่เกิดขึ้นจากการเล่นกีฬาหรือการทำงานในชีวิตประจำวัน การฝึกโยคะช่วยยืดกล้ามเนื้อและเอ็นที่ข้อต่อส่วนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่กระดูกสันหลัง (Spine) ทำให้อาการปวดเมื่อยบรรเทาลง

7. โยคะช่วยลดอาการปวดประจำเดือน

8. โยคะมีผลในทางบำบัดรักษา โรคต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากความเครียด (เช่น ไมเกรน) หรือกล้ามเนื้อเกร็งและตึง (เช่น ปวดไหล่)

9. ช่วยเพิ่มความสามารถในการทรงตัวเพราะท่าโยคะหลายท่าเน้นในเรื่องของการรักษาสมดุลขณะที่อยู่ในท่า ทั้งนี้ รวมถึงท่าที่ต้องมีการยืนทรงตัวบนเท้าข้างเดียวด้วย เช่น ท่าต้นไม้ ผู้ที่อยู่ในวัยสูงอายุจะเริ่มมีปัญหาเกี่ยวกับการทรงตัวการฝึกโยคะจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

10. เพิ่มความมีสติ (Awareness) กล่าวคือ ผู้ฝึกสามารถรับรู้ท่าทางการเคลื่อนไหวที่ไม่ถูกต้องของตนเองได้เร็วขึ้น ในขณะที่อยู่ในท่านั่ง นอน ยืน เดิน หรือทำงานในชีวิตประจำวัน นอกจากนั้น ความมีสติดังกล่าวยังหมายถึงไปถึงความรวดเร็วในการรับรู้ต่ออารมณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อมีสติ รู้ทัน ก็สามารถควบคุมอารมณ์ต่างๆ ไม่ให้หวั่นไหวตามสิ่งที่มากระตุ้นและยั่วๆ ทำให้จิตสงบลงได้ระดับหนึ่ง

11. ช่วยทำให้เย็นลง โยคะมีการฝึกหายใจ ผู้ฝึกสามารถหายใจได้ยาวและลึกขึ้นกว่าเดิม การหายใจช้าๆ และลึกๆ สามารถนำไปใช้ได้ในขณะที่เริ่มหุดหงิด โกรธ หรืออารมณ์บู๊นด้วยเรื่องต่างๆ จะช่วยระงับความรุนแรงของความโกรธได้ในระดับหนึ่ง ทั้งนี้ ผู้ฝึกเองต้องเข้าใจด้วยว่า ความโกรธเป็นการกระตุ้นให้ฮอร์โมนและร่างกายทำงานเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเสียต่อร่างกายและจิตใจโดยตรง

เอกชัย (2538) ได้สรุปประโยชน์จากการฝึกหะระโยคะออกเป็น 2 ด้าน คือ

1. ผลที่มีต่อร่างกาย

1.1 ทำให้กล้ามเนื้อ เอ็น ข้อต่อต่าง ๆ มีความยืดหยุ่นแข็งแรงมากขึ้น

1.2 ทำให้กล้ามเนื้อผ่อนคลาย ไม่ล้า ไม่เกร็ง เนื่องจากการหดยึดของกล้ามเนื้อได้ดีเพื่อการไหลเวียนของโลหิตมาเลี้ยงกล้ามเนื้อมากขึ้น ช่วยให้การคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ถูกขจัดออกไป

1.3 ช่วยให้อาการข้อต่อต่าง ๆ ลดลง ทำให้กระดูกแข็งแรงโดยเฉพาะกระดูกสันหลังมีความยืดหยุ่นและแข็งแรงขึ้น

1.4 ทำให้อวัยวะภายในแข็งแรง ทำหน้าที่ได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารและลำไส้จะขับถ่ายของเสียได้สะดวก เพิ่มประสิทธิภาพของระบบน้ำย่อย ป้องกันอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ และท้องผูกเป็นอย่างดี

1.5 ทำให้ระบบไหลเวียนโลหิต และระบบน้ำเหลืองทำงานได้ดีขึ้น

1.6 ทำให้ความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจลดลง การหายใจเข้าออกช้าทำให้ปอดได้รับออกซิเจน และถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

1.7 เพิ่มอัตราการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงานได้มากขึ้น

1.8 ทำให้สุขภาพดีขึ้นและช่วยรักษาอาการของโรคต่างๆ เช่น โรคกระเพาะ โรคความดันโลหิตสูง โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคเกี่ยวกับข้อต่อต่างๆ โรคหัวใจ โรคปวดหลัง เป็นต้น

1.9 ทำให้ร่างกายกระปรี้กระเปร่า กระฉับกระเฉง เต็มไปด้วยพลัง แจ่มใส คล่องแคล่ว ว่องไว ประสาทสัมผัสดีขึ้น การเรียนรู้และทักษะทางกลไกเพิ่มขึ้น

2. ผลที่มีต่อทางด้านจิตใจ

2.1 ช่วยกระตุ้นระบบประสาทและต่อมไร้ท่อต่างๆ ให้ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และจะส่งผลถึงการรับรู้ ความจำความคิด การพูด การสื่อสารภายใน คล่องแคล่ว ความกระฉับกระเฉงและความตื่นตัวทางจิตใจดีขึ้น

2.2 ช่วยกระตุ้นระบบประสาทอัตโนมัติให้ทำงานดีขึ้นในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่ก่อให้เกิดความเครียด และสามารถปรับตัวให้คืนสู่สภาพปกติได้อย่างรวดเร็ว ทำให้อาการเหนื่อยชา เชื่องซึม อ่อนเพลียหายไป ทำให้จิตใจเข้มแข็ง

2.3 ช่วยทำให้พัฒนาการทางด้านจิตใจมั่นคงต้นตัว และทำให้เกิดสมาธิ

จุฑาภรณ์ (2545) ได้สรุปประโยชน์ของโยคะไว้ดังนี้

1. สร้างความสมดุลแก่ร่างกาย ซึ่งเป็นการป้องกันโรคภัยไข้เจ็บ และสร้างภูมิคุ้มกันโรค ทำให้สุขภาพสมบูรณ์

2. ทำให้เนื้อเยื่อ ต่อมต่างๆ อวัยวะภายใน กล้ามเนื้อ กระดูก เอ็น ข้อต่อ และกระดูกสันหลังได้รับการบริหารไปด้วย

3. ทำให้ร่างกายกระปรี้กระเปร่ากลับคืนสู่การมีชีวิตชีวา

4. เพิ่มพลังทางกายและพลังทางจิต ให้มีความแข็งแรง อดทน
5. ลดค่าใช้จ่ายในการรักษาโรค
6. สามารถควบคุมร่างกาย อารมณ์และจิตใจได้ดีขึ้น มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น
7. เกิดความสงบแก่จิตใจ ลดความเครียดและความกังวลทางจิต
8. ชะลอความแก่ ช่วยให้อายุยืน
9. สามารถทำตนให้เป็นประโยชน์ต่อตนเองและสังคมส่วนรวม

โยคะร้อน

โยคะร้อน (Bikram yoga หรือ Hot yoga) เป็นการออกกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมอยู่ในขณะนี้ ประวัติความเป็นมาของโยคะร้อนนั้นถูกคิดค้น โดย มร.บิเครม เซาเดรี (Bikram Choudhury) ในปี ค.ศ. 1996 มร.บิเครม เป็นอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านโยคะชาวอินเดีย จนเป็นที่ยอมรับในฐานะปรมาจารย์ที่มีความรู้ด้านหะฐะโยคะ (Hatha yoga) มากที่สุดระดับโลกคนหนึ่ง มร.บิเครม เซาเดรี (Bikram Choudhury) เกิดที่เมืองคัลคัตตา ประเทศอินเดีย ในปี 1946 และได้เริ่มฝึกโยคะตั้งแต่อายุ 4 ปี บิเครมได้คัดเลือกท่าหะฐะโยคะจำนวน 26 ท่าและการฝึกหายใจ 2 ทำนำมาจัดเรียงลำดับแล้วจดลิขสิทธิ์ในนาม “Bikram yoga” (Pizer, 2008)

โยคะร้อน ประกอบด้วย 26 ท่าหลัก โดยคัดเลือกมาจากท่าโยคะต่างๆ หลายร้อยท่า แต่มีลักษณะพิเศษกว่าโยคะประเภทอื่นตรงที่แต่ละท่านั้นสามารถบริหารได้ทุกสัดส่วนของร่างกาย เช่น มีการยืดเหยียดไปทั้งด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง สลับกัน ที่สำคัญคือ การเล่นในห้องที่มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในร่างกายประมาณ 36-40 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 40% สำหรับในประเทศไทยส่วนใหญ่จะนิยมตั้งอุณหภูมิในการออกกำลังกายอยู่ที่ประมาณ 36-37 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ละประเทศรวมทั้งความพอใจของผู้เล่นด้วย สำหรับท่าในการออกกำลังกายของโยคะร้อนนั้น แต่ละท่วงท่าที่ออกแบบและคัดเลือกมา ทั้ง 26 ท่า เหมาะกับผู้เล่นทุกระดับไม่ว่าจะเพิ่งเริ่มเล่นเป็นครั้งแรกหรือเคยฝึกมานานแล้วก็ตาม เพราะแต่ละ

ท่าจะอยู่ในระดับขั้นพื้นฐาน (Beginner) ผสมผสานความยืดหยุ่น ความแข็งแรง เน้นการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนหลังและหัวเข่า รวมทั้งความสมดุลเข้าไว้ด้วยกัน จึงเป็นการท้าทายให้ผู้เล่นพยายามปฏิบัติแต่ละท่าให้ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตั้งใจจดจ่ออยู่กับท่าที่กำลังปฏิบัติว่าควรเคลื่อนไหวอย่างไร ด้วยจังหวะช้าหรือเร็วขนาดไหน ถือว่าเป็นการบังคับตัวเองให้เกิดสมาธิอย่างเป็นธรรมชาติ

นอกจากนี้ โยคะร้อนเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะของความสมดุลตามธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยแก้ไขด้านบุคลิกภาพ เช่น การนั่งหลังโก่งหรือห่อไหล่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่า Back bend หรือการเอนตัวไปข้างหลังนั้นจะช่วยยืดกล้ามเนื้อบริเวณสะโพก กระชับกล้ามเนื้อส่วนก้นและหน้าท้อง ในขณะที่เดียวกันยังช่วยให้เลือดไหลเวียนไปเลี้ยงสมองได้ดี

"โยคะร้อน" จะผสมผสานระหว่างความแข็งแรง สมดุล สมาธิ และการกำหนดลมหายใจ รวมถึงช่วยยืดหยุ่น และสร้างความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อในร่างกาย นอกจากนี้ โยคะร้อนยังช่วยกระตุ้นระบบการทำงานของอวัยวะในร่างกาย ให้เลือดไหลเวียนไปหล่อเลี้ยงได้ดีขึ้น โดยในหนึ่งคลาสสามารถเผาผลาญพลังงานไปได้มากถึง 350-600 แคลอรี ช่วยป้องกันการบาดเจ็บ ทำให้ร่างกายยืดหยุ่นได้มากกว่าการเล่นโยคะทั่วไป และทำให้รู้สึกสดชื่นหลังการฝึก

Pizer (2008) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของโยคะร้อน ไว้ดังนี้

- ช่วยให้ได้ออกกำลังทุกส่วนของร่างกาย
- ช่วยให้สามารถหายใจได้ดีขึ้น
- ป้องกันการบาดเจ็บ และอาจช่วยฟื้นฟูการบาดเจ็บเรื้อรัง
- ช่วยให้นอนหลับสบายขึ้น
- กระชับสัดส่วนของร่างกาย
- ลดน้ำหนัก
- ปรับปรุงบุคลิกภาพ
- ลดความเครียดของร่างกายจากการทำงาน
- ช่วยให้การทรงตัวดีขึ้น
- จิตใจแจ่มใส มีสมาธิ มีวินัย

อย่างไรก็ตาม การเล่นโยคะไม่ว่าจะเป็นประเภทใดก็ตามต้องอาศัยความสม่ำเสมอในการฝึกเหมือนกับการเล่นกีฬานานชนิดอื่นๆ เพื่อความพร้อมและการปรับตัวของร่างกาย เสริมสร้างความแข็งแรงและสัดส่วนของกล้ามเนื้อให้สมดุล และก่อนการเล่นทุกครั้งควรเริ่มด้วยท่าอบอุ่นร่างกาย (Warm-up) ก่อนเพื่อให้กล้ามเนื้อยืดหยุ่นตัว และป้องกันการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (เพชรพรรณ, 2548; ศูนย์การกีฬาแห่งประเทศไทย เพชรบุรี, 2548; Absolute Yoga, 2549)

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายขณะออกกำลังกาย

ระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular)

ระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular) ในร่างกายประกอบไปด้วย หัวใจ เส้นเลือด และ น้ำเลือดที่ไหลเวียนอยู่ภายในร่างกาย ระบบการไหลเวียนโลหิตเกี่ยวข้องกับหน้าที่หลายอย่าง ได้แก่ การหล่อเลี้ยง การปกป้อง และการเป็นพาหนะลำเลียงของเสียออกจากร่างกาย เป็นต้น โดยการเปลี่ยนแปลงของระบบไหลเวียนโลหิตระหว่างการออกกำลังกาย เป็นการตอบสนองความต้องการของระบบไหลเวียนโลหิตที่เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด จึงควรมีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละหน้าที่ของระบบไหลเวียนโลหิตดังต่อไปนี้

1. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและขณะออกกำลังกาย

หัวใจทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ของร่างกายในขณะออกกำลังกาย กล้ามเนื้อลายทำงานนั้น อาจต้องการเลือดเพิ่มขึ้นถึง 20 เท่า เมื่อการทำงานของหัวใจเพิ่มขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate, HR) และปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้ง (Stroke volume, SV) ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) หน้าที่ที่สำคัญที่สุดของระบบหัวใจ และหลอดเลือดในขณะออกกำลังกายได้แก่ การขนส่งออกซิเจน และอาหารไปสู่กล้ามเนื้อที่กำลังทำงานและ ขจัดคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียอื่นๆ จากกระบวนการเมแทบอลิซึมออกไปจากร่างกาย

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า อัตราการเต้นของหัวใจปกติในขณะพักในวัยผู้ใหญ่ ผู้หญิงจะเร็วกว่าผู้ชายประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ สมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่าปกติอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักไว้ อยู่ในช่วงระหว่าง 50-100 ครั้งต่อนาที ในขณะออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นทันที และจะยังเพิ่มอยู่เช่นนี้ตลอดระยะเวลาการออกกำลังกาย

ขณะออกกำลังกายเบาๆ อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มไม่มากนัก และต่อมากลับจะลดลงเล็กน้อย แล้วคงเพิ่มอยู่ในอัตรานั้นตลอดระยะของการออกกำลังกาย ที่เป็นเช่นนี้เกิดจากตอนเริ่มต้นออกกำลังกายหัวใจเตรียมที่จะทำงานมากกว่าการทำงานที่ต้องทำจริง แต่เมื่อออกกำลังกายได้ระยะหนึ่งร่างกายจึงปรับให้พอเหมาะกับงานที่จะทำได้ เมื่อหยุดการออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะค่อยๆ เข้าสู่ระดับปกติโดยใช้เวลาเพียง 2-3 นาทีเท่านั้น ดังนั้นการออกกำลังกายจะทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น เพื่อส่งออกซิเจนไปให้เซลล์ของกล้ามเนื้อทันความต้องการ

Plowman and Smith (2003) กล่าวว่า การเต้นของหัวใจจะเร็วขึ้นหรือช้าลงย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน การออกกำลังกายเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้น เมื่อเริ่มออกกำลังกายอุณหภูมิในร่างกายจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเต้นของชีพจรจะเร็วขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระบบไหลเวียนโลหิตก็จะไหลไปสู่ผิวหนัง เพื่อระบายความร้อนออกจากร่างกาย เมื่ออุณหภูมิของร่างกายลดลง อัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงตามไปด้วย โดยในระหว่างออกกำลังกายความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณกล้ามเนื้อเป็นส่วนใหญ่ กล้ามเนื้อจะถ่ายเทความร้อนไปยังอวัยวะที่ส่วนกลางของร่างกาย อุณหภูมิของร่างกายจะสูงขึ้น จึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากร่างกาย เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิภายในที่อาศัยกระแสโลหิต แล้วจึงระบายความร้อนไปยังผิวหนัง เมื่อออกกำลังกายอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเต้นของหัวใจ จะเพิ่มขึ้น เมื่อหยุดออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจก็จะค่อย ๆ ลดลงสู่ระยะเดิม เรียกว่าระยะฟื้นตัว

2. ความดันโลหิต (Blood pressure) ขณะพักและขณะออกกำลังกาย

เมื่อทำการตรวจสอบความดันเลือดในระหว่างการออกกำลังกาย จะต้องแยกความดันเลือดเมื่อหัวใจบีบตัว (ซิสโตลิก) และความดันเลือดเมื่อหัวใจคลายตัว (ไดแอสโตลิก)

2.1 การไหลเวียนผ่านกาย (Systemic circulation) หลอดเลือดของกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกายมีการขยายตัว แต่ความดันเลือดแดงก็ไม่ลดลงกลับจะเพิ่มขึ้นไปอีก ทั้งนี้เพราะปริมาณเลือดที่ส่งออกจากหัวใจต่อนาที (Cardiac output) เพิ่มขึ้น ความดันเลือดแดงจะเพิ่มขึ้นในระยะ 1-2 นาที หลังจากนั้นจะเข้าสู่ภาวะคงที่ ระดับของความดันเลือดแดงขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายความดันเลือดลดลงทันที และต่ำกว่าระยะพักเล็กน้อยเพียงภายใน 5-10 นาที หลังจากนั้นความดันเลือดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนสูงกว่าระดับก่อนการออกกำลังกายเล็กน้อย ความดันไดแอสโตลิก จะยังไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อออกกำลังกายอย่างเบาและอย่าง

ปานกลางแต่อาจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก แล้วหลังจากนั้นก็จะเป็นไปตามความดันซิสโตลิก ความดันซิสโตลิกที่วัดได้เมื่ออยู่ในภาวะคงที่ จะได้สัดส่วนอย่างหยابกับความหนักของการออกกำลังกาย ในขณะที่ออกกำลังกายถึงระดับสูงสุดความดันเลือดแดงอาจถึงระดับสูงสุด คืออาจถึงระดับ 200 มม.ปรอท หรือสูงกว่าในขณะที่พัก 50% Holmgren (1956) ได้ทำการศึกษาความดันเลือดแดงในขณะที่ขี่จักรยาน พบว่าสำหรับคนที่แข็งแรงความดันซิสโตลิกจะเพิ่ม 8 มม.ปรอท เมื่อการจับออกซิเจนเพิ่มทุกๆ 0.5 ลิตร/นาที แต่ค่าความดันจะมากกว่านี้ในคนที่ไม่แข็งแรงหรือในคนสูงอายุ ความดันที่ระดับการจับออกซิเจนสูงสุดจะมีค่าเช่นเดียวกัน คือ 200 มม.ปรอท

2.2 การไหลเวียนผ่านปอด (Pulmonary circulation) วงจรของเลือดที่ผ่านปอดนั้นมีการปรับให้ได้สมดุลระหว่างความดันก่อนและหลังผ่านหลอดเลือดฝอย เพื่อไม่ให้ความดันในหลอดเลือดฝอยเพิ่ม ทั้งนี้เพื่อป้องกันปอดบวม เนื่องจากน้ำถูกกรองออกภายนอกหลอดเลือดมากเกินไป ในทำนองขณะพักความดันซิสโตลิกในหลอดเลือดพัลโมนารี (Pulmonary artery) มีค่า 15-20 มม.ปรอท และความดันไดแอสโตลิก มีค่า 5-8 มม.ปรอท ความดันเฉลี่ย 8-12 มม.ปรอท และเลือดไหลผ่านปอดส่วนล่างมากกว่าส่วนบน ในทำนองราบความดันสูงกว่านี้บ้าง เมื่อมีการออกกำลังกาย ความดันในหลอดเลือดแดงพัลโมนารีเพิ่มขึ้นได้สัดส่วนกับการเพิ่ม Cardiac output ทั้งๆ ที่ความดันในหลอดเลือดแดงรวม (Total peripheral resistance) ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งในขณะที่ออกกำลังกายจะเพิ่มความดันเลือดมากขึ้นและ Cardiac output เพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้เลือดไหลผ่านปอดส่วนต่างๆ เท่ากัน ในขณะที่พักเม็ดเลือดอยู่ในหลอดเลือดฝอยของปอดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นเวลา 1 วินาที แต่ในขณะที่ออกกำลังกายเลือดไหลเร็วขึ้น จึงมีโอกาสอยู่ในหลอดเลือดฝอยเพียง 0.5 วินาที (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

2.3 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานรอบนอก (Peripheral resistance) ขณะออกกำลังกายความต้านทานรอบนอกลดลง โดยเฉพาะความต้านทานรอบนอกรวม (Total peripheral resistance) การลดลงนี้เกิดเนื่องจากหลอดเลือดในกล้ามเนื้อขยายตัว ตัวอย่าง เช่นในขณะที่ออกกำลังกายสูงสุด เมื่อความดันเลือดแดง 126 มม.ปรอท และ Cardiac output มีค่า 30 ลิตร/นาที ดังนั้นความต้านทานรอบนอกควรมีค่า $126/30 = 4.2$ มม.ปรอท/ลิตร/นาที ซึ่งแสดงว่าลดกว่าในขณะที่พักถึง 4-5 เท่า (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

3. ปริมาณเลือดที่ไหลเวียนผ่านส่วนต่าง ๆ ของร่างกายขณะพักและขณะฝึก

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า เลือดไหลผ่านบริเวณต่างๆ ในขณะพัก ประมาณ 20% ของ Cardiac output ส่งมาเลี้ยงกล้ามเนื้อลายที่เหลือนอกจากนั้นจะส่งไปเลี้ยงอวัยวะภายใน ซึ่งได้แก่ ระบบทางเดินอาหาร ตับ ม้าม ไต และยังส่งไปเลี้ยงหัวใจและสมองอีกด้วย เลือดไหลผ่านบริเวณต่างๆ ในขณะออกกำลังกายจะมีการปรับเปลี่ยนการกระจายของเลือด (Redistribution) เพื่อให้เลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลายมากขึ้น เมื่อมีการออกกำลังกายอย่างเต็มที่ กล้ามเนื้อที่ทำงานอาจได้รับเลือดมากถึง 85-90% ของ Cardiac output ซึ่งก็หมายความว่า ถ้า Cardiac output เมื่อออกกำลังกายสูงสุดมีค่า 25 ลิตร/นาที พบว่าเลือดมากกว่า 22 ลิตร จะส่งไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย โดย Redistribution ของเลือดนั้นเกิดจากผลของกลไกหลายอย่างคือ (1) Reflex vasoconstriction ของหลอดเลือดอาร์เทอร์โอยลของอวัยวะที่ไม่จำเป็นในขณะนั้น โดยเฉพาะอวัยวะภายในและผิวหนัง (2) Reflex vasodilation ของอาร์เทอร์โอยลซึ่งไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลายที่ทำงานผลเช่นนี้เกิดขึ้นทั้งก่อนและตอนเริ่มออกกำลังกาย (3) Vasodilation ของหลอดเลือดในกล้ามเนื้อซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลจากกล้ามเนื้อทำงาน ซึ่งได้แก่ การเพิ่มอุณหภูมิ CO_2 และ กรดแลคติก รวมทั้ง O_2 ที่ลดลง

ปริมาณเลือดที่ไหลผ่านกล้ามเนื้อลายในขณะพักเพียง 4-7 ลบ.ซม./นาที/100 ลบ.ซม. แต่ในขณะออกกำลังกายอย่างหนักจะเพิ่มขึ้นได้ 15-20 เท่า แต่ปริมาตรของเลือดที่อยู่ในกล้ามเนื้อจริงๆ เพิ่มขึ้นเพียง 50% เมทาบอลิซึมที่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้ออาจเพิ่มได้ถึง 100 เท่า ในขณะที่การปล่อย O_2 ออกมาจากเลือดเพิ่มขึ้นถึง 3.4 เท่าของขณะพัก แสดงว่ากล้ามเนื้อต้องดึงออกซิเจนจากเลือดได้ถึง 80% และจำนวนเลือดที่ไหลผ่านกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนแปลงตามจังหวะการหดตัวของกล้ามเนื้อ คือ มีค่าน้อยในระยะกล้ามเนื้อบีบตัว และมีค่ามากในระยะกล้ามเนื้อคลายตัว โดยในระยะต้นของการออกกำลังกาย จำนวนเลือดที่ไหลผ่านกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นทันทีแล้วเข้าสู่ภาวะคงที่ ซึ่งจะใช้เวลาเพียง 1-2 นาที ในการปรับให้เข้าสู่ภาวะคงที่ เมื่อออกกำลังกายอย่างเบาหรือปานกลาง แต่นานกว่านี้เมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก และเมื่อออกกำลังกายมีระยะเวลานานจำนวนเลือดจะลดลงไปบ้าง ภายหลังหยุดออกกำลังกายจำนวนเลือดจะค่อยๆ ลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้หน้ ออกซิเจนและการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ โดยในขณะออกกำลังกายนั้น มีการเพิ่มพลังประสาทที่เร่งการหดตัวของหลอดเลือดในกล้ามเนื้อซึ่งไม่ได้มีส่วนในการออกกำลังกาย ตัวอย่างเช่น เมื่อให้กล้ามเนื้อขาออกกำลังกาย จะทำให้เลือดที่ไหลไปยังกล้ามเนื้อแขนลดลงด้วย

ปริมาณเลือดไหลผ่านอวัยวะภายใน ขณะพัก อวัยวะภายในได้รับเลือดประมาณ 50% ของ Cardiac output แต่ขณะออกกำลังกายจำนวนเลือดที่ไปยังอวัยวะภายในลดลงไปมาก โดยเฉพาะเลือดที่ไหลผ่านช่องท้อง ทั้งนี้จากผลของการบีบตัวของหลอดเลือดโดยระบบประสาทซิมพาเทติก โดยได้มีเลือดไหลผ่านประมาณ 1,200 ลบ.ซม./นาทีก ในภาวะพัก หรือคิดเป็น 20-25% ของ Cardiac output ในขณะที่ออกกำลังกายจำนวนเลือดที่ไหลผ่านไตจะลดลงไปมาก อาจลดถึง 50-80% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนักของการออกกำลังกาย ในขณะที่ออกกำลังกายอย่างหนักในระยะสั้น เลือดอาจไม่ไหลผ่านไตเลยก็ได้

ปริมาณเลือดที่ไหลผ่านหลอดเลือดโคโรนารี ขณะพักมีเลือดไหลผ่านหลอดเลือดโคโรนารี 60-70 ลบ.ซม./นาทีก/เนื้อหัวใจ 100 ลบ.ซม. ค่านี้เพิ่มได้น้อย 5 เท่า กล้ามเนื้อหัวใจสามารถดึงออกซิเจนจากเลือดมาใช้ได้มากแม้ในขณะที่พักยังมีค่าประมาณ 70-80% ดังนั้นถ้าหัวใจต้องการใช้ออกซิเจนมากขึ้น จะต้องเพิ่มโดยการเพิ่มจำนวนเลือด สิ่งสำคัญที่จะต้องนึกถึงด้วย คือ กล้ามเนื้อหัวใจไม่สามารถใช้เมแทบอลิซึมที่ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นต้นตอของพลังงานได้ ถึงแม้ระบบประสาทซิมพาเทติก จะมีผลทำให้หลอดเลือดหัวใจขยายตัว แต่อัตราการไหลของเลือดในหลอดเลือดโคโรนารีถูกควบคุมโดยการปรับตนเอง (Autoregulation) ด้วยปัจจัย 2 อย่าง คือ อัตราเมแทบอลิซึมของกล้ามเนื้อ และความดันในหลอดเลือดเอออร์ตา (Aorta)

ปริมาณเลือดที่ไหลผ่านผิวหนัง ขณะพักมีเลือดไหลผ่านผิวหนังประมาณ 600 ลบ.ซม./นาทีก แต่เมื่อหลอดเลือดผิวหนังขยายตัวเต็มที่ จะทำให้เลือดไหลผ่านผิวหนังเพิ่มได้มากถึง 3 ลิตร/นาทีก ในขณะที่ออกกำลังกายระยะแรกเลือดไหลผ่านผิวหนังลดลง เมื่อออกกำลังกายต่อไป หลอดเลือดผิวหนังจะขยายตัว และเมื่อออกกำลังกายอย่างหนักเป็นเวลานาน ร่างกายจำเป็นต้องขับเหงื่อออกจากร่างกาย หลอดเลือดผิวหนังจึงต้องขยายตัวเต็มที่ ทั้งในการหลั่งเหงื่อย่อมต้องการเลือดไปเลี้ยงผิวหนังมากด้วย ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายอย่างหนักผิวหนังจะได้รับเลือด 3 ลิตรต่อนาทีก หรือ 15-20% ของ Cardiac output

อุณหภูมิร่างกายในภาวะปกติและการระบายความร้อนออกจากร่างกาย

อวัยวะที่ทำหน้าที่กำกับดูแลระดับความร้อนในร่างกาย ได้แก่ ต่อมไฮโปทาลามัส (Hypothalamus) ซึ่งมีหน้าที่ในการทำให้ร่างกายปรับตัว และปกป้องร่างกายจากการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง ร่างกายของมนุษย์สามารถทนทานการลดต่ำของอุณหภูมิในร่างกายได้ถึง

10 องศาเซลเซียส แต่จะสามารถทนต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในร่างกายได้ไม่เกิน 5 องศาเซลเซียสเท่านั้น

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า เมื่อกล่าวถึงอุณหภูมิภายในร่างกายจะต้องแยกเป็นอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิผิวนอก ซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน

1. อุณหภูมิภายใน (Core temperature) เป็นอุณหภูมิที่อยู่บริเวณกลางของลำตัว ร่างกายต้องทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในให้มีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา เมื่อกล่าวถึงอุณหภูมิภายหมายถึงอุณหภูมิส่วนนี้

2. อุณหภูมิผิวนอก (Surface temperature) เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิแวดล้อมแต่เมื่อต้องการทราบถึงความร้อนที่เก็บไว้ในร่างกาย ต้องหาอุณหภูมิเฉลี่ย

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ย} = (0.7 \times \text{อุณหภูมิภายใน}) + (0.3 \times \text{อุณหภูมิผิวนอก})$$

อุณหภูมิภายในปกติเมื่อวัดทางปาก (Oral temperature) จะได้ 37°ซ. (98.6°ฟ.) แต่ถ้าวัดทางทวารหนัก (Rectal temperature) จะสูงขึ้นอีก 0.6°ซ. หรือ 1°ฟ.

อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิภายในของคนปกติสามารถแปรผันไปได้มาก ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่าง เช่น ในขณะที่ออกกำลังกายอย่างหนัก จะทำให้อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้น อาจทำให้อุณหภูมิที่วัดทางทวารหนักเพิ่มขึ้นได้ถึง 101-104° ฟ. อีกนัยหนึ่งถ้าร่างกายต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เย็นจัดก็อาจทำให้อุณหภูมิทางทวารหนักลดต่ำลง จนลดต่ำกว่า 97° ฟ. ดังนั้น อุณหภูมิของร่างกายขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างการเกิดความร้อน (Heat production) และการเสียความร้อน (Heat loss) ของร่างกาย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

อุณหภูมิของร่างกาย เป็นตัวแทนของสมดุลระหว่างปัจจัยที่ทำให้ร่างกายมีความร้อนเพิ่มขึ้น และปัจจัยที่ทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนไป อุณหภูมิของร่างกายจะสูงขึ้นเมื่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นมีมากกว่าความร้อนที่ร่างกายสูญเสียไป โดย ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า อุณหภูมิภายในของคนมีค่าคงที่คือประมาณ 37° ซ. หรือ 98.6° ฟ. และอุณหภูมิจะถูกควบคุมให้คงที่อยู่เสมอภายในช่วง 1° ฟ. แม้อุณหภูมิภายนอกจะเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ เพราะร่างกายมีกลไกควบคุม

อุณหภูมิที่ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการออกกำลังกายจะทำให้ร่างกายสร้างความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นร่างกายจึงต้องเพิ่มกลไกการขับความร้อนออกจากร่างกาย โดยการกระจายความร้อนจากส่วนกลางของร่างกายขึ้นมาสู่ผิวหนังนั้น อาศัยการไหลของเลือดโดยมีเลือดมาเลี้ยงที่ Venous plexus ซึ่งอยู่ใต้ผิวหนังและส่งมาจากหลอดเลือดแดงโดยผ่านทาง Arteriovenous anastomoses ปริมาณเลือดที่เข้ามาสู่ Venous plexus ก็ผันแปรได้มากคือ ตั้งแต่ไม่มีเลยจนถึงมีมาก 30% ของ Cardiac output ดังนั้นจึงเป็นผลให้การนำความร้อนโดยเลือดจากส่วนกลางของร่างกายมายังผิวหนังแปรผันได้มากด้วย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) ฉะนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายจึงเปลี่ยนแปลงได้มาก ตั้งแต่น้อยที่สุดคือความร้อนในขณะพักเต็มที่ ซึ่งมีค่าประมาณ 40 กิโลแคลอรี/ตารางเมตรของพื้นที่ผิวกายจนถึงในภาวะที่ร่างกายออกกำลังกายอย่างหนัก ซึ่งมีค่าประมาณ 800 กิโลแคลอรี/ตารางเมตร (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

ความร้อนภายในร่างกายเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ทั่วร่างกาย นอกจากนั้นยังมีปัจจัยที่ทำให้เปลี่ยนแปลงได้คือ (1) การทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งรวมทั้งขณะกล้ามเนื้อหดตัวเมื่อหนาวสั่น (Shivering) (2) เมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นจากผลของ Thyroxine ต่อเซลล์ (3) เมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นจากผลของ Epinephrine และ Norepinephrine รวมทั้งการกระตุ้นประสาทซิมพาเทติก ซึ่งในภาวะพัก ความร้อนที่ได้จากร่างกายนั้นเกิดจากส่วนภายในของร่างกายคือ อวัยวะภายในและสมองเป็นส่วนใหญ่ และการกระจายความร้อนออกมาภายนอกถูกควบคุมโดยหลอดเลือด แต่เมื่อออกแรงทำงานต้นตอของความร้อนส่วนใหญ่จะได้อาจการทำงานจากกล้ามเนื้อลาย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) ซึ่งความร้อนดังกล่าวอาจเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งเมื่อมีการออกกำลังกาย ความร้อนของร่างกายยังอาจเป็นผลมาจากอาหารที่รับประทานเข้าไป ฮอร์โมน และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกายนั้นเกิดขึ้นได้จากกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1. การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากร่างกาย (Radiation) การเสียความร้อนในรูปของ Infrared heat ray ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง มีความยาวคลื่น 5-20 ไมครอน (ยาวกว่าคลื่นแสง 10-30 เท่า) มวลสารทั้งหมดที่ไม่ได้อยู่ใน Zero absolute temperature จะแผ่รังสีความร้อนออกมา คนที่ไม่มีเสื้อผ้าปกปิดร่างกายเลย และอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิธรรมดาจะเสียความร้อน โดยมากแผ่รังสีถึงร้อยละ 60 ซึ่งการเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งถ้าอุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิกาย นอกจากความร้อนในร่างกายจะแผ่ออกไปภายนอกไม่ได้แล้ว ร่างกายยังดูดความร้อนเข้าไว้อีกด้วย

2. การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวนำความร้อน (Conduction) เกิดจากการที่ร่างกายถ่ายเทความร้อนไปยังสิ่งต่างๆ ที่มาสัมผัส เช่น อากาศ น้ำ พื้นกระเบื้อง ฯลฯ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้ต้องอาศัยการสัมผัสกันของโมเลกุล การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวนำความร้อนนี้ จะมีประสิทธิภาพมากน้อยก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการรับความร้อนของสิ่งต่างๆ เช่น น้ำจะนำความร้อนที่ถ่ายเทออกจากร่างกายได้ดีกว่าอากาศ การเสียความร้อนออกจากร่างกาย โดยวิธีนี้เป็นไปได้น้อย เพราะผิวหนังและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว นอกจากผิวหนังของคนจะสัมผัสกับโลหะซึ่งเป็นตัวนำความร้อนที่ดี แต่ตามปกติขณะที่คนนั่งหรือนอนนั้น โดยทั่วไปมีการสวมเสื้อผ้า จึงเป็นฉนวนกั้นความร้อน และอีกประการหนึ่ง แก้วหรือ เตี้ยงก็มักมีคุณสมบัติเป็นฉนวน ดังนั้นการเสียความร้อนด้วยวิธีนี้จึงมีน้อยมาก

3. การถ่ายเทของความร้อนผ่านตัวนำความร้อนเคลื่อนที่หรือการพาความร้อน (Convection) ถ้าอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม ความร้อนจะผ่านจากร่างกายไปสู่อากาศเมื่ออากาศถูกทำให้ร้อนจะลอยสูงขึ้น อากาศเย็นก็จะไหลเข้ามาแทนที่ใหม่เช่นนี้เรื่อยไป จึงทำให้ความร้อนเสียไปได้จากผิวกาย การเสียความร้อนโดยวิธีนี้เรียกว่า การพา (Convection) ถ้าคนที่ไม่ได้สวมเสื้อผ้าเลยนั่งอยู่ในห้องที่อากาศเคลื่อนไหว ก็จะยังเสียความร้อนได้ประมาณ 12% โดยการนำจากร่างกายไปสู่อากาศที่อยู่โดยรอบ แล้วหลังจากนั้นเมื่ออากาศร้อนขึ้นก็จะพาความร้อนให้เคลื่อนที่ไป ถ้าการเคลื่อนไหวของอากาศนั้นเพียงแต่เกิดจากความร้อนของร่างกายเรียกว่า การพาตามธรรมชาติ (Natural convection) แต่ถ้าเกิดจากอิทธิพลภายนอก เช่น กระแสลมหรือพัดลม เรียกว่าการพาโดยแรงจากภายนอก (Forced convection) ซึ่งการเสียความร้อนโดยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ

3.1 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกายกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

3.2 เนื้อที่ผิวกายที่เปิด ซึ่งน้อยกว่าเนื้อที่ผิวกายทั้งหมดเพราะร่างกายบางส่วน เช่น รักแร้ และด้านในของต้นขา ไม่ได้ถูกอากาศที่ไหลเวียน

3.3 อัตราที่กระแสลมจะนำอากาศเข้าไปสัมผัสกับผิวกายในการถ่ายเทความร้อน เรียกปัจจัยนี้ว่าสัมประสิทธิ์การพา ซึ่งยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน รวมทั้งความเร็วในการเคลื่อนไหวของอากาศ ความหนาแน่น ความหนืดและรูปร่างของผิวหนังด้วย

4. การสูญเสียของความร้อนผ่านการระเหย (Evaporation) เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซต้องใช้พลังงาน พลังงานความร้อนเรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent heat) ในช่วงอุณหภูมิที่ผันแปรไปตามภาวะทางสรีรวิทยา ความร้อนแฝงมีค่า 580 กิโลแคลอรี/ลิตร การเสียความร้อน ด้วยวิธีนี้นับเป็นกลไกสำคัญในการเสียความร้อนของร่างกาย โดยการระเหยเป็นการป้องกันการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในร่างกายที่สำคัญ น้ำในร่างกายจะระเหยผ่านทางทางเดินหายใจ และผิวหนัง และถ่ายเทความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้น การจะเสียความร้อน ด้วยวิธีใดมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศภายนอกเป็นสำคัญคือ อุณหภูมิของอากาศภายนอก

อุณหภูมิของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกาย

ในขณะออกกำลังกายนั้น กล้ามเนื้อของแขนขาเป็นต้นตอสำคัญของความร้อน และพบว่าความร้อนในกล้ามเนื้อจะมีค่าสูงกว่าความร้อนในเลือดเกินกว่า 1°C . โดย Saltin และ Hermansen ได้ทำการวัดอุณหภูมิของ Quadriceps femoris muscle ในขณะออกกำลังกาย พบว่ามีค่ามากกว่าอุณหภูมิในหลอดเลือดหรืออุณหภูมิใกล้เคียงกับหลอดเลือดแดง ประมาณ 0.4°C . นอกจากนี้ Nadel et al. พบว่าอุณหภูมิของกล้ามเนื้อเมื่อให้ออกกำลังกายซึ่งจักรยานลงจากภูเขา ซึ่งต้องมีการทำงานเป็น Negative work พบว่ากล้ามเนื้อมีอุณหภูมิสูงถึง 41.6°C . ดังนั้น External work done จึงเพิ่มความร้อนให้แก่กล้ามเนื้อ นอกเหนือจากที่เกิดจากเมแทบอลิซึม และเมื่อกล่าวโดยทั่วไป ถ้าไม่มีปัจจัยอื่นซึ่งเป็น Nonmetabolic heat เช่น อุณหภูมิแวดล้อมร้อนเกินไปหรือมีงานจากภายนอก ก็จะพบว่าอุณหภูมิของกล้ามเนื้อจะสูงกว่าอุณหภูมิที่แกนกลาง (Body core) ไม่เกิน 1°C . (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

อุณหภูมิที่ผิวหนังและอุณหภูมิในร่างกายขณะออกกำลังกายในที่อุณหภูมิห้องจะมีการเปลี่ยนแปลงคือ เมื่อเริ่มออกกำลังกาย อุณหภูมิในร่างกายที่วัดทางทวารหนักนั้น จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นถึงระดับใหม่ที่คงที่ในเวลา 30 นาทีแรกของการออกกำลังกาย และจะยังคงอยู่ในระดับนี้ไปจนกระทั่งการออกกำลังกายสิ้นสุดลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิผิวหนังจะลดลงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มการพาความร้อนและการระเหยของเหงื่อ ผลเช่นนี้จึงทำให้มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวหนังและอุณหภูมิภายในร่างกายมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ร่างกายสามารถระบายความร้อนออกไปจากร่างกายเพิ่มขึ้นอีก (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายขณะออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูง

เมื่อมีการออกกำลังกายกล้ามเนื้อที่ออกแรงจะมีการสร้างความร้อน ซึ่งความร้อนนั้นจะถูกส่งผ่านไปทั่วร่างกายตามกระแสเลือด เมื่ออุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นหลอดเลือดที่อยู่ตามผิวหนังจะขยาย ต่อมาเหงื่อทำงานมากขึ้น เกิดการระเหยของเหงื่อจากผิวหนังช่วยลดความร้อนออกจากกระแสเลือดและร่างกาย ทำให้อุณหภูมิร่างกายเย็นลง กลไกนี้เป็นกลไกที่ร่างกายจะคงไว้ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 37 องศาเซลเซียส (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

การออกกำลังกายในที่ร้อนและชื้นจะทำให้ร่างกายเสียเหงื่อมาก ทำให้ปริมาณน้ำในกระแสเลือดลดลง ถ้าไม่มีการดื่มน้ำทดแทนน้ำที่สูญเสียไปนั้นปริมาตรเลือดจะลดลง และเนื่องจากหัวใจทำหน้าที่ในการบีบส่งเลือดในปริมาณที่คงที่เพื่อขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน ถ้าหากปริมาณเลือดลดลง หัวใจต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อสูบฉีดเลือดให้ได้ปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้น เกิดการล้า และอาจเกิดอาการวิงเวียน (Advancing Rehabilitation Enhancing Quality of Life, 2003)

การปรับสภาพร่างกายในระหว่างการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูง

Robergs and Roberts (1997) ได้กล่าวถึง การปรับสภาพของร่างกายเมื่อออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูงไว้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิร่างกาย

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายระหว่างการออกกำลังกายนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการเผาผลาญพลังงาน อุณหภูมิแวดล้อม และประสิทธิภาพของร่างกายในการผลิตเหงื่อเพื่อลดอุณหภูมิ นอกจากนี้อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายที่เปลี่ยนแปลงจากการออกกำลังกายนั้นยังขึ้นกับความสามารถในการปรับตัวต่อความร้อนของแต่ละคนด้วย

อุณหภูมิผิวหนังที่เพิ่มระหว่างการออกกำลังกายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม อัตราการระเหยของเหงื่อ ระดับการสูญเสียเหงื่อ และอัตราการไหลเวียนของเลือดที่ผิวหนัง ปัจจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแต่มีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะขาดน้ำ

2. การระเหยของเหงื่อเพื่อลดอุณหภูมิ และภาวะการขาดน้ำจากการออกกำลังกาย

ระหว่างการออกกำลังกายในที่ร้อนและชื้นเป็นเวลานาน อัตราการเสียเหงื่ออาจจะสูงถึง 2 – 3 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งจะขึ้นกับเพศ ขนาดของร่างกาย และปริมาณน้ำในเลือด ในเบื้องต้นของออกกำลังกายน้ำส่วนใหญ่ที่สูญเสียไปนั้นจะเป็นน้ำระหว่างเซลล์ เมื่อเกิดภาวะการขาดน้ำจะเริ่มมีการสูญเสียน้ำในเซลล์ มีผลให้ปริมาณน้ำโดยรวมในร่างกายลดลง

เมื่อปริมาณน้ำในร่างกายลดลงจะส่งผลให้อัตราการขับเหงื่อลดลง ทำให้อุณหภูมิแกนกลางร่างกายสูงขึ้นด้วย เมื่อภาวะการขาดน้ำรุนแรงขึ้น อัตราการสร้างเหงื่อลดลงมากจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บจากความร้อน (Heat injuries)

3. การปรับตัวของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด

เมื่อออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าระดับสูงสุดในสภาวะอากาศร้อนจะมีการปรับตัวของระบบไหลเวียนเลือด คือค่า Stroke volume ลดลง ดังนั้น ร่างกายจึงต้องชดเชยด้วยการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ แต่ค่า Cardiac output จะมีค่าเท่ากันทั้งในอากาศแวดล้อมที่ร้อนและเย็น อย่างไรก็ตาม เมื่อออกกำลังกายที่ระดับสูงสุด การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ ไม่เพียงพอกับการชดเชยที่ Stroke volume ลดลง ดังนั้นค่า Cardiac output จึงลดลง และนอกจากนี้การออกกำลังกายในสภาวะอากาศร้อน จะทำให้หลอดเลือดผิวหนังต้องขยายตัว เพื่อนำความร้อนจากภายในร่างกายออกมาขับทิ้งที่ผิวหนัง ดังนั้นหลอดเลือดที่อวัยวะภายในจึงต้องบีบตัว ที่สำคัญคือที่ช่องท้องและไต เพื่อแบ่งเลือดไปใช้ขับความร้อน ถ้าการออกกำลังกายใช้ระยะเวลานาน อาจเกิดผลแทรกซ้อนเป็นอันตรายแก่อวัยวะภายในคือตับและไตที่ขาดเลือดได้ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

การลดลงของปริมาณเลือดในส่วนกลางของร่างกายนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณเลือดที่ไหลเวียนไปที่ผิวหนังและที่กล้ามเนื้อที่มีการหดตัว ความสำคัญของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดในระหว่างการออกกำลังกายนั้น ก็เพื่อเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปที่ผิวหนังซึ่งจะช่วยเพิ่มการแผ่ความร้อนและการระเหยของเหงื่อเพื่อทำให้ร่างกายเย็นลง เมื่อภาวะการขาดน้ำเพิ่มขึ้น ระบบประสาทจะตอบสนองต่อปริมาตรเลือดที่ลดลง โดยจะลดอัตราการไหลเวียนเลือดไปที่ผิวหนัง ปริมาณเลือดในส่วนกลางของร่างกายก็จะเพิ่มขึ้น แต่การถ่ายเทความร้อนจากเลือดไปสู่ผิวหนังก็จะ

ลดลงด้วย หากมีการออกกำลังกายต่อไป อุณหภูมิผิวหนังจะลดลง แต่อุณหภูมิแกนกลางร่างกายจะกลับเพิ่มขึ้น

จากการออกกำลังกายที่ส่งผลให้เกิดภาวะขาดน้ำ อุณหภูมิแกนกลางร่างกายเพิ่มขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นนั้นเนื่องมาจากเลือดที่มีออกซิเจนน้อยที่ไหลเวียนกลับมาหัวใจ (Venous return) และปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบออกไปแต่ละครั้งนั้นลดลง โดย Nadel et al. ได้รายงานว่ ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบออกไปแต่ละครั้งกับเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาตรน้ำเลือดนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก

4. การปรับตัวของกล้ามเนื้อ

เนื่องจากภาวะขาดน้ำ อุณหภูมิแกนกลางร่างกายเพิ่มขึ้นระหว่างการออกกำลังกายในที่ร้อนจะส่งผลให้มีการหลั่งแคทีโคลามีน (Catecholamine) ซึ่งส่งผลต่อเมตาบอลิซึมของกล้ามเนื้อ

5. ผลต่อความสามารถในการออกกำลังกาย

ในระหว่างการออกกำลังกายที่อุณหภูมิสูงนั้นภาวะขาดน้ำที่เกิดขึ้นและปริมาณเลือดที่หัวใจปั๊มส่งออกจากหัวใจในแต่ละครั้งที่ลดลง และการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางที่ลดลงจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายนั้นมีผลต่อการเกิดการล้าของร่างกาย

การปรับอุณหภูมิร่างกายขณะออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูง

เมื่ออุณหภูมิภาวะแวดล้อมเพิ่มขึ้น จะทำให้ขั้นต่างของอุณหภูมิ (Temperature gradient) ระหว่างภาวะแวดล้อมและอุณหภูมิผิวกายลดน้อยลง จึงขัดขวางการเสียความร้อนออกจากร่างกาย นอกจากนี้ เมื่ออุณหภูมิของภาวะแวดล้อมมากกว่าอุณหภูมิของผิวหนังจะทำให้ร่างกายได้รับความร้อนจากภายนอกเข้าไปอีกด้วย และถ้าอากาศภายนอกมีความชื้นมากขึ้นก็จะยิ่งขัดขวางการสูญเสียความร้อนทางกลไกการระเหย คือ จะลดขั้นต่างของความดันระหว่างความชื้นในอากาศและเหงื่อบนผิวหนัง สิ่งที่ยั้ขัดขวางการเสียความร้อนดังกล่าวนี้ จะทำให้อุณหภูมิทางทวารหนักเพิ่มขึ้นมาก และจะจำกัดความสามารถของการออกกำลังกายลงเป็นอย่างมากด้วย โดยเมื่อออกกำลังกายในอากาศร้อน จะทำให้กล้ามเนื้อต้องการออกซิเจน เพื่อใช้ในเมตาบอลิซึมและความร้อน

ที่เกิดจากเมตาบอลิซึมจะต้องถูกนำจากร่างกายส่วนลึกมายังส่วนต้น ดังนั้น จำเป็นต้องใช้เลือดทำให้การไหลเวียนของเลือดอาจส่งไปยังกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ เพราะส่วนหนึ่งถูกแบ่งไปยังผิวหนัง นอกจากนี้ ในการจับความร้อนออกจากร่างกาย ยังต้องอาศัยการหลั่งเหงื่อทำให้ร่างกายต้องเสียน้ำไป จึงทำให้ปริมาตรของพลาสมาลดลง จนอาจทำให้การไหลเวียนล้มเหลว ทำให้อุณหภูมิร่างกายเพิ่มสูงขึ้น (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

เมื่อออกกำลังกายอย่างหนักในสภาวะอากาศร้อน อาจทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นเหมือนคนเป็นไข้ พบว่า นักวิ่งระยะยาวภายหลังที่วิ่งแข่งระยะทาง 3 ไมล์ ทำให้อุณหภูมิที่ทวารหนักเพิ่มขึ้นถึง 45°C . และเมื่อออกกำลังกายที่หนักขึ้น จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการใช้ O_2 เมื่อเทียบกับค่า $\text{VO}_{2\text{max}}$ ของแต่ละคน จะพบว่าได้เส้นโค้งที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายนั้นจะมีความสัมพันธ์กับระดับความหนัก (Relative work load) ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความสามารถของแต่ละคน และอาจกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าถ้าออกกำลังกายในอุณหภูมิแวดล้อมที่สบายด้วยความหนัก $50\% \text{VO}_{2\text{max}}$ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเข้าสู่ระดับคงที่ คือ 37.3°C . ถ้าออกกำลังกายหนักขึ้นจนถึง $75\% \text{VO}_{2\text{max}}$ จะเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายไปเป็น 38.5°C . (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

การระบายความร้อนขณะออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูง

เมื่อออกกำลังกายอย่างหนักในอากาศร้อน 2-3 ชม. ทำให้เสียน้ำไปมากจากการหลั่งเหงื่อ จึงทำให้ปริมาตรของพลาสมาลดลง ปริมาตรเหงื่อลดลงด้วย แม้เมื่อร่างกายเสียน้ำไป 5% ก่อนออกกำลังกาย จะทำให้อุณหภูมิทางทวารหนักเพิ่ม อัตราการหลั่งเหงื่อลดลง และ Heart rate เพิ่มขึ้น การเพิ่ม Heart rate ในภาวะที่ขาดน้ำนี้เกิดเนื่องจาก ปริมาณเลือดทางส่วนกลางลดลง ทำให้ Stroke volume ลดลงด้วย ส่วนการที่อุณหภูมิที่แกนกลาง เพิ่มขึ้นนั้น เกิดจากทั้งเลือดไหลไปสู่ผิวหนังลดลงและการหลั่งเหงื่อลดลงด้วย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) และการเสียน้ำจากร่างกายยังมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อออกกำลังกายในอากาศร้อนและชื้น ซึ่งทำให้การระเหยของเหงื่อเป็นไปได้ไม่ดี เพราะความดันไอน้ำของอากาศแวดล้อมสูงขึ้น โดยจะมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการหลั่งเหงื่อและความชื้นของอากาศทั้งในภาวะพักและในขณะที่ออกกำลังกาย เมื่อมีเหงื่อออกมาจากการออกกำลังกายในอากาศร้อนชื้น และเหงื่อระเหยไปไม่ได้ ทำให้เปียกเสื่อผ้า จึงขัดขวางการแพร่กระจายและการระเหยของเหงื่อ กลายเป็นภาวะ Humid microclimate ที่ห่อหุ้ม

ร่างกายอยู่ จึงยิ่งเสริมให้มีการเสียน้ำเพิ่ม และทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นไปอีก(ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) ถ้ามีการเสียน้ำจากร่างกายยังไม่ถึง 4-5% ของน้ำหนักตัว จะยังไม่ทำให้สมรรถภาพทางกายลดลง พบว่าความทนในการเดินลดลง 48% เมื่อร่างกายเสียน้ำ 4.3% ของน้ำหนักตัวและ $VO_2\max$ ลดลง 22% อย่างไรก็ตาม ในการทดลองเดียวกัน แต่เมื่อเสียน้ำไป 1.9% จะทำให้ความอดทนในการเดินและ $VO_2\max$ ลดลง 22% และ 10% ตามลำดับ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

กลไกการรักษาอุณหภูมิและสมดุลน้ำในร่างกาย

การหลั่งเหงื่อ (Sweat secretion) เป็นกลไกที่สำคัญที่ร่างกายใช้ขับความร้อนออกจากร่างกาย โดยการระเหยร่างกายจะมีต่อมเหงื่อประมาณ 2-5 ล้านต่อม ซึ่งต่อมเหงื่อประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวต่อม ซึ่งเป็นท่อขดทำหน้าที่หลั่งเหงื่อ และส่วนที่เป็นท่อตรง ซึ่งนำเหงื่อออกมาสู่ผิวหนัง โดยเหงื่อจะถูกหลั่งออกมาจากต่อมที่เป็นท่อขด ซึ่งทำหน้าที่หลั่งเหงื่อในระยะต้นที่เรียกว่า Primary secretion หรือ Precursor secretion หลังจากนั้นความเข้มข้นของสารต่างๆ ถูกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเหงื่อผ่านท่อตรง เพื่อนำเหงื่อออกมาสู่ภายนอก โดย Precursor secretion นั้นเป็นการหลั่งของเยื่อต่อมที่ทำให้เหงื่อหลั่งออก โดยกลไกแอสติฟ ที่อาศัยการกระตุ้นของ Cholinergic sympathetic nerve fibers ส่วนประกอบของ Precursor secretion นี้คล้ายกับพลาสมา ยกเว้นที่ไม่มีพลาสมาโปรตีน โดยมีความเข้มข้นของ Na^+ 142 mEq/l และ Cl^- 104 mEq/l เมื่อเหงื่อไหลผ่านท่อที่มีลักษณะตรงของต่อม ส่วนประกอบต่างๆ ก็จะถูกปรับปรุงไป คือมีการดูด Na^+ และ Cl^- กลับไปเป็นส่วนใหญ่ ความมากน้อยของการดูดกลับนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการหลั่งเหงื่อ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

เมื่อต่อมเหงื่อถูกกระตุ้นโดยประสาทเพียงเล็กน้อยทำให้เหงื่อไหลผ่านท่ออย่างช้าๆ จึงทำให้ Na^+ และ Cl^- ถูกดูดกลับไปเกือบหมด เป็นผลให้ความเข้มข้นลดลงเหลือเพียง 5 mEq/l ทำให้ความดันออสโมติกลดต่ำลงด้วย น้ำจึงถูกดูดตามไปจึงทำให้เหงื่อเข้มข้นขึ้น ดังนั้นสารอื่นจึงมีความเข้มข้นขึ้นซึ่งได้แก่ ยูเรีย กรดแลคติก และ K^+ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) และเมื่อต่อมเหงื่อถูกกระตุ้นอย่างแรง โดยประสาทซิมพาเทติก ทำให้เหงื่อมีการสร้างมากและมีอัตราการไหลอย่างรวดเร็วไปตามท่อ การดูดซึม Na^+ และ Cl^- เป็นไปได้น้อย ดังนั้น Na^+ และ Cl^- จึงมีความเข้มข้นมาก อาจเหลือความเข้มข้นถึง 60 mEq/l ซึ่งน้อยกว่าในพลาสมาเพียงครึ่งหนึ่งและน้ำก็ถูกดูดกลับน้อยด้วย จึงทำให้สารอื่นมีความเข้มข้นไม่มาก เช่น ยูเรียมีความเข้มข้นเพียง 2 เท่าของในพลาสมา กรดแลคติก มีความเข้มข้นประมาณ 4 เท่า ส่วน K^+ ประมาณ 1.2 เท่า (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

สำหรับคนปกติที่กลไกควบคุมความร้อนภายในร่างกายสามารถทำงานได้ การเสียน้ำอาจมีถึงระดับ 3 ลิตรต่อชั่วโมงหรืออาจถึง 12 ลิตรต่อวัน การที่เหงื่อออกเป็นเวลาหลายชั่วโมงทำให้เกิดความล้าของต่อมเหงื่อซึ่งจะรบกวนต่อการควบคุมการปรับอุณหภูมิภายในร่างกาย ความสามารถของมนุษย์ในการระเหยความร้อนออกจากร่างกาย โดยผ่านทางน้ำ และของเหลวนี้ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการทดแทนน้ำที่สูญเสียไป (Rehydration) (Robergs and Roberts, 1997)

การสูญเสียน้ำจากการออกกำลังกาย

การสูญเสียน้ำ หมายถึง การที่ร่างกายสูญเสียน้ำจากระดับที่ร่างกายมีน้ำมาก มาเป็นระดับปานกลาง และจากระดับปานกลางมากระดับต่ำ การออกกำลังกายในระดับปานกลางเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงจะทำให้ร่างกายเสียเหงื่อไปประมาณ 0.5-1.0 ลิตร การเสียเหงื่อจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อออกกำลังกายนานขึ้นภายใต้ความร้อน การออกกำลังกายในภาวะที่ไม่ร้อน เช่น การแข่งขันสกี หรือการว่ายน้ำ ก็ยังก่อให้เกิดการเสียเหงื่อได้ สำหรับนักว่ายน้ำ หรือดำน้ำ การออกกำลังกายในน้ำกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียน้ำออกทางปัสสาวะ การอยู่ในห้องซาวน่า ห้องอบไอน้ำ อ่างน้ำวน สามารถทำให้ร่างกายเสียน้ำได้ทั้งสิ้น และความเสี่ยงที่จะไม่สบายจากความร้อนก็คือ การออกกำลังกายในภาวะขาดน้ำนั่นเอง โดยการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายด้วยการซึมผ่านผิวหนังนั้นมีน้อยมากคือมีเพียง 10 ลบ.ซม./ชั่วโมง เพราะน้ำซึมผ่านหนังกำพร้า (Epidermis) ใต้น้อยมาก ซึ่งอากาศที่หายใจออกจะมีไอน้ำเกือบอิ่มตัวแล้ว แม้แต่เมื่อมีการระบายอากาศหายใจมาก น้ำระเหยได้จากเยื่อหุ้มนอก (Epithelium) ของทางเดินอากาศหายใจ ทำให้เสียความร้อนแฝงไปประมาณ 9 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เมื่อหายใจปกติ ถ้าการระบายอากาศเพิ่มขึ้นจะเสียไปมากกว่านี้ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

การขาดน้ำ อันเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำภายใน และภายนอกเซลล์อาจถึงระดับที่จะทำให้ร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ และยังเพิ่มการเก็บความร้อนในร่างกาย อันเนื่องมาจากการลดลงของอัตราการเสียเหงื่อ และการไหลเวียนของเลือดบริเวณผิวหนัง (Robergs and Roberts, 1997) ซึ่งการสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จะลดความสามารถในการทำงาน และการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย เมื่อการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณพลาสมา และการไหลของเลือดไปยังบริเวณผิวหนัง รวมถึงอัตราการเสียเหงื่อ (Sweat rate) จะลดลง และการควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกายจะยากขึ้น (Robergs and Roberts, 1997) โดยภาวะที่น้ำระเหยออกจากร่างกายทางผิวหนังและทางระบบหายใจ ที่มองไม่เห็นและไม่รู้สึกจะเรียกว่า Insensible perspiration เป็นวิธีการระเหยที่สามารถทำให้น้ำระเหยจากร่างกายได้ประมาณวันละ 600 มล.และทำให้สูญเสียน้ำ

ความร้อนจากร่างกายไปด้วยอัตรา 12-16 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง แต่การระเหยด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ร่างกายควบคุมไม่ได้ เพราะจะต้องสูญเสียออกไปตลอดเวลาโดยไม่คำนึงถึงอุณหภูมิของร่างกาย ในภาวะที่อยู่ในอากาศแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิปกติ การเสียความร้อนโดยการระเหยทางผิวหนังและทางระบบทางเดินอากาศหายใจมีบทบาทน้อยเพียงร้อยละ 15 ของการเสียความร้อนทั้งหมด (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

นอกจากนี้ การระเหยของน้ำจากผิวหนังโดยการสร้างเป็นเหงื่อ ซึ่งเป็นสิ่งที่มองเห็นได้ แล้วเหงื่อจึงระเหยต่อไปอีก จึงเรียกวิธีนี้ว่า Sensible perspiration โดยร่างกายมีกลไกที่สำคัญในการทำให้ความร้อนเสียไปจากผิวหนัง ด้วยการระเหยของเหงื่อ ซึ่งเป็นการขับน้ำออกทางผิวหนัง โดยกลไกแอคทิฟ โดยวิธีนี้ร่างกายจะเสียความร้อนไปได้มาก และเป็นกลไกชนิดเดียวที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิภายใน ซึ่งปริมาณน้ำที่เสียไป ด้วยการระเหยจะขึ้นอยู่กับอัตราการหลั่งน้ำออกจากร่างกาย และความสามารถของภาวะแวดล้อมที่จะนำไอน้ำออกไป ถ้าอากาศแวดล้อมแห้งและเคลื่อนไหวได้รวดเร็ว ความร้อนที่เสียไปขึ้นอยู่กับอัตราการหลั่งเหงื่อเพียงอย่างเดียว (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

การรักษาสมดุลน้ำของระดับน้ำในร่างกาย

ปกติร่างกายจะมีการรักษาปริมาณน้ำให้สมดุลอยู่เสมอ โดยน้ำที่เข้ามาจะต้องมีจำนวนเท่ากับน้ำที่ร่างกายสูญเสียไปร่างกายได้รับน้ำในรูปของอาหาร เครื่องดื่มและจากเมตาบอลิซึม (Metabolism) และสูญเสียน้ำไป โดยทางไตโดยปัสสาวะ ทางผิวหนังโดยการหลั่งเหงื่อ ทางลมโดยการหายใจออก และทางอุจจาระ ในบางโอกาสดังกล่าว น้ำ ซึ่งสูญเสียไปในรูปของการหลั่ง น้ำนม น้ำตา หรือความผิดปกติในระบบย่อยอาหาร เช่น การอาเจียนหรือท้องร่วง เป็นต้น (Strand, 1978) การรักษาสมดุลของน้ำในร่างกายเป็นหน้าที่ของไต ถ้าน้ำในร่างกายมีมากเกินไป ไหลเวียนของโลหิตจะไปสู่ไตเพิ่มขึ้น ทำให้ไตผลิตปัสสาวะออกมามากขึ้น แต่ถ้าร่างกายมีน้ำน้อย ก็จะทำให้เกิดการดูดซึมของน้ำในไตกลับคืนสู่กระแสเลือดมีมากขึ้น ทำให้ปริมาณ ปัสสาวะลดน้อยลง (อนันต์, 2521) ในระหว่างการออกกำลังกายการทำหน้าที่ของไตในการผลิตปัสสาวะจะลดน้อยลงไปหรืออาจหยุดลง เนื่องจากน้ำซึ่งประกอบเป็นของเหลวผสมอยู่ในเลือด (Blood plasma) จะเข้าสู่เนื้อเยื่อส่วนโลหิตที่เข้ามาสู่ไตจะถูกนำไปสู่กล้ามเนื้อซึ่งกำลังทำงาน และยังต้องสงวนน้ำไว้ใช้ในการระบายความร้อนออกจากร่างกาย โดยการหลั่งเหงื่อ ความรู้สึกเกี่ยวกับความกระหายน้ำ เกิดจากการที่ของเหลวนอกเซลล์ (Extracellular fluid) มีความเข้มข้นออสโมติก (Osmotic concentration) เพิ่มขึ้นและจากการที่พลาสมา (Plasma) มีปริมาณลดน้อยลง สิ่งเหล่านี้จะไปกระตุ้น

ระบบการทำงานของศูนย์ควบคุม ที่ทำให้เกิดการกระหายและทำให้ดื่มน้ำเข้าไปตามจำนวนปริมาณเท่าๆ กับจำนวนที่ต้องการที่จะไปทำให้เกิดความเข้มข้นของออสโมติกของของเหลวนอกเซลล์ให้อยู่ในสภาวะปกติ สิ่งที่น่าสนใจอยู่ที่ว่า อาจมีการหยุดดื่มน้ำก่อนที่จะมีเวลาถูกดูดซึมจากบริเวณกระเพาะลำไส้ และทำให้ของเหลวนอกเซลล์เข้าสู่สภาพปกติได้อย่างแท้จริง น่าจะเป็นไปได้ว่ากระเพาะและลำไส้อาจมีระบบวัดจำนวนน้ำที่เก็บไว้เพื่อที่สามารถจะควบคุมปริมาณน้ำที่จะเข้าไปได้เพียงพอและเหมาะสมตามความต้องการของร่างกายหรืออาจพิจารณาได้ว่าการควบคุมความกระหายอาจจะมีส่วนประกอบมาจากการที่ได้เรียนรู้หรือคาดการณ์ล่วงหน้า ซึ่งทำให้แต่ละคนสามารถประมาณถึงความต้องการและดื่มน้ำอย่างเพียงพอเพียงเพื่อป้องกันการขาดน้ำ (วิวัฒน์, 2526)

ชูศักดิ์ (2525) กล่าวว่า ส่วนประกอบที่สำคัญของเหงื่อ คือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อเหงื่อมีอัตราการหลั่งน้อยความเข้มข้นอาจลดลงเหลือ 5 มิลลิอิควิวเลนต์ แต่เมื่ออัตราการหลั่งเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของโซเดียมจะเพิ่มตามไปด้วยเกือบเท่าระดับในเลือด สารอื่นที่ขับออกทางเหงื่อในปริมาณที่มากพอสมควร คือ ยูเรีย กรดแลคติก และ โพแทสเซียมไอออน เมื่อเหงื่อมีอัตราการหลั่งน้อย ความเข้มข้นของยูเรีย จะเพิ่มเป็น 2 เท่า กรดแลคติกเป็นประมาณ 4 เท่า และโพแทสเซียมเป็นประมาณ 1.2 เท่าของพลาสมา เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมต่ำจะไม่มีการหลั่งเหงื่อเลย ในสภาวะที่ร้อนจัดอาจมีการหลั่งเหงื่อได้มากถึง 1.5 ลิตรต่อชั่วโมง ในผู้ที่ไม่ชินต่ออากาศ หรือ 4.0 ลิตรต่อชั่วโมงในผู้ที่ชินต่ออากาศ

เกลือแร่ที่สูญเสียไปพร้อมกับเหงื่อส่วนใหญ่จะเป็นโซเดียมอยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณหนึ่งในสามของโซเดียมในพลาสมา จากการศึกษาพบว่านักกีฬาที่ได้รับ การฝึกฝนมาเป็นอย่างดี การขับเหงื่อจะเกิดขึ้นเร็วและมีประสิทธิภาพดีขึ้น มีการสูญเสียโซเดียมไปกับเหงื่อน้อยกว่าคนปกติการสูญเสียเหงื่อในนักกีฬาส่วนใหญ่จึงเป็นการเสียน้ำมากกว่าการสูญเสียโซเดียม ขณะออกกำลังกาย ไตยังเก็บกักโซเดียมไว้ได้มาก ร่างกายจึงไม่ขาดโซเดียม การเสียน้ำออกไปจากร่างกายทำให้ปริมาณของเลือดลดน้อยลง และถ้ามีความรุนแรงมากอัตราการหลั่งเหงื่อจะลดลงตามไปด้วย เมื่อปริมาณเลือดลดน้อยลง และการลดความร้อนในการหลั่งเหงื่อลดน้อยลงก็จะทำให้เพิ่มความเครียดให้แก่ระบบไหลเวียนเลือดยิ่งทำให้อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น (ชูศักดิ์, 2525)

การทดแทนน้ำเพื่อป้องกันภาวะขาดน้ำ

การทดแทนน้ำที่ร่างกายสูญเสียไป ควรทำเพื่อรักษาปริมาณของพลาสมาในเลือด การไหลเวียนของเลือด และอัตราการเสียเหงื่อ การดื่มน้ำระหว่างการออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังผิวหนัง เพื่อช่วยให้การระบายความร้อนทำได้ดีขึ้น และยังช่วยป้องกันการขาดน้ำ และผลของการขาดน้ำด้วย อย่างไรก็ตามนักกีฬา และผู้ฝึกสอนนักกีฬา เห็นว่าการดื่มน้ำในระหว่างการออกกำลังกายจะทำให้ประสิทธิภาพในการออกกำลังกายลดลง

ระดับน้ำที่พอเพียงในร่างกายจะช่วยป้องกันมนุษย์จากความเครียดเนื่องจากความร้อน และระดับน้ำของร่างกายในอุดมคติ คือที่ระดับที่น้ำที่ดื่มเข้ามาในร่างกายเท่ากับปริมาณน้ำที่ร่างกายสูญเสียไป

การเปลี่ยนแปลงของมวลรวมของร่างกาย ชี้ให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำและการทดแทนน้ำระหว่างและหลังจากการออกกำลังกาย การที่ปัสสาวะเป็นสีเหลืองเข้มและมีกลิ่นรุนแรง แสดงให้เห็นถึงการขาดแคลนน้ำในร่างกาย ส่วนปัสสาวะที่มีสีเหลืองอ่อนและกลิ่นไม่แรง แสดงถึงว่าร่างกายมีน้ำที่พอเพียง

นักกีฬาสามารถที่จะชั่งน้ำหนักก่อน และหลังการออกกำลังกายได้ และทุกๆ 1 ปอนด์ของน้ำหนักร่างกายที่ลดลง จะเท่ากับปริมาณน้ำ 450 มิลลิลิตร ที่ร่างกายสูญเสียไป ดังนั้นการดื่มน้ำเป็นช่วงๆ ในระหว่างการออกกำลังกายช่วยลดการขาดน้ำ เนื่องจากกลไกการกระหายน้ำมีความไม่แน่นอนในการควบคุมความต้องการน้ำของร่างกาย ดังนั้นผู้ฝึกสอน ควรเตือนให้นักกีฬาดื่มน้ำเป็นระยะๆ เพราะหากดื่มน้ำเฉพาะเมื่อร่างกายเกิดความกระหาย อาจต้องใช้เวลาหลายวันกว่าจะทดแทนน้ำที่สูญเสียในภาวะขาดน้ำได้

การทดแทนน้ำในภาวะขาดน้ำ

เมื่อเกิดภาวะขาดน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำเลือดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร่างกายมีการหลั่งฮอร์โมนต่างๆ ที่จะสั่งให้ร่างกายลดการสูญเสียน้ำ การศึกษาเรื่องนี้ได้กล่าวถึงการทดแทนน้ำหลังจากเกิดภาวะขาดน้ำว่า การดื่มน้ำทดแทนจะยังไม่สามารถลดภาวะขาดน้ำได้หมดภายใน 4 ชั่วโมงแม้ว่าจะดื่มน้ำในปริมาณเท่ากับที่สูญเสียไป นอกจากนี้การทดแทนน้ำจะมีประสิทธิภาพ

เมื่อดื่มน้ำที่ผสมคาร์โบไฮเดรตและเกลือแร่ (Advancing Rehabilitation Enhancing Quality of Life, 2003)

Duvillard (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลการดื่มน้ำต่อสมรรถภาพขณะออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน กล่าวว่า จากงานวิจัยมากมายได้ยืนยันว่าสมรรถภาพจะลดลงได้ถ้านักกีฬาเกิดการขาดน้ำ นักกีฬาที่ต้องอาศัยความอดทนของร่างกายนั้นควรได้ดื่มน้ำที่ผสมคาร์โบไฮเดรตและเกลือแร่ ทั้งก่อนและหลังฝึก รวมทั้งระหว่างการแข่งขัน การได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอจะช่วยเพิ่มความสามารถ หลีกเลี่ยงความเครียดจากอุณหภูมิสูง (Heat stress) รักษาระดับพลาสมา เกิดการลำเลียงลง และป้องกันการบาดเจ็บจากการขาดน้ำและสูญเสียเหงื่อ การรักษาระดับน้ำในร่างกายของนักกีฬาให้เหมาะสมทั้งก่อน ระหว่าง และหลังฝึกหรือแข่งขันจะช่วยลดการสูญเสียน้ำ รักษาความสามารถ ลดอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายที่ระดับ Submaximum รักษาระดับพลาสมา ลดความเครียดของร่างกายจากความร้อน (Heat stress) และความล้าจากความร้อนได้

Otani *et al.* (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องภาวะขาดน้ำ และความทนทานในการออกกำลังกายของผู้ที่ไม่ใช่นักกีฬา โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายสุขภาพดีจำนวน 6 คนซึ่งไม่ใช่เป็นนักกีฬา กลุ่มตัวอย่างทำการออกกำลังกาย ที่ระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด 80% จนกระทั่งหมดกำลัง (Exhaustion) ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 32 องศาเซลเซียส และความชื้น 60%) ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้ (1) 2% hydration (2) 1% hydration และ (3) euhydration ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาความทนทานของการออกกำลังกายภายใต้แต่ละเงื่อนไขมีค่าเฉลี่ยคือ $7.7 + 1.5$, $14.0 + 2.4$, $20.9 + 3.7$ นาทีตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความทนทานของการออกกำลังกายจะลดลงอย่างมากแม้ในภาวะสูญเสียน้ำในระดับต่ำ ระหว่างการออกกำลังกายภายใต้ความร้อน ซึ่งการลดลงของความทนทานนี้เกี่ยวข้องกับ การที่ภาวะขาดน้ำทำให้อุณหภูมิเริ่มต้น (Initial temperature) ของร่างกายสูงขึ้น และนำไปสู่การที่อุณหภูมิของร่างกายจะถึงจุดวิกฤติเร็วขึ้น

Sawka *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของน้ำในร่างกาย ต่อการควบคุมความร้อน และผลการออกกำลังกายภายใต้ความร้อน ผลการศึกษาพบว่า ระหว่างการออกกำลังกาย เหงื่อที่ออกมาจะมีมากกว่า น้ำที่ได้รับทดแทน ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ (Hypohydration) และการขาดน้ำ (Water deficit) ทำให้ของเหลวภายในเซลล์ หรือนอกเซลล์ลดปริมาณลง ส่งผลให้เกิดภาวะ Hypertonic-hypovolemia ของเลือด การออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะได้รับผลในทางลบจากการสูญเสียน้ำ (ถึงแม้ไม่ใช่อยู่ภายใต้ความร้อน) การสูญเสียน้ำมีผลให้การเก็บความร้อนในร่างกาย

เพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดลงของอัตราการเสียเหงื่อและการไหลเวียนของเลือดไปยังบริเวณผิวหนัง ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ทั้งภาวะ Hypertonic และ Hypovolemia มีส่วนในการลดการเสียความร้อน และ ทำให้ร่างกายสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ภาวะ Hypovolemia และการที่เลือดไหลเวียนไปที่ผิวหนังไม่ได้รับการทดแทน ทำให้เป็นการยากที่จะรักษาความดันของเส้นเลือดดำ และปริมาณเลือดที่ปั๊มออกจากหัวใจเพื่อไปสนับสนุนกระบวนการเมตาบอลิซึม และกระบวนการควบคุมความร้อนของร่างกายด้วย ภาวะการขาดน้ำไม่ให้เกิดต่อการควบคุมความร้อนของร่างกาย และการออกกำลังกายภายใต้ความร้อน

Sawka (2001) ได้ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับผลของระดับน้ำในร่างกายต่อกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายและสมรรถภาพร่างกายขณะออกกำลังกายในที่ร้อน แล้วสรุปไว้ว่า สมดุลน้ำและเกลือแร่ในร่างกายนั้นมีความสำคัญต่อความสามารถในการปรับอุณหภูมิและสมรรถภาพของร่างกายระหว่างที่ออกกำลังกายในที่ร้อน การสูญเสียน้ำและเกลือนั้นส่วนใหญ่จะสูญเสียไปในรูปของเหงื่อ ซึ่งอัตราการเสียเหงื่อจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เสื้อผ้าที่สวมใส่ และความหนักของการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกาย การเสียเหงื่อมีมากกว่าการดื่มน้ำทดแทนซึ่งทำให้เกิดการขาดน้ำ โดยการขาดน้ำนั้นจะมีผลให้น้ำจากทั้งในและนอกเซลล์ลดลง ทำให้ปริมาตรของพลาสมาในร่างกายลดลงด้วย การได้รับน้ำไม่เพียงพอขณะออกกำลังกายจะส่งผลให้เลือดไหลเวียนไปที่ผิวหนังลดลง เหงื่อออกน้อยลง ส่งผลให้มีความร้อนเก็บสะสมในร่างกายมากขึ้น

ปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกาย

นิรอมลี (2547) ได้ให้ความหมายของปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption) ไว้ว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจน หมายถึง อัตราของก๊าซออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้เซลล์เพื่อใช้ในการสันดาปเป็นพลังงานต่อหนึ่งนาที่ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ และระบบกล้ามเนื้อ หน่วยที่ใช้วัดปริมาณการใช้ออกซิเจน สามารถวัดออกมาได้ทั้งหน่วยที่เป็นค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ซึ่งได้แก่ ลิตรต่อนาที หรือมิลลิลิตรต่อนาที และหน่วยที่เป็นค่าสัมพัทธ์ ซึ่งได้แก่ มิลลิลิตรต่อน้ำหนักโลกรัมต่อนาที โดยทั่วไปในการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนระหว่างบุคคลนั้น จะใช้หน่วยที่เป็นค่าสัมพัทธ์ เนื่องจากปริมาณการใช้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของร่างกาย

$$\text{VO}_2 = \text{C.O.} \times (\text{a} - \text{v}) \text{O}_2 \text{ difference}$$

เมื่อ	VO_2	= อัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกาย (Oxygen consumption)
	C.O.	= ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output)
	$(\text{a} - \text{v}) \text{O}_2$	= ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงและเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference)

ค่า Cardiac output มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที หรือ มิลลิลิตรต่อนาที สามารถหาได้จากผลคูณของอัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate) กับปริมาตรเลือดที่หัวใจสูบฉีดในแต่ละครั้ง (Stroke volume) ส่วนความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงและเลือดดำ $(\text{a} - \text{v})\text{O}_2$ เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของเซลล์ในการสกัดออกซิเจนไปใช้ ซึ่งเซลล์ของร่างกายค่อนข้างมีขีดจำกัด ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่า $\text{VO}_2 \text{ max}$ จากการออกกำลังกายนั้น เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Cardiac output ส่วน $(\text{a} - \text{v})\text{O}_2$ มีค่าคงที่ (ภานรี, 2541)

สัญญา (2532) กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนให้กล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายนั้นทำได้ 2 วิธี คือ การเพิ่มอัตราการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้ออื่นๆ ที่ทำงาน และการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อเอง ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงกลไกทางสรีรวิทยาดังต่อไปนี้

1. เพิ่มการทำงานของหัวใจมากขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที
2. หลอดเลือดของกล้ามเนื้อที่ทำงานเกิดการขยายตัว ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยลดความต้านทานของหลอดเลือดในกล้ามเนื้อได้
3. อวัยวะต่างๆ ที่ไม่ได้ทำงานหรือเกี่ยวข้องในขณะออกกำลังกาย เกิดการบีบตัวทำให้กล้ามเนื้อได้รับปริมาณเลือดมากขึ้น

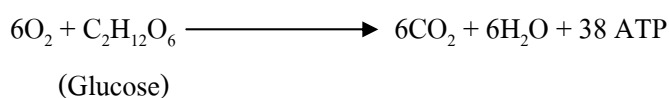
ส่วนการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อนั้น เกิดจากเมื่อกกล้ามเนื้อมีปริมาณการใช้ออกซิเจนมากขึ้นแล้ว ความแตกต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำของกล้ามเนื้อนั้นก็จะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นความดันย่อยของออกซิเจน

ในกล้ามเนื้อจึงลดต่ำลง ในขณะที่ความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้น ร่างกายจะมีภาวะความเป็นกรดมากขึ้น และอุณหภูมิในกล้ามเนื้อก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้ออกซิเจนหลุดออกจากฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ประกอบกับความดันย่อยของออกซิเจนในกล้ามเนื้อมีค่าต่ำ จึงช่วยทำให้ออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่กล้ามเนื้อได้ดียิ่งขึ้น

ประทุม (2527) กล่าวว่า ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายนำไปใช้ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการระบายอากาศของปอด (Minute ventilation : $\dot{V}_E$) เพราะค่า $\dot{V}_E$ อาจมีปริมาณเพิ่มขึ้นได้ต่อไปถึงแม้ว่าค่า $\dot{V}O_2$ ได้ถึงขีดสูงสุดแล้ว ดังนั้น Cardiac output จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดว่าปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้กล้ามเนื้อใช้นั้นมีมากน้อยเพียงใด และปริมาณของฮีโมโกลบินในเลือดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่กำหนดปริมาณการใช้ออกซิเจน เพราะออกซิเจนเกือบทั้งหมดในเลือดจะเกาะอยู่กับฮีโมโกลบิน ดังนั้นถ้าหากมีจำนวนฮีโมโกลบินมากก็สามารถนำออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากขึ้น โดยออกซิเจนจะถูกส่งไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 อย่าง คือ

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute ventilation) เมื่ออากาศเข้าสู่ปอดมากในขณะที่ออกกำลังกายหรือมีความจุปอด (Vital capacity) เพิ่มขึ้น จะทำให้ความดันของออกซิเจนภายในปอดมีมากขึ้น การฟุ้งกระจาย การไหลของก๊าซสู่ระบบไหลเวียนเลือดสะดวกยิ่งขึ้นจึงสามารถเข้าสู่ภายในเซลล์มากขึ้น
2. ความสามารถของเลือดที่จะรับออกซิเจนเข้าไปได้ ตัวการสำคัญในการจับออกซิเจนเข้าสู่กระแสโลหิตคือ ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) หากมีจำนวนมากก็สามารถพาออกซิเจนไปใช้ได้มาก
3. ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ ในขณะที่ออกกำลังกายที่ระดับความหนักมากๆ ร่างกายจะมีการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่สูง ดังนั้นความต้องการออกซิเจนก็จะสูงตามขึ้นด้วย
4. ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที (Cardiac output) หากหัวใจฉีดเลือดออกจากหัวใจมากเท่าใด การใช้ออกซิเจนก็จะมากไปด้วย

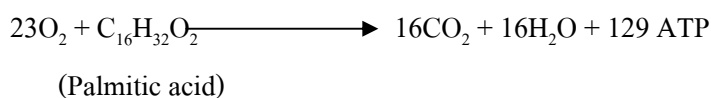
นอกจากนั้น ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า ในการวัดการใช้พลังงานโดยทางอ้อมจะทำให้ทราบค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างการหายใจได้อีกด้วย โดยหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกับปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ไป ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวเรียกว่า Respiratory exchange ratio (RER) หรือ Respiratory quotient (RQ) ค่าดังกล่าวจะบ่งบอกถึงกระบวนการเผาผลาญ (Metabolism) ของสารอาหารชนิดต่างๆ ภายในเซลล์ โดยค่าของ RQ จะขึ้นกับชนิดของอาหารที่เซลล์ใช้ เป็นต้นว่า เมื่ออวัยวะหนึ่งใช้เฉพาะคาร์โบไฮเดรตเพื่อสร้างพลังงาน ปริมาณออกซิเจน ($\dot{V}O_2$) ที่ต้องใช้เผาผลาญกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ($\dot{V}CO_2$) ที่ถูกผลิตขึ้นจะมีค่าเท่ากัน เช่น กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) จะมีคาร์บอน 6 อะตอมระหว่างการเผาไหม้ กลูโคส จะต้องใช้ใช้ออกซิเจน 6 อะตอม ในการที่จะทำให้เกิด $6CO_2$ $6H_2O$ และพลังงาน 38 ATP



ดังนั้นในการวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นกับปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไป พบว่ามีอัตราส่วนของการแลกเปลี่ยนก๊าซจากการหายใจ ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$) มีค่าเท่ากับ 1.0 แสดงว่าใช้คาร์โบไฮเดรตในกระบวนการสันดาปพลังงาน

$$RER = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2 = 6CO_2 / 6O_2 = 1.0$$

ในขณะที่เมื่อใช้ไขมันในการสร้างพลังงาน ปริมาณออกซิเจน ($\dot{V}O_2$) ที่ใช้เผาผลาญจะต้องมีค่ามากกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ($\dot{V}CO_2$) ที่ถูกผลิตขึ้น เช่น กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) $C_{16}H_{32}O_2$ จะต้องใช้ O_2 23 โมเลกุล จึงจะได้เป็น $16CO_2$ $16H_2O$ และ 129 ATP



$$RER = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2 = 16CO_2/23O_2 = 0.70$$

การเผาไหม้ คาร์โบไฮเดรต จะใช้โมเลกุลของออกซิเจนมากกว่าโมเลกุลของกลูโคส ถ้าเปรียบเทียบจะพบว่า กระบวนการสันดาปพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต จะได้ ATP 6.3 โมเลกุล ต่อออกซิเจน 1 โมเลกุล (38 ATP ต่อ $6O_2$) เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการสันดาปพลังงานจากกรด ไขมันอิ่มตัว จะได้ ATP 5.6 โมเลกุลต่อออกซิเจน 1 โมเลกุล (129 ATP ต่อ $23O_2$) ดังนั้นไขมันจะใช้ พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรต และต้องการออกซิเจนในการสันดาปไขมันเป็นพลังงานมากกว่า คาร์โบไฮเดรต เช่นกัน ซึ่งดูจากค่า RQ หรือค่า RER จะพบว่า ค่าที่ได้จากไขมันจะต่ำกว่า คาร์โบไฮเดรต (เลียงชัย, 2538)

ประทุม (2527) กล่าวว่าวิธีการคำนวณดังกล่าวทำให้ทราบว่าร่างกายจะสร้าง ATP ส่วนใหญ่ด้วยการเผาผลาญสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตหรือสารอาหารประเภทไขมัน ถ้า RQ มีค่าใกล้เคียง 1.0 แสดงว่าคาร์โบไฮเดรตถูกเผาผลาญเป็นส่วนใหญ่ หาก RQ มีค่าใกล้เคียง 0.7 แสดงว่าพลังงานส่วนใหญ่ได้จากการเผาผลาญไขมันค่า RQ จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพร่างกาย ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเสมอตลอด 24 ชั่วโมง เช่น ค่าของค่า RQ ขณะพักผ่อน ออกกำลังกายเบาๆ ปานกลาง และหนักมาก จึงไม่เท่ากัน การออกกำลังกายที่อยู่ในระดับความหนักมากๆ จะทำให้ค่า ของ RQ มีค่ามากกว่า 1.0 ได้ซึ่งแสดงว่าปริมาณ CO_2 ที่ร่างกายขจัดออกมีปริมาณสูงกว่าปริมาณ O_2 ที่ถูกนำไปใช้

อย่างไรก็ดี Respiratory exchange ratio (RER) เป็นเศษส่วนการหายใจที่เกิดขึ้น บริเวณ ปอด ส่วน Respiratory quotient (RQ) เป็นเศษส่วนการหายใจที่เกิดขึ้นบริเวณเนื้อเยื่อหรือเซลล์ ดังนั้นจะถูกนำมาใช้ในแตกต่างกัน โดยในขณะที่พักค่า RER และ RQ จะมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อมี การออกกำลังกาย ค่า RER จะมีค่ามากกว่าค่า RQ ทั้งนี้เพราะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูก ขจัดออกบริเวณปอดจะปริมาณมากและเร็วกว่าบริเวณเนื้อเยื่อ ดังนั้นเมื่อมีการออกกำลังกาย อย่างหนัก ค่า RER จะมากกว่า 1 เสมอ ในขณะที่ค่า RQ จะมีค่าไม่เกิน 1 (Kent, 1998) และจากค่า RER และ RQ จะทำให้สามารถทราบแหล่งพลังงานที่ร่างกายนำไปใช้ระหว่างออกกำลังกายได้ โดยการเทียบจากตาราง ดังนี้

RER	CHO%	FAT%	Caloric Equivalent
			(Kcal/L of O ₂)
0.70	0.0	100.0	4.686
0.71	1.4	98.6	4.690
0.72	4.8	95.2	4.702
0.73	8.2	91.8	4.714
0.74	11.6	88.4	4.727
0.75	15.0	85.0	4.739
0.76	18.4	81.6	4.751
0.77	21.8	78.2	4.764
0.78	25.2	74.8	4.776
0.79	28.6	71.4	4.788
0.80	32.0	68.0	4.801
0.81	35.4	64.6	4.813
0.82	38.8	61.2	4.825
0.83	42.2	57.8	4.838
0.84	45.6	54.4	4.850
0.85	49.0	51.0	4.862
0.86	52.4	47.6	4.875
0.87	55.8	44.2	4.887
0.88	59.2	40.8	4.899
0.89	62.6	37.4	4.911
0.90	66.0	34.0	4.924
0.91	69.4	30.6	4.936
0.92	72.8	27.2	4.948
0.93	76.2	23.8	4.961
0.94	79.6	20.4	4.973
0.95	83.0	17.0	4.985
0.96	86.4	13.6	4.998
0.97	89.8	10.2	5.010
0.98	93.2	6.8	5.022
0.99	96.6	3.4	5.035
1.00	100.0	0.0	5.047

ที่มา: Plowman and Smith (2003)

กรดแลคติกในขณะออกกำลังกาย

Astrand *et al.* (1986) ได้ทำการวิจัยถึงการสลายตัวของกรดแลคติก พบว่า กรดแลคติกเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อก่อนแล้วแพร่กระจายออกมาในกระแสเลือด หลังจากการฟื้นตัวแล้ว 5 นาที ความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อที่ทำงาน จะใกล้เคียงกับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด แล้วกลับสู่สภาวะปกติหรือเท่ากับขณะพัก เมื่อเวลาผ่านไป 58 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Karlsson *et al.* (1981) พบว่ากรดแลคติกจะสลายในกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าในเลือดเล็กน้อย และถ้ามีการสะสมไว้เป็นจำนวนมากกล้ามเนื้อจะไม่สามารถทำงานต่อไปได้ โดยปกติแล้วในเลือดจะมีกรดแลคติก 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกไปออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากปัจจัยหนึ่ง โดยมีเลือดเป็นตัวกลางในการนำออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย และยังช่วยนำของเสียออกมาจากกล้ามเนื้อ ดังที่ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า การที่มีระบบไหลเวียนเลือดดีจะช่วยให้การฟื้นตัวเกิดขึ้น กรดแลคติกถูกกำจัดออกไปได้เร็วในทางสรีรวิทยาการกำจัดกรดแลคติกสามารถทำได้หลายกระบวนการ ดังนี้

1. ขับถ่ายออกทางปัสสาวะและเหงื่อ ประมาณ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์
2. การเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส และ/หรือ ไกลโคเจน เนื่องจากกรดแลคติกเป็นผลผลิตจากการสลายคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นไกลโคเจนและกลูโคสในกล้ามเนื้อและตับได้ แต่กระบวนการเป็นไปช้ามาก
3. การเปลี่ยนไปเป็นโปรตีน ซึ่งจะเกิดเพียงเล็กน้อยในทันที ของระยะฟื้นตัว
4. การออกซิเดชันเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีนี้ทำให้ขบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกเกิดขึ้นได้มากที่สุด กรดแลคติกสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เมื่อมีออกซิเจน โดยเปลี่ยนไปเป็นกรดพลัยรูวิกก่อนแล้วเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

พิชิต (2535) ได้กล่าวถึง กระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายว่า กรดแลคติกที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดการออกซิเดชันในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ได้พลังงานออกมาเพื่อนำมาใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้ออีก ส่วนกรดแลคติกที่เหลือไม่ได้รวมกับออกซิเจนจะถูกส่งไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดังต่อไปนี้

1. ไปที่ผิวหนังเพื่อขจัดออกทางเหงื่อ ประมาณ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์
2. ไปที่กล้ามเนื้อหัวใจเพื่อกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจให้เร็วขึ้น
3. ไปที่ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนเก็บสะสมและเปลี่ยนกลูโคสได้อีกเมื่อร่างกายต้องการ
4. ไปที่ไตเพื่อขจัดออกไปในรูปของ Sodium lactate จะพบเกลือชนิดนี้ในปัสสาวะหลังจากออกกำลังกายแล้วประมาณ 30-50 นาที

ความอ่อนตัวและช่วงของการเคลื่อนไหว

ซุซุกี และ กันยา (2536) กล่าวถึง ความอ่อนตัวอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ความอ่อนตัวชนิดพาสซีฟ (Passive) ซึ่งเป็นช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อที่เกิดขึ้น เมื่อกล้ามเนื้อมีการคลายตัว และข้อต่อถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยผู้อื่น และความอ่อนตัวชนิดไดนามิกส์ (Dynamics) เป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อ โดยเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ควบคุมข้อต่อนั้น ซึ่งความอ่อนตัวแสดงได้โดยช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อข้อใดข้อหนึ่ง หรือหลายข้อรวมกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่างคือ

1. กระดูกและเอ็นของข้อต่อ โดยข้อต่อทุกข้อมีความจำกัดในช่วงการเคลื่อนไหวเนื่องจากโครงสร้างของกระดูก
2. จำนวนของเนื้อเยื่อที่อยู่รอบข้อ ซึ่งตัวอย่างสำหรับปัจจัยข้อนี้ก็คือ การงอข้อศอกถูกจำกัดโดยกล้ามเนื้อไบเซปส์ ถ้ากล้ามเนื้อไบเซปส์มีขนาดโตเป็น 2 เท่า จะทำให้การงอข้อศอกน้อยลงเห็นได้ชัด
3. ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อที่มีเอ็นยึดคร่อมข้อต่อ โดยการไม่ค่อยได้มีการเคลื่อนไหวจะทำให้กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่างๆ เสียความสามารถในการยืดไปได้ จึงทำให้ความอ่อนตัวเป็นไปได้ไม่ดี นอกจากนั้น การไม่ค่อยได้เคลื่อนไหวจะทำให้มีไขมันสะสมอยู่ในร่างกาย ก็ยิ่งลดความอ่อนตัวลงไปอีก

การขาดความอ่อนตัว จะทำให้การเคลื่อนไหวไม่ถูกต้อง เมื่อใดก็ตามที่การเดินหรือการวิ่งไม่สามารถฝึกให้ดีขึ้นได้ ควรจะได้ตรวจสอบความอ่อนตัวก่อน ซึ่งความอ่อนตัวจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวหลายอย่าง ถ้าความอ่อนตัวลดลงจะทำให้การเคลื่อนไหวมีประสิทธิภาพน้อยลง ไม่มีมาตรฐานว่าควรจะมีค่าความอ่อนตัวเท่าใดจึงจะเพียงพอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่จะต้องกระทำ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความอ่อนตัว มีดังต่อไปนี้ คือ

1. รีเฟล็กซ์ยืด (Stretch reflex) เมื่อกล้ามเนื้อถูกยืดโดยทันที จะเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งเกิดจากรีเฟล็กซ์ยืด ความแรงของการหดตัวขึ้นอยู่กับความเร็วและความแรงของการยืด รีเฟล็กซ์ยืดเป็นรีเฟล็กซ์ที่ใช้รักษาท่าทางของร่างกาย มีความจำเป็นที่ทำให้ลำตัวตั้งตรงอยู่ได้ รีเฟล็กซ์ยืดยังช่วยการเคลื่อนไหวที่อยู่ในอำนาจจิตใจด้วย เช่น การงอขา ก่อนการกระโดดสูง หรือการเคลื่อนไหวแขนและไหล่ไปข้างหลัง ก่อนการตีลูกบอล เป็นต้น
2. การฝึกน้ำหนัก โดยการวิจัยต่างๆ ได้แสดงหลักฐานว่า การฝึกน้ำหนักไม่มีอันตรายต่อความอ่อนตัวเมื่อได้ปฏิบัติอย่างถูกต้อง
3. ลักษณะรูปร่างของร่างกายและสัดส่วน โดยการวิจัยได้แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันน้อยระหว่างความอ่อนตัวกับลักษณะรูปร่างของร่างกาย ไขมันของร่างกายมีความสัมพันธ์ในทางลบกับความอ่อนตัว จำนวนกล้ามเนื้อของร่างกายไม่เกี่ยวกับความอ่อนตัว นอกจากกล้ามเนื้อจะรบกวนกับการเคลื่อนไหวในช่วงสุดท้าย ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างความอ่อนตัวกับความยาวของแขน ขา และลำตัว แต่ผู้ที่แขนและลำตัวยาวเมื่อเทียบกับขา จะได้เปรียบในการก้มตัวเอามือแตะพื้น
4. ระดับการออกกำลังกาย โดยการที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย จะทำให้ กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่าง ๆ สูญเสียความสามารถในการยืดไปได้ ในทางกลับกัน การออกกำลังกายอยู่เป็นประจำ จะช่วยให้ความอ่อนตัวคงที่อยู่เป็นปกติและความอ่อนตัวที่มากกว่าปกติสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ โดยการออกกำลังกายเฉพาะอย่าง

5. ความเฉพาะของความอ่อนตัว โดยการวิจัยได้แสดงว่า ความอ่อนตัวมีความเฉพาะอย่างมากที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวเฉพาะอย่าง หมายความว่าผู้ที่มีความอ่อนตัวในการเคลื่อนไหวบางอย่างได้มากกว่าปกติ อาจมีความอ่อนตัวน้อยกว่าปกติในการเคลื่อนไหวบางอย่างได้

6. อายุและเพศ โดยความอ่อนตัวที่มากที่สุดมีได้ในเด็กระดับประถม และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อมีอายุได้ 11-12 ปี หลังจากนั้นความอ่อนตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงวัยหนุ่มสาว ต่อมาความอ่อนตัวจะลดลงตามอายุ ในเด็กเล็กพบว่าเด็กหญิงมีความอ่อนตัวมากกว่าเด็กชาย ในผู้ใหญ่ก็เช่นเดียวกัน

7. อุณหภูมิ โดย Wright and Johns (1960) พบว่า เมื่อทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 113 °F จะทำให้ความอ่อนตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 20% เชื่อกันว่าการเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายจากการออกกำลังกายจะทำให้กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อยืดได้มากขึ้น จึงเพิ่มความอ่อนตัวได้ชั่วคราว นอกจากนั้นยังเชื่อกันอีกว่า การเพิ่มการยืดได้ จะทำให้โอกาสที่เนื้อเยื่อจะได้รับอันตรายลดลง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนสูง
2. เครื่องวัดชีพจรขณะฝึก
3. เครื่องวัดความดันโลหิต
4. สเกลวัดค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Borg' s Scale)
5. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิทางหู (Infrared Ear Thermometer)
6. เครื่องวัดความอ่อนตัว
7. อุปกรณ์เก็บเหงื่อ
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน
10. เครื่องวัดค่ากรดแลคติก
11. อุปกรณ์เก็บเลือดเพื่อวัดปริมาณพลาสมา
12. เอกสารชี้แจงข้อมูล
13. ใบบันทึกผล

วิธีการ

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากรในการวิจัยนี้ คือ สมาชิกแอ็บเซอลูทโยคะ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยการคัดเลือกและสอบถามความสมัครใจจากกลุ่มประชากรเพศหญิง อายุ 20 – 40 ปี ที่มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดเบื้องต้นในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมในงานวิจัย และมีความสมัครใจในการเข้าร่วมงานวิจัย ได้กลุ่มตัวอย่าง 30 คน

กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการฝึก

- โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง
- โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง

ครูฝึกโยคะ

ครูฝึกโยคะในกรณีศึกษาครั้งนี้ คือ ครูฝึกโยคะของแอ็บเซอคูท โยคะ เพศหญิงอายุ 25 ปี จำนวน 1 คน ซึ่งก็คือ ผู้วิจัย มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดเบื้องต้นในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมในงานวิจัยและเป็นครูฝึกให้กับกลุ่มตัวอย่างด้วย

ครูฝึกจะได้รับการฝึก

- โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง
- โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส จำนวน 32 ท่า (ภาคผนวก ก)
2. โปรแกรมการฝึกโยคะในอุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส จำนวน 32 ท่า (ภาคผนวก ก)

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ชี้แจงขั้นตอนของการวิจัยให้แก่ผู้เกี่ยวข้องและผู้เข้าร่วมงานวิจัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน
2. ลงนามในเอกสารชี้แจงรายละเอียดการวิจัยและแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย
3. เก็บข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่างและครูฝึก ก่อนการฝึกโยคะ ได้แก่

- 3.1 ชั่งน้ำหนัก
- 3.2 วัดส่วนสูง
- 3.3 คำนวณค่า Body Mass Index
- 3.4 วัดค่าชีพจรขณะพัก
- 3.5 วัดค่าความดันโลหิต

4. ทำการฝึกตามโปรแกรมการฝึก ครั้งละ 90 นาที (ภาคผนวก ก) ขั้นตอนในการฝึก มีดังนี้

- ฝึกการหายใจ 1 ท่า
- ฝึกโยคะจำนวน 30 ท่า
- ฝึกการหายใจ 1 ท่าและพักผ่อนร่างกาย

5. กลุ่มตัวอย่าง 30 คนจะได้รับการฝึกโยคะตามโปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง และฝึกตามโปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง ในการฝึกแต่ละครั้งจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

ก่อนการฝึก 5 นาที เก็บข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- น้ำหนักตัว
- ปริมาณน้ำที่เตรียมไว้สำหรับดื่มระหว่างการฝึก
- ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ก่อนการฝึก 3 นาทีและในระหว่างการฝึก (นาทีที่ 20,30,50,70,90) เก็บข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- ชีพจรขณะฝึก
- อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย (ภาคผนวก ง)
- ค่าความดันโลหิต
- ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย
- หลังจากการฝึก 10 นาที เก็บข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้
- น้ำหนักตัว

- ปริมาณน้ำที่เหลือหลังจากการฝึก
- ความยืดหยุ่นของร่างกาย

หมายเหตุ

- 1) ในการฝึกแต่ละครั้งมีการควบคุมเวลาในการฝึกและพักทุกครั้งให้เท่ากัน
 - 2) ตลอดการฝึกกลุ่มตัวอย่างจะติดอุปกรณ์เพื่อเก็บเหงื่อ และจะนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อโดยใช้วิธีการทางห้องปฏิบัติการ (ภาคผนวก จ)
 - 3) จากการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังฝึก และปริมาณน้ำที่ดื่มระหว่างฝึกจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณเหงื่อและอัตราการหลังเหงื่อ
6. ครูฝึกจะได้รับการฝึกโยคะตามโปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง และฝึกตามโปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง ในการฝึกแต่ละครั้งจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

ก่อนการฝึก 5 นาที เก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- น้ำหนักตัว
- ปริมาณน้ำที่เตรียมไว้สำหรับดื่มในระหว่างการฝึก
- ความยืดหยุ่นของร่างกาย
- กรดแลคติกในเลือด (ภาคผนวก ฉ)
- ปริมาณพลาสมา (ภาคผนวก ช)
- ปริมาณการใช้ออกซิเจน (ภาคผนวก ซ)

ก่อนการฝึก 3 นาทีและในระหว่างการฝึก (นาทีที่ 20,30,50,70,90) เก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ชีพจรขณะฝึก
- อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย (ภาคผนวก ง)
- ค่าความดันโลหิต
- ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย
- กรดแลคติกในเลือด (เก็บนาทีที่ 20, 50, 90)
- ปริมาณการใช้ออกซิเจน

หลังจากการฝึก 10 นาที เก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- น้ำหนักตัว
- ปริมาณน้ำที่เหลือหลังจากการฝึก
- ความยืดหยุ่นของร่างกาย
- ปริมาณพลาสมา
- ปริมาณการใช้ออกซิเจน

หมายเหตุ

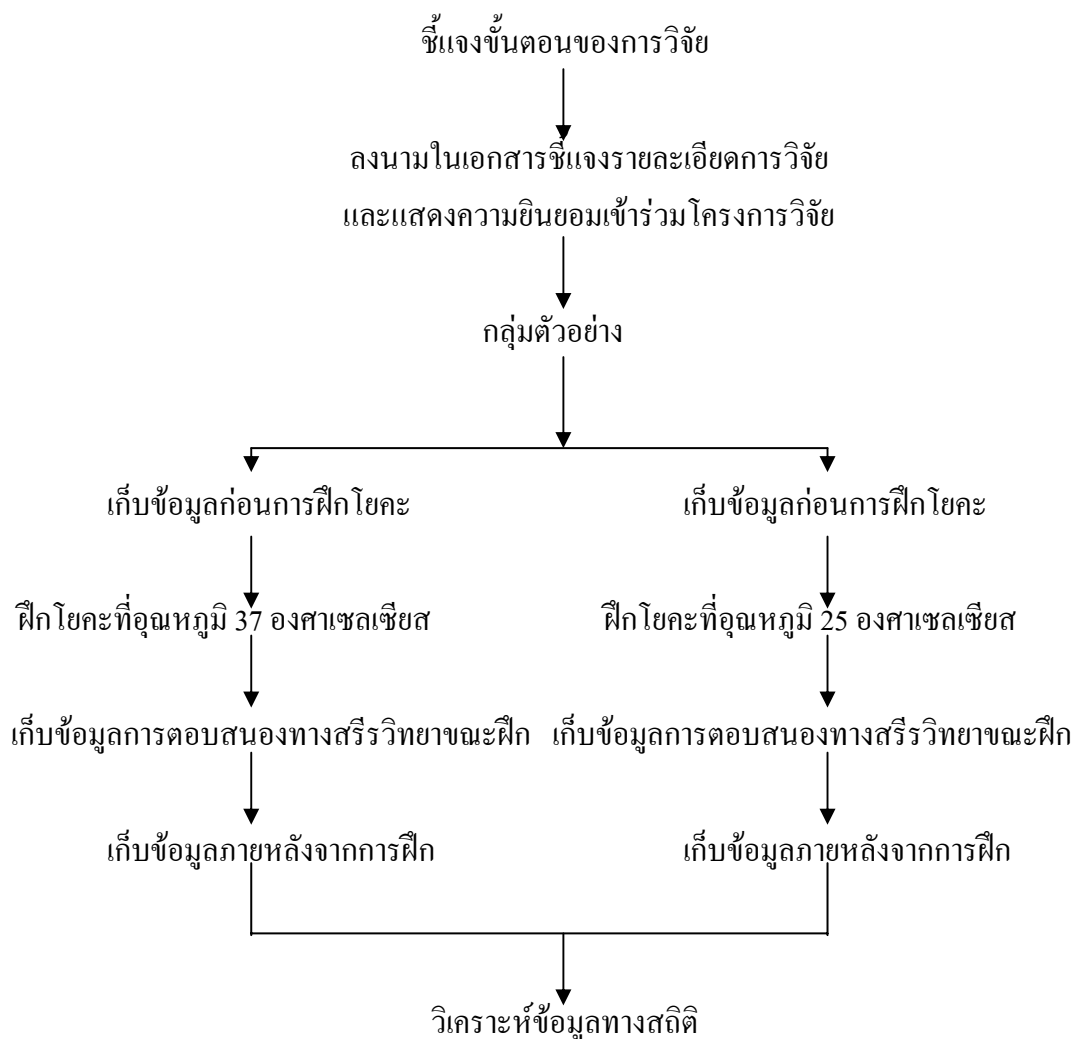
1) ในการฝึกใช้เครื่องบันทึกเสียงลำดับและระยะเวลาในการฝึกแต่ละท่า เพื่อใช้ในการควบคุมให้ทุกครั้งที่ทำกรฝึกสามารถฝึกได้เหมือนกัน

2) ตลอดการฝึกครูฝึกจะติดอุปกรณ์เพื่อเก็บเหงื่อ และจะนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อโดยใช้วิธีการทางห้องปฏิบัติการ (ภาคผนวก จ)

3) จากการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังฝึก และปริมาณน้ำที่ดื่มระหว่างฝึกจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณเหงื่อและอัตราการหลังเหงื่อ

7. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

แผนภูมิแสดงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล



สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า Body Mass Index ค่าชีพจรขณะพัก และค่าความดันโลหิตของกลุ่มตัวอย่าง
2. ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า Body Mass Index ค่าชีพจรขณะพัก และค่าความดันโลหิตของครูฝึก

3. คำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ของตัวแปรต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ชีพจรขณะฝึก ค่าความดันโลหิต การสูญเสียเหงื่อในร่างกาย อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion: RPE) ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ และความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ ทั้งก่อนฝึก ระหว่างการฝึกและหลังจากการฝึก

4. คำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของตัวแปรต่างๆ ของครูฝึก ได้แก่ ชีพจรขณะฝึก ค่าความดันโลหิต การสูญเสียเหงื่อในร่างกาย อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion: RPE) ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ ปริมาณพลัสมา กรดแลคติก และปริมาณการใช้ออกซิเจน ทั้งก่อนฝึก ระหว่างการฝึกและหลังจากการฝึก

5. ทดสอบการแจกแจงแบบโค้งปกติของข้อมูล โดยใช้สถิติ The Kolmogorov-Sminov One Sample Test ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

6. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างการฝึกทั้ง 2 โปรแกรมของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ dependent t-test ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

7. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างการฝึกทั้ง 2 โปรแกรมของครูฝึก

สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

สถานที่

- แอ็บเซอตูทโยคะ ชั้น 14 อาคารสำนักงาน เซ็นทรัล ปิ่นเกล้า เป็นสถานที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส

- ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจัดให้กลุ่มตัวอย่างได้รับการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง และฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง โดยในการฝึกโยคะแต่ละครั้ง ท่าโยคะที่ใช้ในการฝึก คือท่าเดียวกัน แตกต่างกันเพียงอุณหภูมิของห้องฝึกเท่านั้น และท่าโยคะที่ใช้ในการฝึก ประกอบด้วย ท่าฝึกหายใจ 2 ท่า และท่าโยคะ 30 ท่า ข้อมูลที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่างในการฝึกแต่ละครั้ง ได้แก่ น้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ความยืดหยุ่นของร่างกาย ชีพจรขณะฝึก อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าความดันโลหิต ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย และเก็บเหงื่อเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ โดยการฝึกโยคะแต่ละครั้ง ระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ ผลการวิจัยจะนำเสนอเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การตอบสนองของร่างกาย

ตอนที่ 3 การสูญเสียเหงื่อของร่างกาย

ตอนที่ 4 ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ตอนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ก่อนทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการซักประวัติเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างผ่านการฝึกโยคะมาแล้วอย่างน้อย 10 ครั้ง และฝึกเป็นประจำ ไม่มีโรคประจำตัวหรืออาการบาดเจ็บที่อาจเป็นอันตรายในระหว่างการฝึกหรือเป็นอุปสรรคในการฝึกโยคะ และมีความสนใจในการเข้าร่วมงานวิจัย และจากคำกล่าวของ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า โดยทั่วไปนั้น การตอบสนองของสตรีต่อการออกกำลังกายและการฝึกนั้นไม่มีความแตกต่างกันพื้นฐานจากเด็กชาย หรือผู้ใหญ่ที่เป็นชาย นอกจากนี้กลไกของเซลล์ที่ควบคุมการตอบสนองทางชีวเคมี และทางสรีรวิทยาต่อการออกกำลังกายทั้ง 2 เพศนั้นเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม ก็พบว่ามีความแตกต่างกัน

อยู่บ้าง ที่สำคัญคือ ความแตกต่างในด้านความมากน้อย ไม่ใช่ความแตกต่างด้านกลไก และเนื่องจากสมาชิกที่มาฝึกโยคะส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ผู้วิจัยจึงเลือกกลุ่มตัวอย่างเฉพาะเพศหญิงเพียงเพศเดียวในการวิจัยครั้งนี้ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นสมาชิกของศูนย์ฝึกโยคะ แอ็บเซอลูทโยคะ สาขาปิ่นเกล้า จำนวน 30 คน อายุของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 ปีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 30.23 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 53.12 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 1.59 เมตร คิดเป็นค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ย 21.08 กก.ม² ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติ คือ อยู่ในช่วงระหว่าง 20 – 24.9 กก.ม² (สิริพร, 2542) ชีพจรขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.93 ครั้ง/นาที ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยสมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่าปกติของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักไว้ในช่วงระหว่าง 50 -100 ครั้ง/นาที (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) ในการวิจัยครั้งนี้ มีกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าความดันโลหิตสูงเกิน 120/80 มม.ปรอท จำนวน 1 คน มีความดันโลหิตระหว่าง 120/80 ถึง 100/60 จำนวน 25 คน และมีกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าความดันโลหิตต่ำกว่า 100/60 มม.ปรอท จำนวน 4 คน คิดเป็นความดันโลหิต ชีสโตลิก และไดแอสโตลิก เฉลี่ย 110.63 และ 70.50 มม.ปรอท ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า BMI ชีพจรขณะพักและความดันโลหิตของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะทางกายภาพ	$\bar{X}$	SE
อายุ (ปี)	30.23	1.080
น้ำหนัก (กก.)	53.12	1.018
ส่วนสูง (ซม.)	159	0.008
ค่าดัชนีมวลกาย (กก.ม ²)	21.08	0.456
ชีพจรขณะพัก (ครั้ง/นาที)	75.93	1.540
ความดันโลหิตซิสโตลิก (มม.ปรอท)	110.63	1.630
ความดันโลหิตไดแอสโตลิก(มม.ปรอท)	70.50	1.270

ตอนที่ 2 การตอบสนองของร่างกาย

ในตอนที 2 นี้จะกล่าวถึงผลและวิจารณ์ในด้านการตอบสนองของร่างกายในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียส ได้แก่ อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ชีพจรขณะฝึก ค่าความดันโลหิต และค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย

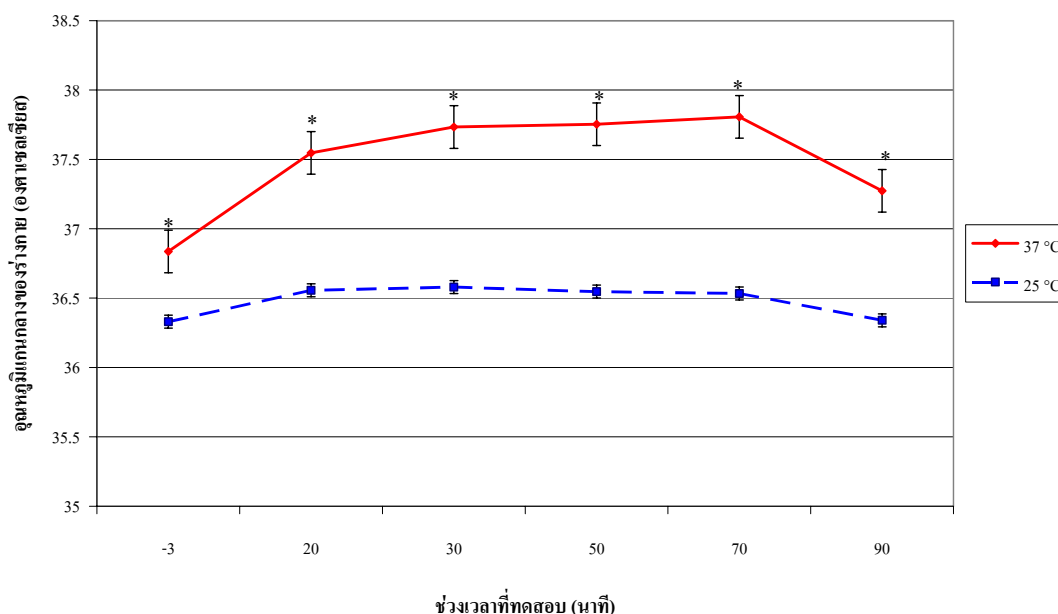
อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: องศาเซลเซียส

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส		
-3	36.80 $\pm$ 0.082	36.33 $\pm$ 0.083	4.348	.000*
20	37.55 $\pm$ 0.116	36.58 $\pm$ 0.039	6.017	.000*
30	37.73 $\pm$ 0.113	36.58 $\pm$ 0.093	7.876	.001*
50	37.75 $\pm$ 0.117	36.55 $\pm$ 0.128	6.963	.000*
70	37.81 $\pm$ 0.113	36.53 $\pm$ 0.103	8.327	.000*
90	37.27 $\pm$ 0.121	36.34 $\pm$ 0.094	6.097	.000*

หมายเหตุ * $p < 0.05$; แสดงค่าเป็น $\bar{x} \pm SE$



ภาพที่ 1 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิแกนกลางร่างกายของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ * $p < 0.05$

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 1 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิแกนกลางร่างกายของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึก แสดงให้เห็นว่า ในการฝึกโยคะทั้งในอุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายมีการเพิ่มสูงขึ้นจากก่อนการฝึก โดยในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายก่อนการฝึกเท่ากับ 36.80 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเป็น 37.8 องศาเซลเซียสในการฝึกนาที่ที่ 70 ของการฝึก เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายจะเพิ่มสูงขึ้น และสูงกว่าการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อมีการออกกำลังกายจะมีเมตาบอลิซึมของเซลล์กล้ามเนื้อมากขึ้น ร่างกายมีการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในร่างกายนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นภายใน 30 นาทีแรกของการออกกำลังกาย เมื่อมีการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นจากร่างกายแล้วร่างกายจะมีการกระจายความร้อนมายังผิวหนัง โดยอาศัยการไหลเวียนของเลือดมาที่ผิวหนังเพื่อระบายความร้อน เป็นการรักษาสมดุลความร้อนในร่างกาย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) และในขณะที่ฝึกมีเมตาบอลิซึมของเซลล์กล้ามเนื้อและการระบายความร้อนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การระบายความร้อนเกิดขึ้นได้น้อยกว่าการสร้างความร้อน จึงเกิดมีการสะสมความร้อนในร่างกายขึ้น หลังจากการฝึกนาที่ที่ 70 กลุ่มตัวอย่างมี

อุณหภูมิแกนกลางร่างกายลดลง เป็น 37.27 องศาเซลเซียส เนื่องจากในช่วงท้ายของการฝึก ทำให้ใช้ ในการฝึกเป็นทำยืดเหยียด ผ่อนคลายกล้ามเนื้อ และอุณหภูมิของห้องฝึกลดลงเนื่องจากปิดเครื่องทำความร้อน ทำให้เกิดการระบายความร้อนได้มากขึ้น อุณหภูมิแกนกลางร่างกายจึงลดลง

ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างก่อนการฝึก 36.33 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นสูงสุดในนาทิตี่ 30 ของการฝึกโดยเพิ่มขึ้น 0.25 องศาเซลเซียส เป็น 36.58 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเกิดจากร่างกายมีการสร้างความร้อน จากการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในร่างกายนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิผิวหนังของร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม การระบายความร้อนจะเกิดจากความร้อนจะผ่านจากร่างกาย ไปสู่อากาศเมื่ออากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นไหลเข้ามาแทนที่ใหม่ เป็นเช่นนี้เรื่อยไป จึงทำให้มีการเสียความร้อนไปจากผิวหนัง (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) แม้ว่าจะมีเมทาบอลิซึมของ กล้ามเนื้อเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถถ่ายเทออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการสะสมความร้อนในร่างกายน้อย

เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างตลอดการฝึก พบว่า อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สูงกว่าฝึกโยคะที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งที่ในการฝึกโยคะทำเดียวกัน นั้นจะมีการทำงานของกล้ามเนื้อที่เท่ากัน ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจึงควรเท่ากัน แต่การระบาย ความร้อนในห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นได้ง่ายทำให้ไม่เกิดการสะสมความร้อน ในร่างกาย อุณหภูมิจึงเริ่มลดลงหลังจากที่ระบบระบายความร้อนของร่างกายเริ่มทำงาน ในขณะที่ การฝึกในห้องอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส การระบายความร้อนเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากในการฝึก ในอุณหภูมิแวดล้อมที่สูง จะทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในร่างกายลดลง เป็นการขัดขวางการเสียความร้อนออกจากร่างกาย นอกจากนั้น เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่า อุณหภูมิผิวหนังจะทำให้ร่างกายได้รับความร้อนจากภายนอกเข้าไปอีกด้วย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) แต่อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายที่สูงขึ้นในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศา เซลเซียสนั้นยังอยู่ในช่วงที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย สอดคล้องกับ Plowman and Smith (2003) ที่กล่าวว่า ร่างกายจะรักษาระดับอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายให้อยู่ในช่วงที่ค่อนข้างแคบ คือ ระหว่าง 36.1 – 37.8 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามร่างกายยังคงมีความพยายามในการระบาย ความร้อนอยู่ตลอดเวลาด้วยการหลั่งเหงื่อและเมื่อถึงช่วงท้ายของการฝึก อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากการปิดเครื่องทำความร้อน ทำให้การระบายความร้อนเกิดขึ้นได้ดีขึ้น อุณหภูมิ

แกนกลางของร่างกายจึงค่อยๆ ลดลง แต่ก็ยังคงส่งผลให้อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายในสภาวะนี้ ยังคงสูงกว่าในการฝึกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

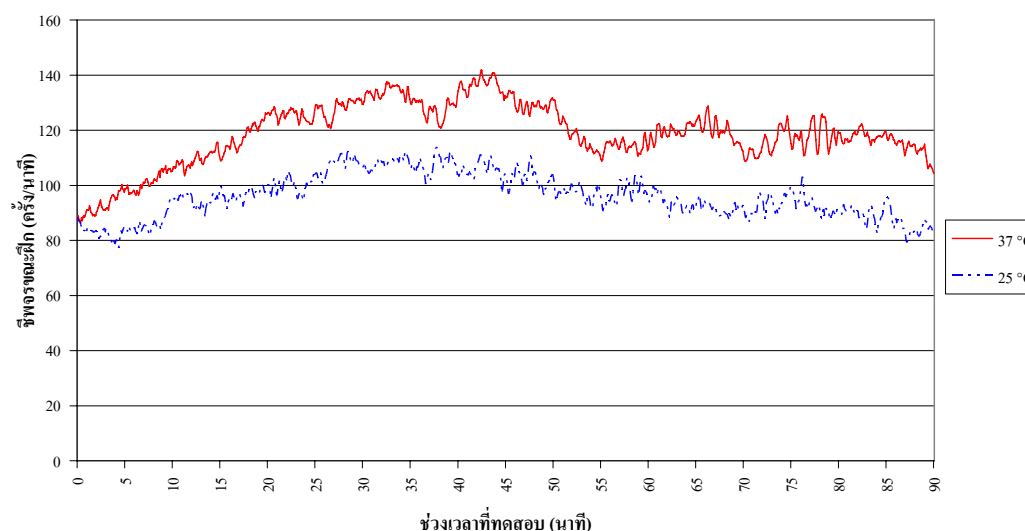
ชีพจรขณะฝึก

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบชีพจรขณะฝึกของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึก โยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: ครั้ง/นาที

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	ชีพจรขณะฝึก		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส		
0-20	105.23 $\pm$ 4.07	89.98 $\pm$ 3.90	4.593	.000*
21-30	126.77 $\pm$ 4.90	103.62 $\pm$ 3.70	3.683	.001*
31-50	131.17 $\pm$ 4.72	105.88 $\pm$ 3.55	4.754	.000*
51-70	117.08 $\pm$ 4.16	94.95 $\pm$ 2.33	3.923	.000*
71-90	116.09 $\pm$ 5.09	90.12 $\pm$ 2.10	3.334	.001*
0 - 90	118.28 $\pm$ 0.345	96.16 $\pm$ 0.247	109.36	.000*

หมายเหตุ * $p < 0.05$; แสดงค่าเป็น $\bar{x} \pm SE$



ภาพที่ 2 แสดงชีพจรขณะฝึกตลอด 90 นาทีของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 2 แสดงผลการทดสอบชีพจรขณะฝึกของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่า ชีพจรขณะฝึกในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สูงกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทุกช่วงเวลาตลอดการฝึก โดยชีพจรตลอดการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย 118.28 ครั้งต่อนาทีและในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย 96.16 ครั้งต่อนาที โดยในการฝึกที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีชีพจรเฉลี่ยสูงกว่าการฝึกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 22.12 ครั้งต่อนาที และในการฝึกทั้งสองอุณหภูมิ นั้นชีพจรจะมีค่าสูงสุดในการฝึกช่วงนาทีที่ 31 – 50 เนื่องจากท่าที่ใช้ฝึกในช่วงนี้ เป็นท่าการฝึก การทรงตัวจะต้องอาศัยกล้ามเนื้อต้นขาและกล้ามเนื้อหน้าท้องเป็นหลัก ซึ่งกล้ามเนื้อทั้งสองส่วนนี้เป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ ในการทำงานจึงต้องการเลือดปริมาณมากเพื่อขนส่งออกซิเจน และอาหาร และขนถ่ายของเสียออกจากกล้ามเนื้อ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเฉลี่ยของชีพจรของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ชีพจรในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สูงกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทุกช่วงเวลาและตลอดการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ชีพจรตลอดการฝึกโยคะในการฝึกทั้งสองอุณหภูมินั้น มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากในการฝึกนั้นท่าที่ใช้ฝึกเป็นท่าเดียวกัน และเมื่อมีการออกกำลังกายกล้ามเนื้อมีการทำงาน จะมีความต้องการเลือดไปยัง

กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นตามความหนักของงาน เนื่องจากการออกซิเจนและอาหาร ในขณะที่ออกกำลังกาย กล้ามเนื้ออาจต้องการเลือดเพิ่มขึ้นถึง 20 เท่า เมื่อการทำงานของหัวใจเพิ่มขึ้น ชีพจร (Heart rate, HR) และปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้ง (Stroke volume, SV) ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งหน้าที่ที่สำคัญของระบบหัวใจและหลอดเลือดในขณะที่ออกกำลังกายก็คือ การขนส่งออกซิเจนและอาหารไปสู่กล้ามเนื้อที่กำลังทำงานและขจัดคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียอื่นๆ จากกระบวนการเมแทบอลิซึมออกไปจากร่างกาย นอกจากนี้ เมื่อมีการเริ่มหรือเตรียมออกกำลังกาย ในขณะที่มีการส่งพลังประสาทลงมายัง Motor unit เพื่อทำให้กล้ามเนื้อหดตัวก็จะส่งพลังประสาทมายัง Cardiovascular area พร้อมกันไปด้วย จึงเป็นผลทำให้มีการส่งพลังประสาทลงไปตามประสาทซิมพาเทติกไปยังหัวใจ และมีการปล่อยนอร์เอพิเนฟรินจากปลายประสาทไปยัง SA node ของหัวใจทำให้ชีพจรเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็ลดการทำงานของประสาทพาราซิมพาเทติกทำให้ปล่อยอะเซทิลโคลีนลดลง ส่งผลให้ชีพจรเพิ่มขึ้นด้วย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

ในการออกกำลังกายกล้ามเนื้อมีการเผาผลาญอาหารได้เป็นพลังงานและความร้อน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น ร่างกายจะต้องมีการถ่ายเทความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิร่างกายไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส การระบายความร้อนออกจากร่างกายจะอาศัยกระแสโลหิต เพิ่มการไหลเวียนโลหิตไปยังผิวหนัง เพื่อระบายความร้อนออกจากร่างกาย สอดคล้องกับ Plowman and Smith (2003) กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระบบไหลเวียนโลหิตก็จะไหลไปสู่ผิวหนัง เพื่อระบายความร้อนออกจากร่างกาย เมื่ออุณหภูมิร่างกายลดลง ชีพจรจะลดลงตามไปด้วย

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้นชีพจรสูงกว่าการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตลอดการฝึก เพราะเมื่อออกกำลังกายในอากาศร้อน หัวใจจะต้องทำงานหนักมากขึ้นจากปัจจัยหลัก 2 ประการ ประการแรก คือ เมื่อร่างกายออกกำลังกาย กล้ามเนื้อจะมีความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งเหตุผลประการแรกนี้ในการฝึกทั้งสองอุณหภูมิ หัวใจจะทำงานที่ความหนักเท่ากัน ส่วนประการที่สอง คือ ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม จะต้องถูกส่งจากส่วนกล้ามเนื้อไปยังผิวหนัง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เลือด ทำให้เลือดอาจส่งไปยังกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ เพราะส่วนหนึ่งถูกแบ่งไปยังผิวหนังเพื่อระบายความร้อนโดยอาศัยการหลั่งเหงื่อ และเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิร่างกายน้อยลง มีผลขัดขวางการเสียความร้อนออกจากร่างกาย นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิของภาวะแวดล้อมมากกว่าอุณหภูมิของผิวหนัง จะทำให้ร่างกายได้รับความร้อนจากภายนอกเข้าไปอีกด้วย และเมื่อมีการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด

ในสภาวะอากาศร้อนจะมีการปรับตัวของระบบไหลเวียนเลือด คือ ค่า Stroke volume ลดลง ดังนั้นร่างกายต้องชดเชยด้วยการเพิ่มชีพจรขณะฝึก จึงทำให้ชีพจรเพิ่มสูงมากในการออกกำลังกายในที่อากาศร้อนมากกว่าในอากาศเย็น (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

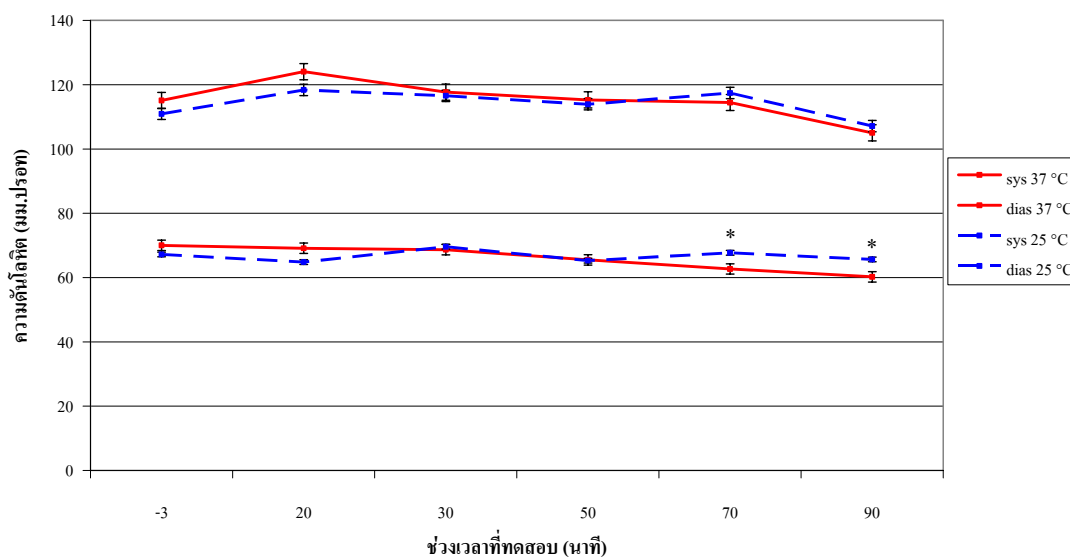
ความดันโลหิต

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของกลุ่มตัวอย่างในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: มิลลิเมตรปรอท

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	ความดันโลหิต		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ		
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส		
ความดันโลหิตซิสโตลิก				
-3	115.10 ± 2.368	110.93 ± 2.218	1.284	.204
20	124.07 ± 2.950	118.37 ± 2.333	1.516	.135
30	117.70 ± 2.658	116.57 ± 2.589	.305	.761
50	115.27 ± 1.897	113.93 ± 2.159	.464	.644
70	114.47 ± 2.248	117.43 ± 2.716	.841	.404
90	105.03 ± 1.709	107.13 ± 1.715	.867	.389
ความดันโลหิตไดแอสโตลิก				
-3	70.03 ± 1.591	67.20 ± 1.320	1.370	.176
20	69.13 ± 1.668	64.83 ± 1.622	1.848	.070
30	68.67 ± 1.542	69.60 ± 1.679	.411	.683
50	65.50 ± 1.223	65.30 ± 1.598	.099	.921
70	62.70 ± 1.525	67.70 ± 1.484	2.349	.022*
90	60.23 ± 1.087	65.67 ± 1.506	2.926	.005*

หมายเหตุ * $p < 0.05$; แสดงค่าเป็น $\bar{x} \pm SE$



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของกลุ่มตัวอย่างในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ * $p < 0.05$

จากตารางที่ 4 และภาพที่ 3 แสดงผลการทดสอบความดันโลหิตของกลุ่มตัวอย่าง (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความดันซิสโตลิกจะสูงกว่าในการฝึกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตั้งแต่ก่อนการฝึกจนถึงการฝึกในนาที่ที่ 50 จากนั้นในนาที่ที่ 70 และ 90 พบว่า มีค่าความดันซิสโตลิกในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าในการฝึกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนความดันโลหิต ไดแอสโตลิก ในช่วงก่อนการฝึก 3 นาทีและนาที่ที่ 20 30 50 ในการฝึกทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในช่วงเวลาที่ 70 และ 90 ค่าความดันไดแอสโตลิกในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสสูงกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสโดยสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

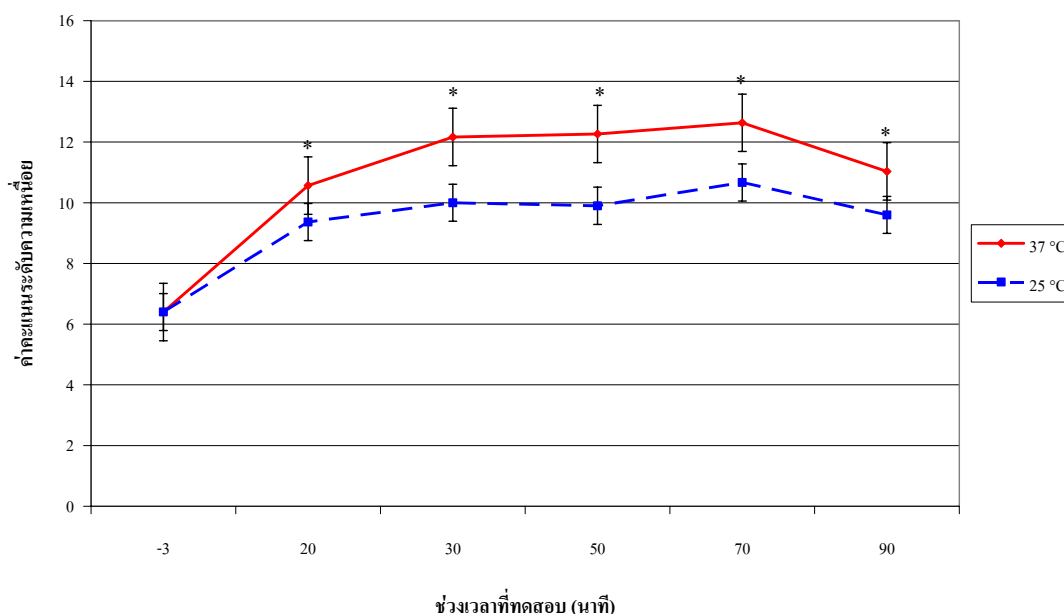
ในการฝึกโยคะทั้งในอุณหภูมิตั้งแต่ 37 และ 25 องศาเซลเซียสนั้นความดันซิสโตลิกเพิ่มขึ้นสูงกว่าก่อนการฝึก เป็นผลมาจากเมื่อมีการออกกำลังกายกล้ามเนื้อมีการทำงาน ต้องการเลือดเพิ่ม และค่า Cardiac output เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น เพื่อเตรียมระบบไหลเวียนโลหิตให้พร้อม แต่เมื่อมีการออกกำลังกายจริงกล้ามเนื้อมีความต้องการเลือดและอาหารน้อยกว่าที่เตรียมไว้ ความดันโลหิตจึงลดลง และเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งระดับความดันจะขึ้นอยู่กับความหนักของการออกกำลังกาย และจะลดลงเมื่อหยุดออกกำลังกาย ส่วนความดันไดแอสโตลิกนั้นมักจะไม่ใช่เปลี่ยนแปลงเมื่อออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง แต่อาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนัก สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า ถึงแม้หลอดเลือดของกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกายมีการขยายตัว แต่ความดันเลือดแดงก็ไม่ลดลงกลับเพิ่มขึ้นไปอีก ทั้งนี้เพราะ Cardiac output เพิ่มขึ้น ความดันเลือดแดงจะเพิ่มขึ้นในระยะ 1-2 นาที นอกจากนี้ร่างกายยังมีระบบการเตรียมร่างกายและเมื่อเริ่มออกกำลังกาย จะมีการส่งพลังประสาทไปยังกล้ามเนื้อเพื่อให้หดตัวและส่งไปยัง Cardiovascular area มีผลให้เพิ่มการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก และลดการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่ม และยังมีการส่งพลังประสาทลงมายังหลอดเลือดบางส่วนทำให้มีการบีบตัวจึงทำให้ความดันเลือดเพิ่ม หลังจากนั้นจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ระดับของความดันเลือดแดงขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายความดันเลือดลดลงทันที แต่จะสูงกว่าระดับก่อนการออกกำลังกายเล็กน้อย ความดันไดแอสโตลิกจะยังไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อออกกำลังกายอย่างเบาและปานกลาง แต่อาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนัก ในช่วงท้ายของการออกกำลังกายพบว่าความดันซิสโตลิกและไดแอสโตลิกมีค่าลดลงต่ำกว่าก่อนการฝึก และในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสลดลงกว่าในการฝึกที่ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากในระหว่างการทำกายมีการขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังมากเพื่อระบายความร้อน และแม้ว่าจะหยุดออกกำลังกายแล้วร่างกายก็ยังมีความต้องการระบายความร้อน ทำให้ความต้านทานของหลอดเลือดลดลง นอกจากนี้ในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางความดันไดแอสโตลิกจะเป็นไปตามความดันซิสโตลิก (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) ดังนั้นในช่วงท้ายของการออกกำลังกายความดันซิสโตลิกลดลง ความดันไดแอสโตลิกก็ลดลงตามไปด้วย

ค่าคะแนนระดับความเหนื่อย

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่าง ในช่วงเวลา
ต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่
25 องศาเซลเซียส

ช่วงเวลาที่ ทดสอบ (นาที)	ค่าคะแนนระดับความเหนื่อย		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส		
-3	6.40 $\pm$ 0.724	6.40 $\pm$ 0.156	0.000	1.000
20	10.57 $\pm$ 1.633	9.37 $\pm$ 1.245	3.20	.002*
30	12.17 $\pm$ 1.642	10.00 $\pm$ 1.313	5.645	.000*
50	12.27 $\pm$ 1.680	9.90 $\pm$ 1.423	5.888	.000*
70	12.63 $\pm$ 0.376	10.67 $\pm$ 0.285	4.169	.000*
90	11.03 $\pm$ 0.367	9.60 $\pm$ 0.317	2.959	.004*

หมายเหตุ * $p < 0.05$; แสดงค่าเป็น $\bar{X} \pm SE$



ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่าง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ * $p < 0.05$

จากตารางที่ 5 และภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึก โดยใช้ Rating of Perceived Exertion (RPE) พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสค่า RPE จะเพิ่มขึ้นจาก 6.40 ก่อนการฝึกเป็น 10.57 ในการฝึกนาทิตี่ 20 มีค่าสูงที่สุดและค่อนข้างคงที่ในการฝึกนาทิตี่ 30 50 และ 70 โดยมีค่าเท่ากับ 12.17 12.27 และ 12.63 ตามลำดับ แล้วลดลงเหลือ 11.03 เมื่อสิ้นสุดการฝึก ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสค่า RPE จะเพิ่มขึ้นจาก 6.40 ก่อนการฝึกเป็น 9.37 ในการฝึกนาทิตี่ 20 มีค่าสูงที่สุดและค่อนข้างคงที่ในการฝึกนาทิตี่ 30 50 และ 70 โดยมีค่าเท่ากับ 10.00 9.9 และ 10.67 ตามลำดับ แล้วลดลงเหลือ 9.60 เมื่อสิ้นสุดการฝึก

กล่าวโดยสรุป คือ ก่อนการฝึกโยคะค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่างในการฝึกโยคะทั้งสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน แต่ในระหว่างการฝึกโยคะค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของกลุ่มตัวอย่างในการฝึกโยคะอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้นสูงกว่าการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศา

เซลเซียสตลอดการฝึกเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

โดยค่า RPE นั้นจะมีความสัมพันธ์กับชีพจรขณะฝึก จากภาพที่ 2 แสดงชีพจรขณะฝึกของกลุ่มตัวอย่างนั้น จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงๆ โดยช่วงที่ชีพจรลดลงนั้น จะตรงกับช่วงเวลาที่พักระหว่างการฝึกและเป็นเวลาที่วัดค่า RPE ดังนั้นค่า RPE ที่วัดได้นี้ก็จะเป็ค่าความเหนื่อยของร่างกายโดยรวมตลอดช่วงการฝึกนั้น ซึ่งอาจต่ำกว่าการตอบสนองจริงของร่างกาย เพราะเป็นการบอกค่าความเหนื่อยโดยรวม มิใช่การเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อส่วนที่ออกแรง สอดคล้องกับ Kang et al. (2004) ได้ทำการศึกษาอัตราเมตาบอลิซึม การรับรู้การตอบสนองของร่างกายต่อการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (Spinning) สรุปเกี่ยวกับค่า RPE ไว้ว่าค่า RPE มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนและชีพจร ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่า RPE จะสะท้อนให้เห็นรูปแบบของค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนและชีพจรในการออกกำลังกาย เนื่องมาจากความสัมพันธ์ของจิตใจกับการตอบสนองทางสรีรวิทยา จากภาพที่ 4 จะเห็นค่า RPE เพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการฝึกสูงกว่าช่วงแรกของการออกกำลังกาย แม้ว่าชีพจรจะต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากได้ผ่านการออกกำลังกายมาแล้ว 1 ชั่วโมงทำให้ร่างกายเริ่มรู้สึกล้า จากทั้งการทำงานของกล้ามเนื้อและการเสียน้ำ จากการเปรียบเทียบค่า RPE ระหว่างการฝึกโยคะที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียสพบว่า ค่า RPE ในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสสูงกว่า 25 องศาเซลเซียสตลอดการฝึก เนื่องจากตลอดการฝึกนั้นชีพจรในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสสูงกว่าการฝึกที่ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ผู้ฝึกรู้สึกเหนื่อยกว่าในการฝึกที่ 25 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 3 การสูญเสียน้ำของร่างกาย

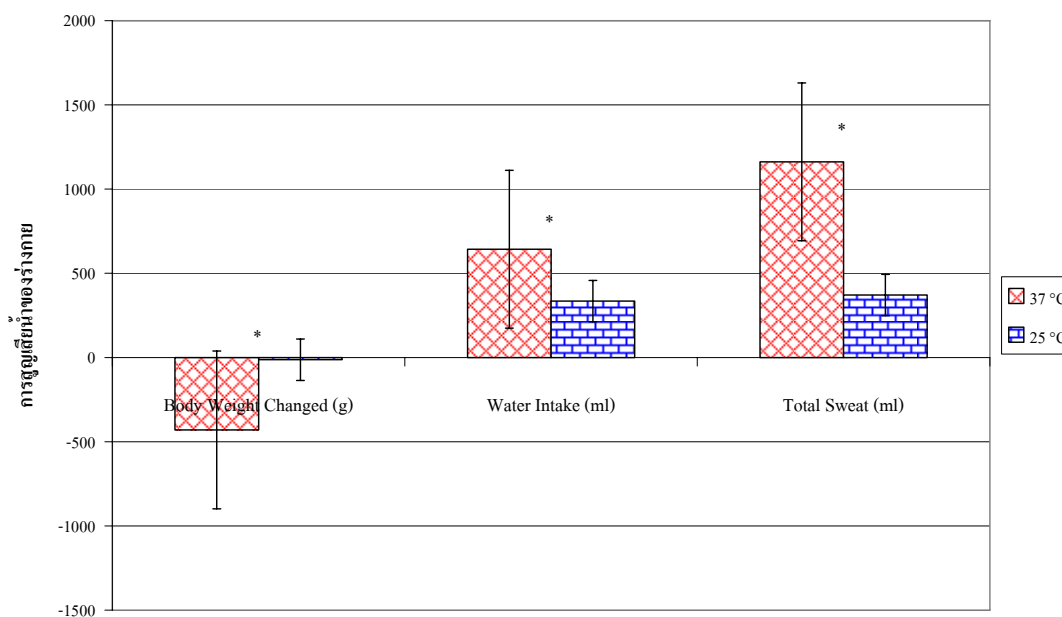
ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการสูญเสียน้ำของร่างกายภายหลังจากการฝึกโยคะ โดยตัวแปรที่ทำการทดสอบ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มระหว่างฝึก แล้วนำตัวแปรทั้งสองคำนวณออกมาเป็น ปริมาณเหงื่อทั้งหมด และอัตราการหลั่งเหงื่อและวิเคราะห์หาปริมาณของเสียที่ร่างกายขับออกทางเหงื่อ แล้วคำนวณเป็นอัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อ (ภาคผนวก จ)

การสูญเสีย น้ำของร่างกาย

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มและปริมาณ
เหงื่อทั้งหมด อัตราการหลังเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งแต่
37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25 องศาเซลเซียส

ตัวแปรที่ทดสอบ	การสูญเสีย น้ำของร่างกาย		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งแต่	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งแต่		
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส		
การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (กก.)	-0.430 ± 0.14	-0.013 ± 0.08	2.286	.000*
ปริมาณน้ำที่ดื่ม (มล.)	642.8 ± 57.35	335.2 ± 27.24	6.506	.000*
ปริมาณเหงื่อทั้งหมด (มล.)	1161.8 ± 127.5	371.8 ± 27.09	6.729	.000*
อัตราการหลังเหงื่อ (มล./นาทิตั้งแต่)	12.90 ± 1.41	4.13 ± 0.30	6.730	.000*

หมายเหตุ * p < 0.05; แสดงค่าเป็น $\bar{X} \pm SE$



ภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มและปริมาณเหงื่อทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ * $p < 0.05$

จากตารางที่ 6 และภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ปริมาณเหงื่อทั้งหมด และอัตราการหลังเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส โดยการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสกลุ่มตัวอย่างมีปริมาณเหงื่อที่ออกทั้งหมด 1161.8 มิลลิลิตร แต่มีการดื่มน้ำเพียง 642.8 มิลลิลิตร เมื่อชั่งน้ำหนักตัวหลังการฝึกน้ำหนักตัวลดลง 0.430 กิโลกรัม ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนั้นกลุ่มตัวอย่างมีปริมาณเหงื่อออกทั้งหมดเฉลี่ย 371.8 มิลลิลิตร แต่มีการดื่มน้ำเพียง 335.2 มิลลิลิตร ทำให้เมื่อชั่งน้ำหนักตัวหลังการฝึก น้ำหนักตัวลดลง 0.013 กิโลกรัม เช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีปริมาณเหงื่อที่ออกมากกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 790.0 มิลลิลิตร และเมื่อคำนวณเป็นอัตราการหลังเหงื่อในการฝึกโยคะ พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีอัตราการหลังเหงื่อ 12.90 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการหลังเหงื่อ 4.13 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งน้อยกว่าถึง 8.77 มิลลิลิตรต่อนาที

และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ปริมาณเหงื่อทั้งหมด และอัตราการหลั่งเหงื่อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อ

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อทั้งหมดและอัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวแปรที่ทดสอบ	ปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อ		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ		
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส		
Sweat urea conc. (mg/dl)	27.63 ± 16.52	33.29 ± 21.29	1.224	0.000*
Total Sweat urea (mg)	437.7 ± 2.68	58.26 ± 1.24	8.954	0.000*
Sweat urea excretion rate(mg/min)	4.86 ± 0.89	0.65 ± 0.12	1.226	0.000*

หมายเหตุ * $p < 0.05$; แสดงค่าเป็น $\bar{x} \pm SE$

จากตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของเสียทั้งหมดและอัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและภาพที่ 6 แสดงปริมาณของเสียทั้งหมดที่ขับออกทางเหงื่อของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ร่างกายมีการขับของเสียในรูปของยูเรียออกทางเหงื่อโดยความเข้มข้นของยูเรียในเหงื่อเฉลี่ยเท่ากับ 27.63 mg/dl และ 33.29 mg/dl ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ แสดงว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมียูเรียในเหงื่อเจือจางกว่า เนื่องจากในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ร่างกายถูกกระตุ้นให้หลั่งเหงื่ออย่างซ้ำๆ ต่อมาเหงื่อจึงมีการดูดสารที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น โซเดียมและคลอไรด์ กลับเข้าสู่ร่างกาย น้ำจะถูก

คูกลับด้วย ทำให้เหงื่อเข้มข้นขึ้น สารอื่นจึงมีความเข้มข้น ซึ่งก็ได้แก่ ยูเรีย กรดแลคติก และ โปแทสเซียม (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

แต่เนื่องจากในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้นมีเหงื่อออกมากกว่าฝึกที่ 25 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณยูเรียทั้งหมดที่ร่างกายขับออกมาในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้นมากกว่าฝึกที่ 25 องศาเซลเซียสถึง 7.5 เท่า หรือ 379.4 มิลลิกรัม และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณยูเรียทั้งหมดที่ร่างกายขับออกมาในการฝึกโยคะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อคำนวณเป็นอัตราการขับยูเรียออกจากเหงื่อแล้วพบว่า อัตราการขับยูเรียออกจากเหงื่อเฉลี่ยเท่ากับ 4.86 และ 0.65 มิลลิกรัมต่อนาทิจากการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับและเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการขับยูเรียออกจากเหงื่อในการฝึกโยคะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจะมียูเรียถูกขับออกจากเหงื่อต่อ 1 นาทีมากกว่าการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 4 ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ในตอนี่ 4 ผู้วิจัยได้แสดงผลและวิจารณ์เกี่ยวกับความยืดหยุ่นของร่างกายหลังจากการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสของกลุ่มตัวอย่าง

ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างก่อนฝึกโยคะ หลังฝึกโยคะ และผลต่างของความอ่อนตัวของร่างกายก่อนฝึกโยคะ หลังฝึกโยคะของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: เซนติเมตร

ช่วงเวลาที่ทดสอบ	ความยืดหยุ่นของร่างกาย		t	p
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส		
ก่อนการฝึก 5 นาที	17.53 $\pm$ 1.05	18.38 $\pm$ 0.85	.627	.533
หลังการฝึก 10 นาที	20.25 $\pm$ 0.88	20.18 $\pm$ 0.89	.053	.958
การเปลี่ยนแปลง	2.71 $\pm$ 0.44	1.80 $\pm$ 0.40	1.538	.130

หมายเหตุ แสดงค่าเป็น $\bar{X} \pm SE$

จากตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบความยืดหยุ่นของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างก่อนฝึกโยคะ หลังฝึกโยคะ และผลต่างของความอ่อนตัวของร่างกายก่อนฝึกโยคะและหลังฝึกโยคะของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสพบว่า หลังจากการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.71 และ 1.80 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในการฝึกโยคะทั้งในอุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสนั้น ทำทางการยืดเหยียดเป็นท่าเดียวกัน ใช้เวลาในการยืดเหยียดเท่ากัน จึงทำให้ความอ่อนตัวหลังจากการฝึกไม่แตกต่างกัน ส่วนการฝึกโยคะในอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้น มีผลให้กล้ามเนื้อผ่อนคลาย ยืดได้มากขึ้นในขณะที่ฝึก สอดคล้องกับ Wright และ John (ค.ศ. 1960) ที่กล่าวไว้ใน ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ว่าเมื่อทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 113 องศาฟาเรนไฮต์ (45 องศาเซลเซียส) จะทำให้ความอ่อนตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 20% เชื่อกันว่าการเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายจากการออกกำลังกายจะทำให้กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อยืดได้มากขึ้น จึงเพิ่มความอ่อนตัวได้ชั่วคราว นอกจากนั้นยังเชื่อกันอีกว่า การเพิ่มการยืดได้ จะทำให้โอกาสที่เนื้อเยื่อจะได้รับอันตรายน้อยลง

จากผลการทดสอบความยืดหยุ่นของกลุ่มตัวอย่างพบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีค่าความยืดหยุ่นก่อนการฝึก 17.53 เซนติเมตร และในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าความยืดหยุ่นก่อนการฝึก 18.38 เซนติเมตร ซึ่งก่อนการฝึกค่าความยืดหยุ่นที่วัดได้ไม่

เท่ากันนั้น อาจเกิดจากวันที่ทำการทดสอบเป็นคนละวัน ซึ่งสภาพอากาศนั้นก็แตกต่างกัน อุณหภูมิภายนอกมีผลทำให้กล้ามเนื้อมีความตึงตัวไม่เท่ากัน วันที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้กล้ามเนื้อคลายตัวและสามารถยืดหยุ่นได้ง่ายกว่า (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

กรณีศึกษาของครูฝึก

กรณีศึกษานี้ครูฝึกได้รับการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 2 ครั้งและฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง โดยในการฝึกโยคะแต่ละครั้ง ทำโยคะที่ใช้ในการฝึกคือ ทำเดียวกัน เวลาในการฝึกเท่ากัน แตกต่างกันเพียงอุณหภูมิของห้องฝึกเท่านั้น และทำโยคะที่ใช้ในการฝึกประกอบด้วย ทำฝึกหายใจ 2 ท่า และทำโยคะ 30 ท่า ข้อมูลที่เก็บครูฝึกในการฝึกแต่ละครั้ง ได้แก่ น้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ความยืดหยุ่นของร่างกาย ชีพจรขณะฝึก อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าความดันโลหิต ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย เก็บเหงื่อเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ กรดแลคติก ปริมาณพลาสมา และปริมาณการใช้ออกซิเจน โดยการฝึกโยคะแต่ละครั้งระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ โดยในระหว่างโปรแกรมการฝึก ครูฝึกมีการควบคุมปริมาณน้ำและอาหารด้วย ผลการวิจัยจะนำเสนอเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของครูฝึก

ตอนที่ 2 การตอบสนองของร่างกาย

ตอนที่ 3 การสูญเสียเหงื่อของร่างกาย

ตอนที่ 4 ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ตอนที่ 5 ปริมาณการใช้ออกซิเจน

ตอนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของครูฝึก

ส่วนลักษณะทั่วไปของครูฝึกโยคะของศูนย์ฝึกโยคะแอ็บเซอลูทโยคะ อายุ 25 ปี จำนวน 1 คน ได้แก่ ส่วนสูง 1.62 เมตร น้ำหนัก 50.95 กิโลกรัม คิดเป็นค่าดัชนีมวลกาย 19.41 กก.ม.^2 ชีพจรขณะพัก 78 ครั้ง/นาที และความดันโลหิตขณะพัก 96/60 มิลลิเมตรปรอท ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยค่าที่แสดงในตารางที่ 9 เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระหว่างการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 9 แสดงอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า BMI ซีพจรขณะพักและความดันโลหิตของครูฝึก

ลักษณะทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย
อายุ (ปี)	25.00
น้ำหนัก (กก.)	50.95
ส่วนสูง (ซม.)	162.00
ค่าดัชนีมวลกาย (กก.ม. ²)	19.41
ซีพจรขณะพัก (ครั้ง/นาที)	78.00
ความดันซิสโตลิก (มม.ปรอท)	96
ความดันไดแอสโตลิก (มม.ปรอท)	60

ตอนที่ 2 การตอบสนองของร่างกาย

ในตอนที่ 2 นี้จะกล่าวถึงผลและวิจารณ์ในด้านการตอบสนองของร่างกายในการฝึกโยคะที่ อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส ได้แก่ อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ซีพจรขณะฝึก ค่าความดันโลหิต ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย และปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด

อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของครูฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
หน่วย : องศาเซลเซียส

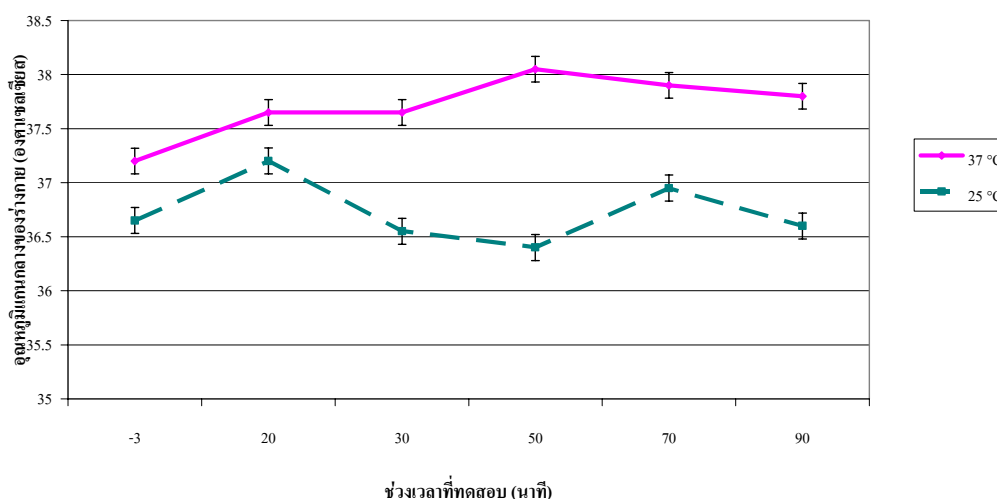
ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
-3	37.20	36.65
20	37.65	37.20
30	37.65	36.55
50	38.05	36.35

ตารางที่ 10 (ต่อ)

หน่วย : องศาเซลเซียส

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาทีก)	อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
70	37.90	36.95
90	37.80	36.60

หมายเหตุ แสดงค่าเป็น ค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิแกนกลางร่างกายของครูฝึกในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 10 และภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของครูฝึกในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึก อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายมีการเพิ่มสูงขึ้นจากก่อนการฝึก โดยในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายก่อนการฝึกเท่ากับ 37.20 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นเป็น 38.05 องศาเซลเซียสในการฝึกนาทีกที่ 50 ของการฝึก เพิ่มขึ้น 0.85 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายเริ่มลดลงตั้งแต่นาทีที่ 50 ลดลงเป็น 37.80 องศาเซลเซียส ส่วนในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายของครูฝึกก่อนการฝึก 36.65 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นสูงสุดในนาทีกที่ 20 ของการฝึกโดยเพิ่มขึ้น 0.55 องศาเซลเซียส เป็น 37.20 องศาเซลเซียส

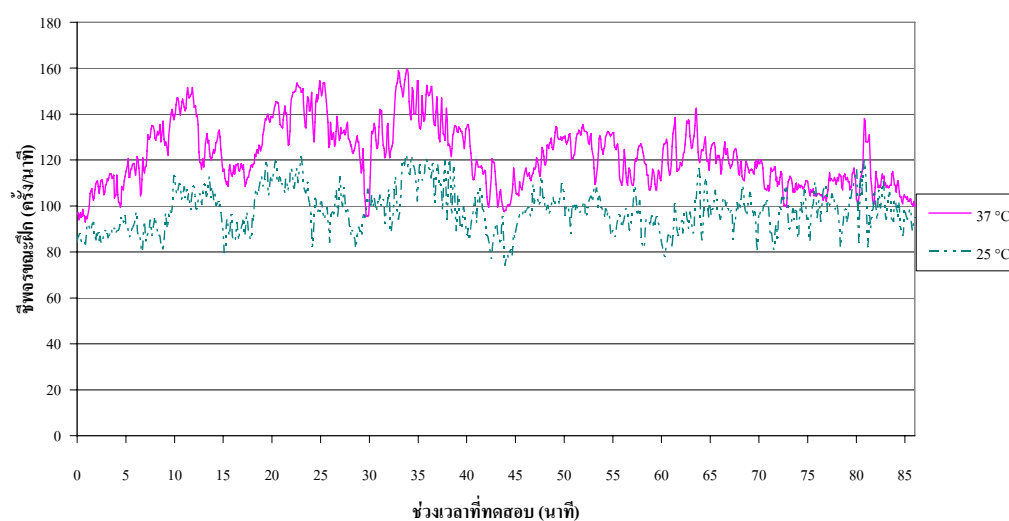
ชีพจรขณะฝึก

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบชีพจรขณะฝึกของครูฝึกในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย : ครั้ง/นาที

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	ชีพจรขณะฝึก	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
0-20	126.26	94.85
21-30	131.96	101.11
31-50	145.38	101.64
51-70	120.28	95.30
71-90	115.51	97.78
0 - 90	126.54	97.74

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 7 แสดงชีพจรขณะฝึกตลอด 90 นาทีของครูฝึก ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 11 และภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบชีพจรขณะฝึกของครูฝึกในช่วงเวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่า ชีพจรในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สูงกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทุกช่วงเวลาตลอดการฝึก โดยชีพจรตลอดการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย 126.54 ครั้งต่อนาที และในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย 97.74 ครั้งต่อนาที โดยในการฝึกที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีชีพจรเฉลี่ยสูงกว่าการฝึกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 28.8 ครั้งต่อนาทีและในการฝึกทั้งสองอุณหภูมินั้นชีพจรจะมีค่าสูงสุดในการฝึกช่วงนาทีที่ 31 – 50

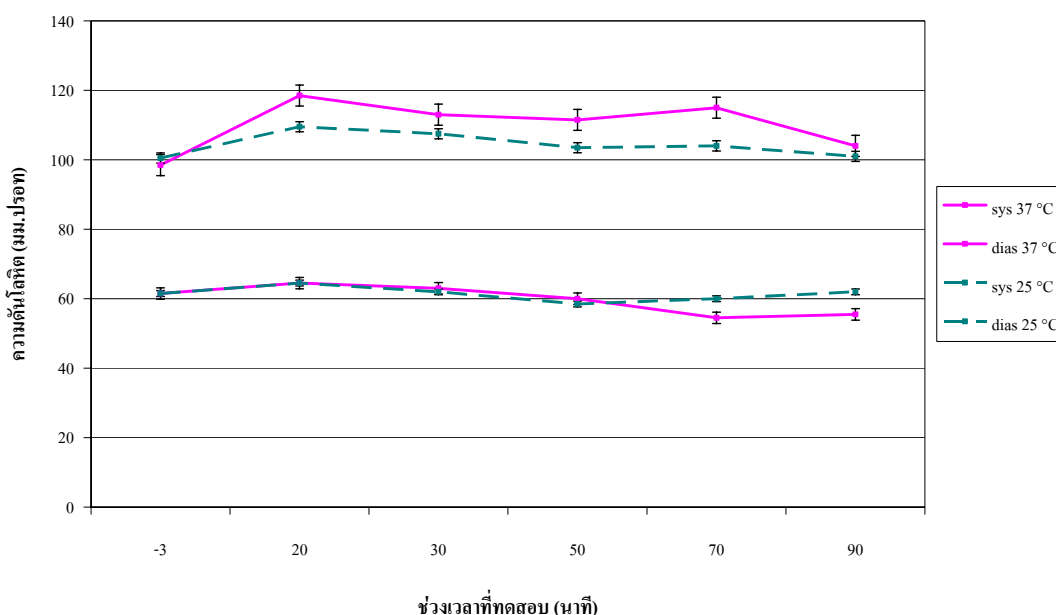
ความดันโลหิต

ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของครูฝึกในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: มิลลิเมตรปรอท

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	ความดันโลหิต	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
ความดันโลหิตซิสโตลิก		
-3	98.50	100.50
20	118.50	109.50
30	113.00	107.50
50	111.50	103.50
70	115.00	104.00
90	104.00	101.00
ความดันโลหิตไดแอสโตลิก		
-3	61.50	61.50
20	64.50	64.50
30	63.00	62.00
50	60.00	58.50
70	54.50	60.00
90	55.50	62.00

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 8 แสดงค่าความดันโลหิต (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ของครุฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 12 และภาพที่ 8 แสดงผลการทดสอบความดันโลหิตของครุฝึก (ซิสโตลิกและไดแอสโตลิก) ในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความดันซิสโตลิกจะสูงกว่าในการฝึกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตั้งแต่ก่อนการฝึกจนตลอดการฝึก ส่วนความดันโลหิต ไดแอสโตลิก ในช่วงก่อนการฝึก 3 นาทีและนาทีที่ 20 30 50 ในการฝึกทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงเวลาที่ 70 และ 90 ค่าความดันไดแอสโตลิกในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสสูงกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะความดันซิสโตลิกของครุฝึกระหว่างการฝึกโยคะที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 8) พบว่า ความดันซิสโตลิกในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้น มีค่าสูงกว่าในการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียสตลอดการฝึก เนื่องจากเมื่อเริ่มมีการออกกำลังกายในที่ร้อนร่างกายจะมีการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปทั่วทั้งกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานและที่ผิวหนังเพื่อระบายความร้อน และเมื่อมีการขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังมากขึ้น จะทำให้ปริมาณเลือดที่ไหลกลับเข้าสู่หัวใจลดลง ค่า Cardiac output ก็ลดลงด้วย และเมื่อออกกำลังกายในที่ร้อนเป็นเวลานานจะมีการเสียเหงื่อมากส่งผลในปริมาณพลาสมาลดลงด้วย และนอกจากนี้ ในระหว่างการออกกำลังกายอวัยวะภายในร่างกายเช่น สมอง ตับ ไต เป็นต้น ยังคงมีความต้องการเลือด จากสาเหตุเหล่านี้ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดจะต้องทำงานหนักเพื่อคงสภาพการทำงานในส่วนต่างๆ ทำให้อัตราการเดิน

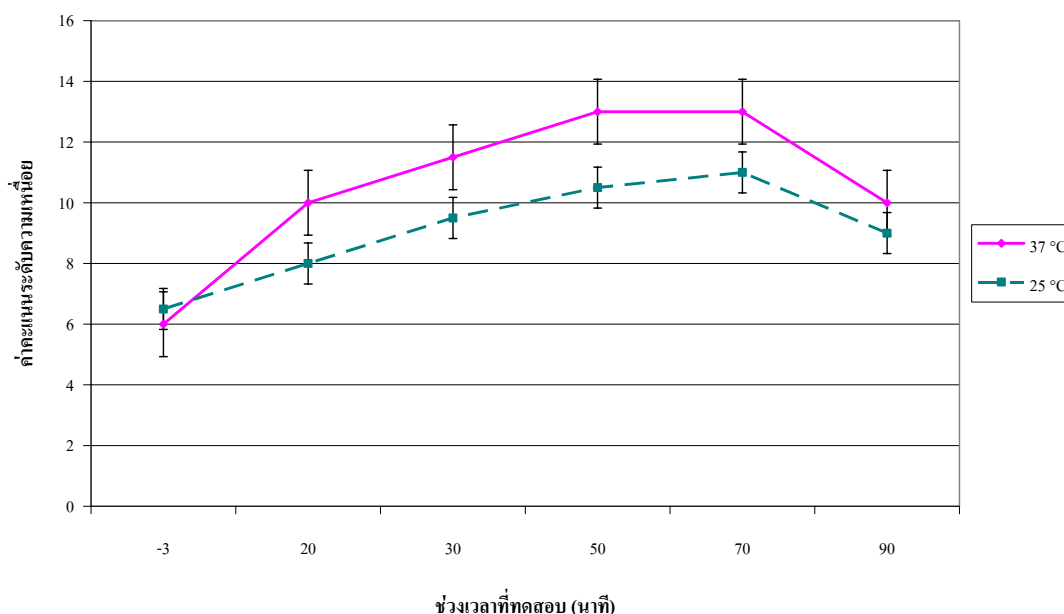
ของหัวใจและความดันโลหิตเพิ่มขึ้นมากในระหว่างการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส (Plowman and Smith, 2003)

ค่าคะแนนระดับความเหนื่อย

ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครูฝึก ในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาทีก)	ค่าคะแนนระดับความเหนื่อย	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
-3	6.00	6.50
20	10.00	8.00
30	11.50	9.50
50	13.00	10.50
70	13.00	11.00
90	10.00	9.00

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 9 แสดงค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครุฝึก ในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 13 และภาพที่ 9 แสดงผลการทดสอบค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครุฝึก ในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึก โดยใช้ Rating of Perceived Exertion (RPE) พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสค่า RPE จะเพิ่มขึ้นจาก 6.00 ก่อนการฝึกเป็น 13.00 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในการฝึกนาทีที่ 50 และ 70 โดยมีค่าเท่ากับ 13.00 แล้วลดลงเหลือ 10.00 เมื่อสิ้นสุดการฝึก ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสค่า RPE จะเพิ่มขึ้นจาก 6.50 ก่อนการฝึก มีค่าสูงที่สุดในการฝึกนาทีที่ 70 โดยมีค่าเท่ากับ 11.00 แล้วลดลงเหลือ 9.00 เมื่อสิ้นสุดการฝึก

กล่าวโดยสรุปคือ ก่อนการฝึกโยคะค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครุฝึกในการฝึกโยคะทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในระหว่างการฝึกโยคะค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของครุฝึกในการฝึกโยคะอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้นสูงกว่าการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตลอดการฝึก

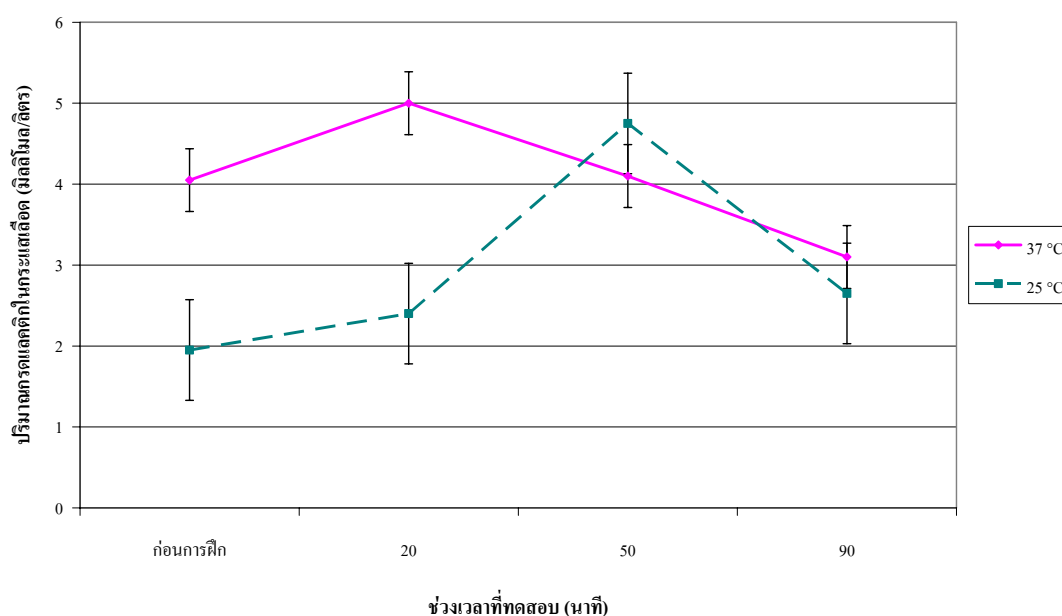
ปริมาณกรดแลกติกในกระแสเลือด

ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดแลกติกในกระแสเลือดในของครุฝึกเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย : มิลลิโมล/ลิตร

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	ปริมาณกรดแลกติกในกระแสเลือด	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
ก่อนการฝึก	4.05	1.95
20	5.00	2.40
50	4.10	4.75
90	3.10	2.65

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 10 แสดงปริมาณกรดแลกติกในกระแสเลือดของครุฝึกในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบการตอบสนองของร่างกาย การตรวจวัดหาปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดเพื่อศึกษาการจับของเสียที่เกิดจากการเผาผลาญพลังงานออกจากกล้ามเนื้อระหว่างการฝึกโยคะ จากตารางที่ 14 และภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดของครูฝึกในเวลาต่างๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก โดยในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจาก 4.05 มิลลิโมลต่อลิตรก่อนการฝึกเป็น 5.00 มิลลิโมลต่อลิตรซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดในนาทิตี่ 20 แล้วลดลงหลังการฝึก ส่วนในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสกรดแลคติก ก่อนการฝึกมีปริมาณ 1.95 มิลลิโมลต่อลิตรและเพิ่มขึ้นเป็น 4.75 มิลลิโมลต่อลิตรซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดในนาทิตี่ 50 แล้วลดลงหลังการฝึก

ในช่วงก่อนการออกกำลังกายเมื่ออยู่ในห้องอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่ามีกรดแลคติกอยู่ในกระแสเลือดมากกว่า อาจเนื่องจากการอยู่ในที่อุณหภูมิสูงร่างกายจะมีการใช้แหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน สอดคล้องกับ Jeukendrup (2003) ที่กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายจะนำไปสู่การเพิ่มการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต และลดการเผาผลาญไขมัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการเผาผลาญไกลโคเจนในกล้ามเนื้อนั้นเนื่องมาจากอุณหภูมิของกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้นจากการออกกำลังกายและความร้อน ทำให้ตรวจพบกรดแลคติกในกระแสเลือดก่อนการฝึกมากกว่าเมื่ออยู่ในห้องอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

เมื่อเริ่มมีการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อมีการทำงาน มีการเผาผลาญพลังงานในกล้ามเนื้อของเสียที่เกิดขึ้นคือ กรดแลคติก กล้ามเนื้อมีการขับกรดแลคติกออกเพื่อคงความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้พบกรดแลคติกในเลือดสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และถ้าหากเปรียบเทียบปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด ในการฝึกช่วงก่อนการฝึกจนถึงการฝึกนาทิตี่ 20 กับการฝึกช่วงนาทิตี่ 30 -50 ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะพบว่า ปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดในช่วงก่อนการฝึกถึงนาทิตี่ 20 มีปริมาณมากกว่าในช่วงนาทิตี่ 30 - 50 แม้ว่าในการฝึกช่วงนาทิตี่ 30 - 50 นั้นท่าทางการฝึกจะเป็นท่าที่มีความหนักมากกว่า กล้ามเนื้อย่อมต้องมีการใช้พลังงานมากกว่านั้น อาจเนื่องจากในช่วงแรกของการออกกำลังกายกล้ามเนื้อจะมีการเผาผลาญพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตโดยอาศัยระบบแอนแอโรบิกก่อน จนเมื่อกำลังกล้ามเนื้อได้รับปริมาณเลือดและออกซิเจนมากเพียงพอ จากการที่หลอดเลือดมีการขยายตัวจากอุณหภูมิกำลังกล้ามเนื้อที่สูงขึ้น ทำให้มีการสร้างพลังงานจากระบบที่ใช้ออกซิเจนมากขึ้นทำให้เกิดกรดแลคติกลดลง อีกทั้ง

การระบายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อก็เกิดได้ดี จากการที่มีเลือดไหลเวียนมาที่กล้ามเนื้อมากเพียงพอ

แต่ในขณะที่การฝึกในห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนั้น จะเกิดการสะสมของกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีปริมาณสูงสุดในนาที่ที่ 50 เนื่องจากในการออกกำลังกายในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนี้การระบายกรดแลคติกจะเกิดขึ้นช้า เนื่องจากร่างกายต้องการรักษาอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ ทำให้ลดปริมาณเลือดที่จะมายังกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อจึงได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอในช่วงแรก แต่เมื่อกำลังกล้ามเนื้อเริ่มมีความร้อนสะสมและกรดแลคติกคั่ง กล้ามเนื้อก็เริ่มกระบวนการระบายความร้อนทำให้มีปริมาณเลือดไหลเวียนมาที่กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการระบายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อด้วยจึงพบปริมาณกรดแลคติกลดลง

กล่าวโดยสรุปคือ ในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส พบว่ากรดแลคติกลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการระบายกรดแลคติกออกไปโดยอาศัยเลือดที่ถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อที่มีความถี่มาก (ชีพจรสูงกว่าการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) ทำให้มีการขนถ่ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้ดี ขณะที่การฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อฝึกกล้ามเนื้อมีการเผาผลาญพลังงานเท่ากันกับการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส แต่การระบายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อทำได้น้อยกว่า เนื่องจาก ปริมาณเลือดที่ถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อน้อยกว่า และความถี่ต่ำกว่า เพราะในห้องอุณหภูมิเย็นเลือดจะถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อและผิวหนังเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกาย แต่เมื่อฝึกต่อไปกล้ามเนื้อยังมีการเผาผลาญพลังงานจึงเกิดการคั่งของกรดแลคติกมากขึ้น เมื่อมีการคั่งของกรดแลคติกมากขึ้น ร่างกายก็เริ่มกระบวนการในการขับของเสียออกจากกล้ามเนื้อเพื่อรักษาประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อเอาไว้ ปริมาณของกรดแลคติกจึงเริ่มลดลงในช่วงท้ายของการฝึก สอดคล้องกับ วิลเลอร์ (2549) กล่าวว่าเลือดเป็นตัวกลางในการนำออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย และยังช่วยนำของเสียออกมาจากกล้ามเนื้อ ดังนั้น การที่มีระบบไหลเวียนเลือดดีจะช่วยให้การฟื้นตัวเกิดขึ้น กรดแลคติกถูกกำจัดออกไปได้เร็ว

ตอนที่ 3 การสูญเสียเหงื่อของร่างกาย

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการสูญเสียเหงื่อของร่างกายหลังจากการฝึกโยคะ โดยตัวแปรที่ทำการทดสอบ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่มระหว่างฝึก แล้วนำตัวแปรทั้งสองคำนวณออกมาเป็น ปริมาณเหงื่อทั้งหมด และอัตราการเหงื่อ และ

วิเคราะห์หาปริมาณของเสียที่ร่างกายขับออกทางเหงื่อ แล้วคำนวณเป็นอัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อ (ภาคผนวก จ) โดยกรณีศึกษาในครูฝึกนี้สามารถเก็บตัวอย่างเหงื่อได้เพียง 1 ครั้งจากการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

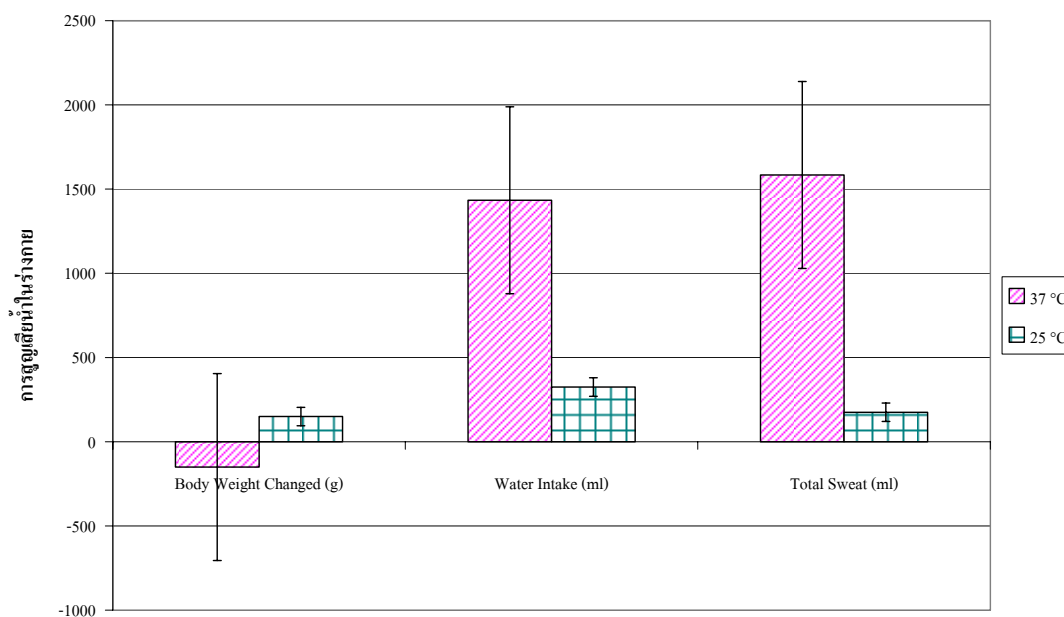
นอกจากนี้ในตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้ทดสอบปริมาณพลาสมาในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสด้วย โดยในการทดสอบมีการเจาะเลือดจากปลายนิ้ว แล้วนำไปวัดค่า Hematocrit แล้วคำนวณหาเป็นปริมาณพลาสมา (ภาคผนวก ข)

การสูญเสียน้ำของร่างกาย

ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ปริมาณเหงื่อทั้งหมด อัตราการหลังเหงื่อของครูฝึก ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวแปรที่ทดสอบ	การสูญเสียน้ำของร่างกาย	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (กก.)	-0.150	0.150
ปริมาณน้ำที่ดื่ม (มล.)	1434.0	325.0
ปริมาณเหงื่อทั้งหมด (มล.)	1584.0	175.0
อัตราการหลังเหงื่อ (มล./นาท)	17.6	1.94

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม และปริมาณเหงื่อทั้งหมดของครุฟีกในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำที่ดื่ม ปริมาณเหงื่อทั้งหมด อัตราการหลังเหงื่อของครุฟีก ระหว่างการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสปริมาณเหงื่อทั้งหมดเท่ากับ 1584.0 มิลลิลิตรมีการดื่มน้ำเท่ากับ 1434.0 มิลลิลิตรทำให้หลังฟักมีน้ำหนักลดลง 0.150 กิโลกรัม ขณะที่ในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสปริมาณเหงื่อทั้งหมดเท่ากับ 175.0 มิลลิลิตรมีการดื่มน้ำเท่ากับ 325.0 มิลลิลิตรทำให้หลังฟักมีน้ำหนักเพิ่ม 0.150 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีปริมาณเหงื่อทั้งหมดออกมากกว่าในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1409.0 มิลลิลิตร และเมื่อคำนวณเป็นอัตราการหลังเหงื่อในการฟักไข่ พบว่า ในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีอัตราการหลังเหงื่อ 17.6 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนในการฟักไข่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการหลังเหงื่อ 1.94 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งน้อยกว่าถึง 15.66 มิลลิลิตรต่อนาที

ปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อ

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อทั้งหมด อัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อ และโซเดียมที่ขับออกทางเหงื่อของครูฝึกระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวแปรที่ทดสอบ	ปริมาณของเสียที่ขับออกทางเหงื่อ	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
Sweat urea conc. (mg/dl)	23	N/A
Total Sweat urea (mg)	364.32	N/A
Sweat urea excretion Rate(mg/min)	4.05	N/A
Sweat sodium excretion (mmol/L)	32	N/A

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย; N/A (Not available) หมายถึง ไม่สามารถตรวจพบได้

จากตารางที่ 16 แสดงปริมาณของเสียทั้งหมด อัตราการขับของเสียออกทางเหงื่อและโซเดียมที่ขับออกทางเหงื่อของครูฝึกระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเหงื่อที่เก็บได้มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบปริมาณยูเรียและโซเดียมด้วยวิธีการที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ จากตารางที่ 16 พบว่า ร่างกายมีการขับของเสียในรูปของยูเรียออกทางเหงื่อโดยความเข้มข้นของยูเรียในเหงื่อเฉลี่ยเท่ากับ 23 mg/dl ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส คิดเป็นอัตราการขับยูเรียออกทางเหงื่อเท่ากับ 4.05 mg/dl นอกจากนี้ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีการขับโซเดียมออกทางเหงื่อโดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 32 mmol/l

ในการออกกำลังกายมีการหลั่งเหงื่อเพื่อระบายความร้อน ในเหงื่อนอกจากจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักแล้วยังมีสารอื่นๆ ที่ขับออกทางเหงื่อด้วย เช่น โซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ไอออน ยูเรีย และกรดแลคติก เป็นต้น (วันดี, 2542) และจากตารางที่ 16 ได้แสดงผลการตรวจหาปริมาณโซเดียมที่ร่างกายขับออกมาทางเหงื่อของครูฝึกในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส โดยปริมาณโซเดียมที่ตรวจพบในเหงื่อของครูฝึกในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศา

เซลล์มีค่า 32 mmol/L ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีการรายงานไว้ โดยมีปริมาณโซเดียมอยู่ในช่วง 20 – 80 mmol/L (Manore and Thomson, 2000) โดยต่อมเหงื่อจะมีความสามารถในการดูดกลับโซเดียม แต่ถ้าหากอัตราการหลั่งเหงื่อเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของโซเดียมก็จะเพิ่มตามไปด้วย สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ที่กล่าวว่า เมื่อต่อมเหงื่อถูกกระตุ้นอย่างแรง โดยประสาทซิมพาเทติก ทำให้เหงื่อมีการสร้างมากและมีการไหลอย่างรวดเร็ว การดูดซึมโซเดียมและคลอไรด์เป็นไปได้ด้น้อย ดังนั้นโซเดียมและคลอไรด์จึงมีความเข้มข้นมาก จากการศึกษาพบว่า นักกีฬาที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี การขับเหงื่อจะเกิดขึ้นเร็วและมีประสิทธิภาพดีขึ้น มีการสูญเสียโซเดียมไปกับเหงื่อน้อยกว่าคนปกติ ดังนั้นจึงเป็นการเสียน้ำมากกว่าโซเดียมขณะออกกำลังกายร่างกายจึงไม่ขาดโซเดียม (วันดี, 2542)

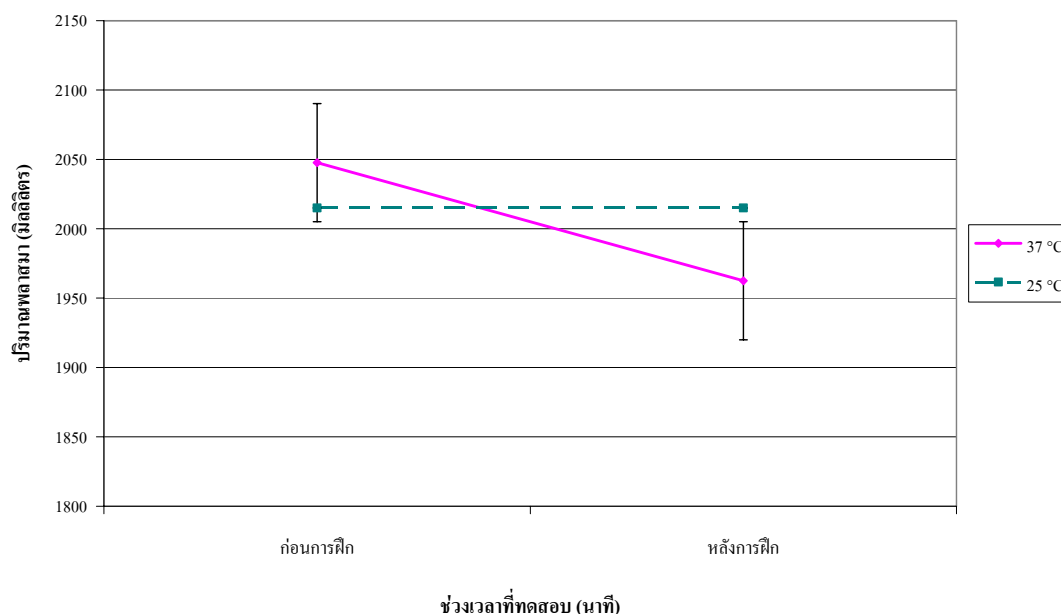
ปริมาณพลาสมา

ตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลาสมาของครูฝึกก่อนการฝึกโยคะ หลังการฝึกโยคะ และผลต่างระหว่างก่อนฝึกโยคะและหลังฝึกโยคะ ของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: มิลลิลิตร

ช่วงเวลาที่ทดสอบ	ปริมาณพลาสมา	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
ก่อนการฝึก 5 นาที	2047.63	2015.00
หลังการฝึก 10 นาที	1962.50	2015.00
การเปลี่ยนแปลง	-85.13	0.00

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 12 แสดงปริมาณพลาสมาของครูปีกก่อนการฟีกโยคะ และหลังการฟีกโยคะ ในการฟีกโยคะ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฟีกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 17 และภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณพลาสมา ก่อนการฟีกโยคะ หลังการฟีกโยคะ และผลต่างระหว่างก่อนฟีกโยคะและหลังฟีกโยคะของการฟีกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสของครูปีก พบว่า ในการฟีกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปริมาณพลาสมาลดลง 85.13 มิลลิลิตร ส่วนในการฟีกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลาสมา ระหว่างก่อนและหลังฟีก

จากการวิจัยนี้ในการฟีกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสพบว่า หลังการฟีกครูปีกมีน้ำหนักตัวลดลง ปริมาณพลาสมาลดลง อาจเนื่องจากการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูงนั้น ร่างกายมีการสะสมความร้อนจากการทำงานของกล้ามเนื้อ และมีการขัดขวางการระบายความร้อนจากอุณหภูมิภายนอกที่สูง ร่างกายจึงต้องเพิ่มกลไกการขับความร้อนออกจากร่างกาย โดยวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยอาศัยการหลั่งเหงื่อและการระเหยของเหงื่อ และเมื่อร่างกายมีการหลั่งเหงื่อมาก จะทำให้ปริมาณพลาสมาลดลง (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) และจากการหลั่งเหงื่อถึง 1584 มิลลิลิตรนี้ จะมีการสูญเสียของเหลวที่อยู่นอกเซลล์ (Extracellular fluid) ทำให้ความเข้มข้นออสโมติก (Osmotic concentration) เพิ่มขึ้น การดื่มน้ำทดแทนกลับเข้าสู่ร่างกาย 1434 มิลลิลิตรระหว่างการฟีกนี้จะส่งผลให้มีการทดแทนของเหลวนอกเซลล์ เพื่อปรับสมดุลความเข้มข้น

ออสโมติกให้กลับเข้าสู่สภาวะปกติ แต่ยังคงส่งผลกระทบต่อปริมาณพลาสมาที่ตรวจพบว่ายังลดลงถึง 85.13 มิลลิลิตร

ส่วนการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียสนั้น มีความร้อนเกิดขึ้นจากการทำงานของกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียว ร่างกายสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นได้สะดวก เนื่องจากอุณหภูมิที่ผิวหนังและอุณหภูมิแวดล้อมนั้นต่ำกว่าอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย การระบายความร้อนจึงเกิดขึ้นได้จากการนำและการพาความร้อนจากแกนกลางของร่างกายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกในร่างกาย พร้อมกับการระเหยของน้ำออกทางผิวหนังและการหายใจ (Insensible perspiration) ซึ่งการหลังเหงื่อในปริมาณเล็กน้อยรวมกับการดื่มน้ำเพื่อบรรเทาอาการกระหายน้ำในระหว่างการฝึก ทำให้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลาสมา

ตอนที่ 4 ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ในตอนที่ 4 ผู้วิจัยได้แสดงผลและวิจารณ์เกี่ยวกับความยืดหยุ่นของร่างกายหลังจากการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสของครูฝึก

ความยืดหยุ่นของร่างกาย

ตารางที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของครูฝึกก่อนการฝึกโยคะ หลังการฝึกโยคะ และผลต่างระหว่างก่อนฝึกโยคะและหลังฝึกโยคะ ของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: เซนติเมตร

ช่วงเวลาที่ทดสอบ	ความยืดหยุ่นของร่างกาย	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
ก่อนการฝึก 5 นาที	20.00	20.50
หลังการฝึก 10 นาที	19.75	21.00
การเปลี่ยนแปลง	-0.25	0.50

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย

จากตารางที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของครุฟีกก่อนการฝึกโยคะ หลังการฝึกโยคะ และผลต่างระหว่างก่อนฝึกโยคะและหลังฝึกโยคะของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ความยืดหยุ่นก่อนการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเท่ากับ 20.00 เซนติเมตร หลังการฝึกโยคะลดลง 0.25 เซนติเมตร ส่วนความยืดหยุ่นก่อนการฝึกโยคะของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 20.50 เซนติเมตร หลังการฝึกโยคะเพิ่มขึ้น 0.50 เซนติเมตร และจากการทดสอบความยืดหยุ่นหลังการฝึกของครุฟีก พบว่า ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ค่าความยืดหยุ่นลดลง 0.25 เซนติเมตรหลังการฝึกอาจเนื่องจากเมื่อผ่านการออกกำลังกายในที่ที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนานถึง 90 นาที จะส่งผลให้มีการเสียน้ำออกจากร่างกายมาก ทำให้เกิดความอ่อนเพลีย สอดคล้องกับสนธยา (2547) กล่าวว่าร่างกายมีปริมาณพลาสมาลดลง เป็นผลให้ร่างกายมีความสามารถลดลง และมีอาการล้าจากการเสียน้ำ ทำให้ไม่สามารถยืดเหยียดได้อย่างเต็มที่ ส่วนการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีความอ่อนตัวเพิ่มขึ้น 0.5 เซนติเมตรหลังการฝึก เป็นผลจากในโปรแกรมการฝึกมีทำยืดเหยียดกล้ามเนื้อในช่วงท้ายของการฝึก ซึ่งกล้ามเนื้อมัดต่างๆ ผ่านการอบอุ่นมาอย่างดีแล้ว ทำให้เมื่อถึงการทดสอบยืดเหยียดกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อจึงคลายตัวได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้มีการเพิ่มความยืดหยุ่นให้เกิดขึ้นโดยทันที (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของครุฟีกจะพบว่า มีการลดลง 0.25 และเพิ่มขึ้น 0.5 เซนติเมตร ในการฝึกโยคะที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ ความแตกต่างระหว่างการฝึกทั้งสองนั้นไม่มากนัก เนื่องจากตัวอย่างในการทดลองนี้เป็นครุฟีกโยคะที่มีการฝึกโยคะอยู่เป็นประจำเป็นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความอ่อนตัวนั้นคงที่ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

ตอนที่ 5 ปริมาณการใช้ออกซิเจน

ในตอนที่ 5 ผู้วิจัยได้แสดงผลและวิจารณ์เกี่ยวกับปริมาณการใช้ออกซิเจน ปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์ และ Respiratory exchange ratio ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

ในการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนนี้ต้องใช้เครื่องมือทางห้องปฏิบัติการซึ่งมีความซับซ้อนและไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ จึงได้ทำการทดสอบเฉพาะครุฟีกเท่านั้น โดยทำการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนในการฝึกโยคะทั้งหมด 4 ครั้ง แบ่งเป็นการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ

37 องศาเซลเซียส 2 ครั้งและฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง แต่เนื่องจากเกิดความผิดพลาดในการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง ผลการทดลองในตอนที่ 5 นี้จึงเป็นผลการทดลองจากการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 2 ครั้งและฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง

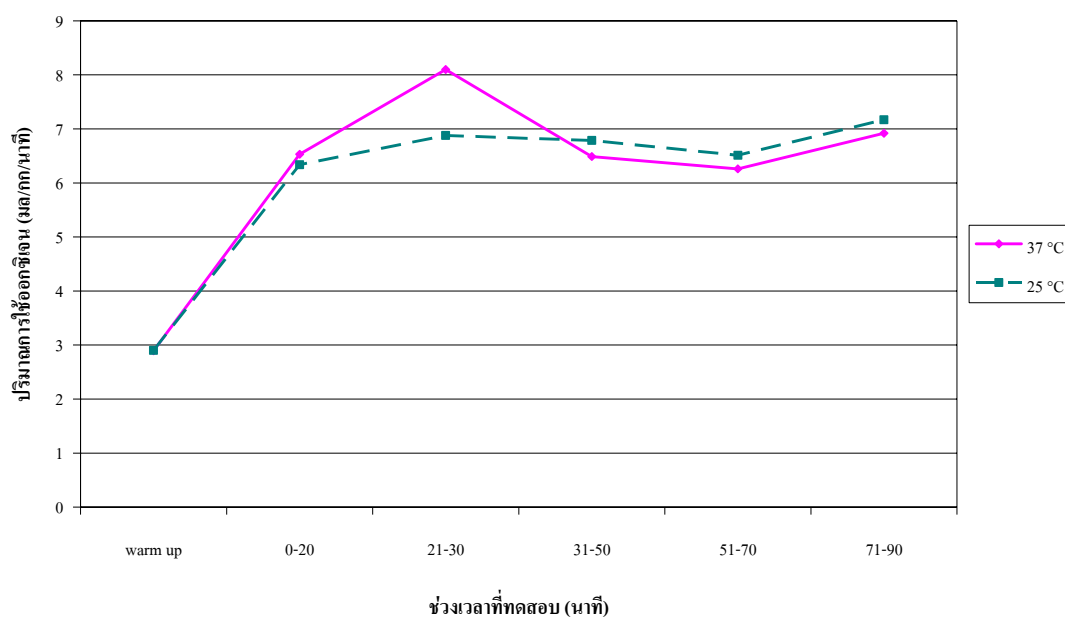
ปริมาณการใช้ออกซิเจน

ตารางที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: มล./กก./นาที

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (นาที)	ปริมาณการใช้ออกซิเจน	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
Warm up	2.89	2.90
0-20	6.53	6.34
21-30	8.10	6.88
31-50	6.49	6.79
51-70	6.26	6.51
71-90	6.92	7.17
0 - 90	6.20	6.10

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 13 แสดงค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

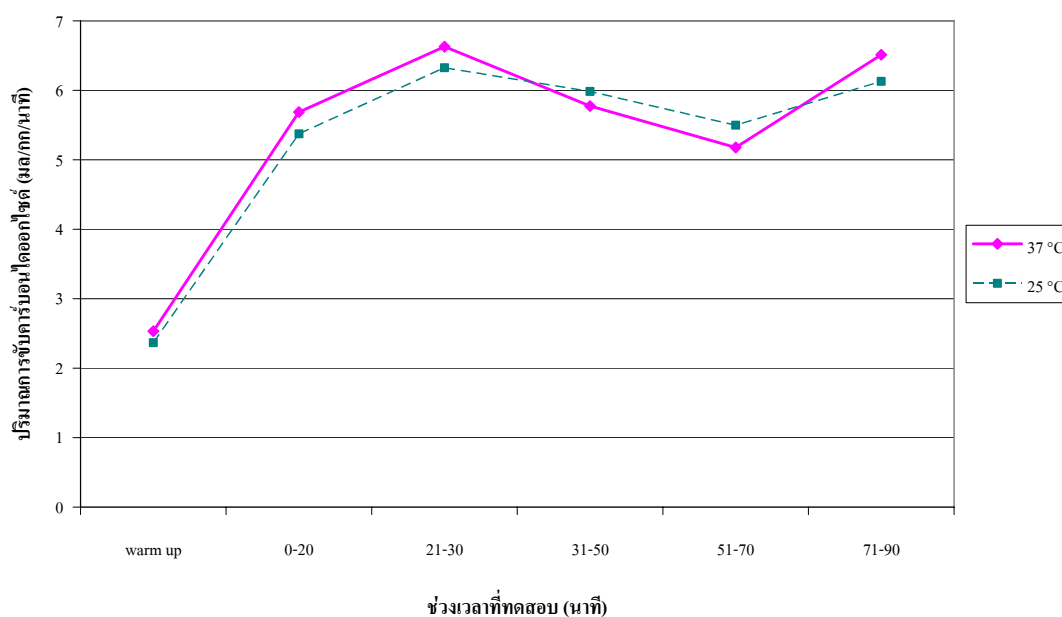
ปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์ ในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

หน่วย: มล./กก./นาที

ช่วงเวลาทดสอบ (นาที)	ปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ
	37 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
Warm up	2.53	2.37
0-20	5.69	5.37
21-30	6.63	6.33
31-50	5.77	5.98
51-70	5.18	5.50
71-90	6.51	6.13
0 - 90	5.39	5.28

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



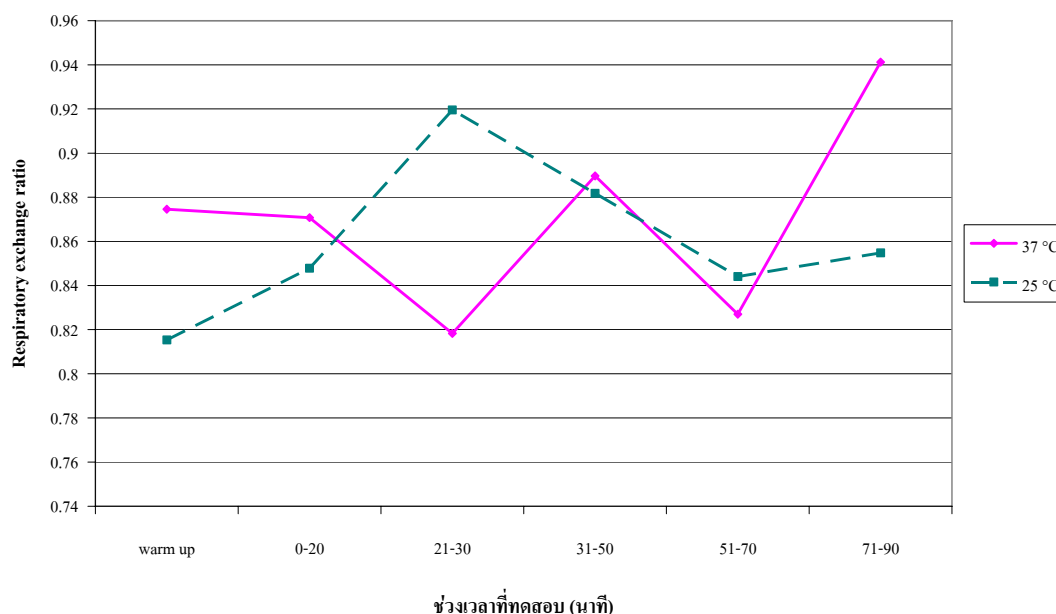
ภาพที่ 14 แสดงค่าปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Respiratory exchange ratio

ตารางที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบ Respiratory exchange ratio ในเวลาต่าง ๆ ระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ช่วงเวลาทดสอบ (นาที)	Respiratory exchange ratio	
	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
Warm up	0.875	0.815
0-20	0.871	0.848
21-30	0.818	0.920
31-50	0.890	0.882
51-70	0.827	0.844
71-90	0.941	0.855
0 - 90	0.870	0.861

หมายเหตุ แสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 15 แสดงค่า Respiratory exchange ratio ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 19 20 21 และภาพที่ 13 14 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ ออกซิเจน ปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์ และ Respiratory exchange ratio ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ ออกซิเจนในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 6.20 และ 6.10 มล./กก./นาที ตามลำดับ ปริมาณการจับคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 5.39 และ 5.28 มล./กก./นาที ตามลำดับ และ Respiratory exchange ratio ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.870 และ 0.861 ตามลำดับ

ในการวิจัยครั้งนี้โปรแกรมการฝึกโยคะทำที่ใช้ฝึกเป็นท่าทางเดียวกัน แต่ในช่วงเริ่มต้นของการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณการใช้ ออกซิเจนสูงกว่า ซึ่งปริมาณการใช้ ออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อมีการทำงานของหัวใจมากขึ้น โดยมีการเพิ่ม Cardiac output และหลอดเลือดในกล้ามเนื้อขยายตัว ทำให้มีเลือดลำเลียงออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้น กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนมากเพียงพอ การใช้ ออกซิเจนของกล้ามเนื้อทำได้สมบูรณ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าชีพจรขณะฝึกจะพบว่า ชีพจรในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสสูงกว่าการฝึกโยคะ 25 องศาเซลเซียส สัมพันธ์กับปริมาณการใช้ ออกซิเจนที่สูงกว่าในการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส และจากสมการ

ของ Fick principle (Robergs and Keteyian, 2003) กล่าวว่าจาก $VO_2 = C.O. \times (a-v) O_2$ difference ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในหลอดเลือดแดงและดำ เป็นค่าแสดงถึงความสามารถของเซลล์ในการสกัดออกซิเจนไปใช้ ซึ่งเซลล์ในร่างกายมีขีดจำกัด ดังนั้น การเพิ่มของค่า VO_2 max จากการออกกำลังกายนั้น เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของ cardiac output ส่วน $(a-v) O_2$ มีค่าคงที่ และประทุม (2527) ที่กล่าวว่า cardiac output เป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดว่าปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้กล้ามเนื้อใช้นั้นมีมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้สัญญา (2532) ยังกล่าวไว้ว่า การเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนให้กล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ การเพิ่มอัตราการไหลเวียนไปยังกล้ามเนื้ออื่นๆ ที่ทำงาน และการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อเอง ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาศัยการเปลี่ยนแปลงกลไกทางสรีรวิทยา ดังนี้

1. เพิ่มการทำงานของหัวใจมากขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที
2. หลอดเลือดของกล้ามเนื้อที่ทำงานเกิดการขยายตัว ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยลดความต้านทานของหลอดเลือดในกล้ามเนื้อได้
3. อวัยวะต่างๆ ที่ไม่ได้ทำงานหรือเกี่ยวข้องในขณะออกกำลังกาย เกิดการบีบตัวทำให้กล้ามเนื้อได้รับปริมาณเลือดมากขึ้น

ทำให้พบว่าในช่วงแรกของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสนั้นมีการใช้ออกซิเจนและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการสร้างพลังงานจากระบบที่อาศัยออกซิเจนหรือระบบแอโรบิกมากขึ้น นอกจากนี้ยังอาจกล่าวได้ว่าการฝึกโยคะที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียสในช่วงเริ่มต้นแต่ละท่าฝึกได้เต็มที่มากกว่า เนื่องจาก กล้ามเนื้อมีความอบอุ่นและยืดหยุ่นเพียงพอที่จะทำให้ออกแรงได้เต็มที่ในขณะที่ในโยคะ 25 องศาเซลเซียสกล้ามเนื้อยังไม่ผ่านการอบอุ่นอย่างเต็มที่ที่ทำให้การหดตัวเพื่อออกแรงหรือยืดเหยียดได้น้อยกว่า สอดคล้องกับเจริญ (2548) กล่าวว่า อุณหภูมิของสภาพภูมิอากาศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการอบอุ่นกล้ามเนื้อ ถ้าอากาศหนาวเย็นหรือแห้ง การอบอุ่นร่างกายจะได้ผลช้ากว่าในอากาศร้อนหรืออากาศอบอุ่น เวลาที่ใช้อาจเป็น 10-25 หรือ 30 นาที หรืออาจมากกว่านั้น

แต่เมื่อฝึกไปถึงนาทิตี่ 50 ในการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงกว่า อาจมาจากร่างกายมีการอบอุ่นดีขึ้น และยังไม่เกิดอาการล้า ทำให้มีกำลังในการฝึกท่าโยคะได้ดีกว่าในการฝึกโยคะ 37 องศาเซลเซียส ที่เริ่มมีอาการล้าเนื่องจากความร้อนและเริ่มมีการเสียน้ำเมื่อออกกำลังกายในที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ระบบต่างๆ ของร่างกายจะเริ่มเกิดการล้า ทำให้ความพยายามในการฝึกแต่ละท่าลดลง ฝึกได้ไม่เต็มกำลัง ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนจึงต่ำกว่า นอกจากนี้ในนาทิตี่ 50 ในการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงกว่าอาจเกิดจากค่าcardiac output ในการฝึกโยคะร้อนลดลงจากการเสียน้ำ ทำให้การขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อลดลง สอดคล้องกับชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ที่กล่าวว่า ถ้าร่างกายเสียน้ำไป 1.9% จะทำให้ความอดทนในการเดินลดลง 22% และ max VO₂ ลด 10% และการออกกำลังกายในอากาศร้อนทำให้อุณหภูมิทางทวารหนักเพิ่มขึ้น และจะจำกัดความสามารถของการออกกำลังกายลงเป็นอย่างมากด้วย

จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า ค่า Respiratory exchange ratio หรือ RER มีค่าต่างกันในการฝึกโยคะที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียส โดยค่า RER คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไป ซึ่งถ้าหากพิจารณาจากค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนระหว่างการฝึกทั้งสองแล้ว จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการฝึกโยคะ การฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียสนั้นมีปริมาณการใช้ออกซิเจนและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมามากกว่าในการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงท้ายของการฝึกหลังจากนาทิตี่ 50 การฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียสมีปริมาณการใช้ออกซิเจนและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมามากกว่าการฝึกโยคะที่ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าเฉลี่ยของ RER ในการฝึกโยคะที่ 37 และ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.870 และ 0.861 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าในการฝึกโยคะนั้นมีการใช้แหล่งพลังงานผสมกันระหว่างคาร์โบไฮเดรตและไขมัน สอดคล้องกับ ประทุม (2527) กล่าวว่า ถ้า RER มีค่าใกล้เคียง 1.0 แสดงว่า คาร์โบไฮเดรตถูกเผาผลาญเป็นส่วนใหญ่ หาก RER มีค่าใกล้เคียง 0.7 แสดงว่าพลังงานส่วนใหญ่ได้จากการเผาผลาญไขมัน และจาก Plowman and Smith (2003) แสดงค่า RER และแหล่งพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย ทำให้ทราบว่า ค่า RER ที่เท่ากับ 0.870 ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้นแหล่งพลังงานมาจากคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 55.8 และมาจากไขมันร้อยละ 44.2 และค่า RER ที่เท่ากับ 0.861 ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนั้นแหล่งพลังงานมาจากคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 52.4 และมาจากไขมันร้อยละ 47.6

เมื่อพิจารณาข้อมูลค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน ค่า RER และค่าปริมาณกรดแลคติก ในกระแสเลือด พบว่าแหล่งพลังงานที่ร่างกายใช้ในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนั้น มาจากทั้งคาร์โบไฮเดรตและไขมัน โดยช่วงก่อนและหลังจากการออกกำลังกายกล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก ทำให้ค่า RER และปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดในการ ฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีค่าสูงกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อกกล้ามเนื้อมีอุณหภูมิสูงกว่าจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่า (Jeukendrup, 2003) และในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ค่า RER และค่าปริมาณกรดแลคติก ในกระแสเลือดลดลง ทำให้ทราบว่า กล้ามเนื้อมีการเผาผลาญพลังงานจากไขมันมากกว่าในการฝึก โยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่มากขึ้น โดยเฉพาะ ในช่วงนาที่ที่ 21 – 30 ของการฝึก ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ในระหว่างการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศา เซลเซียส ในช่วงนาที่ที่ 21 – 70 ของการฝึกมีค่า RER เฉลี่ยเท่ากับ 0.845 และ 0.882 ในการฝึกโยคะ ที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ แสดงถึงกล้ามเนื้อมีการใช้พลังงานจากไขมัน ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมากกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จาก Plowman and Smith (2003) เมื่อทราบค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนและค่า RER จะ สามารถคำนวณพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายได้จากค่า Caloric equivalent ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ มีค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจนเท่ากับ 6.20 มล/กก/นาที่ และค่า RER เท่ากับ 0.870 ค่า Caloric equivalent เท่ากับ 4.887 kcal/L of O₂ เมื่อกำนวณจากสูตร

พลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย = ปริมาณการใช้ออกซิเจน (L/min) x Caloric equivalent

ทำให้ทราบว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที่ ร่างกายจะใช้ พลังงานทั้งหมดประมาณ 140 กิโลแคลอรี (ภาคผนวก ฉ)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในขณะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นสมาชิกของแอ็บเซอลูทโยคะสาขาปิ่นเกล้า เพศหญิง อายุระหว่าง 20 – 40 ปี จำนวน 30 คน และครูฝึกโยคะของแอ็บเซอลูทโยคะ เพศหญิง อายุ 25 ปี จำนวน 1 คน โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสอย่างละ 1 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ ส่วนครูฝึกโยคะจะฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียสอย่างละ 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์เช่นเดียวกัน โดยในการฝึกแต่ละครั้งข้อมูลที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่างและครูฝึก ได้แก่ น้ำหนักตัว การเปลี่ยนแปลงความต้านทานรวมของร่างกาย ปริมาณน้ำที่ดื่ม ความยืดหยุ่นของร่างกาย ชีพจรขณะฝึก อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าความดันโลหิต ค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย เก็บตัวอย่างเหงื่อเก็บเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบและความเข้มข้นของเหงื่อ ข้อมูลตัวแปรอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยการเจาะเลือดจะเก็บจากเฉพาะครูฝึกเท่านั้น ซึ่งได้แก่กรดแลคติก ปริมาณพลาสมา และปริมาณการใช้ออกซิเจน ซึ่งจากการศึกษาวิจัย พบว่า

ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ร่างกายจะมีกระบวนการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกาย โดยเริ่มจากอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายจะสูงขึ้นจากการได้รับความร้อนจากภายนอก และจากการสร้างความร้อนของกล้ามเนื้อที่มีการทำงาน แต่ก็ยังไม่ถึงจุดที่จะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ร่างกายจะพยายามระบายความร้อนออกจากร่างกายจึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจหรือชีพจรในขณะฝึกสูงขึ้น เนื่องจากระบบไหลเวียนเลือดต้องลำเลียงเลือดไปยังกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานและลำเลียงเลือดไปที่ผิวหนังเพื่อระบายความร้อน การลำเลียงเลือดไปที่ผิวหนังด้วยความถี่สูง (ชีพจรสูง) นี้จึงช่วยให้มีการระบายของเสียที่เกิดการจากทำงานของกล้ามเนื้อ หรือกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้ดีด้วย ค่าความดันโลหิตซิสโตลิกมีการเพิ่มขึ้นก่อนการฝึกเพื่อเป็นการเตรียมร่างกายให้พร้อมที่จะออกกำลังกาย ส่วนค่าความดันไดแอสโตลิกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการฝึก แต่มีค่าลดลงในช่วงท้ายของการฝึกเนื่องจากในระหว่างการฝึกมีการขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังมากเพื่อระบายความร้อน ทำให้ความต้านทานของหลอดเลือดลดลง นอกจากนี้การระบายความร้อนออกจากร่างกายโดยการหลั่งเหงื่อเพื่อรักษาอุณหภูมิของ

ร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ นั้น จะทำให้มีเหงื่อออกมา ซึ่งจะช่วยขับของเสียออกมาในรูปของยูเรีย แต่ก็ส่งผลให้ร่างกายมีปริมาณน้ำในร่างกายลดลง

จากการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดที่เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณออกซิเจนส่งไปยังกล้ามเนื้อเพียงพอ กล้ามเนื้อจะมีการสร้างพลังงานจากระบบที่ใช้ออกซิเจนได้มากขึ้น มีการจับคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น และจากการพิจารณาค่าเศษส่วนการหายใจ (RER) ร่วมกับค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนและปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด ทำให้ทราบว่าในช่วงก่อนและหลังการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส กล้ามเนื้อจะมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต แต่ในระหว่างนาที่ที่ 21 – 70 ของการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานจากไขมันมากกว่าในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนความยืดหยุ่นของร่างกายจากการฝึกโยคะทั้งสองอุณหภูมิ นั้น พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยหลังจากการฝึก

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาผลของการฝึกโยคะที่มีต่อสมรรถภาพทางกายด้านต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงประโยชน์ในระยะยาวของการฝึกโยคะที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย
2. ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน ปริมาณพลาสมา ปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือดของกลุ่มตัวอย่าง
3. ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการศึกษา การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกาย และผลต่อสมรรถภาพทางกายของการฝึกโยคะประเภทอื่น ๆ เช่น พาวเวอร์โยคะ (Power yoga) อัสดังกะโยคะ (Ashtanga yoga) วินยาสะโยคะ (Vinyasa yoga) เป็นต้น
4. ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการควบคุมปริมาณน้ำและอาหารของกลุ่มตัวอย่างในช่วงระหว่างการเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกโยคะ เพื่อป้องกันปัจจัยรบกวนอื่นๆ ที่มีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกาย

5. ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาความแตกต่างของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะในช่วงเวลาต่างๆ ในระหว่างวัน เช่น ความแตกต่างของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะในช่วงเช้าและเย็น

6. ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาปริมาณการหลั่งเหงื่อและความเข้มข้นของเหงื่อ รวมถึงสารต่างๆ ที่ร่างกายขับออกทางเหงื่ออย่างละเอียด เพื่อศึกษาและป้องกันภาวะขาดน้ำและเกลือแร่หลังจากการฝึกโยคะร้อน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2539. การวิจัยภาวะการเจ็บเรื้อรังของเด็กโตของกลุ่มเป้าหมายเฉพาะ (กลุ่มอายุ 6-19 ปี). กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี.

แก้วปวงคำ วงไชย. 2548. โยคะเพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 5. เดลฟี, กรุงเทพฯ.

จิรภรณ์ ศิริประเสริฐ และ นฤพนธ์ วงศ์จตุรภัทร. 2543. ผลของการออกกำลังกายแบบหูละโยคะที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของภาวะความเครียดด้านร่างกายและจิตใจ. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์. 5 (3): 79 – 89.

จุฑาภรณ์ สกุกศักดิ์. 2545. โยคะฝึกจิตพิชิตโรค. จุฑทอง, กรุงเทพฯ.

เจริญ กระบวนรัตน์. 2545. หลักการและเทคนิคการฝึกกรีทา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจริญทัศน์ จินตนาเสรี. 2525. ร่างกายกับการว่ายน้ำ. ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา องค์การส่งเสริมการกีฬาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และ กันยา ปาละวิวัฒน์. 2536. สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 4. ชรรคมกมลการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ธวัช วีระศิริวัฒน์. 2537. กีฬาเวชศาสตร์. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นิรอมลี มะกาเจ. 2547. ความเที่ยงตรงของสมการที่ทำนายปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายโดยจักรยานวัดงานในนักกีฬาและบุคคลทั่วไป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประทุม ม่วงมี. 2527. รากฐานทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและการพลศึกษา. บุรพาสาน, กรุงเทพฯ.

- ประสิทธิ์ พึ่งวิชัย. 2538. โยคะเสริมพลานามัย รักษาโรค. โรงพิมพ์ ร.ส.พ., กรุงเทพฯ.
- พงษ์ศักดิ์ สุทัศน์สันติ. 2542. ผลการฝึกความอ่อนตัวแบบโยคะที่มีต่อความเร็วในการวิ่งของ
นักเรียนระดับประถมศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พิชิต ภูติจันทร์. 2535. สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- พีระ บุญจริง. 2541. โยคะชำระโรค. พิมพ์ครั้งที่ 2. ชรรักษ์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- เพชรพรรณ มลิณทจินดา. 2549. บิเครมโยคะ ศาสตร์แห่งการออกกำลังกาย. แหล่งที่มา:
<http://www.californiafitness.co.th/Thailand/tha/bikram.asp>, 1 กรกฎาคม 2549.
- แพทย์พงศ์ วรพงศ์พิเชษฐ์. 2542. โยคะเพื่อพัฒนาร่างกายและจิตใจ. เอช.ที.พี.เพรส, กรุงเทพฯ.
- มานพ ประภาษานนท์. 2543. โยคะสำหรับผู้เริ่มต้น. นำฝน, กรุงเทพฯ.
- วรนนท์ ศุกพิพัฒน์. 2538. อาหารโภชนาการและสารเป็นพิษ. แสงชัยการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- วรวิภา ธาราวุฒิ. 2547. ผลการฝึกโยโยคะที่มีต่อความอ่อนตัว สมาน และการลด
ความเครียด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วันดี ขาวโอภาส. 2542. การเปรียบเทียบระยะเวลาการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย โดยวิธีดื่มน้ำ
ธรรมดา กับ เครื่องดื่มเกลือแร่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วาสนา คุณาอภิสิทธิ์. 2539. กระตุกการนอนหลับศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 5. วิทย์พัฒน์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2549. กระตุกต่อมเหงื่อ 108 วิธีสร้างสุขภาพดี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้าง
เสริมสุขภาพ, กรุงเทพฯ.

- วิไลพร แข่งขัน. 2549. ผลของการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ร่วมกับการชวมน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 75 องศาเซลเซียส และการเดินบนลู่วิ่งที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด ภายหลังการออกกำลังกาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์การกีฬาแห่งประเทศไทย เพชรบุรี. 2549. โยคะร้อน ศาสตร์ยอดนิยมของคนรักการเล่นกีฬา. แหล่งที่มา: <http://www.sat.or.th.petchaburi.default.htm>, 16 กรกฎาคม 2549.
- สนธยา สีละมอด. 2547. หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ตัณญา ร้อยสมมุติ. 2532. สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- สาลี สุภารณ์. 2544. ตำราไยโยคะโยคะ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. สำนักพิมพ์เฟื่องฟ้า, กรุงเทพฯ.
- _____. 2546. โยคะและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ประสานมิตร, กรุงเทพฯ.
- _____. 2546. แนวคิดและประสบการณ์เกี่ยวกับการฝึกไยโยคะโยคะของคนไทยในวัยผู้ใหญ่. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์, นครนายก.
- สิริพร ศศิณทลกุล. 2542. การกีฬากับการแพทย์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาติ โสมประยูร. 2535. วิ่งสมาธิ. ถาวรมิตการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- สุนต นวกิจกุล. 2524. การสร้างสมรรถภาพทางกาย. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

สุพล โล่ชิดกุล. 2544. ไข่ไก่โยคะ สมาน อุบายวิธีสู่ความสงบเย็น. สำนักพิมพ์สุขภาพใจ, กรุงเทพฯ.

สุพิตร สมาชิกโต. 2541. การสอนสมรรถภาพทางกายในวิชาพลศึกษา. กีฬาศาสตร์ปริทัศน์ 14 (2): 1-13.

_____. 2548. การสร้างแบบทดสอบสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนัย สกาวรัตน์ และเขาวเรศ ดำรงศิริวัฒน์, บรรณาธิการ. 2542. วิธีรักษาสุขภาพแบบโยคะ. สารสารมาร์เก็ตติ้ง, กรุงเทพฯ.

ฤทธิ เทพไทอานวย. 2542. หะฐะโยคะ เพื่อสุขภาพกายและสุขภาพจิต. วารสารรัฐสมิแล 20 (3): 50 – 55.

อมรา มลิลิต, พิพัฒน์ เจริญศิริ และ ทวีศักดิ์ บุรณวุฒิ. 2520. สรีรวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ.

อนันต์ อัฐ. 2520. สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. แผนกวิชาพลศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อุดร นามไพร. 2545. ผลการฝึกโยคะที่มีต่อความอ่อนตัวของหัวใจ ลำตัว สะโพกและข้อเท้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

เอกชัย พรณเชษฐ์. 2538. ประทีปแห่งโยคะ คู่มือปฏิบัติด้วยตนเอง. มูลนิธิโกมลคีมทอง, กรุงเทพฯ.

Absolute, Y. 2549. “โยคะร้อน” ศาสตร์ยอดนิยมของคนรักการเล่นกีฬา. วารสารกีฬา 40 (1): 38 – 41.

Advancing Rehabilitation Enhancing Quality of Life. 2007. **Exercise in Hot Weather**.

Available Source: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/enterz.PubMed>, December 18, 2007.

Astrand, P. O. and K. Rodahl. 1986. **Textbook of work Physiology**. 3rd.ed. McGraw - Hill, New York.

Duvillard, S.P., W.A. Braun, M. Markofski, R. Beneke and R. Leithauser. 2004. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. **Nutrition**. 20: 651 – 656.

Galantino, M.L. 2003. Influence of yoga, walking and mindfulness meditation on fatigue and body mass index in women living with breast cancer. **Seminars in Integrative Medicine**. 1 (3): 151 – 157.

Heyward, V.H. 2002. **Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription**. 4th.ed. Human Kinetics Publishers., Champaign, Illinois.

Jeukendrup A. E. 2003. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. **Biochemical Society Transaction**. 31: 1270 -1273.

Kang, J., E. C. Chaloupka, M. A. Mastrangelo, R. J. Hoffman, N. A. Ratamess and E. O'Conner. 2004. Metabolic and Perceptual Response during Spinning Cycle Exercise. **Medicine and Science Sports and Exercise**. 30: 853 - 859.

Karlsson, J., L. O. Nordesjo, L. Jorfeldt and B. Saltin. 1981. Muscle lactate, ATP, and CP level during exercise. **The Journal of Applied Physiology**. 33: 199 – 203.

Khalsa, H.K. 2004. How yoga, meditation and a yogic lifestyle can help women meet the challenges of perimenopause and menopause. **Sexuality, Reproduction & Menopause** 2 (3): 169 – 175.

- Manore, M. and J. Thomson. 2000. **Sport Nutrition for Health, and Performance**. Human Kinetics Champaign, Illinois.
- Metha, *et al.* 1990. **Yoga the Iyengar Way**. Dorling Kindersley, London.
- Oken, B.S., D. Zajdel, S. Kishiyama, K. Flegal, C. Dehen, M. Haas, D. F. Kraemer, J. Lawrence and J. Leyva. 2006. Randomized, controlled, six – month trial of yoga in healthy seniors: effects on cognition and quality of life. **Altern Ther Health Med**. 12 (1): 40 – 47.
- Otani, H., M. Kaya, J. Tsujita, K. Hori and S. Hori. 2005. Low Levels of hypohydration and endurance capacity during heavy exercise in untrained individuals. **Journal of Thermal Biology**. 31: 186-193.
- Palacios, C., K. Wigertz, B. Martin and C. M. Weaver. 2003. Sweat mineral loss From whole body, patch and arm bag in white and black girl. **Nutrition Research**. 23: 401 – 411.
- Pizer, A. 2009. Bikram Yoga – Hot Yoga. **What is Bikram Yoga? What is Hot Yoga?**
Available Source: <http://yoga.about.com/od/bikramyogahotyoga/a/bikram.htm>,
February 9, 2009.
- Plowman, S.A. and D.L. Smith. 2003. **Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance**. 2nd ed. Benjamin Cummings, Inc., San Francisco.
- Ray, et al. 2006. **Aerobic Capacity and Perceived Exertion after Practice of Hatha Yogic Exercise**. Available Source: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/enterz.PubMed>,
December 28, 2006.
- Robergs, A. R. and S. J. Keteyian. 2003. **Fundamental of Exercise Physiology for Fitness, Performance, and Health**. 2nd ed. McGrawHill Companies., Boston.

Roberts, A. R. and S. O. Roberts. 1997. **Exercise Physiology: Exercise, Performance And Clinical Applications**. Mosby., New York.

Sawka, M.N., S. J. Montain and W. A. Latzka. 2001. Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**. 128: 679 – 690.

Schell, *et al.* 2006. **Physiological and Pshychological effect of Hatha – Yoga exercise in Healthy women**. Available Source: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/enterz.PubMed>, December 28, 2006.

Telles and Naveen. 2006. **Yoga for Rehabilitation: an overview**. Available Source: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/enterz.PubMed>, December 28, 2006.

Tran, *et al.* 2006. **Effect of Hatha Yoga Practice on the Health – Related Aspect of Physical Fitness**. Available Source: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/enterz.PubMed>, December 28, 2006.

Vace, S., N.K. Powel and A. Damodaran. 1998. **Yoga for women: Effects on weight, waist, hips and chest flexibility – A study**. Brindavan Yoga Hall, Mumbai.

Willmore, J. H. and L. D. Costill. 1994. **Physiology of Sport and Exercise**. Human Kinetics Publishers., Champaign, Illinois.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ทำที่ใช้ในการฝึกโยคะจำนวน 32 ท่า

ทำที่ใช้ในการฝึกโยคะจำนวน 32 ท่า

ทำที่ใช้ในโปรแกรมการฝึกโยคะ

ทำที่ใช้ในโปรแกรมการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นโปรแกรมที่เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของ แอ็บเซอตูทโยคะมีชื่อโปรแกรมว่า Hot A โดยโปรแกรมการฝึกมีทั้งหมด 32 ท่า แบ่งเป็นท่าฝึกหายใจ 2 ท่า และท่าฝึกโยคะ 30 ท่า

ภาคผนวก ข
เอกสารชี้แจงข้อมูล

เอกสารชี้แจงข้อมูล

เอกสารชี้แจงข้อมูล

ชื่อโครงการ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

(Physiological Changes of Yoga Practice at 37 and 25 Degrees Celsius)

ผู้วิจัย น.ส.วณิกกุล ทัพชัย

สถานที่วิจัย ศูนย์ฝึกโยคะแอบเชอลูทโยคะ

ผู้สนับสนุนการวิจัย ใช้นุส่วนตัว

ความเป็นมาของโครงการ

สุขภาพร่างกายที่สมบูรณ์แข็งแรงนั้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งการจะสร้างเสริมสุขภาพให้ร่างกายแข็งแรงนั้นจำเป็นต้องออกกำลังกาย ในปัจจุบันโยคะร้อนเป็นทางเลือกในการออกกำลังกายที่กำลังได้รับความนิยมและได้มีการกล่าวถึงประโยชน์ของโยคะว่าสามารถสร้างเสริมสมรรถภาพทางกายได้เป็นอย่างดี ซึ่งสมรรถภาพของร่างกายที่ดีขึ้นนั้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะร้อนที่ 37 องศาเซลเซียสว่าแตกต่างจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะที่ 25 องศาเซลเซียสอย่างไร

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความแตกต่างของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิต่างกัน

รายละเอียดที่จะปฏิบัติต่อผู้เข้าร่วมการวิจัย

1. ทำการบันทึกอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ชีพจรขณะฝึก ค่าความดันโลหิตของกลุ่มตัวอย่างเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน
2. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้รวม 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ครั้งละ 1 ชม. 30 นาที แบ่งเป็นการฝึกโยคะร้อน 1 ครั้ง และฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ครั้ง โดยในแต่ละครั้ง กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบ ดังต่อไปนี้
 - 2.1 ก่อนการฝึกและหลังจากการฝึกโยคะกลุ่มตัวอย่างจะได้ชั่งน้ำหนัก ปริมาณน้ำที่ดื่ม และความยืดหยุ่น
 - 2.2 ในระหว่างการฝึกโยคะกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการวัดชีพจรขณะฝึก อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย ค่าความดันโลหิต และค่าคะแนนระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษาครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ฝึกโยคะและผู้ที่มีความสนใจในการออกกำลังกาย ได้ทราบถึงการตอบสนองของร่างกายในการฝึกโยคะ

ผลข้างเคียงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับผู้เข้าร่วมการวิจัย

1. อาจเกิดอาการอ่อนเพลียหลังจากการฝึกโยคะ

หนังสือยินยอมและเต็มใจเข้าร่วมการวิจัยที่ได้รับทราบรายละเอียดของ

โครงการอย่างชัดเจน

(Informed Consent Form)

โครงการ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของร่างกายในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 และ 25 องศาเซลเซียส

(Physiological Changes of Yoga Practice at 37 and 25 Degrees Celsius)

ผู้วิจัย น.ส.วณิกกุล ทัพชัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัย.....

คำยินยอมของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ข้าพเจ้า.....ได้รับทราบรายละเอียดของโครงการศึกษาวิจัยตลอดจน ประโยชน์และความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อข้าพเจ้าจากผู้วิจัยแล้วอย่างชัดเจน โดยไม่มีสิ่งใดปิดบังซ่อนเร้น และข้าพเจ้ายินยอมให้ทำการศึกษาวิจัยดังกล่าวข้างต้น และข้าพเจ้ารู้ว่าถ้าเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยเกิดขึ้น ข้าพเจ้าสามารถสอบถามผู้วิจัยได้และข้าพเจ้าสามารถไม่เข้าร่วมโครงการเมื่อใดก็ได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลเฉพาะตัวของข้าพเจ้าไว้เป็นความลับ การเปิดเผยข้อมูลจะกระทำเฉพาะกรณีจำเป็นด้วยเหตุผลทางวิชาการเท่านั้น ทั้งนี้โดยไม่ระบุชื่อของข้าพเจ้า

ลงชื่อ.....ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ลงชื่อ.....พยาน

ลงชื่อ.....พยาน

วันที่...../...../.....

คำอธิบายของผู้วิจัย

ข้าพเจ้าได้อธิบายรายละเอียดของโครงการตลอดจนประโยชน์ของการวิจัย รวมถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบแล้วอย่างชัดเจนโดยไม่มีการปิดบังซ่อนเร้น

ลงชื่อ.....ผู้วิจัย

วันที่...../...../.....

ภาคผนวก ก

การตรวจวัดปริมาณยูเรียและโซเดียม

การตรวจวัดปริมาณยูเรียและโซเดียม

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจวัดปริมาณยูเรียและโซเดียมในเหงื่อ

อุปกรณ์

ชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการตรวจวัดยูเรียและโซเดียมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ



INSTRUCTIONS FOR USE

BUN/UREA

VITROS Chemistry Products BUN/UREA Slides

Blood Urea Nitrogen

REF 174 3418
810 2204

Intended Use

For *in vitro* diagnostic use only.

VITROS BUN/UREA Slides quantitatively measure urea concentration, reported either as urea nitrogen (BUN) or as urea (UREA), in serum, plasma, and urine.

Summary and Explanation of the Test

The major pathway of nitrogen excretion is in the form of urea that is synthesized in the liver, released into the blood, and cleared by the kidneys. A high serum urea nitrogen occurs in glomerulonephritis, shock, urinary tract obstruction, pyelonephritis, and other causes of acute and chronic renal failure. Severe congestive heart failure, hyperalimentation, diabetic ketoacidosis, dehydration, and bleeding from the gastrointestinal tract elevate urea nitrogen. Low urea nitrogen often occurs in normal pregnancy, with decreased protein intake, in acute liver failure, and with intravenous fluid administration.

Principles of the Procedure

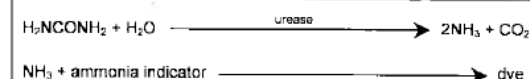
The VITROS BUN/UREA Slide method is performed using the VITROS BUN/UREA Slides and the VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 1 on VITROS Chemistry Systems.

The VITROS BUN/UREA Slide is a multilayered, analytical element coated on a polyester support.

A drop of patient sample is deposited on the slide and is evenly distributed by the spreading layer to the underlying layers. Water and nonproteinaceous components then travel to the underlying reagent layer, where the urease reaction generates ammonia. The semipermeable membrane allows only ammonia to pass through to the color-forming layer, where it reacts with the indicator to form a dye.

The reflection density of the dye is measured and is proportional to the concentration of urea in the sample.

Reaction Sequence



Test Type and Conditions

Test Type and Conditions for BUN/UREA

Test Type	VITROS System	Approximate Incubation Time	Temperature	Wavelength	Sample Drop Volume*
Colorimetric	5, 1 FS, 950, 750, 550, 250	5 minutes	37°C (98.6°F)	670 nm	5.5 µL

* The sample drop volume depends on the format of the slide and is determined automatically by the analyzer. Slides with coating numbers <3201 require a 10 µL sample drop volume.

Warnings and Precautions

For *in vitro* diagnostic use only.

Take care when handling materials and samples of human origin. Since no test method can offer complete assurance that infectious agents are absent, consider all clinical specimens, controls, and calibrators potentially infectious. Handle specimens, solid and liquid waste, and test components in accordance with local regulations and NCCLS Guideline M29² or other published biohazard safety guidelines.

For specific warnings and precautions for calibrators, quality control materials, and other components, refer to the Instructions for Use for the appropriate VITROS product, or to other manufacturer's product literature.

Reagents

Slide Ingredients

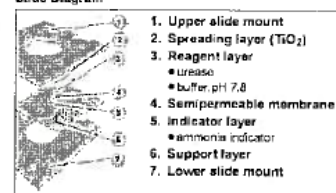
Reactive ingredients per cm²

Urease (jack beans, E.C.3.5.1.5) 1.2 U and N-propyl-4-(2,6-dinitro-4-chlorobenzyl)-quinolinium ethane sulfonate (ammonia indicator) 0.26 mg.

Other ingredients

Pigment, binders, buffer, surfactants, stabilizers, chelator and cross-linking agent

Slide Diagram



Cartridge Handling

CAUTION: Do not use slide cartridges with damaged or incompletely sealed packaging.

- Inspect the packaging for signs of damage.
- Be careful when opening the outer packaging with a sharp instrument so as to avoid damage to the individual product packaging.

Cartridge Preparation

IMPORTANT: The slide cartridge must reach room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), before it is unwrapped and loaded into the slide supply.

- Remove the slide cartridges from storage.
- Warm the wrapped cartridge at room temperature for 30 minutes when taken from the refrigerator or 60 minutes from the freezer.
- Unwrap and load the cartridge into the slide supply.

NOTE: Load the cartridges within 24 hours after they reach room temperature, 18°–28°C (64°–82°F).

Slide Storage and Stability

VITROS BUN/UREA Slides are stable until the expiration date on the carton when they are stored and handled as specified.

Slide Storage and Stability for BUN/UREA

Slide Cartridges	Storage Condition		Stability
Unopened*	Refrigerated	2°–8°C (36°–46°F)	Until expiration date
	Frozen	≤-18°C (≤0°F)	Until expiration date
Opened	On-analyzer	System turned on	≤2 weeks
	On-analyzer	System turned off	≤2 hours

- Do not store with or near ammonia, ammonia compounds, or amines.
- Verify performance with quality control materials:
 - If the system is turned off for more than 2 hours.
 - After reloading cartridges that have been removed from the slide supply and stored for later use.

Specimen Requirements

WARNING: Handle specimens as biohazardous material.

Specimens Recommended

- Serum
- Plasma:³ EDTA
Heparin
- Urine

IMPORTANT: Certain collection devices have been reported to affect other analytes and tests.⁴ Confirm that your collection devices are compatible with this test.

Specimens Not Recommended

- Plasma:³ Sodium fluoride (Fluoride inhibits the enzyme urease.)
- Urine: Glacial acetic acid as a preservative
Concentrated hydrochloric acid as a preservative
Boric acid (in any form) as a preservative

Serum and Plasma

Specimen Collection and Preparation

- Collect specimens using standard laboratory procedures.^{5,6}

NOTE: For details on minimum fill volume requirements, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Patient Preparation

- No special patient preparation is necessary.

Special Precautions

- For the effect of sample hemolysis on test results, refer to "Limitations of the Procedure."
- Centrifuge serum and plasma specimens and remove the serum or plasma from the cellular material within 4 hours of collection.³

Specimen Handling and Storage

WARNING: Handle specimens as biohazardous material.

- Handle and store specimens in stoppered containers to avoid contamination and evaporation.
- Mix samples by gentle inversion and bring to room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), prior to analysis.

Specimen Storage and Stability for BUN/UREA: Serum and Plasma³

Storage	Temperature	Stability
Room temperature	18°–28°C (64°–82°F)	≤1 day
Refrigerated	2°–8°C (36°–46°F)	≤5 days
Frozen	≤-18°C (≤0°F)	≤6 months

Urine

Specimen Collection and Preparation

- Collect specimens using standard laboratory procedures.⁷
- Keep urine specimens refrigerated until analysis.

NOTE: For details on minimum fill volume requirements, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Patient Preparation

- No special patient preparation is necessary.

Specimen Handling and Storage

- Handle and store specimens in stoppered containers to avoid contamination and evaporation.
- Mix samples by gentle inversion and bring to room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), prior to analysis.

Specimen Storage and Stability for BUN/UREA: Urine

Storage	Temperature	Stability
Refrigerated	2°–8°C (36°–46°F)	Refrigerate specimens that cannot be analyzed immediately.

Specimen Pretreatment

Urine

Predilution

IMPORTANT: If using a VITROS 250 or 5,1 FS Chemistry System in On-Analyzer Dilution Mode, do not manually dilute samples for analysis and do not multiply by a dilution factor after analysis. Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure.

1. Dilute 1 part sample with 20 parts reagent-grade water before analysis.
2. Multiply the results by 21 to obtain the original sample's urea nitrogen concentration.

Testing Procedure

Materials Provided

- VITROS Chemistry Products BUN/UREA Slides

Materials Required But Not Provided

- VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 1
- Quality control materials, such as VITROS Chemistry Products Performance Verifier I and II for serum and plasma
- VITROS Chemistry Products 7% BSA
- Isotonic saline or reagent-grade water
- VITROS Chemistry Products FS Diluent Pack 2 (BSA/Saline) (for on-analyzer dilution of serum and plasma samples)
- VITROS Chemistry Products FS Diluent Pack 3 (Specialty Diluent/Water) (for on-analyzer dilution of urine samples)

Operating Instructions

- Check reagent inventories at least daily to ensure that quantities are sufficient for the planned workload.
- For additional information, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

IMPORTANT: *Bring all fluids and samples to room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), prior to analysis.*

Sample Dilution

Serum and Plasma

If urea nitrogen concentrations exceed the system's reportable (dynamic) range:

Manual Sample Dilution

1. Dilute the sample with VITROS 7% BSA.
2. Reanalyze.
3. Multiply the results by the dilution factor to obtain an estimate of the original sample's urea nitrogen concentration.

On-Analyzer Sample Dilution (VITROS 5,1 FS and 250 Systems only)

Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure. For VITROS 5,1 FS, use VITROS Chemistry Products FS Diluent Pack 2 for the dilution.

Urine

If urea nitrogen concentrations exceed the system's reportable (dynamic) range:

VITROS 250, 550, 750, 950 Systems

1. Dilute the prediluted sample with isotonic saline or reagent-grade water.
2. Reanalyze.
3. Multiply the results by the dilution factor to obtain an estimate of the original sample's urea nitrogen concentration.

On-Analyzer Sample Dilution (VITROS 5,1 FS System only)

Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure. Use VITROS Chemistry Products FS Diluent Pack 3 for the dilution.

Calibration

Required Calibrators

- VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 1

NOTE: The same VITROS Calibrator Kit is used to calibrate serum, plasma, and urine. However, specific supplementary assigned values (SAVs) are applied for each body fluid.

Calibrator Preparation, Handling, and Storage

Refer to the Instructions for Use for VITROS Calibrator Kit 1.

NOTE: After reconstituting calibrators, do not dilute further when calibrating for urine.

Calibration Procedure

Refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

When to Calibrate

Calibrate:

- When the slide lot number changes.
- When critical system parts are replaced due to service or maintenance.
- When government regulations require.
 - For example, in the USA, CLIA regulations require calibration or calibration verification at least once every six months.

The VITROS BUN/UREA test may also need to be calibrated:

- If quality control results are consistently outside acceptable range.
- After certain service procedures have been performed.

For additional information, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Calculations

Reflectance from the slide is measured at 670 nm after the fixed incubation time. Once a calibration has been performed for each slide lot, urea nitrogen concentration in unknown samples can be determined using the software-resident endpoint colorimetric math model and the response obtained from each unknown test slide.

Validity of a Calibration

Calibration parameters are automatically assessed by the VITROS Chemistry System against a set of quality parameters detailed in the Coefficients and Limits screen (for VITROS 5,1 FS, see the Review Assay Data screen). Failure to meet any of the pre-defined quality parameters results in a failed calibration. The calibration report should be used in conjunction with quality control results to determine the validity of a calibration.

Reportable (Dynamic) Range

Reportable (Dynamic) Range for BUN/UREA

	Conventional Units (mg/dL urea N)	SI Units (mmol/L urea)	Alternate Units (mg/dL urea)
Serum	2.0–120.0	0.71–42.83	4.29–257.40
Urine*	42–2520	14.91–899.43	90.09–5405.40

*After multiplying by a 21x dilution factor.

For out-of-range samples, refer to "Sample Dilution."

Traceability of the Calibration

Values assigned to the VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 1 for BUN/UREA are traceable to the Certified NIST (National Institute of Standards and Technology) Reference Material, SRM® (Standard Reference Material) 912a. The Ortho-Clinical Diagnostics calibration laboratory uses SRM® 912a to calibrate the CDC Urease/GLDH method® to support BUN/UREA value assignment for Vitros Calibrator Kit 1.

Quality Control

Procedure Recommendations

WARNING: Handle quality control materials as biohazardous material.

- Choose control levels that check the clinically relevant range.
- Analyze quality control materials in the same manner as patient samples, before or during patient sample processing.
- To verify system performance, analyze control materials:
 - After calibration.
 - According to local regulations or at least once each day that the test is being performed.
 - After specified service procedures are performed. Refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.
- If control results fall outside your acceptable range, investigate the cause before deciding whether to report patient results.
- For general quality control recommendations, refer to *Statistical Quality Control for Quantitative Measurements: Principles and Definitions; Approved Guideline-Second Edition*® or other published guidelines.
- For additional information, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Quality Control Material Selection

IMPORTANT: VITROS Performance Verifiers are recommended for use with the VITROS Chemistry System. Evaluate the performance of other commercial control fluids for compatibility with this test before using for quality control.

- Control materials other than VITROS Performance Verifiers may show a difference when compared with other urea nitrogen methods if they:
 - Depart from a true human matrix.
 - Contain high concentrations of preservatives, stabilizers, or other nonphysiological additives.
- Do not use control materials stabilized with ethylene glycol.

Serum

- Some controls that are low in carbon dioxide concentration may show a negative bias (>10% at $\text{CO}_2 < 8 \text{ mmol/L}$) that may be avoided by reconstituting lyophilized with a bicarbonate diluent instead of with water.
- Ammonium bicarbonate diluent should not be used as it will cause a positive bias in test results.
- Proficiency survey samples may show a negative bias similar to controls low in CO_2 . Contact the testing agency for instructions because reconstituting with special diluents may affect other analyte values (e.g., reconstituting with sodium bicarbonate will affect sodium proficiency scores).

Urine

For urine specimens, use commercially available urine control materials.

IMPORTANT: If using a VITROS 250 or 5,1 FS Chemistry System in On-Analyzer Dilution Mode, do not manually dilute samples for analysis and do not multiply by a dilution factor after analysis. Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure.

Quality Control Material Preparation and Storage

Refer to the Instructions for Use for VITROS Chemistry Products Performance Verifier I and II or to other manufacturer's product literature.

Expected Values and Reporting Units

Reference Interval

The serum reference interval is the central 95% of results from an internal study of 3160 apparently healthy adults from a working population (612 females and 2548 males).

The urine reference interval is based on an external study.¹⁰

Reference Interval for BUN/UREA

	Conventional Units (mg/dL urea N)	SI Units (mmol/L urea)	Alternate Units (mg/dL urea)
Serum			
Male	9–20	3.2–7.1	19–43
Female	7–17	2.5–6.1	15–36
Urine			
24-hour	12–20 g/day*	428–714 mmol/day**	26–43 g/day*

* Urea nitrogen concentration (mg/dL) x 24-hour volume (dL) = mg/day. To convert mg/day to g/day, divide by 1000.

** Urea nitrogen concentration (mmol/L) x 24-hour volume (L) = mmol/day.

Each laboratory should confirm the validity of these intervals for the population it serves.

Reporting Units and Unit Conversion

The VITROS Chemistry System may be programmed to report BUN/UREA results in conventional, SI, and alternate units.

Reporting Units and Unit Conversion for BUN/UREA

Conventional Units	SI Units	Alternate Units
mg/dL urea N	mmol/L urea (mg/dL urea N x 0.3569)	mg/dL urea (mg/dL urea N x 2.145)

Limitations of the Procedure

Known Interferences

- Ammonium ions may cause an increase in measured BUN/UREA value equivalent to the specimen's nitrogen content.¹¹

Serum and Plasma

The VITROS BUN/UREA Slide method was screened for interfering substances following NCCLS Protocol EP7.¹² The substances listed in the table, when tested at the concentrations indicated, caused the bias shown.

For substances that were tested and did not interfere, refer to "Specificity."

Known Interfering Substances for BUN/UREA

Interferent*	Interferent Concentration	Blood Urea Nitrogen Concentration		Average Bias	
		Conv. (mg/dL urea N)	SI (mmol/L urea)	Conv. (mg/dL urea N)	SI (mmol/L urea)
Serum and Plasma					
Hemoglobin	50 mg/dL (0.5 g/L)	28	10	1.1	0.4

* It is possible that other interfering substances may be encountered. These results are representative; however, your results may differ somewhat due to test-to-test variation. The degree of interference at concentrations other than those listed might not be predictable.

Other Limitations

Certain drugs and clinical conditions are known to alter blood urea nitrogen concentration *in vivo*. For additional information, refer to one of the published summaries.^{13,14}

Performance Characteristics

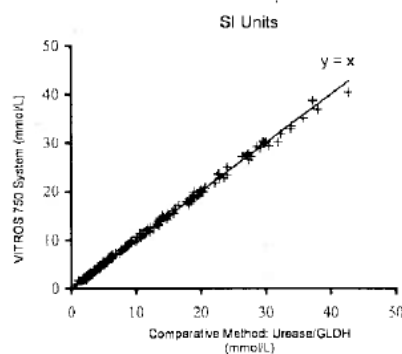
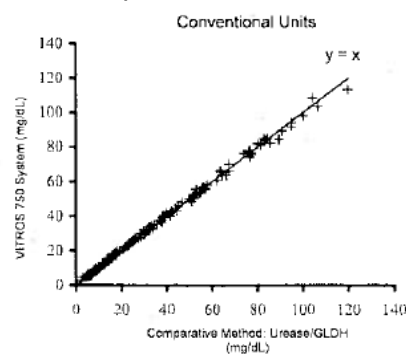
Method Comparison

The plots and tables show the results of a comparison of samples analyzed on the VITROS 750 System with those analyzed using the urease/GLDH comparative method.¹⁵

The tables also show the results of comparisons of the VITROS 250 and 950 Systems with the VITROS 750 System, and comparisons of the 5,1 FS System with the 950 System.

The urine table also shows the results of comparisons between the VITROS 750 System and a commercially available method.

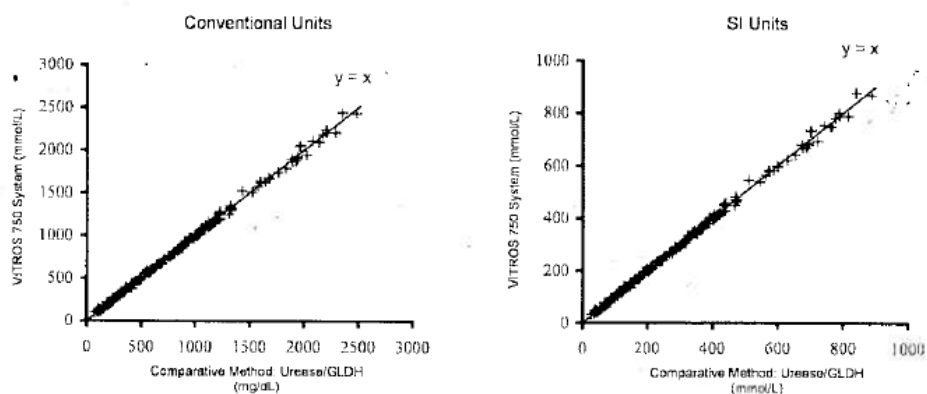
Method Comparison for BUN/UREA: Serum



Method Comparison for BUN/UREA: Serum

	n	Slope	Correlation Coefficient	Conventional Units (mg/dL urea N)			SI Units (mmol/L urea)		
				Range of Sample Conc.	Intercept	Sy.x	Range of Sample Conc.	Intercept	Sy.x
750 System vs. comparative method	158	0.99	0.999	2-120	+0.64	1.32	0.8-42.7	+0.23	0.47
250 System vs. 750 System	85	1.00	0.999	2-117	+0.50	0.78	0.8-41.7	+0.18	0.28
950 System vs. 750 System	120	0.99	0.999	5-119	+0.02	0.37	1.6-42.4	0.00	0.13
5,1 FS System vs. 950 System	135	1.00	1.000	5-118	-0.18	0.44	1.8-42.1	-0.06	0.16

Method Comparison for BUN/UREA: Urine



Method Comparison for BUN/UREA: Urine

	n	Slope	Correlation Coefficient	Conventional Units (mg/dL urea N)			SI Units (mmol/L urea)		
				Range of Sample Conc.	Intercept	Sy.x	Range of Sample Conc.	Intercept	Sy.x
750 System vs. comparative method	223	1.00	0.999	72-2487	+1.59	23.82	26-887	+0.57	8.50
250 System vs. 750 System	88	0.99	0.999	134-1234	+20.01	9.78	47.9-440.3	+7.14	3.49
950 System vs. 750 System	118	1.01	0.999	156-2467	-7.75	16.12	55.7-880.5	-2.77	5.75
5,1 FS System vs. 950 System	100	1.03	0.999	117-2400	-0.91	24.47	41.8-856.6	-0.32	8.73
750 System vs. commercial method*	96	1.08	0.968	160-1500	+18.39	95.79	57.1-535.4	+6.56	34.19

* Boshnager Mannheim BUN Test (Hitachi 747)

Precision

Precision was evaluated with quality control materials on VITROS 250, 750, 950, and 5,1 FS Systems following NCCLS Protocol EP5.¹⁵

The data presented are a representation of test performance and are provided as a guideline. Variables such as sample handling and storage, reagent handling and storage, laboratory environment, and system maintenance can affect reproducibility of test results.

Precision for BUN/UREA: Serum

System	Conventional Units (mg/dL urea N)			SI Units (mmol/L urea)			Within Lab CV% ^{**}	No. Observ.	No. Days
	Mean Conc.	Within Day SD [*]	Within Lab SD ^{**}	Mean Conc.	Within Day SD [*]	Within Lab SD ^{**}			
VITROS 250	16	0.2	0.3	5.6	0.08	0.10	1.8	79	20
	46	0.5	0.7	16.4	0.19	0.25	1.5	78	20
VITROS 750	16	0.2	0.4	5.7	0.07	0.14	2.3	91	23
	18	0.3	0.4	6.5	0.11	0.14	2.0	92	23
	39	0.5	0.8	14.0	0.18	0.27	1.9	92	23
VITROS 950	16	0.2	0.3	5.6	0.08	0.09	1.6	91	23
	39	0.5	0.6	13.8	0.17	0.22	1.6	92	23
VITROS 5,1 FS	20	0.2	0.3	7.0	0.07	0.10	1.5	88	22
	50	0.4	0.8	17.8	0.16	0.29	1.6	87	22

* Within Day precision was determined using two runs/day with two to three replications.

** Within Lab precision was determined using a single lot of slides and calibrating weekly.

Precision for BUN/UREA: Urine

System	Conventional Units (mg/dL urea N)			SI Units (mmol/L urea)			Within Lab CV% ^{**}	No. Observ.	No. Days
	Mean Conc.	Within Day SD [*]	Within Lab SD ^{**}	Mean Conc.	Within Day SD [*]	Within Lab SD ^{**}			
VITROS 250	412	5.4	9.3	146.9	1.94	3.32	2.3	88	22
	644	9.6	20.3	230.0	3.42	7.25	3.2	88	22
VITROS 750	372	5.9	10.4	132.8	2.11	3.71	2.8	90	23
	746	8.2	19.6	266.2	2.93	7.00	2.6	88	23
VITROS 950	372	5.7	12.8	132.3	2.10	4.62	3.4	90	23
	750	8.8	21.0	266.7	3.15	7.56	2.8	88	23
VITROS 5,1 FS	432	4.2	7.6	154.1	1.49	2.70	1.8	90	22
	791	8.2	14.9	282.3	2.94	5.31	1.9	88	22

* Within Day precision was determined using two runs/day with two to three replications.

** Within Lab precision was determined using a single lot of slides and calibrating weekly.

Specificity

Substances That Do Not Interfere

Serum

The substances listed in the table were tested with VITROS BUN/UREA Slides following NCCLS Protocol EP7¹² and found not to interfere, bias <1.1 mg/dL urea N (0.39 mmol/L urea), at the concentration shown.

Substances That Do Not Interfere With BUN/UREA: Serum and Plasma

Compound	Concentration		Compound	Concentration	
Ascorbic acid	3 mg/dL	170 µmol/L	6-Mercaptopurine	1.5 mg/dL	99 µmol/L
Bilirubin	40 mg/dL	684 µmol/L	Phenytoin	2 mg/dL	79 µmol/L
Dextran	1000 mg/dL	250 µmol/L	Phenobarbital	3 mg/dL	129 µmol/L
Ethanol	300 mg/dL	65 mmol/L	Sulfathiazole	6 mg/dL	235 µmol/L
Hypaque	500 mg/dL	8 mmol/L	Tolbutamide	22 mg/dL	814 µmol/L
Intralipid	800 mg/dL	8 g/L	Total protein	10 g/dL	100 g/L
Meprobamate	2 mg/dL	92 µmol/L	Triglycerides	800 mg/dL	9 mmol/L

Urine

The following preservatives have been tested and demonstrated an effect of less than 3% on urine urea nitrogen results.

Substances That Do Not Interfere With BUN/UREA: Urine

Compound	Concentration	
10% Thymol in isopropanol	6.7 mL/L	6.7 mL/L
Toluene	1.3 mL/L	1.3 mL/L
Sodium fluoride	10 mg/mL	2 mmol/L

References

1. Tietz NW (ed). *Fundamentals of Clinical Chemistry*, ed. 3. Philadelphia: WB Saunders; 1987.
2. NCCLS. *Protection of Laboratory Workers from Instrument Biohazards and Infectious Diseases Transmitted by Blood, Body Fluids and Tissue, Approved Guideline*. NCCLS Document M29 (ISBN 1-56238). NCCLS, Wayne, PA 19087; 1997.
3. *Clinical Laboratory Handbook for Patient Preparation and Specimen Handling*. Fascicle VI: Chemistry/Clinical Microscopy. Northfield, IL: College of American Pathologists; 1992.
4. Calam RR. Specimen Processing Separator Gels: An Update. *J Clin Immunoassay*. 11:86-90; 1988.
5. NCCLS. *Procedures for the Collection of Diagnostic Blood Specimens by Venipuncture*. NCCLS Document H3. Wayne, PA: NCCLS; 1991.
6. NCCLS. *Procedures for the Collection of Diagnostic Blood Specimens by Skin Puncture*. NCCLS Document H4. Wayne, PA: NCCLS; 1991.
7. NCCLS. *Urinalysis and Collection, Transportation, and Preservation of Urine Specimens: Approved Guideline*. NCCLS Document GP16. Wayne, PA: NCCLS; 1995.
8. Sampson RI, et al. A coupled-enzyme equilibrium method for measuring urea in serum: optimization and evaluation of the AACC study group on urea candidate reference method. *Clin. Chem*. 26:816-26; 1980.
9. NCCLS. *Statistical Quality Control for Quantitative Measurements: Principles and Definitions: Approved Guideline-Second Edition*. NCCLS Document C24. Wayne, PA: NCCLS; 1999.
10. Rock RC, Walker WG, Jennings CD. Nitrogen Metabolites and Renal Function. In Tietz NW (ed). *Fundamentals of Clinical Chemistry*, ed. 3. 669-700.
11. Tietz NW (ed). *Fundamentals of Clinical Chemistry*, ed. 3. Philadelphia: WB Saunders; 676-679; 1987.
12. NCCLS. *Interference Testing in Clinical Chemistry*. NCCLS Document EP7. Wayne, PA: NCCLS; 1986.
13. Young DS. *Effects of Drugs on Clinical Laboratory Tests*, ed. 4. Washington D.C.: AACC Press; 1995.
14. Friedman RB, Young DS. *Effects of Disease on Clinical Laboratory Tests*. Washington, D.C.: AACC Press; 1990.
15. Taake H, Schubert GE. Urease/GLDH System Applied to a Somogyi Deproteinized Supernate. *Klin. Wochenschr*. 43:174; 1965.
16. NCCLS. *User Evaluation of Precision Performance with Clinical Chemistry Devices*. NCCLS Document EP5. Wayne, PA: NCCLS; 1992.

การตรวจวัดปริมาณโซเดียม

Intended Use

For *in vitro* diagnostic use only.

VITROS Na⁺ Slides quantitatively measure sodium (Na⁺) concentration in serum, plasma, and urine.

Summary and Explanation of the Test

Sodium is the major cation of extracellular fluids. The kidneys regulate sodium content of the body. Low sodium levels may be caused by excessive urine loss, diarrhea, Addison's disease, and renal tubular disease. High sodium levels may occur in severe dehydration, some types of brain injury, diabetic coma, and excessive intake of sodium salts.¹

Principles of the Procedure

The VITROS Na⁺ Slide method is performed using the VITROS Na⁺ Slides and the VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 2 on VITROS Chemistry Systems.

The VITROS Na⁺ Slide is a multilayered, analytical element coated on a polyester support that uses direct potentiometry² for measurement of sodium ions. The slide consists of two ion-selective electrodes, each containing methyl monensin (an ionophore for sodium), a reference layer, and a silver layer and a silver chloride layer coated on a polyester support.

A drop of patient sample and a drop of VITROS Reference Fluid on separate halves of the slide results in migration of both fluids toward the center of the paper bridge. A stable liquid junction is formed that connects the reference electrode to the sample electrode.

Each electrode produces an electrochemical potential in response to the activity of sodium. The potential difference between the two electrodes is proportional to the sodium concentration in the sample.

Test Type and Conditions

Test Type and Conditions for Na⁺

Test Type	VITROS System	Approximate Incubation Time	Temperature	Drop Volume	
Potentiometric	550, 750	3 minutes	25°C (77°F)	Sample:	Reference
	5.1 FS, 950, 250	2 minutes	37°C (98.6°F)	10 µL	Fluid: 10 µL

Warnings and Precautions

For *in vitro* diagnostic use only.

Take care when handling materials and samples of human origin. Since no test method can offer complete assurance that infectious agents are absent, consider all clinical specimens, controls, and calibrators potentially infectious. Handle specimens, solid and liquid waste, and test components in accordance with local regulations and NCCLS Guideline M29³ or other published biohazard safety guidelines.

For specific warnings and precautions for calibrators, quality control materials, and other components, refer to the Instructions for Use for the appropriate VITROS product, or to other manufacturer's product literature.

Reagents

Slide Ingredients

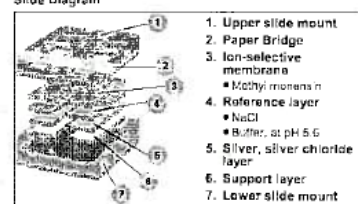
Reactive ingredients per cm²

Silver 0.4 mg; silver chloride 0.2 mg; sodium chloride 0.3 mg and methyl monensin 50 µg.

Other ingredients

Binders, buffer, plasticizers, stabilizer, surfactants and nickel.

Slide Diagram



Cartridge Handling

CAUTION: Do not use slide cartridges with damaged or incompletely sealed packaging.

- Inspect the packaging for signs of damage.
- Be careful when opening the outer packaging with a sharp instrument so as to avoid damage to the individual product packaging.

Cartridge Preparation

IMPORTANT: The slide cartridge must reach room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), before it is unwrapped and loaded into the slide supply.

- Remove the slide cartridges from storage.
- Warm the wrapped cartridge at room temperature for 90 minutes when taken from the refrigerator or 120 minutes from the freezer.
- Unwrap and load the cartridge into the slide supply.

NOTE: Load the cartridges within 24 hours after they reach room temperature, 18°–28°C (64°–82°F).

Slide Storage and Stability

VITROS Na⁺ Slides are stable until the expiration date on the carton when they are stored and handled as specified.

Slide Storage and Stability for Na⁺

Slide Cartridges	Storage Condition		Stability
Unopened	Refrigerated	2°–8°C (36°–46°F)	≤3 months
	Frozen	≤-18°C (≤0°F)	Until expiration date
Opened	On-analyzer	System turned on	≤10 days
	On-analyzer	System turned off	≤2 hours

- Verify performance with quality control materials:
 - If the system is turned off for more than 2 hours.
 - After reloading cartridges that have been removed from the slide supply and stored for later use.

Specimen Requirements

WARNING: *Handle specimens as biohazardous material.*

Specimens Recommended

- Serum
- Plasma:⁴ Heparin (Sodium heparin will increase the measured sodium value by approximately 0.5 mmol/L.)
- Urine

IMPORTANT: *Certain collection devices have been reported to affect other analytes and tests.⁵ Confirm that your collection devices are compatible with this test.*

Specimens Not Recommended

- Urine: Boric acid with sodium formate as a preservative

Serum and Plasma

Specimen Collection and Preparation

Collect specimens using standard laboratory procedures.^{6,7}

NOTE: For details on minimum fill volume requirements, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Patient Preparation

- No special patient preparation is necessary.



INSTRUCTIONS FOR USE

Specimen Pretreatment

Na⁺

Sodium

Special Precautions

- Do not draw specimen from an arm receiving an intravenous transfusion.
- Fibrin clots may cause incomplete sampling of the specimen.⁸
 - Allow specimens to clot completely in order to prevent fibrin clots.
 - Inspect plasma specimens for fibrin clots.
- Centrifuge specimens and remove the serum or plasma from the cellular material within 2 days of collection.⁸

Specimen Handling and Storage

- Handle and store specimens in stoppered containers to avoid contamination and evaporation.
- Mix samples by gentle inversion and bring to room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), prior to analysis.

Specimen Storage and Stability for Na⁺: Serum and Plasma⁹

Storage	Temperature	Stability
Room temperature	18°–28°C (64°–82°F)	≤4 days
Refrigerated	2°–8°C (36°–46°F)	≤1 week
Frozen	≤-18°C (≤0°F)	≤6 months

Urine

Specimen Collection and Preparation

- Collect specimens using standard laboratory procedures.¹⁰
- Keep refrigerated until analysis.

NOTE: For details on minimum fill volume requirements, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Patient Preparation

- No special patient preparation is necessary.

Special Precautions

- Urine specimens must be pretreated prior to processing. Refer to "Specimen Pretreatment" for instructions.

Specimen Handling and Storage

- Handle and store specimens in stoppered containers to avoid contamination and evaporation.
- Mix samples by gentle inversion and bring to room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), prior to analysis.

Specimen Storage and Stability for Na⁺: Urine⁹

Storage	Temperature	Stability
Room temperature	18°–28°C (64°–82°F)	≤24 hours
Refrigerated	2°–8°C (36°–46°F)	≤7 days
Frozen	≤-18°C (≤0°F)	≤6 months

Specimen Pretreatment

Urine

Predilution

IMPORTANT:

If using a VITROS 250 or 5,1 FS Chemistry System in On-Analyzer Dilution Mode, do not manually dilute samples for analysis and do not multiply by a dilution factor after analysis. Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure.

- Remove VITROS Urine Electrolyte Diluent from the refrigerator and allow the diluent to reach room temperature, 18°–28°C (64°–82°F).
- Mix the diluent by gently swirling and inverting the container.

IMPORTANT:

Do not shake.

- In a clean, dry container, mix 1 part of the urine sample with 4 parts of VITROS Urine Electrolyte Diluent (fivefold dilution). Immediately cover diluent and return it to refrigerated storage.
- Thoroughly mix sample with diluent.
- Analyze the pretreated sample and multiply the reported result by 5 to obtain the sodium concentration in the original sample.

Testing Procedure

Materials Provided

- VITROS Chemistry Products Na⁺ Slides

Materials Required But Not Provided

- VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 2
- Quality control materials, such as VITROS Chemistry Products Performance Verifier I and II for serum and plasma, and VITROS Chemistry Products Liquid Performance Verifier I and II for urine
- VITROS Chemistry Products Urine Electrolyte Diluent
- Electrolyte Reference Fluid appropriate for your VITROS Chemistry System
- Reagent-grade water
- VITROS Chemistry Products FS Diluent Pack 1 (Apo Diluent/Urine Electrolyte Diluent) (for on-analyzer dilution of urine samples)

Operating Instructions

- Check reagent inventories at least daily to ensure that quantities are sufficient for the planned workload.
- For additional information, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

IMPORTANT: *Bring all fluids and samples to room temperature, 18°–28°C (64°–82°F), prior to analysis.*

Sample Dilution

Serum and Plasma

Sodium concentrations outside the reportable (dynamic) range are not expected. Diluted samples should not be analyzed with VITROS Na⁺ Slides because dilution changes the concentration of solids in plasma water and the ionic strength of the sample.

Urine

If sodium concentrations exceed the system's reportable (dynamic) range:

VITROS 550, 750 and 950 Systems

1. Dilute 1 part of the original urine sample with an equal volume of reagent-grade water.
2. Mix 1 part of this prepared sample with 4 parts of VITROS Urine Electrolyte Diluent, following the procedure described in the "Specimen Pretreatment: Urine: Predilution" section.
3. Reanalyze.
4. Multiply the results by 10 to obtain an estimate of the sodium concentration in the original urine sample.

VITROS 250 and 5,1 FS Systems

1. Manually dilute 1 part of the original urine sample with an equal volume of reagent-grade water.
2. Reanalyze.
3. Multiply the results by 2 to obtain an estimate of the sodium concentration in the original urine sample.

On-Analyzer Sample Dilution (VITROS 5,1 FS System only)

Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure. Use VITROS Chemistry Products FS Diluent Pack 1 for the dilution.

Calibration

Required Calibrators

VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 2

NOTE:

The same VITROS Calibrator Kit is used to calibrate both serum and urine sodium. However, specific supplementary assigned values (SAVs) are applied for each body fluid.

Calibrator Preparation, Handling, and Storage

Refer to the Instructions for Use for VITROS Calibrator Kit 2.

Calibration Procedure

Refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

When to Calibrate

Calibrate:

- When the slide lot number changes.
- When critical system parts are replaced due to service or maintenance.
- When government regulations require.
 - For example, in the USA, CLIA regulations require calibration or calibration verification at least once every six months.
- When the VITROS Reference Fluid lot number changes.

The VITROS Na⁺ test may also need to be calibrated:

- If quality control results are consistently outside acceptable range.
- After certain service procedures have been performed.

For additional information, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Calculations

Serum

The VITROS Analyzer measures the potential difference in millivolts between the two electrodes of a potentiometric slide—one in contact with the sample to be analyzed and the other in contact with the electrolyte reference fluid. A linear relationship exists between the measured potential difference observed on the slide and the logarithm of sodium concentration, i.e., the Nernst equation for ion-selective electrodes. Once the calibration has been established for each slide lot, unknown sodium concentrations for a given sample can be determined using the software-resident math model and the measured potential difference.

Urine

The Na⁺ slide is sensitive to very high concentrations of potassium (K⁺). Since urine may contain a very high concentration of K⁺, a blank-corrected potentiometric test is required to accurately measure urine Na⁺. This test is a two-slide assay using a primary Na⁺ slide and a secondary K⁺ slide, or blank. The signal measured on the blank slide (K⁺) is used to correct the signal obtained on the Na⁺ slide, to establish the concentration of Na⁺ in the sample.

The VITROS Analyzer measures the potential difference in millivolts between the two electrodes of each of the two potentiometric slides (Na⁺ and K⁺)—one electrode in contact with the sample to be analyzed and the other in contact with the electrolyte reference fluid. Once a calibration has been established for each slide lot (both K⁺ blank slides and Na⁺ slides), unknown urine Na⁺ concentrations for a given sample can be determined using the software-resident math model and the net measured potential difference with the Na⁺ slide minus the potential difference measured with the K⁺ slide.

Validity of a Calibration

Calibration parameters are automatically assessed by the VITROS Chemistry System against a set of quality parameters detailed in the Coefficients and Limits screen (for VITROS 5,1 FS, see the Review Assay Data screen). Failure to meet any of the pre-defined quality parameters results in a failed calibration. The calibration report should be used in conjunction with quality control results to determine the validity of a calibration.

Reportable (Dynamic) Range

Reportable (Dynamic) Range for Na⁺

	Conventional and SI Units (mmol/L)
Serum/Plasma	75.0–250.0
Urine	5.0–250.0*

- After multiplying by a 5x dilution factor.

For out-of-range samples, refer to "Sample Dilution."

Traceability of the Calibration

Values assigned to the VITROS Chemistry Products Calibrator Kit 2 for sodium are traceable to the Certified NIST (National Institute of Standards and Technology) Reference Material, SRM[®] (Standard Reference Material) 919a. The Ortho-Clinical Diagnostics calibration laboratory uses SRM[®] 919a to calibrate the flame atomic emission spectroscopy method¹¹ to support sodium value assignment for VITROS Calibrator Kit 2.

Quality Control

Procedure Recommendations

WARNING: Handle quality control materials as biohazardous material.

- Choose control levels that check the clinically relevant range.
- Analyze quality control materials in the same manner as patient samples, before or during patient sample processing.
- To verify system performance, analyze control materials:
 - After calibration.
 - According to local regulations or at least once each day that the test is being performed.
 - After specified service procedures are performed. Refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.
- If control results fall outside your acceptable range, investigate the cause before deciding whether to report patient results.
- For general quality control recommendations, refer to *Statistical Quality Control for Quantitative Measurements: Principles and Definitions: Approved Guideline-Second Edition*¹² or other published guidelines.
- For additional information, refer to the operating instructions for your VITROS Chemistry System.

Quality Control Material Selection

IMPORTANT: VITROS Performance Verifiers are recommended for use with the VITROS Chemistry System. Evaluate the performance of other commercial control fluids for compatibility with this test before using for quality control.

- Control materials other than VITROS Performance Verifiers may show a difference when compared with other sodium methods if they:
 - Depart from a true human matrix.
 - Contain high concentrations of preservatives, stabilizers, or other nonphysiological additives.
- Do not use control materials stabilized with ethylene glycol.

Urine

- Use urine controls and dilute in the same manner as for patient samples.
- Select urine as the fluid when programming the system to run controls. Multiply the result by 5.

IMPORTANT: If using a VITROS 250 or 5,1 FS Chemistry System in On-Analyzer Dilution Mode, do not manually dilute samples for analysis and do not multiply by a dilution factor after analysis. Refer to the VITROS Chemistry System operating instructions for more information on the On-Analyzer Dilution Procedure.

Quality Control Material Preparation and Storage

Refer to the Instructions for Use for VITROS Chemistry Products Performance Verifier I and II, VITROS Chemistry Products Liquid Performance Verifier I and II, or to other manufacturer's product literature.

Expected Values and Reporting Units

Reference Interval

The serum reference interval is the central 95% of results from an internal study of 60 apparently healthy adults from a working population. No significant differences between results from the male and female populations were observed. The urine reference intervals are based on an external study.^{13,14}

Reference Interval for Na⁺

	Conventional and SI Units
Serum and Plasma	137–145 mmol/L
Urine*	
Random	30–90 mmol/L
24-hour**	40–220 mmol/day

* Urine sodium concentrations are affected by diet.

** Sodium concentration (mmol/L) × 24-hour volume (L) = mmol/day

Each laboratory should confirm the validity of these intervals for the population it serves.

Reporting Units

The VITROS Chemistry System may be programmed to report Na⁺ results in conventional or SI units.

Reporting Units for Na⁺

Conventional and SI Units
mmol/L

Limitations of the Procedure

Known Interferences

Serum and Plasma

Specimens contaminated with cationic surfactants show a positive interference (e.g., benzalkonium chloride at 10 mg/L caused a 50 mmol/L apparent increase in sodium).

NOTE: Heparinized catheters may contain benzalkonium chloride. Specimens drawn through these catheters should not be used.

Other Limitations

Certain drugs and clinical conditions are known to alter sodium concentration *in vivo*. For additional information, refer to one of the published summaries.^{15, 16}

Performance Characteristics

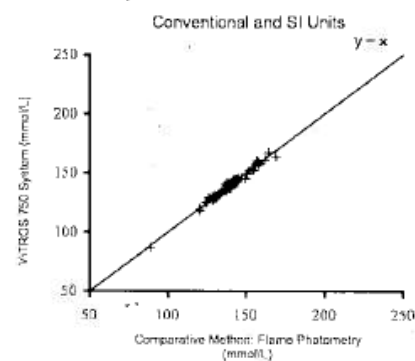
Method Comparison

The plots and tables show the results of a comparison of samples analyzed on the VITROS 750 System with those analyzed using the Flame Photometry comparative method.¹⁷ Testing followed NCCLS Protocol EP9.¹⁷

The tables also show the results of comparisons of the VITROS 250 and 950 Systems with the VITROS 750 System, and comparisons of the 5,1 FS System with the 950 System.

The urine table also shows the results of comparisons between the VITROS 750 System and a commercially available method.

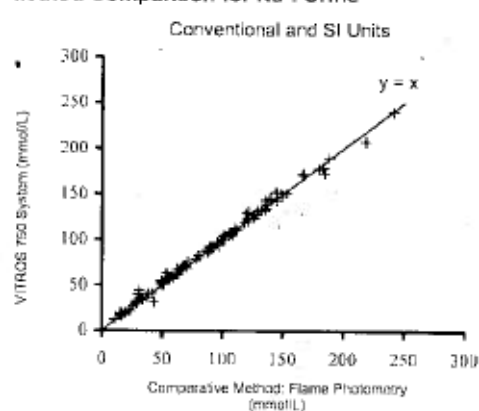
Method Comparison for Na⁺: Serum



Method Comparison for Na⁺: Serum

	n	Slope	Correlation Coefficient	Conventional and SI Units (mmol/L)		
				Range of Sample Conc.	Intercept	Sy.x
750 System vs. comparative method	89	0.99	0.989	89-169	+0.98	1.61
250 System vs. 750 System	89	1.02	0.998	111-208	-1.64	0.97
950 System vs. 750 System	133	0.98	0.999	75-243	+3.03	0.54
5,1 FS System vs. 950 System	125	1.00	0.999	98-165	-1.14	0.43

Method Comparison for Na⁺: Urine



Method Comparison for Na⁺: Urine

	n	Slope	Correlation Coefficient	Conventional and SI Units (mmol/L)		
				Range of Sample Conc.	Intercept	Sy.x
750 System vs. comparative method	105	0.98	0.997	11-241	+2.80	3.51
250 System vs. 750 System	103	0.99	0.999	12-240	-3.42	2.32
950 System vs. 750 System	84	1.01	0.999	8-218	+6.87	1.86
5,1 FS System vs. 950 System	198	1.03	0.999	6-226	-0.16	2.24
750 System vs. commercial method*	91	0.99	0.994	15-244	+0.82	5.97

* Boehringer Mannheim ISE/Na⁺ (Hitachi 747)

Precision

Precision was evaluated with quality control materials on VITROS 250, 750, 950, and 5,1 FS Systems.

The data presented are a representation of test performance and are provided as a guideline. Variables such as sample handling and storage, reagent handling and storage, laboratory environment, and system maintenance can affect reproducibility of test results.

Precision for Na⁺: Serum

System	Conventional and SI Units (mmol/L)			Within Lab CV%**	No. Observ.	No. Days
	Mean Conc.	Within Day SD*	Within Lab SD**			
VITROS 250	124	0.8	1.1	0.9	80	20
	147	1.0	1.5	1.0	78	20
VITROS 750	121	1.0	1.3	1.0	91	23
	132	1.0	1.5	1.1	91	23
	134	0.8	1.2	0.9	92	23
VITROS 950	121	0.7	1.1	0.9	86	23
	132	0.6	1.1	0.9	84	23
VITROS 5,1 FS	118	0.4	0.8	0.6	84	21
	141	0.4	0.8	0.6	89	22

* Within Day precision was determined using two runs/day with two to three replications.

** Within Lab precision was determined using a single lot of slides and calibrating weekly.

NOTE: Urine control fluid samples were prepared daily following the protocol given in the urine specimen preparation section.

Precision for Na⁺: Urine

System	Conventional and SI Units (mmol/L)			Within Lab CV%**	No. Observ.	No. Days
	Mean Conc.	Within Day SD*	Within Lab SD**			
VITROS 250	24	0.4	1.0	4.4	74	19
	42	0.6	1.7	4.2	73	19
VITROS 750	30	0.2	0.6	1.8	92	23
	50	0.5	1.1	2.3	92	23
VITROS 950	46	0.4	0.8	1.7	89	23
	70	0.5	1.1	1.6	90	23
VITROS 5,1 FS	31	0.3	0.4	1.3	88	22
	51	0.3	0.5	1.0	88	22

* Within Day precision was determined using two runs/day with two to three replications.

** Within Lab precision was determined using a single lot of slides and calibrating weekly.

Specificity

Substances That Do Not Interfere

The substances listed in the table were tested with VITROS Na⁺ Slides following NCCLS Protocol EP7¹⁸ and found not to interfere (bias <4.3 mmol/L) at the concentration shown.

Substances That Do Not Interfere With Na⁺

Compound	Concentration	
Ascorbic acid	3 mg/dL	170 µmol/L
Bilirubin	40 mg/dL	684 µmol/L
Calcium	4 mmol/L	4 mmol/L
Dextran	1000 mg/dL	250 µmol/L
Ethanol	150 mg/dL	32.6 mmol/L
Hemoglobin	1000 mg/dL	10 g/L
Intralipid	800 mg/dL	8 g/L
Isoniazid	0.4 mg/dL	29 µmol/L

Compound	Concentration	
Lithium	1 mEq/L	1 mmol/L
Magnesium	1.85 mmol/L	1.85 mmol/L
6-Mercaptopurine	1.5 mg/dL	99 µmol/L
Phospholipids as lecithin	400 mg/dL	4 g/L
Potassium	8 mEq/L	8 mmol/L
Total Protein	10 g/dL	100 g/L
Triglycerides	800 mg/dL	9.0 mmol/L
Urea nitrogen	100 mg/dL	36 mmol/L

References

1. Tietz NW (ed). *Fundamentals of Clinical Chemistry*, ed. 3. Philadelphia: WB Saunders; 614-616; 1987.
2. Segard-Anderson O. Electrochemistry, in Tietz NW (ed). *Textbook of Clinical Chemistry*. Philadelphia: WB Saunders; 110-125; 1986.
3. NCCLS. *Protection of Laboratory Workers from Instrument Biohazards and Infectious Diseases Transmitted by Blood, Body Fluids and Tissue; Approved Guideline*. NCCLS Document M29 (ISBN 1-56236). NCCLS, Wayne, PA 19087; 1997.
4. Doumas BT, et al. Differences Between Values for Plasma and Serum in Tests Performed in the Ektachem 700 XR Analyzer, and Evaluation of "Plasma Separator Tubes (PST)." *Clin. Chem.* 35:151-153; 1989.
5. Calam RR. Specimen Processing Separator Gels: An Update. *J Clin Immunology*. 11:86-90; 1988.
6. NCCLS. *Procedures for the Collection of Diagnostic Blood Specimens by Venipuncture*. NCCLS Document H3. Wayne, PA: NCCLS; 1991.
7. NCCLS. *Procedures for the Collection of Diagnostic Blood Specimens by Skin Puncture*. NCCLS Document H4. Wayne, PA: NCCLS; 1991.
8. Stockbower JM, Blumenfeld TA (ed.). *Collection and Handling of Laboratory Specimens*. Philadelphia: Lippincott Co; 201; 1983.
9. *Clinical Laboratory Handbook for Patient Preparation and Specimen Handling*. Fascicle VI: Chemistry/Clinical Microscopy. Northfield, IL: College of American Pathologists; 1992.
10. NCCLS. *Urinalysis and Collection, Transportation, and Preservation of Urine Specimens; Approved Guideline*. NCCLS Document GP16. Wayne, PA: NCCLS; 1995.
11. Velapoldi RA, et al. A reference method for the determination of sodium in serum. *National Institute of Standards and Technology Special Publication 260-60*, Gaithersburg, MD; 1978.
12. NCCLS. *Statistical Quality Control for Quantitative Measurements: Principles and Definitions; Approved Guideline-Second Edition*. NCCLS Document C24. Wayne, PA: NCCLS; 1999.
13. Tietz NW (ed). *Fundamentals of Clinical Chemistry*, ed. 5. Philadelphia: WB Saunders; 494-496; 2001.
14. Ravel R. Representative "Normal Values." In *Clinical Laboratory Medicine*, ed. 4. Chicago Year Book Medical Publishers; 532; 1984.
15. Young DS. *Effects of Drugs on Clinical Laboratory Tests*, ed. 4. Washington D.C.: AACC Press; 1995.
16. Friedman RB, Young DS. *Effects of Disease on Clinical Laboratory Tests*. Washington, D.C.: AACC Press; 1990.
17. NCCLS. *Method Comparison and Bias Estimation Using Patient Samples; Approved Guideline*. NCCLS Document EP9. Wayne, PA: NCCLS; 1995.
18. NCCLS. *Interference Testing in Clinical Chemistry*. NCCLS Document EP7. Wayne, PA: NCCLS; 1986.

ภาคผนวก ง

การวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย

การวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย

วัตถุประสงค์

เพื่อวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายผ่านทางหู

อุปกรณ์

เครื่องวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย Infrared Ear Thermometer

ยี่ห้อ Microlife รุ่น IR 1DE1

วิธีการ

1. เครื่องวัดอุณหภูมิจะวัดอุณหภูมิของเยื่อแก้วหูและเนื้อเยื่อที่อยู่รอบ ๆ เยื่อแก้วหู
2. กดปุ่ม 0/1 เพื่อเปิดเครื่อง
3. เมื่อเครื่องส่งเสียง “บี๊บ” 1 ครั้ง ให้สอด probe เข้าไปในรูหู โดยจับบริเวณใบหูแล้วดึงไปด้านหลังและยกขึ้นเล็กน้อย
4. เมื่อสอด probe เข้าไปในรูหู ให้สอดให้กระชับแน่นไม่มีช่องว่างระหว่าง probe และรูหู แล้วกดปุ่ม start
5. รอจน thermometer ส่งเสียง “บี๊บ” 1 ครั้ง และแสดงค่าอุณหภูมิที่หน้าจอ จิ้งค้อย ๆ ดึง probe ออก



ภาพผนวกที่ 1 แสดงเครื่อง Infrared Ear Thermometer



ภาพผนวกที่ ๖2 แสดงการวัดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายผ่านทางหู

ภาคผนวก จ

การเก็บเห็ือ และการคำนวณความเข้มข้นของเห็ือ

การเก็บเหงื่อ และการคำนวณความเข้มข้นของเหงื่อ

วัตถุประสงค์

เพื่อเก็บตัวอย่างเหงื่อ นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของเหงื่อในกลุ่มตัวอย่าง

อุปกรณ์

1. ผ้ากอซยี่ห้อ Pharmahof รุ่น Betadress – 3 Gauze pad 3” x 3” Type IV-24x20 Mesh
2. แผ่นฟิล์มบางกันน้ำ ยี่ห้อ 3M รุ่น Tegaderm ขนาด 4 x 6 นิ้ว

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักผ้ากอซและแผ่นฟิล์มก่อนใช้
2. ทำความสะอาดบริเวณผิวหนังส่วนที่จะติดผ้ากอซ ด้วยการล้างด้วยน้ำสบู่ และเช็ดให้แห้ง
3. ติดผ้ากอซบริเวณหลังส่วนล่าง เหนือขอบกระดูกเชิงกรานด้านหลังประมาณ 1 นิ้ว และห่างจากแนวกระดูกสันหลังประมาณ 1 นิ้ว ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา
4. ปิดทับด้วยแผ่นฟิล์มบางกันน้ำ โดยติดให้แน่นสนิท ไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ภายใน และกดเน้นบริเวณขอบให้แน่นสนิท เพื่อป้องกันการลอกหลุดระหว่างการฝึกโยคะ
5. หลังจากการฝึก แกะผ้ากอซและแผ่นฟิล์มออก นำไปชั่งน้ำหนักหาหน้าหนักของผ้ากอซที่เพิ่มขึ้นเพื่อนำมาคำนวณปริมาณและความเข้มข้นของเหงื่อ
6. ส่งตัวอย่างเหงื่อไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจหาความเข้มข้นของureaซึ่งเป็นของเสียที่ร่างกายสามารถขับออกได้ทั้งทางปัสสาวะและทางเหงื่อ

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเหงื่อทั้งหมดและความเข้มข้นของของเสียในเหงื่อ

สูตรในการคำนวณหาปริมาณเหงื่อที่ออกทั้งหมดจากผ้ากอซ (Palacios, 2003)

$$\text{สูตร} \quad \text{Whole body sweat loss (mL)} = (\text{sweat loss (patch)} / \text{BSA (patch)}) \times \text{BSA (whole body)}$$

เมื่อ Whole body sweat loss (mL.) คือปริมาณเหงื่อทั้งหมด

Sweat loss (patch) คือ น้ำหนักของกอซที่เพิ่มขึ้น

BSA (patch) หรือ Body surface area คือ พื้นที่ผิวของผ้ากอซ เท่ากับ 0.011 ตารางเมตร

BSA (whole body) หรือ Body surface area ของร่างกาย หน่วยเป็น ตารางเมตร หาได้จาก

$$\text{สูตร } BSA (\text{whole body}) = 0.20247 \times \text{ความสูง (ม.)}^{0.725} \times \text{น้ำหนัก (กก.)}^{0.425}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อ น้ำหนัก 43.8 กก. สูง 1.56 เมตร น้ำหนักกอสที่เพิ่มขึ้น 10.47 กรัม

$$\begin{aligned} BSA (\text{whole body}) &= 0.20247 \times 1.380 \times 4.985 \\ &= 1.393 \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Whole body sweat loss (ml.)} &= (10.47 / 0.011) \times 1.393 \\ &= 1325.88 \text{ ml.} \end{aligned}$$

การคำนวณหาความเข้มข้นของเหงื่อ

จาก น้ำหนักกอสที่เพิ่มขึ้น (v_1) 10.47 กรัม เติมน้ำเพื่อเพิ่มปริมาตร 10 ml. เป็น 20.47 กรัม (v_2) เมื่อส่งห้องปฏิบัติการหาปริมาณ urea ได้ 15 mg/dl (c_2) ที่ต้องการหา คือ ความเข้มข้นของเหงื่อก่อนเจือจาง (c_1)

$$\begin{aligned} \text{สูตร } c_1 \times v_1 &= c_2 \times v_2 \\ c_1 &= (15 \times 20.47) / 10.47 \\ &= 29.33 \text{ mg/dl.} \end{aligned}$$

ดังนั้น เหงื่อที่ออกมามีความเข้มข้นของ urea เท่ากับ 29.33 mg/dl.



ภาพผนวกที่ จ1 แสดงวิธีการการติดอุปกรณ์การเก็บเหงื่อ

ภาคผนวก จ

วิธีการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อตรวจวัดปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด

วิธีการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อตรวจวัดปริมาณกรดแลคติกในกระแสเลือด

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจหาปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกาย

อุปกรณ์

1. ปากกาเจาะเลือด ยี่ห้อ Roche รุ่น Accu – Check Softclix
2. หลอด Micro Haematocrit Tube ยี่ห้อ VITREX ชนิด Na-Heparinized
3. เครื่องตรวจ Blood Lactate ยี่ห้อ Roche รุ่น Accutrend Plus Meter
4. Strip ตรวจ Blood Lactate ยี่ห้อ Roche รุ่น Accutrend Plus Lactate
5. แอลกอฮอล์ทำความสะอาด

วิธีการ

1. เตรียมปากกาเจาะเลือดด้วยการเปลี่ยนเข็มเจาะใหม่ทุกครั้ง
2. เตรียม strip ตรวจและ reset เครื่องตรวจ Blood Lactate
3. ทำความสะอาดปลายนิ้วมือด้วยแอลกอฮอล์
4. เจาะปลายนิ้วมือด้วยปากกาเจาะเลือด แล้วดูดเลือดจากปลายนิ้วใส่ในหลอด micro hematocrit ให้ได้ประมาณ 2 ใน 3 ของหลอด micro hematocrit
5. เปิดฝาเครื่องตรวจ Blood Lactate แล้วแตะปลายหลอด micro hematocrit ลงบนบริเวณแผ่นตรวจให้เลือดกระจายจนเต็มและชุ่มบนแผ่นตรวจ
6. ปิดฝาเครื่องตรวจ เครื่องจะนับเวลา 60 วินาที แล้วจะแสดงผลมีหน่วยเป็น mmol/l.



ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงเครื่องตรวจ Blood Lactate ยี่ห้อ Roche รุ่น Accutrend Plus Meter



ภาพผนวกที่ ๓2 แสดงการตรวจหาปริมาณกรดแลกติก

ภาคผนวก ข
การคำนวณหาปริมาณพลาสติก

การคำนวณหาปริมาณพลาสมา

วัตถุประสงค์

เพื่อคำนวณหาปริมาณพลาสมาเพื่อพิจารณาการสูญเสียของร่างกาย

อุปกรณ์

1. ปากกาเจาะเลือด ยี่ห้อ Roche รุ่น Accu – Check Softclix
2. หลอด Micro Hematocrit Tube ยี่ห้อ VITREX ชนิด Na-Heparinized
3. ดินน้ำมันอัดให้แน่นเพื่อปิดปลายหลอด Micro Hematocrit
4. เครื่องปั่น Hematocrit และตารางการหาค่า Hematocrit

วิธีการ

1. เช็ดทำความสะอาดปลายนิ้วมือที่ต้องการเจาะเลือด
2. ใช้ปากกาเจาะเลือดแล้วดูดเลือดใส่ในหลอด Micro Hematocrit ให้ได้ปริมาณ 3 ใน 4 ของหลอด
3. ปิดปลายหลอด Micro Hematocrit ด้วยการกดปลายหลอด Micro Hematocrit ลงบนดินน้ำมันให้แน่น
4. นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น Hematocrit แล้วอ่านค่าที่ได้จากตารางการหาค่า Hematocrit

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณพลาสมา

ก่อนออกกำลังกาย

ผู้หญิงจะมีปริมาณเลือดทั้งหมดประมาณ 65 ml. ต่อน้ำหนักตัว 1 กก.(Robert และ Steven, 2003) ถ้าตัวอย่างหนัก 50 กก. มีค่า Hematocrit เท่ากับ 38%

ดังนั้น ปริมาณพลาสมาจะเท่ากับ $100 - 38 = 62 \%$

ตัวอย่างมีปริมาณเลือดทั้งหมดเท่ากับ $65 \times 50 = 3250 \text{ ml.}$

ปริมาณพลาสมา = $(62/100) \times 3250 = 2015 \text{ ml.}$

จากค่า Hematocrit เท่ากับ 38% จะคำนวณหาปริมาณเม็ดเลือดได้ $= (38/100) \times 3250 = 1235 \text{ ml.}$

หลังจากออกกำลังกาย

เมื่อออกกำลังกายมีการสูญเสีย^{น้ำ}ออกจากร่างกาย ปริมาณเม็ดเลือดจะยังคงเดิมแต่ปริมาณพลาสมาจะลดลงเนื่องจากการเสียน้ำ เมื่อหาค่า Hematocrit ได้เท่ากับ 40%

ปริมาณเม็ดเลือดเท่าเดิม คือ 1235 ml แต่ค่า Hematocrit ได้เท่ากับ 40% แสดงว่า เลือดมีความเข้มข้นมากขึ้น

$$\text{เมื่อ } 40\% = 1235 \text{ ml; } 100\% \text{ ของเลือด} = (100/40) \times 1235 = 3087.5 \text{ ml.}$$

นั่นหมายถึงหลังการออกกำลังกายร่างกายมีปริมาณเลือดทั้งหมดเท่ากับ 3087.5 ml.

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{ปริมาณเลือดทั้งหมด} &= \text{ปริมาณพลาสมา} + \text{ปริมาณเม็ดเลือด} \\ \text{ดังนั้น ปริมาณพลาสมา} &= \text{ปริมาณเลือดทั้งหมด} - \text{ปริมาณเม็ดเลือด} \\ &= 3087.5 - 1235 \\ &= 1852.5 \text{ ml.} \end{aligned}$$

แสดงว่า หลังจากการออกกำลังกายมีปริมาณพลาสมาลดลง = $2015 - 1852.5 = 162.5 \text{ ml.}$

ภาคผนวก ข

วิธีการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย

วิธีการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายด้วยเครื่อง วิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อ Sensor Medics รุ่น Vmax 229 Series

วัตถุประสงค์

เพื่อวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน การจับคาร์บอนไดออกไซด์ และค่า Respiratory exchange ratio

อุปกรณ์

1. ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อ Sensor Medics รุ่น Vmax 229 Series
2. อุปกรณ์ทำความสะอาดหน้ากาก

วิธีการ

1. เปิดเครื่องก่อนการใช้งาน เป็นเวลาอย่างน้อย 30-60 นาที โดยเข้าสู่โปรแกรม V max
2. เริ่มต้นการใช้งานโดยเปิดถึงก๊าซที่ใช้ calibrate (span 1 และ span 2 ถึงสี่ขา)
3. นำ mass flow sensor มาต่อกับท่อที่ใช้หายใจบริเวณที่ใช้สวม mask
4. ทำการ calibrate flow โดยเข้าไปที่ flow sensor calibrate (F1) บนหน้าจอ โปรแกรม V max ทำตามขั้นตอนจนเสร็จสิ้น จากนั้นถอด mass flow sensor ออก
5. ทำการ calibrate standard O_2 และ standard CO_2 โดยเข้าไปที่ Metabolic/Exercise test แล้วกด F1 เพื่อทำการ calibrate standard O_2 และ standard CO_2 จนเสร็จสิ้น เมื่อเสร็จแล้วให้กด F3 แล้วกดสาย BXB เข้าไปเสียบ บริเวณ flow sensor เหมือนเดิม
6. ทำการป้อนข้อมูล โดยเข้าไปที่ new study หรือไปที่ Find patient กรณีที่ต้องการหาข้อมูลเก่าที่เคยทดสอบไว้
7. ให้ผู้รับการทดสอบสวมหน้ากากที่ใช้หายใจโดยจัดให้พอดีไม่ให้มีอากาศจากภายนอกผ่านเข้าหรืออากาศภายในรั่วออกมาได้
8. กด start เพื่อเริ่มการทดสอบ
9. ค่าที่ได้จากการทดสอบได้แก่ VO_2 VCO_2 RQ ที่ใช้ในแต่ละนาทีของการทดสอบสามารถเรียกดูและสั่ง print ได้
10. เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบให้ปิดถึงก๊าซให้สนิทและทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ เช่น หน้ากาก เป็นต้น

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซและชุดอุปกรณ์ Metabolic Cart ยี่ห้อ Sensor Medics รุ่น Vmax 229 Series ประเทศสหรัฐอเมริกา



ภาพผนวกที่ ข2 แสดงขั้นตอนการ Calibrate Flow



ภาพผนวกที่ ข3 แสดงขั้นตอนการ Calibrate standard O₂ และ standard CO₂



ภาพผนวกที่ ข4 แสดงการสวมหน้ากากเตรียมพร้อมก่อนการฝึก



ภาพผนวกที่ ๗๕ แสดงตัวอย่างการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะฝึกโยคะ

ภาคผนวก ฅ

การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของร่างกาย

การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของร่างกาย

วัตถุประสงค์

เพื่อคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของร่างกายในการออกกำลังกาย

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

1. ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ออกซิเจนในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับ 6.20 มล/กก/นาที
2. ค่า RER ในการฝึกโยคะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับ 0.870
3. ตารางค่า RER จาก Plowman and Smith (2003) หนังสือ Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance หน้า 134 เพื่อทราบค่า Caloric equivalent ซึ่งเท่ากับ 4.887 kcal/L of O₂

วิธีการ

จากสูตร

พลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย(kcal/min) = ปริมาณการใช้ออกซิเจน (L/min) x Caloric equivalent (kcal/L of O₂)

เมื่อ ปริมาณการใช้ออกซิเจน (L/min) = (6.20/1000) x 50.95 = 0.31589 L/min
Caloric equivalent เท่ากับ 4.887 kcal/L of O₂

ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย(kcal/min) = 0.31589 (L/min) x 4.887 (kcal/L of O₂)
= 1.5438 kcal/min

ฝึก 90 นาที พลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย เท่ากับ 1.5438 x 90 = 138.937 kcal

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาววณิกกุล ทัพชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคนิคการแพทย์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ. 2546)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครูฝึกโยคะ ที่ศูนย์ฝึกโยคะแอบเซอลูทโยคะ กรุงเทพมหานคร
สถานที่ทำงาน	2549 – ปัจจุบัน ศูนย์ฝึกโยคะแอบเซอลูทโยคะ กรุงเทพมหานคร