# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

**ปริญญา**

วิทยาศาสตร์การกีฬา | โครงการสหวิทยาการระดับ

**สาขา** | **ภาควิชา**

**เรื่อง** ผลของการใช้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาเทควันโดชาย

Effects of Central and Peripheral Body Cooling after Exercise on Blood Lactate Level in Male Taekwondo Players

**นามผู้วิจัย** นางสาวจิตรดา ผ่องกุหลาบ

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D. )

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

( อาจารย์จักรพงษ์ ขาวถิ่น, ปร.ด. )

**ประธานสาขาวิชา**

( ผู้ช่วยศาสตรจารย์สิริพร ศศิมณฑลกุล, Ph.D. )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

( รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr. )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

# ผลของการใช้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย ที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาเทควันโดชาย

# Effects of Central and Peripheral Body Cooling after Exercise on Blood Lactate Level in Male Taekwondo Players


โดย

นางสาวจิตรดา ผ่องกุหลาบ


เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)
พ.ศ. 2552

จิตรดา ผ่องกุหลาบ 2552: ผลของการใช้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกาย
ภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาเทควันโดชาย
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา
โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D. 118 หน้า

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทควันโด เพศชาย สังกัดชมรมเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อายุระหว่าง18–22 ปี จำนวน 10 คน ออกกำลังกายตามโปรแกรมการเตะตวัดที่มีความหนักในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และได้รับการพักฟื้นด้วยการนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลาง และการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายเป็นเวลา 15 นาที วิธีการใดวิธีการหนึ่งจนครบทั้ง 3 วิธีทำการบันทึกระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับความเหนื่อย และระดับความรู้สึก ในช่วงก่อน-หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธีการของ Tukey

ผลการวิจัยพบว่าระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้น 15 นาทีระหว่างวิธีการทั้งสามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ระดับกรดแลคติกในเลือดหลังพักฟื้นด้วยการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย และอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นด้วยการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกายต่ำกว่าการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอุณหภูมิแกนกลางหลังพักฟื้นด้วยการให้ความเย็นทั้งสองวิธีต่ำกว่าหลังออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการ สำหรับระดับความเหนื่อย และระดับความรู้สึกภายหลังพักฟื้นทั้งสามวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการศึกษาสรุปได้ว่าการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายในช่วงพักฟื้นสามารถลดระดับกรดแลคติกในเลือด ขณะที่การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกายในช่วงพักฟื้นช่วยลดอัตราการเต้นหัวใจเมื่อเทียบกับการนั่งพัก แต่อย่างไรก็ตามการนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลาง และส่วนปลายของร่างกายส่งผลต่ออุณหภูมิแกนกลางไม่แตกต่างกัน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Jitrada Phongkularb 2009: Effects of Central and Peripheral Body Cooling after Exercise on Blood Lactate Level in Male Taekwondo Players. Master of Science (Sports Science), Major Field: Sports Science, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Ratree Reungthai, Ed.D. 118 pages.

The purpose of this research was to study the effect of rest, central body cooling and peripheral body cooling on blood lactate concentration. The study group consisted of ten males who age between 18–22 years old from Taekwondo Sports Club of Kasetsart University. All subjects performed round kick exercise program at 85-90 percent of maximal heart rate. At first visit, After subjects performed round kick exercise then following by one type of recovery treatment and performed another treatment in next visit for three visits. Blood lactate concentration, core temperature and heart rate during pre-exercise, post-exercise and 15 minute post-recovery have been recorded. Data were statistically analyzed using one-way analysis of variance with repeated measure and multiple comparison (Tukey's method) testing procedure.

As a result, the data revealed that peripheral body cooling group had statistically lower blood lactate concentration than control group ($p<0.5$) whereas heart rate in central body cooling were significantly lower than control group ($p<0.5$). On the other hand, core temperatures in both treatment groups during 15 minute post-recovery were significantly lower than pre-exercise. However, there was no statistical difference noticed in core temperature among three groups. RPE and feeling scale were difference among three groups.

In conclusion, this study suggests that peripheral body cooling helps reducing blood lactate concentration in post-exercise. Conversely, central body cooling can decrease heart rate during post-exercise. Nevertheless, core temperatures among three groups are not statistically different

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความเมตตากรุณาอย่างดียิ่งในการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจสอบพร้อมกับแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.จักรพงษ์ ขาวถิ่น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตากรุณาของท่านที่ได้ดูแลเอาใจใส่ตลอดจนเป็นกำลังใจอย่างดีตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ มีคุณค่าทางวิชาการ จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ประหยัด สุดเสวต อาจารย์ที่ปรึกษาชมรมเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ให้ความร่วมมือสนับสนุน และเปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารวมทั้งให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนขอขอบคุณ น้องๆ ชมรมเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้สละเวลาเข้าร่วมการวิจัยตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อใจหาญ คุณแม่จินดา ผ่องกุหลาบ ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและสนับสนุนมาตลอด และขอกราบขอบพระคุณ คุณครู อาจารย์ ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้วิจัย ตลอดจน เพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจด้วยดี รวมทั้งเป็นแรงผลักดันสำคัญให้ผู้วิจัยก้าวผ่านความสำเร็จขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง ขอขอบพระคุณจากใจจริง

จิตรดา ผ่องกุหลาบ

มีนาคม 2552

# สารบัญ

หน้า


| | |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (3) |
| สารบัญภาพ | (6) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | (7) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 7 |
| การตรวจเอกสาร | 10 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 40 |
| อุปกรณ์ | 40 |
| วิธีการ | 41 |
| ผลและวิจารณ์ | 47 |
| ผล | 47 |
| วิจารณ์ | 57 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 66 |
| สรุป | 66 |
| ข้อเสนอแนะ | 67 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 68 |
| ภาคผนวก | 77 |
| ภาคผนวก ก โปรแกรมการเตะตวัด | 78 |
| ภาคผนวก ข การวัดปริมาณของกรดแลคติกในเลือด | 84 |
| ภาคผนวก ค การวัดอุณหภูมิแกนกลาง | 87 |
| ภาคผนวก ง การวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย | 89 |
| ภาคผนวก จ การวัดระดับความรู้สึก | 91 |
| ภาคผนวก ฉ วิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย | 93 |
| ภาคผนวก ช วิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย | 95 |

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ซ แบบบันทึกการทดสอบ 98
ภาคผนวก ฌ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 100
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 118

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


1 แสดงระยะเวลาต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้ในการฟื้นตัวหลังจากออกกำลังกายจนอ่อนเพลีย 27

2 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของกลุ่มตัวอย่าง 49

3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\overline{X} \pm$ S.E.) ของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลาง และการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลาย 50

4 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ของค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ระหว่างวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลาง และการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายโดยวิธีของ Tukey 54

5 แสดงค่าฐานนิยมของระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Borg's Rating of Perceived Exertion; RPE scale) และระดับความรู้สึก (Affect scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี 56


**ตารางผนวกที่**


ง1 แสดงระดับการรับรู้ความเหนื่อย 90

ฌ1 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ก่อนการทดลอง โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov one sample test ของวิธีการทดลองที่ 1 (การพักฟื้นด้วยวิธีการนั่งพัก เป็นเวลา 15 นาที) 101

ฌ2 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ก่อนการทดลอง โดยใช้สถิติ Kolmogorov- Smirnov one sample test ของวิธีการทดลองที่ 2 (การพักฟื้นด้วยวิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที) 102

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางผนวกที่** **หน้า**


ฌ3 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ก่อนการทดลอง โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov one sample test ของวิธีการทดลองที่ 3 (การพักฟื้นด้วยวิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที) 103

ฌ4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของระดับกรดแลคติกในเลือดก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 104

ฌ5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 105

ฌ6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 106

ฌ7 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 5 นาที และหลังพักฟื้น 15 นาที โดยวิธีของ Tukey 107

ฌ8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลาง ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 108

ฌ9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลาง ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 109

ฌ10 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 5 นาที และหลังพักฟื้น 15 นาที โดยวิธีของ Tukey 110

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางผนวกที่** **หน้า**


ฌ11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 111

ฌ12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี 112

ฌ13 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 5 นาที และหลังพักฟื้น 15 นาที โดยวิธีของ Tukey 113

ฌ14 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test 114

ฌ15 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test 115

ฌ16 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความรู้สึก (Feeling scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test 116

ฌ17 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความรู้สึก (Feeing scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test 117

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงผลของการกระตุ้นด้วยความเย็นที่มีต่อการไหลเวียนของเลือดเฉพาะที่ | 35 |
| 2 | แสดงขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล | 44 |


**ภาพผนวกที่**


| | | |
|---|---|---|
| ก1 | ท่าเตะตวัด (round kick) | 80 |
| ก2 | สไลด์เตะตวัด (slide round kick) | 80 |
| ก3 | ดึงเตะตวัด | 81 |
| ก4 | ฟุตเวอร์ค | 81 |
| ก5 | เป้าเตะลิ้นคู่ ยี่ห้อ Adidas | 82 |
| ก6 | นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Casio ประเทศญี่ปุ่น | 82 |
| ก7 | เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ยี่ห้อ Polar ประเทศฟินแลนด์ | 83 |
| ข1 | การวัดปริมาณกรดแลคติกในเลือดด้วยเครื่อง Accutrend ประเทศเยอรมนี | 86 |
| จ1 | การวัดระดับความรู้สึก (Feeling scale) | 92 |
| ฉ1 | เสื้อที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนู | 94 |
| ฉ2 | วิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย | 94 |
| ช1 | ปลอกแขนที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนู | 96 |
| ช2 | ปลอกขาที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนู | 96 |
| ช3 | วิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย | 97 |

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| ADP | = | adenosine diphosphate |
| AMP | = | adenosine monophosphate |
| ATP | = | adenosine triphosphate |
| CIVD | = | cold-induced vasodilation |
| Lamax | = | ระดับกรดแลคติกสูงสุด (maximum lactic acid) |
| LDH | = | lactate dehydrogenase |
| m | = | เมตร |
| RPE | = | ระดับการรับรู้ความเหนื่อย (rating of perceived exertion) |
| WTF | = | The World Taekwondo Federation |

# ผลของการใช้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกาย ภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของ นักกีฬาเทควันโดชาย

# Effects of Central and Peripheral Body Cooling after Exercise on Blood Lactate Level in Male Taekwondo Players

## คำนำ

การประสบความสำเร็จได้รับชัยชนะในการแข่งขันนั้น นักกีฬาจำเป็นต้องผ่านการฝึกซ้อมที่เป็นระบบอย่างถูกต้องเหมาะสมกับชนิดกีฬาเพื่อให้นักกีฬามีความสมบูรณ์พร้อมใน 3 ด้าน ประกอบด้วย สมรรถภาพทางกาย (physical fitness) ทักษะ (skill) และสมรรถภาพทางจิต (mental fitness) (สุพิตร, 2538) นอกจากนี้การฟื้นตัวจากความล้าที่เกิดขึ้นระหว่างการแข่งขันยังเป็นกุญแจสำคัญอีกประการหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในการนำนักกีฬาไปสู่ความสำเร็จด้วยเช่นกัน โดยกระบวนการของการฟื้นตัวนั้นประกอบด้วย การกำจัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการสร้างพลังงานของกล้ามเนื้อและการสะสมพลังงานกลับสำหรับใช้ในการแข่งขันรอบต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแข่งขันกีฬาประเภทที่มีการจัดการแข่งขันให้เสร็จสิ้นภายในหนึ่งวัน หากมีผู้เข้าร่วมการแข่งขันเป็นจำนวนมากทำให้นักกีฬาต้องลงแข่งขันหลายรอบจนกว่าจะเข้าถึงรอบชิงชนะเลิศและถ้านักกีฬาสามารถผ่านเข้าสู่รอบลึกๆ คู่แข่งขันมีจำนวนน้อยลงส่งผลให้ระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันแต่ละรอบสั้นลงจึงทำให้นักกีฬาเกิดความล้าสะสมอยู่มาก ประสิทธิภาพของการแข่งขันจะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นหากนักกีฬาสามารถฟื้นสภาพร่างกายได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัดจะเป็นฝ่ายได้เปรียบ และมีโอกาสชนะการแข่งขัน (พิชิต, 2535; ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536; Calder, 2003; Sesboue and Guincestre, 2006 and Wilcock *et al*., 2006) ทั้งนี้รูปแบบการแข่งขันในลักษณะนี้มักพบในการแข่งขันกีฬาประเภทศิลปะการต่อสู้รวมไปถึงการแข่งขันกีฬาเทควันโด

เทควันโดเป็นกีฬาประเภทศิลปะการต่อสู้ที่มีระยะเวลาการแข่งขันสั้น ร่างกายจึงลักษณะการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก แลคติก (anaerobic lactic) เป็นหลักก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก (lactic acid) ทั้งในกล้ามเนื้อและกระแสเลือด (คมกฤช, 2549; วัยวุฒิ, 2549; Heller *et al*., 1998; Bouhlel *et al*., 2006 and Lin *et al*., 2006) ประกอบกับรูปแบบของการจัดการแข่งขันแบบ

แพ้คัดออกที่ทำให้นักกีฬาต้องลงแข่งขันหลายรอบตลอดทั้งวัน ซึ่งบางครั้งอาจต้องลงแข่งขันมากถึง 6 รอบ ด้วยระยะเวลาการแข่งขันที่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้นักกีฬามีระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันน้อย สถานการณ์เหล่านี้นำไปสู่การสะสมของกรดแลคติกในเลือดและเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่ากรดแลคติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ขัดขวางกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้เต็มที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้า โดยปกติแล้วร่างกายสามารถกำจัดกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้เองผ่านระบบไหลเวียนเลือดในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อ เพื่อนำกรดแลคติกมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลับเป็นกลูโคสและสร้างเป็นพลังงานสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อต่อไป นอกจากนี้กรดแลคติกยังถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนภายในตับเพื่อสะสมเป็นพลังงานสำรองภายในกล้ามเนื้อและกรดแลคติกที่เหลือจากการนำไปสังเคราะห์เป็นพลังงานร่างกายยังสามารถกำจัดออกจากร่างกายทางเหงื่อและปัสสาวะได้อีกด้วย แต่กระบวนการเหล่านี้ต้องอาศัยระยะเวลานานอย่างน้อยหนึ่งชั่วโมงระดับกรดแลคติกจึงจะลดลงเท่ากับสภาวะปกติ (พิชิต, 2535; ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536 ; ราตรี, 2548; Foss *et al*., 1998; Astrand, 2003 and Gladden, 2004)

นอกจากการสะสมของกรดแลคติกระหว่างการแข่งขันดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว การแข่งขันกีฬาเทควันโดยังก่อให้เกิดการสะสมของความร้อนภายในร่างกายอีกด้วย เนื่องจากเทควันโดเป็นกีฬาที่อาศัยความคล่องแคล่วว่องไวในการเข้าทำคะแนนรวมทั้งหลบหลีกคู่ต่อสู้ (วัยวุฒิ, 2549) ดังนั้นร่างกายจึงมีกระบวนการเมตาบอลิซึมเพื่อเผาผลาญสารอาหารสร้างเป็นพลังงานสำหรับการเคลื่อนไหวที่มีอยู่ตลอดเวลาการแข่งขัน ผลจากกระบวนการเมตาบอลิซึมนี้คือความร้อน (วิรุฬห์, 2537) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้นักกีฬามีการสะสมของความร้อนภายในร่างกายเป็นเหตุให้อุณหภูมิแกนกลาง (core temperature) เพิ่มสูงขึ้น หากความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีมากกว่าความสามารถในการขับออกจะนำไปสู่ภาวะหมดแรงและเป็นข้อจำกัดของการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (anaerobic) (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) และถ้าอุณหภูมิแกนกลางนี้เพิ่มสูงเกิน 40.5 องศาเซลเซียสจะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาททำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิร่างกายได้ต่อไป มักพบในการออกกำลังกายอย่างหนักในสภาวะอากาศที่ร้อน (สุพัตรา, 2544) แต่โดยธรรมชาติร่างกายสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้โดยอาศัยการนำความร้อนจากส่วนลึกของร่างกายสู่ผิวหนังผ่านระบบไหลเวียนเลือด เพื่อระบายสู่สิ่งแวดล้อมโดยการการนำความร้อน การพาความร้อน การระเหยของเหงื่อและการแผ่รังสีความร้อน (จีรศักดิ์, 2527; ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536; สุพัตรา, 2544; Willmore and Costill, 2004) จากผลของการออกกำลังกายที่มีต่อสรีรวิทยาดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า ระบบ

ไหลเวียนเลือดเป็นกลไกสำคัญในการฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการแข่งขันทั้งในกระบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อและกระบวนการระบายความร้อนออกจากร่างกาย

การพักฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการแข่งขันหรือการออกกำลังกาย (recovery) สามารถทำได้โดยให้นักกีฬามีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักต่ำ (active recovery) ในช่วงพักฟื้นภายหลังการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อและกระแสเลือดได้เร็วกว่าการให้นักกีฬาพักโดยไม่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (passive recovery) แต่มีข้อเสียคือ ขณะที่ทำการเคลื่อนไหวนั้นร่างกายยังคงใช้พลังงานส่วนหนึ่งสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อในขณะพักฟื้นต่อไป อีกทั้งยังรบกวนต่อการสังเคราะห์ไกลโคเจนในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายหรือการแข่งขัน (Cochrane, 2004 and Fournier *et al*., 2004) นอกจากนี้ในขณะที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายจะเกิดความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นจึงอาจส่งผลการฟื้นตัวของนักกีฬาที่มีระยะเวลาพักสั้นอย่างกีฬาเทควันโดนั้นเป็นไปได้ช้าลง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำความเย็นมาใช้เพื่อช่วยเร่งในกระบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในเลือด เนื่องจากผลของความเย็นทำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือด (vasoconstriction) บริเวณผิวหนังที่สัมผัสกับความเย็น ในทางตรงข้ามเป็นการเพิ่มการไหลเวียนเลือดที่กล้ามเนื้อจึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนย้ายของกรดแลคติก รวมทั้งลดการผลิตสารเมตาบอไลต์ (metabolite) (Marsh and Sleivert, 1999; Duffield *et al*., 2003; Prentice, 2003; Hornery *et al*., 2005) และหากอุณหภูมิของเนื้อเยื่อลดลงเป็นเวลานานหรืออุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด (vasodilation) ตามมาหลังจากในช่วงแรกเกิดการหดตัวของหลอดเลือด จึงช่วยเพิ่มการไหลเวียนเลือดดีกว่าและนานกว่าการได้รับความร้อนอีกด้วย (กันยา, 2535; Knight, 1995) กระบวนการนี้จะเป็นตัวกระตุ้นการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการสะสมพลังงานและยังช่วยส่งเสริมการระบายความร้อนออกจากร่างกายด้วย เพราะการที่ร่างกายได้สัมผัสกับความเย็นยังช่วยลดอุณหภูมิร่างกายภายหลังการแข่งขันโดยกระตุ้นให้เกิดการระบายความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนจากผิวหนังซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่ามายังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าแทนที่การระบายความร้อนด้วยวิธีการหลั่งเหงื่อเพียงอย่างเดียว จึงเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับร่างกายสำหรับการทำงานของระบบต่างๆ และส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของการแข่งขันในรอบต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า วิธีการฟื้นสภาพร่างกายจากความล้าที่เกิดจากการฝึกซ้อม และการแข่งขันด้วยการแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำ 4 วิธี (Willcock *et al*., 2006) ได้แก่ การแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำ (water immersion) การรักษาด้วยความร้อน (thermotherapy) การรักษาด้วยความร้อนร้อนสลับความเย็น (contrast therapy) และการรักษาด้วยความเย็น (cryotherapy) แท้จริงแล้วการรักษาด้วยความเย็นเป็นวิธีการรักษาทางกายภาพบำบัดวิธีหนึ่งใช้ในการรักษาอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูก รวมทั้งการบาดเจ็บที่เกิดจากการเล่นกีฬาในระยะเฉียบพลัน (24-48 ชั่วโมง) (กันยา, 2543; Prentice, 1998) สำหรับการฟื้นสภาพร่างกายโดยใช้ความเย็นในช่วงพักฟื้นภายหลังออกกำลังกายสามารถทำได้โดยการแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำเย็น (cold water immersion) (Schniepp *et al*., 2002; Coffey *et al*., 2004; Wilcock, 2005; Hamlin, 2007; Morton, 2007; Ingram *et al*., 2008 and Vaile *et al*., 2008) การพักในห้องปรับอุณหภูมิเย็น (ภาคภูมิ, 2548; Mitchell *et al*., 2001) รวมถึงการใส่เสื้อเย็น (cooling vest) (Duffield *et al.*, 2003 and Hornery et al., 2005) ซึ่งนักกีฬามักใส่ในขณะอบอุ่นร่างกาย หรือช่วงก่อนออกกำลังกายในภาวะอากาศร้อนและชื้นซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในประเทศแถบยุโรป (Arngrimsson *et al*., 2003 and Hunter *et al*., 2006)

ผลของความเย็นนั้นทำให้อุณหภูมิแกนกลางและอุณหภูมิผิวหนัง (skin temperature) ลดลง จึงทำให้ร่างกายสามารถควบคุมอุณหภูมิไม่ให้มีความร้อนสะสมมากเกินไปส่งผลต่อความสามารถและความทนทานต่อการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องตั้งแต่ 30-40 นาทีขึ้นไป (Marino, 2002) นอกจากนี้การแช่ร่างกายในน้ำเย็นก่อนการออกกำลังกายนั้นยังช่วยเพิ่มความสามารถในการปั่นจักรยานอย่างหนักในระยะเวลาอันสั้นอีกด้วย (Marsh and Sleivert, 1999) ส่วนการใช้ความเย็นสำหรับการฟื้นสภาพร่างกายในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายทำให้อัตราการเต้นหัวใจสูงสุดลดลง 8.1 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยลดลง 4.2 เปอร์เซ็นต์ (Schniepp *et al*., 2002) อุณหภูมิเย็นช่วยรักษาระดับความสามารถในการออกกำลังกายและเพิ่มความสามารถในการปั่นจักรยานได้ 0.1-2.2 เปอร์เซ็นต์ (Vaile *et al*., 2008b) ช่วยลดอาการเจ็บระบมกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายทันที, 24 และ 48 ชั่วโมง เพิ่มความสามารถในการหดตัวแบบเกร็งค้าง (Ingram *et al*., 2008) ขณะที่ Wilcock (2005) พบว่าการแช่ขาในน้ำเย็นไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนพลาสมาในเลือดและระดับความรู้สึกล้า เนื่องจากการใช้ความเย็นจะให้ผลดีต่อเมื่อใช้เวลา 15 นาทีขึ้นไป สอดคล้องกับ Duffield *et al*. (2003) พบว่าการใส่เสื้อเย็นทำให้อุณหภูมิผิวหนังบริเวณหน้าอก ระดับความรู้สึกไม่สบายต่อความร้อนและอัตราการกระหายน้ำลดลง แต่กลับไม่ส่งผลต่อความสามารถในการปั่นจักรยาน อัตราการเต้นหัวใจ อุณหภูมิแกนกลาง ระดับการรับรู้ความเหนื่อยและระดับความล้า แต่

อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด อัตราการหลั่งเหงื่อและอุณหภูมิผิวหนังของกลุ่มทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งยังให้ข้อเสนอแนะว่าการเพิ่มระยะเวลาในการใส่เสื้อเย็นอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นอีกด้วย

ด้วยประโยชน์ของความเย็นในด้านการระบายความร้อนที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย การรักษาระดับความสามารถในการออกกำลังกาย รวมทั้งการเคลื่อนย้ายของกรดแลคติกที่เป็นองค์ประกอบของการเกิดความล้าออกจากกล้ามเนื้อจึงมีการนำความเย็นมาใช้ในการฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการออกกำลังกายอย่างแพร่หลาย จากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้ความเย็นในช่วงพักฟื้นนั้นสามารถทำได้โดยการให้ผู้เข้ารับการทดลองแช่ร่างกายในถังหรืออ่างน้ำเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในสถานการณ์การแข่งขันจริง นอกจากนี้การแช่ร่างกายในน้ำเย็นจนทำให้อุณหภูมิแกนกลางลดต่ำลง 1.9 องศาเซลเซียสจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ การทำงานของกล้ามเนื้ออวัยวะภายใน รวมทั้งการทำงานของต่อมไร้ท่อและการลดลงของอุณหภูมิแกนกลางนี้ก่อให้เกิดอาการสั่นซึ่งเป็นการหดตัวเป็นจังหวะถี่ของกล้ามเนื้อลายนอกเหนืออำนาจจิตใจ (involuntary muscle contraction) ทำให้อัตราการเผาผลาญพลังงานและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เพื่อรักษาอุณหภูมิร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ (Palmieri *et al*.,2006) ดังนั้นหากร่างกายได้รับความเย็นมากเกินไปจนทำให้อุณหภูมิแกนกลางลดลงจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการแข่งขันของกีฬาเทควันโดในแต่ละรอบ ซึ่งนักกีฬาต้องการฟื้นสภาพร่างกายจากความล้าภายหลังการแข่งขันในรอบที่ผ่านมาและยังต้องเตรียมสภาพร่างกายให้พร้อมสำหรับการแข่งขันในรอบต่อไป

อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมายังคงขาดความชัดเจนเกี่ยวกับการศึกษาถึงตำแหน่งของการใช้ความเย็นที่จะช่วยในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากกรดแลคติกจะถูกสร้างออกมาจากกล้ามเนื้อที่ทำงานในการเคลื่อนไหวขณะออกกำลังกายก่อให้เกิดการสะสมนำไปสู่ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่ทำงานนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการให้ความเย็นที่บริเวณส่วนปลายของร่างกายมาประยุกต์ใช้ในการลดระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาเทควันโด เนื่องจากกีฬาเทควันโดมีลักษณะการเล่นที่อาศัยการเตะร่วมกับการใช้ส่วนต่างๆ ของร่างกายป้องกันการเข้าทำคะแนนของคู่ต่อสู้ รวมทั้งการฟุตเวอร์คที่มีอยู่ตลอดเวลาการแข่งขันทำให้กล้ามเนื้อบริเวณแขนและขามีการสะสมของกรดแลคติกเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ ดังนั้นการให้ความเย็นที่บริเวณส่วนปลายของร่างกายโดยเฉพาะแขนและขาจะทำให้

เกิดการหดตัวของหลอดเลือดบริเวณผิวหนังบริเวณที่ได้รับความเย็นจึงเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณเลือดไหลเวียนไปยังกล้ามเนื้อ (Marsh and Sleivert, 1999) ช่วยลดอุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อ (muscle temperature) และยังเป็นการเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกระหว่างการออกกำลังกาย (Beelen and Sargeant, 1991) สอดคล้องกับการศึกษาของ Castle *et al*. (2005) พบว่าการวางแผ่นประคบเย็น (cold pack) บริเวณต้นขาด้านหน้าและด้านหลังสามารถเพิ่มกำลังสูงสุดในการปั่นจักรยานได้ 4 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการแช่ร่างกายด้วยน้ำเย็นและการใส่เสื้อเย็น

จากหลักการและเหตุผลของการฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการแข่งขันที่มีช่วงพักระหว่างการแข่งขันสั้นอย่างกีฬาเทควันโด เพื่อสมรรถภาพทางกีฬามีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นประกอบกับการศึกษาถึงผลของการใช้ความเย็นในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายที่ส่งผลต่อการลดอัตราการเต้นหัวใจในช่วงพักฟื้น การรักษาระดับความสามารถในการออกกำลังกาย และความเย็นยังส่งผลในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกายอีกด้วย นอกจากนี้เทควันโดเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยการเคลื่อนไหวของแขนและขาเป็นสำคัญทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อส่วนปลายเป็นอันมาก แต่งานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาถึงตำแหน่งของร่างกายที่รับความเย็นที่มีต่อความสามารถในการลดระดับกรดแลคติกในเลือดภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาเทควันโดชาย โดยมีสมมติฐานการวิจัยว่าการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายส่งผลต่อระดับกรดแลคติกภายหลังออกกำลังกายแตกต่างกัน ทั้งนี้ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ในการแข่งขันกีฬาเทควันโดทั้งระดับชาติและระดับนานาชาติต่อไป

## วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีจุดประสงค์ในการทำวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาผลของการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึกของนักกีฬาเทควันโดชาย

2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึก ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ด้วยวิธีการทดลองได้แก่ การนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย

3. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึกหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ด้วยวิธีการทดลองได้แก่ การนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย

## สมมติฐาน

1. การให้ความเย็นที่บริเวณส่วนกลางและการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายส่งผลต่อเปลี่ยนแปลงของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึก ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีมีผลต่อระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึกของนักกีฬาเทควันโดชายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาผลของการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลาง และการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาเทควันโดชายโดย มีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักกีฬาเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 22 คน

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในการศึกษาค้นคว้า ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรอิสระ (independent variable) คือวิธีการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย 3 วิธี ได้แก่ การนั่งพัก การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย และการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย

2.2 ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ ระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึก

## ข้อตกลงเบื้องต้น

กลุ่มตัวอย่างสามารถฝึกซ้อมได้ตามปกติ แต่ต้องงดซ้อมและการออกกำลังกายทุกประเภทในช่วง 2 วันก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยต้องไม่มีอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อบริเวณสะโพก เข่า และข้อเท้าที่เป็นอุปสรรคต่อการเข้าร่วมการวิจัย

## นิยามศัพท์

การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย (central body cooling) หมายถึง การให้ร่างกายส่วนกลางลำตัวสัมผัสกับความเย็นภายหลังการออกกำลังกาย เป็นเวลา 15 นาที สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการใส่เสื้อที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนูที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นเสื้อแขนกุดความยาว 72 เซนติเมตร และสามารถปรับความกว้างให้เหมาะสมกับผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคน

เพื่อให้ผ้าแนบกับผิวหนังตลอดระยะเวลาที่ใส่ จากนั้นนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีแล้วใส่ที่ลำตัวของผู้เข้ารับการทดลอง โดยใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที จนครบ 15 นาที

การให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย (peripheral body cooling) หมายถึง การให้ร่างกายส่วนแขนและขาทั้งสองข้างสัมผัสกับความเย็นภายหลังการออกกำลังกาย เป็นเวลา 15 นาที สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการใส่ปลอกแขน-ขาที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนูที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นปลอกแขนความยาว 64 เซนติเมตร และปลอกขาความยาว 75 เซนติเมตร ปลอกแขนและปลอกขานี้สามารถปรับความกว้างให้เหมาะสมกับรูปร่างของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนเพื่อให้ผ้าแนบกับผิวหนังตลอดระยะเวลาที่ใส่ จากนั้นนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปใส่ที่แขนและขาทั้ง 2 ข้าง โดยใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที จนครบ 15 นาที

การออกกำลังกาย (exercise) หมายถึง การให้กลุ่มตัวอย่างเตะเป้าสลับกับเต้นฟุตเวอร์ค (footwork) ทั้งหมด 3 ยก ยกละ 2 นาที พักระหว่างยก 1 นาที โดยกำหนดความหนักที่ระดับ 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด

กรดแลคติก (lactic acid) หมายถึง กรดที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญกลูโคสผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อโดยขณะพักปริมาณของกรดแลคติกในเลือดมีอยู่เล็กน้อย แต่ในขณะที่มีการออกกำลังกายจะมีการสะสมมากขึ้นและแพร่เข้าสู่กระแสเลือด ถ้ามีปริมาณมากจะไปขัดขวางการหดตัวของกล้ามเนื้อทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงและเป็นสาเหตุหนึ่งของการเมื่อยล้า

นักกีฬาเทควันโด (Taekwondo players) หมายถึง นักกีฬาเทควันโด เพศชาย สังกัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีอายุระหว่าง 18-22 ปี

# การตรวจเอกสาร

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

- กีฬาเทควันโดกับการใช้พลังงานในการแข่งขัน
- บทบาทของกรดแลคติกในการออกกำลังกาย
- อุณหภูมิร่างกาย
- ความเย็นกับการฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย
- ผลทางสรีรวิทยาของความเย็น

## *กีฬาเทควันโดกับการใช้พลังงานในการแข่งขัน*

**ความเป็นมาของกีฬาเทควันโด**

เทควันโด เป็นศิลปะการต่อสู้ป้องกันตัวด้วยมือเปล่าของชาวเกาหลีที่มีประวัติยาวนานย้อนหลังไปกว่า 2,000 ปี ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในหมู่ทหารและประชาชนในชื่อของ “ซูบัก” และ “เทเคียน” ซึ่งหมายถึงมวยหมัดและมวยเท้าเนื่องจากเป็นหนึ่งในวิชาการต่อสู้ที่ใช้ร่วมกับการทำสงครามเพื่อรวบรวมอาณาจักรบนคาบสมุทรเกาหลี ต่อมาในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ภายใต้การยึดครองของญี่ปุ่น วิชาการฝึกเทควันโดจึงถูกห้ามขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการฟื้นฟูวิชาเทควันโดขึ้นมาใหม่ และมีการผลักดันจนเทควันโดกลายเป็นกีฬาประจำชาติเกาหลีและมีการเผยแพร่ศิลปะการต่อสู้นี้สู่ชาวโลกมากขึ้นโดยได้ตั้งสถาบันกุกกิวอน (KUKKIWON) ขึ้นในปี พ.ศ. 2504 และมีการจัดการแข่งขันชิงแชมป์โลกขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2516 พร้อมกับก่อตั้งสหพันธ์เทควันโดโลก (The World Taekwondo Federation; WTF) ขึ้นเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2516 เมื่อเริ่มก่อตั้งมีสมาชิก 50 ประเทศ จนกระทั่งในปัจจุบันมีสมาชิกถึง

กว่า 150 ประเทศ ซึ่งสมาพันธ์เทควันโดโลกนี้มีหน้าที่เผยแพร่กีฬาเทควันโดสู่ชาวโลก และสามารถจัดการแข่งขันเข้าบรรจุในกีฬาระดับนานาชาติครบทุกระดับ คือ ซีเกมส์ เอเชี่ยนเกมส์ โอลิมปิกเกมส์ ฯลฯ (วัยวุฒิ, 2549)

**การใช้พลังงานในกีฬาเทควันโด**

กีฬาแต่ละชนิดมีลักษณะและระยะเวลาในการแข่งขันแตกต่างกัน ร่างกายจึงต้องการพลังงานที่มีรูปแบบเฉพาะแตกต่างกันตามประเภทกีฬา พลังงานเหล่านี้อยู่ในรูปของอะดรีโนซีนไตรฟอสเฟตหรือเอทีพี (adrenosine triphosphate; ATP) ซึ่งได้มาจากปฏิกิริยาทางเคมีที่มีต้นตอมาจากอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน โดยกีฬาประเภทที่ต้องใช้แรงสูงสุดในระยะเวลาอันสั้นไม่เกิน 10 วินาที กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากการสังเคราะห์พลังงานแบบแอนแอโรบิก อแลคติก (anaerobic alactic system) สามารถสังเคราะห์เอทีพีได้เร็วโดยไม่ใช้ออกซิเจนแต่จะได้ปริมาณพลังงานน้อย ส่วนกีฬาที่มีระยะเวลาการแข่งขันตั้งแต่ 45-120 วินาที พลังงานที่ใช้สำหรับกีฬาประเภทนี้มาจากระบบแอนแอโรบิก แลคติก (anaerobic lactic system) โดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสแบบไม่ใช้ออกซิเจนเช่นกัน สามารถสังเคราะห์พลังงานได้ปริมาณมาก แต่ก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติกซึ่งมีส่วนในการขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อและเกี่ยวข้องกับความล้าของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้กีฬาที่มีการแข่งขันต่อเนื่องตั้งแต่ 3-5 นาทีขึ้นไป กล้ามเนื้อจะสังเคราะห์พลังงานโดยใช้ออกซิเจน (aerobic system) มีสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พลังงานคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โดยในระยะแรกร่างกายจะใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นต้นตอหลักในการสร้างพลังงาน แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปการสังเคราะห์พลังงานจากไขมันจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นเชื้อเพลิงของการผลิตพลังงานทั้งหมด (สนธยา, 2547)

สำหรับเทควันโดถือว่าเป็นกีฬาที่จัดอยู่ในประเภทศิลปะการต่อสู้ ซึ่งเป็นกีฬาที่ใช้การเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว มีการใช้เทคนิคและทักษะที่หลากหลายตามกติกาเพื่อให้ได้คะแนนตามกติกาของสหพันธ์เทควันโดโลก (WTF) กำหนดให้แบ่งการแข่งขันคู่ละ 3 ยก ยกละ 2 นาที โดยมีเวลาพักยกละ 1 นาที ในกรณีที่มีคะแนนเสมอกันหลังจากการแข่งขันในยกที่ 3 ให้ทำการแข่งขันต่อในยกที่ 4 แบบใครเตะได้คะแนนก่อนเป็นฝ่ายชนะ (sudden death) ในเวลา 2 นาที หลังจากการพัก 1 นาที เมื่อจบยกที่ 3 บนสนามที่มีพื้นที่ขนาด 64 ตารางเมตร (กรมพลศึกษา, 2543) เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการแข่งขันแล้ว ระบบพลังงานที่นักกีฬาใช้ขณะการแข่งขันจะเป็นทั้งระบบแอโรบิก และแอนแอโรบิกพอๆ กัน แต่เทควันโดเป็นกีฬาที่อาศัยการเตะที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง

ด้วยความรวดเร็วและรุนแรงเป็นช่วงๆ ได้แก่ช่วงที่ออกแรงด้วยความหนักสูงสุด (maximal intensity) ด้วยความเร็วและแรงสลับกับช่วงความหนักเบา (low intensity) (Markovic *et al*., 2005) เช่นเดียวกับกีฬาศิลปะการต่อสู้ประเภทอื่นๆ Ribeiro *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาอัตราการเต้นหัวใจและความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาวูซูพบว่า การประเมินและวัดอัตราการเต้นหัวใจและความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดเป็นตัวแปรหลัก เนื่องจากมีความสำคัญต่อการออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมรวมทั้งกำหนดระดับความหนักเพื่อให้สอดคล้องกับกีฬาประเภทนั้นๆ

นอกจากนี้ Aziz *et al*. (2002) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาระหว่างแข่งขันและสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาปันจักสีลัตเพื่อเปรียบเทียบกับกีฬาศิลปะการต่อสู้ประเภทอื่นๆ โดยวัดอัตราการเต้นหัวใจและระดับกรดแลคติกในเลือดของช่วงพักระหว่างยก พบว่ามีอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยมากกว่า 84 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและระดับกรดแลคติกในเลือดอยู่ในช่วง 6.7-18.7 มิลลิโมลต่อลิตร จากการศึกษาครั้งนี้พบว่านักกีฬาปันจักสีลัตมีการทำงานของระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกที่สูงแต่ยังน้อยกว่ากีฬาเทควันโด เนื่องจากลักษณะการแข่งขันของกีฬาเทควันโดนั้นนักกีฬาจะมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาในลักษณะเตะสลับกับฟุตเวอร์ค (footwork) เพื่อหลอกล่อหรือหลบหลีกคู่ต่อสู้ มีระยะเวลาในการต่อสู้จริง 30-45 วินาทีของการแข่งขันในแต่ละยกซึ่งร่างกายจะใช้ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก แลคติกเป็นหลัก (วัยวุฒิ, 2549) สอดคล้องกับ Heller *et al*. (1998) ที่ทำการศึกษาสมรรถภาพของนักกีฬาเทควันโดทีมชาติของประเทศเชคทั้งชายและหญิงพบว่า กีฬาเทควันโดไม่เพียงช่วยเพิ่มสมรรถภาพของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดแต่ยังจัดอยู่ในหมวดของการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกที่มีความหนักสูง (high strength anaerobic capacity exercise) เนื่องจากประกอบด้วยช่วงการออกกำลังกายอย่างหนัก 3-5 วินาทีสลับกับช่วงเบา ส่งผลให้อัตราการเต้นหัวใจสูงถึง 100% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการสะสมกรดแลคติกสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 143 วินาที เท่ากับ 11.4 มิลลิโมลต่อลิตร (81%ของระดับกรดแลคติกสูงสุด)

Lin *et al*. (2006) ได้ศึกษาสมรรถภาพอนากาศนิยมของนักกีฬาเทควันโดไต้หวันที่ได้เคยรับเหรียญทองและเหรียญเงินจากกีฬาโอลิมปิกเกมส์ โดยทำการทดสอบด้วยวิธีของวินเกต (Wingate test) พบว่านักกีฬามีค่ากำลังสูงสุด (peak power) กำลังเฉลี่ย (average power) และดัชนีความล้า (fatigue index) ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาที่ผ่านมา ดังนั้นนักกีฬาเทควันโดไต้หวันจึงจำเป็นต้องมีการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถภาพอนากาศนิยม เนื่องจากสมรรถภาพอนากาศนิยม

เป็นตัวที่แสดงถึงความสามารถของการทำงานระบบแอนแอโรบิก ซึ่งมีความสำคัญยิ่งสำหรับนักกีฬาเทควันโด ทำนองเดียวกับ Bouhlel *et al*. (2006) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาขณะทำการแข่งขันและฝึกซ้อมของนักกีฬาเทควันโดชายพบว่า อัตราการเต้นหัวใจและปริมาณกรดแลคติกในเลือดระหว่างการแข่งขันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 และสรุปไว้ว่าการแข่งขันกีฬาเทควันโดร่างกายจะใช้พลังงานจากทั้งระบบแอนแอโรบิกและระบบแอโรบิก โดยช่วงของการแข่งขันในแต่ละยกร่างกายจะใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกแต่การแข่งขันนั้นประกอบด้วยการแข่งขันทั้งหมด 3 ยก ร่างกายจึงมีการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกร่วมด้วย ดังนั้นนักกีฬาเทควันโดจึงจำเป็นต้องมีสมรรถภาพของระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกที่ดี จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นแนวทางสำหรับผู้ฝึกสอนควรออกแบบการฝึกซ้อมให้สอดคล้องกับการพัฒนาสมรรถภาพของการใช้พลังงานทั้งสองระบบด้วย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและลักษณะของการแข่งขันจะเห็นได้ว่ากีฬาเทควันโดเป็นกีฬาที่ต้องมีการเคลื่อนไหวแบบหนักสลับเบาตลอดระยะเวลาแข่งขัน 2 นาทีมีระยะเวลาพักระหว่างยก 1 นาที อาจกล่าวได้ว่ากีฬาเทควันโดเป็นกีฬาที่มีการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกแลคติกเช่นเดียวกับกีฬาประเภทศิลปะการต่อสู้อื่นๆ ซึ่งในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยานั้นจะใช้อัตราการเต้นหัวใจและระดับกรดแลคติกในเลือดเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาการทำงานของระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกตามลำดับ และเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก แลคติกนั้น มีคาร์โบไฮเดรตเป็นต้นตอของกระบวนการสร้างพลังงาน ดังนั้นนักกีฬาเทควันโดที่ประสบความสำเร็จจึงมีความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานแบบแอนแอโรบิกสูง เนื่องจากสามารถสังเคราะห์พลังงานได้รวดเร็วเหมาะสมสอดคล้องกับลักษณะการเคลื่อนไหวระหว่างแข่งขันที่มีอยู่ตลอดเวลา แต่การสังเคราะห์พลังงานแบบแอนแอโรบิก แลคติก ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อ ประกอบกับลักษณะการจัดการแข่งขันเทควันโดนั้น นักกีฬาจำเป็นต้องทำการแข่งขันให้เสร็จภายในหนึ่งวันจึงมีระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันแต่ละรอบน้อย ร่างกายจึงไม่สามารถกำจัดกรดแลคติกออกจากเลือดและกล้ามเนื้อได้ทันจึงมีการสะสมของกรดแลคติกภายในร่างกายมากยิ่งขึ้นและนำไปสู่ภาวะความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

**บทบาทของกรดแลคติกในการออกกำลังกาย**

กรดแลคติก (lactic acid) เป็นกรดที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญกลูโคสผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสในภาวะขาดออกซิเจนทำให้พัยรูเวท (piruvate) รับอะตอมของไฮโดรเจนแทนที่อะตอม

ของออกซิเจน จึงเกิดเป็นกรดแลคติกโดยเอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส (lactate dehydrogenase; LDH) (Hale, 2003) และ Gladden (2004) กล่าวถึงสาเหตุของการสะสมของกรดแลคติกระหว่างการออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มขึ้น ดังต่อไปนี้

1. การสร้างพลังงานจากกระบวนการไกลโคไลซิสในภาวะขาดออกซิเจนทำให้กรดพัยรูวิกถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกโดยการทำงานของเอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส นอกจากนี้เมื่อความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้น เอทีพีลดลง แต่เอดีพี (ADP) เอเอ็มพี (AMP) อินออร์กานิกฟอสเฟต (inorganic phosphate) แอมโมเนียและซิมพาโทอะดรีนัล แอกทิวิตี้ (sympathoadrenal activity) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นตัวการในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ฟอสโฟฟรุคโตไคเนส (phosphofructokinase; PFK) และเอนไซม์โซเดียมโพแทสเซียม เอทีพีเอส ($Na^+$-$K^+$-ATPase) เกิดกระบวนการไกลโคไลซิส และเกิดการสะสมของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น

2. เมื่อระดับความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อลดลง ทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์เอทีพีได้ ดังนั้นเอดีพีและอินออร์กานิก ฟอสเฟตจึงเพิ่มขึ้น และเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดกระบวนการไกลโคไลซิสและผลิตกรดแลคติกขึ้น

3. ความสามารถของการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกลดลงเนื่องจากการเกิดกระบวนการซิมพาโทอะดรีนัล แอกทิวิตี้ ส่งผลทำให้หลอดเลือดหดตัว การไหลเวียนเลือดไปยังตับ ไตและกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ทำงานลดลงจึงไม่สามารถกำจัดกรดแลคติกที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอะดรีนาลิน (adrenalin) ยังทำให้ความสามารถในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกลดลงอีกด้วย

4. เมื่อออกกำลังกายด้วยความหนักมากขึ้นร่างกายจะกระตุ้นให้เกิดการใช้เส้นใยกล้ามเนื้อหดตัวเร็ว (fast twitch) ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีไมโอโกลบิน (myoglobin) ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และเส้นเลือดฝอยน้อย แต่มีการสะสมไกลโคเจนในเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก จึงหดตัวโดยอาศัยพลังงานจากกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกตามา

นอกจากนี้ Astrand (2003) กล่าวว่ากรดแลคติกที่ถูกผลิตขึ้นจากกล้ามเนื้อที่ใช้ขณะออกกำลังกายนี้อาจมีความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อสูงขึ้นถึง 30 มิลลิโมลทั้งในขณะออกกำลังกายและหลังจากออกกำลังกายซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

ภายในกล้ามเนื้อด้วย ดังนั้นร่างกายจึงมีกระบวนการการขนส่งกรดแลคติกออกนอกเซลล์กล้ามเนื้อโดยผ่านทางโมโนคาร์บอกไซเลต ทรานสปอรต์เตอร์ (monocarboxylate transporter) และแพร่เข้าสู่กระแสเลือดทำให้ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในกระแสเลือดอาจมีค่าสูงถึง 20 มิลลิโมล โดยมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 5-10 นาทีหลังการออกกำลังกาย และจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีหรือนานกว่านั้นระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกจะลดลงเท่ากับขณะพัก นอกจากนี้ยังพบว่าหลังจากหยุดออกกำลังกายระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อจะสูงกว่าระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในกระแสเลือดแต่หลังจากหยุดออกกำลังกายเป็นเวลาประมาณ 5 นาที ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อและในกระแสเลือดจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน และมีการศึกษาพบว่าขณะออกกำลังกล้ามเนื้อขาอย่างหนักเป็นระยะเวลานานจะมีกรดแลคติกปล่อยออกมาจากกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ทำงาน (แขน) เนื่องจากกลูโคสถูกผลิตขึ้นจากการกระตุ้นของระบบซิมพาเทติก (sympathetic activity)

**ผลของกรดแลคติกที่มีต่อความล้าของกล้ามเนื้อ**

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า ความล้าของกล้ามเนื้อ หมายถึงการที่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานให้มีสมรรถภาพหรือกำลังตามที่คาดหมายไว้ ซึ่งสอดคล้องกับ Fitt (2006) ได้ให้คำจำกัดความของ “ความล้าของกล้ามเนื้อ” ไว้ว่า การลดลงของความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งในด้านของแรง กำลัง และความเร็วทำให้ความสามารถของร่างกายลดลงหรือล้มเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่องโดยที่ไม่พัก ความล้าของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับสมรรถภาพทางกายของแต่ละบุคคล ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ การรับประทานอาหาร ระดับความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย โดยผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกายจะเกิดความล้าขึ้นเร็วกว่าผู้ที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ หรือออกกำลังกายถึงระดับ 75% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Brooks, 2006) ความล้าของกล้ามเนื้อสามารถวัดได้โดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ สารเมตาบอไลต์ รวมทั้งการวัดแรงระหว่างที่มีการออกกำลังกายจนเกิดความล้าและแรงในระยะฟื้นตัว

Foss *et al*. (1998) กล่าวถึงตำแหน่งที่ก่อให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อได้แก่ บริเวณรอยต่อระหว่างระบบประสาทกล้ามเนื้อ (neuromuscular junction) จากการลดลงของสารสื่อประสาท (acetylcholine) บริเวณที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อ (contractile mechanism) จากการลดลงของแคลเซียมไอออน ($Ca^{2+}$) จากซาร์โครพลาสมิก เรติคิวลัม (sacroplasmic reticulum) การลดลงของเอทีพีและไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ การขาดออกซิเจน และการไหลเวียนเลือดที่ไม่เพียงพอ รวมทั้ง

การล้าที่เกิดขึ้นบริเวณระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) ซึ่งสอดคล้องกับ Fitt (2006) และ Sesboue and Guincestre (2006) ได้กล่าวถึงตำแหน่งที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดความล้า ได้แก่ การล้าของบริเวณส่วนกลาง (central fatigue) จากการเพิ่มขึ้นของซีโรโทนิน (serotonin) ในสมองทำให้การปล่อยกระแสประสาทลดลง เป็นต้น และการล้าของบริเวณส่วนปลาย (peripheral fatigue) จากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงของสารเมตาบอไลต์ต่างๆภายในกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะการสะสมของกรดแลคติกเนื่องจากกรดแลคติกมีสถานะเป็นกรดแก่ กรดแลคติกสามารถแตกตัวได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์เป็นแลคเตทไอออน ($La^-$) และโปรตอน ($H^+$) ดังนั้นระหว่างออกกำลังกายจึงพบแลคเตทไอออน และโปรตอนมากในกล้ามเนื้อและกระแสเลือด (Gladden, 2004) นอกจากนี้ยังพบว่าขณะที่มีการเผาผลาญแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) พลังงานเอทีพีที่ได้นั้นมาจากการสลายกลูโคสและ/หรือไกลโคเจนซึ่งจะได้ โปรตอน 2 โมลต่อกลูโคส หรือไกลโคเจน 1 โมล (Astrand, 2003) อีกด้วย จึงทำให้เกิดการสะสมของโปรตอนเพิ่มมากขึ้น

โดย Fitts (2006) กล่าวไว้ว่าโปรตอนส่งผลต่อการลดความสามารถในการออกกำลังกายมากกว่าแลคเตทไอออนเนื่องจากการมีโปรตอนมากทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อลดลงจากปกติประมาณ 7 เป็น 6.2 ซึ่งรบกวนต่อกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยยับยั้งการเกิดครอสบริดจ์ (crossbridges) และ/หรือลดแรงที่เกิดขณะครอสบริดจ์ ยับยั้งการจับกันระหว่างแคลเซียมไอออนกับโทรโปนิน-ซี (troponin-C) ยับยั้งกระบวนการโซเดียมโพแทสเซียมปั๊มพ์ ($Na^+$-$K^+$ pump) ยับยั้งเอสอาร์ ปั๊มพ์ (SR pump) ทำให้เอนไซม์เอสอาร์เอทีพีเอส (SR ATPase) ถูกยับยั้งความสามารถในการดูดแคลเซียมไอออนกลับซาร์โคพลาสมิก เรติคิวลัมลดลง และยับยั้งกระบวนการไกลโคไลซิส สอดคล้องกับ Brooks (2006) ที่กล่าวว่าการที่ค่าความเป็นกรดด่างภายในกล้ามเนื้อลดลงส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ฟอสโฟฟรุคโตไคเนส ทำให้กระบวนการไกลโคไลซิสช้าลง ส่วนโปรตอนยังจับกับโทรโปนิน-ซี แทนที่แคลเซียมไอออนเกิดการขัดขวางในกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้การลดลงของค่าความเป็นกรดด่างยังเป็นการกระตุ้นต่อตัวรับความรู้สึกเจ็บ (pain receptor) และหากมีโปรตอนในเลือดมากจะส่งผลยับยั้งการจับออกซิเจนของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) กลายเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (oxyhemoglobin) การขนส่งออกซิเจนที่ปอดลดลง ส่งผลต่อการตอบสนองของฮอร์โมนทำให้กรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) ในเลือดลดลงการเผาผลาญไขมันในกล้ามเนื้อจึงลดลงด้วย

**การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกที่เกิดจากการออกกำลังกาย**

ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนักจะเกิดการสะสมของกรดแลคติกทั้งเส้นเลือดดำและกล้ามเนื้อเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ร่างกายสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากเลือดและกล้ามเนื้อได้ โดยราตรี (2548) กล่าวไว้ดังนี้

1. เป็นแหล่งพลังงาน ประมาณ 60-70% เปลี่ยนจากกรดแลคติกเป็นกรดพัยรูวิกโดยการทำงานของเอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส (LDH) กลายเป็นสารตั้งต้นของวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) ในกระบวนการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (aerobic)

2. เปลี่ยนเป็นกลูโคสหรือไกลโคเจน ประมาณ 20% กรณีที่ระดับกลูโคสในเลือดและไกลโคเจนที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อมีระดับต่ำกว่าปกติ กรดแลคติกเป็นสารตั้งต้นของการผลิตกลูโคสหรือไกลโคเจนและ 75 เปอร์เซ็นต์ของกรดแลคติกจะถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนผ่านกระบวนการโคริ ไซเคิล (Cori cycle) ที่ตับ เพื่อเป็นแหล่งสะสมสารตั้งต้นในการสร้างพลังงาน

3. เปลี่ยนเป็นโปรตีน ผ่านกระบวนการกลูโค-อะลานีน ไซเคิล (glucose-alanine cycle) ที่ตับ ประมาณ 8%

4. ขับออกทางเหงื่อและปัสสาวะ ประมาณ 2%

นอกจากนี้พิชิต (2535) ได้กล่าวถึงกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อจะรวมตัวกับออกซิเจน การออกซิไดซ์ในวัฏจักรเครปส์ได้พลังงานออกมาเพื่อการหดตัวของกล้ามเนื้ออีก ส่วนกรดแลคติกที่เหลือหรือไม่ได้รวมกับออกซิเจนจะถูกส่งไปส่วนต่างๆ ของร่างกายคือ

1. ไปที่ผิวหนัง เพื่อขจัดออกทางเหงื่อแต่ในปริมาณที่น้อยมาก ประมาณ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

2. ไปยังกล้ามเนื้อหัวใจ เพื่อกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจให้เร็วขึ้น

3. ไปที่ตับ เพื่อเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนสะสมไว้และเปลี่ยนเป็นกูลโคสอีกเมื่อร่างกายต้องการ

4. ไปที่ไต เพื่อขจัดออกในรูปเกลือโซเดียมแลคเตท (sodium lactate) ในน้ำปัสสาวะหลังจากออกกำลังกายแล้วประมาณ 30-50 นาที

อนึ่งกรดแลคติกเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนแอนแอโรบิก ไกลโคไลซิส ในภาวะขาดออกซิเจนเมื่อออกกำลังกายด้วยความหนักมากขึ้นจะเกิดการสะสมของกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อมากขึ้นจะขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ และนำไปสู่ความเมื่อยล้า หากมีกรดแลคติกสะสมอยู่ในเลือดสูงถึง 0.03-0.1 กรัมเปอร์เซ็นต์ หรือในกล้ามเนื้อ 0.3-0.4 กรัมเปอร์เซ็นต์กล้ามเนื้อจะหยุดทำงาน

จากกระบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกตามที่กล่าวมาข้างต้นถือได้ว่าระบบไหลเวียนเลือดเป็นปัจจัยสำคัญในการนำกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดและผ่านกระบวนการเคลื่อนย้ายในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะการนำกรดแลคติกไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน และมีเลือดเป็นตัวกลางนำออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้ออีกเช่นกัน ดังนั้นการกระตุ้นให้มีการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงานเพิ่มขึ้น ซึ่งมีส่วนช่วยในกระบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกส่งผลให้ร่างกายฟื้นตัวจากความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็ว สำหรับกีฬาเทควันโดซึ่งเป็นกีฬาที่อาศัยการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก แลคติก เป็นสำคัญจึงมีการสะสมของกรดแลคติกระหว่างการแข่งขันสูง บางครั้งสูงถึง 11.4 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งจะนำไปสู่ภาวะความเมื่อยล้าภายหลังการแข่งขันแต่ละรอบ หากร่างกายไม่สามารถควบคุมระดับกรดแลคติกให้เข้าสู่ระดับปกติก่อนการแข่งขันรอบต่อไปจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขันรอบนั้นๆ อีกด้วย

## อุณหภูมิร่างกาย

Willmore and Costill (2004) กล่าวว่าอุณหภูมิกายของคนมีค่าคงที่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส หรือ 98.6 องศาฟาเรนไฮต์แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส หรือ 1.8 องศาฟาเรนไฮต์ ขณะพักความร้อนในร่างกายเกิดขึ้นจากอวัยวะภายในและสมองเป็นส่วนใหญ่แต่เมื่อมีการเคลื่อนไหวความร้อนในร่างกายมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อลายเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะออกกำลังกายอย่างหนักหรืออยู่ในภาวะอากาศที่ร้อน อุณหภูมิร่างกายจะเบี่ยงเบนไปจากช่วงปกติ (36.1-37.8 องศาเซลเซียส หรือ 97-100 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งร่างกายสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกนได้ไม่เกิน 4 องศาเซลเซียสโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายและจิตใจ ความร้อนภายในร่างกายเหล่านี้เกิดจากการกระบวนการเมตาบอลิซึมของกล้ามเนื้อที่ทำงาน รวมทั้งผลของการกระตุ้นของระบบประสาทซิมพาเทติก โดยการเปลี่ยนพลังงานจากสารอาหารไปเป็นงานของกล้ามเนื้อ 20-25 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นส่วนพลังงานที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ และพลังงานทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อจะถูกกลายเป็นความร้อนเกือบทั้งหมด (วิรุฬห์, 2537)

ในภาวะปกติร่างกายจะมีกระบวนการในการรักษาสมดุลของความร้อนโดยการระบายความร้อนจากส่วนแกนกลางร่างกายสู่บริเวณผิวหนังเพื่อระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมผ่านระบบการไหลเวียนเลือดและอาศัยเลือดเป็นตัวนำความร้อนที่สำคัญ หากมีการไหลเวียนเลือดที่บริเวณผิวหนังเพิ่มขึ้นอุณหภูมิที่ผิวหนังจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และการนำความร้อนนี้จะเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่าเมื่อหลอดเลือดมีการเปลี่ยนแปลงจากบีบตัวเป็นขยายตัวเต็มที่ (ชูศักดิ์ และกันยา, 2536) ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงอุณหภูมิกายปกติจะแบ่งออกเป็นอุณหภูมิแกนกลางและอุณหภูมิผิวหนังซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน โดย Astrand (2003) ได้กล่าวถึงอุณหภูมิของทั้ง 2 ส่วนนี้ไว้ว่า

อุณหภูมิแกนกลางเป็นอุณหภูมิบริเวณแกนกลางลำตัวหรืออุณหภูมิในส่วนลึกของร่างกาย ซึ่งร่างกายจะต้องมีระบบควบคุมอุณหภูมิแกนกลางให้มีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา สามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดที่บริเวณทวารหนัก ขณะพักอุณหภูมิที่วัดได้ทางทวารหนักมีค่าเท่ากับอุณหภูมิตับแต่มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในหลอดเลือดแดงและต่ำกว่าอุณหภูมิแกนกลางที่บริเวณสมองส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายอยู่ 0.2-0.5 องศาเซลเซียส สำหรับขณะออกกำลังกายหรืออยู่ในที่ร้อนอุณหภูมิในสมองและอุณหภูมิที่วัดได้ทางทวารหนักจะเพิ่มขึ้นและลดลงในทางเดียวกัน ดังนั้นการ

วัดอุณหภูมิแกนกลางทางทวารหนักจึงเหมาะสมสำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายเมื่อออกกำลังกายจนถึงภาวะคงที่ (30-40 นาที) ส่วนอุณหภูมิผิวหนังสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิแวดล้อม ขณะพักอุณหภูมิแกนกลางและอุณหภูมิผิวหนังจะมีค่าต่างกัน 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวหนังอาจต่ำลงเท่ากับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมที่ส่วนปลายของร่างกาย เช่น ปลายหัวแม่เท้า และในทางตรงข้ามบางแห่งจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิส่วนแกนกลางของร่างกาย เช่น รักแร้ และขาหนีบ เป็นต้น (จีรศักดิ์, 2527) การวัดอุณหภูมิผิวหนังสามารถทำได้โดยใช้เรดิโอมิเตอร์ (radiometer) หรือใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิบริเวณส่วนต่างๆ ของร่างกายและอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยสามารถคำนวณได้โดยอาศัยการแบ่งส่วนของพื้นที่บนร่างกาย (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

**กลไกการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย**

ความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากอวัยวะภายในและกระบวนการเมตาบอลิซึม ขณะปกติขบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายสร้างความร้อน 70 แคลอรี่ต่อชั่วโมง และหากร่างกายไม่มีกลไกการสูญเสียความร้อนจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 1 องศาเซลเซียสทุกๆ ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นอันตรายแก่ชีวิตได้ภายในเวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง ดังนั้นร่างกายจึงมีศูนย์ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่สมองส่วนฮัยโปทาลามัส (hypothalamus) (จีรศักดิ์, 2527) เมื่ออากาศร้อนหรือร่างกายสร้างความร้อนมากจำเป็นต้องระบายความร้อนเพิ่มขึ้นหลอดเลือดบริเวณผิวหนังขยายตัวปริมาณเลือดที่มาสู่ผิวหนังก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ถ้าอากาศเย็นหลอดเลือดบริเวณผิวหนังจะหดตัว ปริมาณเลือดที่มาสู่ผิวหนังลดลง และเพิ่มอัตราการเมตาบอลิซึมโดยทำให้เกิดหนาวสั่นเพื่อเพิ่มความร้อนในร่างกาย (สุพัตรา, 2544) ความร้อนจากภายในร่างกายที่เคลื่อนที่ผ่านเลือดมาสู่ผิวหนังนี้สามารถกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้ (จีรศักดิ์, 2527; ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536; สุพัตรา, 2544; Willmore and Costill, 2004)

1. การนำ (conductive) เป็นการระบายความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ผ่านทางการสัมผัสกันโดยตรง เช่น ความร้อนจากส่วนลึกของร่างกายสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นเนื้อเยื่อสู่ผิวหนัง ถ่ายเทความร้อนสู่เสื้อผ้าและระบายสู่อากาศภายนอกต่อไป ในทางตรงข้ามหากมีวัตถุร้อนสัมผัสกับผิวหนัง ความร้อนจากวัตถุเคลื่อนที่โดยการนำความร้อนจากวัตถุสู่ผิวหนัง ผิวหนังอุ่นขึ้น วิธีนี้สามารถระบายความร้อนในขณะพัก และขณะออกกำลังกายได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

2. การพา (convective) เป็นการระบายความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศหรือของเหลว อย่างเช่น น้ำ ผ่านผิวหนังแล้วพาความร้อนไปซึ่งเป็นวิธีที่ระบายความร้อนได้น้อยเพียง 15 เปอร์เซ็นต์

3. การแผ่รังสี (radiation) การส่งผ่านความร้อนของร่างกายด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดออกสู่สิ่งแวดล้อม และขณะเดียวกันร่างกายรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่แผ่รังสีมาด้วยเช่นกัน โดยขณะพักที่อุณหภูมิห้อง (21-25 องศาเซลเซียส หรือ 69.8-77 องศาฟาเรนไฮต์) ร่างกายสามารถระบายความร้อนด้วยวิธีนี้มากที่สุด ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนส่วนเกินของร่างกาย

4. การะเหย (evaporation) เป็นการระบายความร้อนผ่านการระเหยของของเหลว ซึ่งในขณะออกกำลังกายร่างกายสามารถระบายความร้อนด้วยวิธีนี้ได้สูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนส่วนเกินของร่างกาย แต่สำหรับขณะพักวิธีนี้ระบายความร้อนได้เพียง 20 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนส่วนเกินของร่างกาย และหากในบรรยากาศมีความชื้นสูงการหลั่งเหงื่อเพื่อระบายความร้อนของร่างกายจะลดลง และสังเกตได้ว่าเมื่ออุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้นจะมีการผลิตเหงื่อเพิ่มขึ้น ความร้อนจากผิวหนังทำให้เหงื่อระเหยเป็นไอน้ำ โดยการระเหยของเหงื่อ 1 ลิตรสามารถระบายความร้อนได้ 580 กิโลแคลลอรี่ (2,428 กิโลจูล)

**การวัดอุณหภูมิกายและค่าปกติ**

การวัดอุณหภูมิกายสามารถทำได้หลายวิธี และวัดได้หลายตำแหน่งดังนี้ (สุพัตรา, 2544)

1. การวัดอุณหภูมิทางปาก (oral thermomety) โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ปรอทวัดไข้ (clinical thermometer) อมไว้ใต้ลิ้น 1-2 นาทีเป็นวิธีที่สะดวกและนิยมใช้มากที่สุด แต่มีข้อควรระวังคือไม่รับประทานอาหารหรือดื่มน้ำร้อนหรือเย็นภายใน 2-3 นาทีก่อนการวัด ไม่พูด ไม่หัวเราะหรือไม่หายใจทางปากขณะอมปรอทเนื่องจากทำให้อุณหภูมิที่ได้จากการวัดนั้นคลาดเคลื่อน ในคนปกติอุณหภูมิทางปากมีค่าประมาณ 37 องศาเซลเซียส

2. การวัดอุณหภูมิทางรักแร้ โดยใช้ปรอทวัดไข้สอดไว้ที่รักแร้ หนีบแขนชิดลำตัว 3-5 นาที อุณหภูมิที่วัดทางรักแร้มีค่าต่ำกว่าที่วัดทางปากประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

3. การวัดอุณหภูมิทางทวารหนัก (rectal thermometry) เป็นการวัดอุณหภูมิที่ใกล้ส่วนแกนกลางของร่างกาย (core temperature) นิยมใช้ในเด็กทารก ผู้ป่วยหนักจากความร้อน (heat illness) หรือในสัตว์ทดลองเพื่องานวิจัย อุปกรณ์ที่ใช้วัดเป็นปรอทแก้วแท่งกลมหรือเป็นสาย (thermistor thermometer probe) การใช้ต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการบาดเจ็บของทวารหนักและลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย ไม่ใช้ในรายที่มีริดสีดวงทวาร โรคบิด หรือมีการติดเชื้อบริเวณทวารหนัก อุณหภูมิที่วัดทางทวารหนักมีค่าปกติสูงกว่าอุณหภูมิในปากประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

4. การวัดอุณหภูมิที่ผิวหนัง (skin temperature) เป็นการวัดอุณหภูมิเฉพาะที่และมีค่าแปรปรวนได้มาก ขึ้นกับหลายปัจจัยเช่น ปริมาณเลือดที่มาเลี้ยงบริเวณนั้น การทำงานของอวัยวะส่วนนั้น และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (ambient temperature)

5. การวัดอุณหภูมิการวิธีอื่นๆ ได้แก่

5.1 การวัดอุณหภูมิทางหลอดอาหาร (esophageal thermometry) โดยใส่หรือกลืนอุปกรณ์วัดอุณหภูมิลงไปในหลอดอาหาร ค่าที่ได้ละเอียดแม่นยำมาก แต่ไม่สะดวก มีใช้ในหออภิบาลหรืองานวิจัย

5.2 การวัดอุณหภูมิทางหู (tympanic thermometry) สำหรับใส่เข้าไปวัดทางช่องหู มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเลือดที่ไปเลี้ยงสมอง แต่ต้องระวังแก้วหูทะลุ และอาจมีขี้หู (cerumen) มาอุด

5.3 การวัดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟราเรด (infrared pyrometry) วัดและแสดงผลเป็นภาพสีต่างๆ ตามอุณหภูมิ (thermography) เป็นเทคนิคที่ดัดแปลงมาจากการช้าในทางอุตสาหกรรม

5.4 การวัดอุณหภูมิปัสสาวะ (midstream urine temperature) การวัดอุณหภูมิของปัสสาวะขณะกำลังถ่ายจะบอกถึงอุณหภูมิในช่องท้อง

Muth *et al.* (2007) กล่าวว่าการใช้เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรดวัดอุณหภูมิทางทิมพานิกเมมเบรน (tympanic membrane) อย่างแพร่หลายในประเทศเยอรมนีเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อในร่างกายจากการวัดเมื่อเทียบกับการวัดอุณหภูมิทางทวารหนัก แต่ความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิจะลดลงเมื่อมีบางส่วนจมน้ำ เช่นการวัดอุณหภูมิ

แกนกลางในนักกีฬาว่ายน้ำ สอดคล้องกับ Easton *et al.* (2007) กล่าวว่ามีการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ส่งรังสีอินฟราเรดผ่านทางหูเพื่อวัดอุณหภูมิของทิมพานิก เมมเบรน เนื่องจากบริเวณที่ติดกับสมองส่วนไฮโปทาลามัสซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย อุณหภูมิที่วัดได้จากทิมพานิก เมมเบรน จึงเป็นตัวแทนของอุณหภูมิแกนกลาง ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิแกนกลางระหว่างวิธีการวัดอุณหภูมิทางทวารหนัก การวัดอุณหภูมิทางหลอดอาหาร และการวัดอุณหภูมิทางทิมพานิก เมมเบรน ขณะออกกำลังกายในสภาวะอากาศร้อนของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกเป็นอย่างดี จำนวน 10 คน ผลการศึกษาปรากฏว่าอุณหภูมิที่วัดได้ในขณะพัก ช่วงหลังจากออกกำลังกาย 10 นาที และช่วงหลังออกกำลังกาย 20 นาทีระหว่างวิธีการวัดทั้งสามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ในช่วงหลังจากออกกำลังกาย 30 นาทีพบว่าอุณหภูมิที่วัดได้ทางทิมพานิก เมมเบรน มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้ทางทวารหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แม้ว่าการวัดอุณหภูมิทางทวารหนัก และการวัดอุณหภูมิทางหลอดอาหารเป็นวิธีที่มีความแม่นยำแต่ไม่เหมาะสมกับการใช้ในภาคสนาม หากผู้วิจัยต้องการวัดอุณหภูมิภาคสนาม การวัดอุณหภูมิทางทิมพานิก เมมเบรน จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิในขณะพักและในช่วงการออกกำลังกายระยะสั้นๆ ไม่เกิน 20 นาที

แม้ว่าอุณหภูมิของร่างกายปกติจะมีค่าคงที่ แต่สำหรับขณะออกกำลังกายนั้นกล้ามเนื้อและระบบต่างๆ ของร่างกายมีการทำงานที่มากขึ้นกว่าปกติ จึงเกิดการสะสมของความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญของกล้ามเนื้อทำให้อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุให้กล้ามเนื้ออ่อนแรงและเสียการทรงตัวทำให้ประสิทธิในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง และส่งผลในการลดความสามารถในการออกกำลังกายหรือแข่งขันกีฬา หากอุณหภูมิแกนกลางที่วัดได้ทางทวารหนักสูงถึง 42 องศาเซลเซียส อาจหมดสติ หรือเสียชีวิต นอกจากนี้ Foss *et al.* (1998) ได้กล่าวถึงอันตรายที่เกิดจากการสะสมความร้อนภายในร่างกายระหว่างที่มีการออกกำลังกาย ดังนี้

1. ฮีท แครมป์ (heat cramp) เกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อแขน ขา และหน้าท้อง

2. ฮีท ซินโคป (heat syncope) หรือลมแดด โดยมีลักษณะอ่อนแรง และล้าของกล้ามเนื้อทั่วร่างกาย ความดันโลหิตต่ำ มองภาพไม่ชัด หน้าซีด คล้ายอาการเป็นลม อุณหภูมิผิวหนังและอุณหภูมิแกนกลางเพิ่มสูงขึ้น

3. ฮีท เอ็กซ์เฮาส์ชั่น (heat exhaustion) อาจเกิดได้ 2 กรณี ได้แก่ การขาดน้ำ (water depletion) มีการหลั่งเหงื่อลดลง น้ำหนักลด ปากแห้ง คอแห้ง กระหายน้ำ บางกรณีมีปัสสาวะสีเข้ม อุณหภูมิผิวหนังและอุณหภูมิแกนกลางเพิ่มสูงขึ้น กล้ามเนื้ออ่อนแรง การประสานงานของการทำงานในการเคลื่อนไหว (coordination) และการขาดเกลือแร่ (salt depletion) มีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ เวียนศีรษะ อาจมีอาการอาเจียน ท้องเสีย เป็นลม และเป็นตะคริวร่วมด้วยได้

4. ฮีท สโตรค (heat stroke) เกิดความผิดปกติของกลไกการหลั่งเหงื่อ อุณหภูมิผิวหนังและอุณหภูมิแกนกลางเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิแกนกลางสูงมากกว่า 40.5 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า 105 องศาฟาเรนไฮต์ เกิดการอ่อนปวกเปียกของกล้ามเนื้อ (flaccidity) ชัก ไม่รู้สึกตัว หัวใจเต้นเร็ว (tachycardia) ท้องเสีย อาเจียน หากไม่ได้รับการรักษาอย่างเร่งด่วนอาจเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตในภายหลัง

ด้วยอันตรายของการสะสมความร้อนภายในร่างกายดังที่กล่าวในข้างต้นนั้น มนุษย์จึงมีกลไกในการระบายความร้อนจากภายในร่างกายออกสู่ผิวหนัง และสิ่งแวดล้อมภายนอกโดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่ามายังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสามารถทำได้หลายวิธีทั้งการนำ การพา การแผ่รังสี และการระเหย โดยร่างกายอาศัยการนำความร้อนผ่านการไหลเวียนของเลือดเพื่อระบายความร้อนจากส่วนลึกภายในร่างกายสู่ผิวหนัง และขับออกจากร่างกายได้เองผ่านการหลั่งเหงื่อ ซึ่งเป็นวิธีที่ร่างกายสามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้มากที่สุดในขณะออกกำลังกาย

Mitchell *et al*. (2001) ศึกษาถึงผลของการลดอุณหภูมิแกนกลางที่วัดทางหลอดอาหารลง 1 องศาเซลเซียส ด้วยการพักในห้องควบคุมอุณหภูมิ พักในห้องที่มีพัดลมเป่า และพักในห้องที่มีพัดลมพร้อมกับฉีดไอน้ำ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที ภายหลังการปั่นจักรยานด้วยความหนัก 125 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในเวลา 30 วินาที พัก 30 วินาที ทั้งหมด 6 รอบ โดยในช่วงพักระหว่างการปั่นจักรยานแต่ละรอบพบว่า การพักในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 22 องศาเซลเซียสมีอัตราลดอุณหภูมิแกนกลางเร็วกว่าการพักในห้องอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่การพักในห้องที่มีพัดลมพร้อมกับฉีดไอน้ำและการพักในห้องที่เป่าพัดลม พบว่ามีการสะสมความร้อนในร่างกายลดลง รวมทั้งอัตราการเพิ่มอุณหภูมิแกนกลางในการออกกำลังกายหลังจากพักน้อยกว่าการพักในห้องที่มีอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และ 38 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ Hunter *et al*. (2006) ทำการศึกษาผลของการใส่ไนกี้ ไอซ์เวส (Nike ice vest) ในช่วงอบอุ่นร่างกายที่มีต่อการลดอุณหภูมิแกนกลางในช่วงก่อนและระหว่างการแข่งขันวิ่งมาราธอนในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิ 26-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50-75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 นาทีในช่วงก่อนและหลังการแข่งขัน พบว่ากลุ่มที่ไม่ใส่ไนกี้ ไอซ์เวส มีอุณหภูมิแกนกลางเพิ่มขึ้นทั้งในช่วงก่อนเริ่มการแข่งขัน 10 นาทีและหลังแข่งขันสูงกว่ากลุ่มที่ใส่ไนกี้ ไอซ์เวส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จากการศึกษานี้จึงแนะนำการใส่ไนกี้ ไอซ์เวส ในช่วงก่อนและหลังการแข่งขันมาราธอนในสภาวะอากาศร้อนและชื้นจะช่วยลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกายระหว่างแข่งขันได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับ Arngrimsson *et al*. (2004) ศึกษาผลของการใส่เสื้อเย็น (cooling vest) ช่วงอบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 38 นาที ก่อนวิ่งบนลู่กลระยะทาง 5 กิโลเมตร ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใส่เสื้อเย็นสามารถควบคุมการเพิ่มของอุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นหัวใจ และความรู้สึกไม่สบายจากความร้อน (perception of thermal discomfort) โดยอุณหภูมิแกนกลางที่วัดทางหลอดอาหารและทวารหนัก อุณหภูมิผิวหนัง อุณหภูมิร่างกายทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าการอบอุ่นร่างกายตามปกติ 0.3 0.2 1.8 และ 0.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รวมทั้งอัตราการเต้นหัวใจมีค่าต่ำกว่าการอบอุ่นร่างกายตามปกติ 11 ครั้งต่อนาที

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่าการให้ร่างกายสัมผัสกับความเย็นด้วยวิธีต่างๆ ทั้งในช่วงก่อนและหลังออกกำลังกายช่วยลดการสะสมความร้อนในร่างกายและลดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายจะเป็นการดีสำหรับนักกีฬาที่ต้องทำการแข่งขันต่อเนื่องกันหลายรอบและมีระยะเวลาพักน้อย หากร่างกายมีกลไกระบายความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมโดยวิธีอื่นร่วมด้วยความร้อนจะสามารถระบายออกจากร่างกายได้เร็วขึ้น

## ความเย็นกับการฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย

Calder (2003) กล่าวว่า “การพักฟื้น” (recovery) หมายถึงการที่นักกีฬาปรับตัวทั้งสภาพร่างกายและจิตใจหลังจากการฝึกหรือหลังจากการแข่งขันเพื่อให้ลดความล้าจากการฝึกซ้อมและการแข่งขันนำไปสู่การเพิ่มสมรรถภาพและชัยชนะ การที่ร่างกายได้รับการพักฟื้นจากการออกกำลังกายด้วยวิธีที่เหมาะสมจะนำไปสู่การกระตุ้นการปรับตัวต่อการฝึก เพิ่มความสามารถ และป้องกันการเกิดภาวะการฝึกซ้อมมากเกินไป (overtraining) สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่าการพักฟื้นระหว่างการแข่งขันกีฬาหรือภายหลังการแข่งขันกีฬาเป็นสิ่งสำคัญมากโดยเฉพาะช่วงพักสั้น

ระหว่างการแข่งขัน ถ้านักกีฬาสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็วจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อดีขึ้น ประสิทธิภาพในการแข่งขันก็ดีขึ้นโอกาสที่จะชนะการแข่งขันสูงขึ้นตามไปด้วย

การพักฟื้นของร่างกายหลังจากการออกกำลังกายนั้นมีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อและเลือด การชดเชยออกซิเจนโดยพิจารณาจากการเป็นหนี้ออกซิเจน (oxygen debt) ในช่วงแรกของการออกกำลังกาย การชดเชยพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในขณะพักฟื้น ทั้งการสร้างเอทีพี พีซี และฟอสฟาเจนขึ้นมาใหม่ การสังเคราะห์ไกลโคเจนขึ้นใหม่ในตับและกล้ามเนื้อรวมทั้งการเก็บสำรองออกซิเจนขึ้นมาใหม่ นอกจากการพักฟื้นตามหลักการดังที่กล่าวมาแล้วนั้นการกำจัดกรดแลคติกยังต้องอาศัยออกซิเจนในการสลายกรดแลคติกในกล้ามเนื้อโดยระบบไหลเวียนเลือด หากมีการไหลเวียนเลือดมาที่กล้ามเนื้อทำงานนั้นมากขึ้นจะส่งผลให้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อและเลือดได้เร็วขึ้นพบว่า การเคลื่อนย้ายนี้จะเกิดเร็วถ้ามีกิจกรรมการเคลื่อนไหวด้วยระดับความหนักต่ำในระยะพักฟื้นมากว่าการหยุดพักเฉยๆ (ชูศักดิ์ และกันยา, 2536) ภายหลังการออกกำลังกายด้วยความหนักสูงในช่วงเวลาสั้นและซ้ำหลายครั้งจะพบว่ามีการสะสมของกรดแลคติกทั้งในกล้ามเนื้อและกระแสเลือด ทั้งนี้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกจากเลือดและกล้ามเนื้อเป็นส่วนสำคัญในการพักฟื้นซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ง่าย รวดเร็วและประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายมี 2 วิธี ได้แก่

1. การพักแบบไม่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (rest recovery หรือ passive recovery) คือการนั่งพักโดยไม่ทำอะไรในช่วงพักฟื้นหลังจากออกกำลังกาย ซึ่งพบว่าหลังจากออกกำลังกายด้วยความหนักสูงสุด ร่างกายใช้เวลาประมาณ 25 นาทีในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกครึ่งหนึ่งของปริมาณกรดแลคติกที่สะสมไว้ แสดงว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของกรดแลคติกจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากเลือดและกล้ามเนื้อในเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที

2. การพักแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (exercise recovery หรือ active recovery) คือการให้ผู้ออกกำลังกาย ออกกำลังกายเบาแทนที่จะให้พักอยู่เฉยในช่วงพักฟื้นหลังจากออกกำลังกาย วิธีนี้ร่างกายสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติก ออกจากกล้ามเนื้อและเลือดได้เร็วกว่าวิธีแรก เนื่องจากร่างกายสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสร้างพลังงานภายในกล้ามเนื้อที่ทำงานแทนการใช้กลูโคส ไกลโคเจน และกรดไขมันอิสระได้มากที่สุด

**ตารางที่ 1** ระยะเวลาต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้ในการฟื้นตัวหลังจากออกกำลังกายจนอ่อนเพลีย

| กระบวนการฟื้นตัว | เวลาที่ใช้ในการฟื้นตัว | |
|---|---|---|
| | ต่ำสุด | สูงสุด |
| 1. การเติมแหล่งเก็บฟอสฟาเจนในกล้ามเนื้อ | 2 นาที | 5 นาที |
| 2. การจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะแรก | 3 นาที | 5 นาที |
| 3. การสังเคราะห์ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ | | |
| 3.1 หลังจากออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง | 10 ชั่วโมง | 46 ชั่วโมง |
| 3.2 หลังจากออกกำลังกายที่มีเวลาพัก | 5 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง |
| 4. การเติมไกลโคเจนในตับ | ไม่ทราบแน่ชัด | 12-24 ชั่วโมง |
| 5. การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อ | | |
| 5.1 ออกกำลังกายเบาๆ ในระยะพักฟื้น | 30 นาที | 1 ชั่วโมง |
| 5.2 พักในระยะพักฟื้น | 1 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง |
| 6. การจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนระยะหลังพักฟื้น | 30 นาที | 1ชั่วโมง |
| 7. การสร้างแหล่งเก็บออกซิเจนขึ้นใหม่ | 10-15 วินาที | 1 นาที |

**ที่มา**: พิชิต (2535)

Draper *et al*. (2006) ศึกษาผลของการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นที่มีต่อระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นหัวใจและระดับความเหนื่อยในนักปีนเขาจำนวน 10 คน โดยออกกำลังกายด้วยการปีนเขา 5 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที พัก 2 นาที ในช่วงพักฟื้นนี้ผู้เข้าร่วมการทดลองได้รับการออกกำลังกายด้วยการเดินที่ระดับความเร็วปานกลางถึงเร็วมากและการนั่งพัก ผลการศึกษาพบความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดและระดับการรับรู้ความเหนื่อยระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่เดินเร็วในขณะพักฟื้นมีระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดและระดับความเหนื่อยเมื่อสิ้นสุดการปีนเขาลดลงต่ำกว่ากลุ่มนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอัตราการเต้นหัวใจในช่วงพักระหว่างการปีนและหลังจากหยุดปีนของกลุ่มของทั้ง 2 กลุ่มนั้นไม่แตกต่างกัน แต่อัตราการเต้นหัวใจในช่วงพักระหว่างการปีนเขาแต่ละครั้งของกลุ่มที่เดินเร็วในขณะพักฟื้นมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มนั่งพักเฉยๆ ซึ่งตรงข้ามกับการศึกษาของ Declan *et al*. (2003) ในนักกีฬาจักรยานชายที่ออกกำลังกายโดยการปั่นจักรายานด้วยความหนักสูงสุด 15 วินาที จำนวน 6 รอบ พักระหว่างรอบ 3 นาที จากนั้นนั่งพัก หรือปั่นจักรยานที่ความหนัก 1 กิโลกรัม

ความเร็ว 80 รอบต่อนาทีในช่วงพักระหว่างการออกกำลังกายแต่ละรอบ เมื่อปั่นจักรยานครบ 6 รอบพบว่า กลุ่มที่นั่งพักมีกำลังสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มที่ปั่นจักรยานในช่วงพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยไม่พบความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือดระหว่างวิธีการพักฟื้นทั้ง 2 วิธี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปั่นจักรยานในช่วงพักหลังการออกกำลังกายช่วงสั้นๆ ช่วยให้ค่ากำลังสูงสุด กำลังเฉลี่ยเพิ่มขึ้นโดยไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด

แต่สำหรับ McAinch *et al.* (2004) ไม่สนับสนุนการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย เนื่องจากศึกษาผลของการปั่นจักรยานด้วยความหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที ระหว่างออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานอย่างเต็มที่ด้วยความสามารถที่ทำได้ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าการปั่นจักรยานในช่วงพักฟื้นนี้ช่วยระดับกรดแลคติกในเลือด ในขณะที่ความสามารถของการปั่นจักรยานหลังจากพักฟื้น 15 นาทีลดลงเมื่อเทียบนั่งพักเฉยๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Spencer *et al*. (2004) ที่พบว่าการปั่นจักรยานด้วยความหนักประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการปั่นจักยานด้วยความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 4 วินาที ทุก 25 วินาที ทั้งหมด 6 รอบนั้นทำให้กำลังสูงสุดของการปั่นจักรยานในรอบสุดท้ายลดลง การสะสมของกรดแลคติกในเลือดสูงขึ้นรวมทั้งทำให้ระดับของฟอสโฟครีเอทีนในกล้ามเนื้อลดลงอีกด้วย

นอกจากนี้ Fournier *et al.* (2004) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไกลโคเจนหลังการออกกำลังกาย พบว่าการออกกำลังกายเบาๆ ในช่วงพักฟื้นส่งผลดีในการกระตุ้นให้นำกรดแลคติกไปเป็นเชื้อเพลิงในการออกซิไดซ์เป็นพลังงานในกล้ามเนื้อทำให้ร่างกายเคลื่อนย้ายกรดแลคติก และช่วยลดภาวะความเป็นกรดในกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าการนั่งพัก แต่กระบวนการเหล่านี้ส่งผลให้ระดับกลูโคสและอินซูลิน (insulin) ในเลือดลดลง และระดับแคทีโคลามีน (catecholamine) สูงขึ้นทำให้สังเคราะห์ไกลโคเจนเพื่อเก็บไว้เป็นพลังงานสำรองลดลงตามไปด้วย เนื่องจากการขนส่งกลูโคส (glucose transport) และการสังเคราะห์ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจะไม่เกิดขึ้นถ้าระดับกูลโคสในพลาสมาลดลงและอินซูลินลดลง รวมทั้งระดับแคทีโคลามีนที่สูงขึ้นจะยับยั้งอินซูลิน สติมูเลด กลูโคส อัพเทค (insulin-stimulated glucose uptake) และเป็นการกระตุ้นการสลายไกลโคเจนทั้งขณะพักฟื้นและออกกำลังกาย นอกจากนี้ยังพบว่าระหว่างที่ร่างกายมีการออกกำลังกายเบาๆในช่วงพักฟื้นหลังจากการออกกำลังกายอย่างหนักนั้นจะมีการสังเคราะห์ไกลโคเจนเพื่อสะสมในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (fast twitch) แต่ยังคงมีการสลายไกลโคเจนต่อไปในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 (slow twitch)

สอดคล้องกับ Cochrane (2004) กล่าวว่าการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นทำให้การสังเคราะห์กูลโคสภายหลังการออกกำลังกายเกิดขึ้นได้ช้าลง รวมทั้งร่างกายยังต้องการใช้พลังงานจำนวนหนึ่งสำหรับการเคลื่อนไหวในขณะที่ออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นจึงเป็นการรบกวนต่อการสะสมพลังงาน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่ากล้ามเนื้อสามารถสังเคราะห์ไกลโคเจนเพื่อสะสมในกล้ามเนื้อได้ดีกว่าเมื่อมีการพักเฉยๆ

สำหรับกีฬาเทควันโดที่อาศัยการสังเคราะห์พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก แลคติกประกอบกับลักษณะการแข่งขันที่นักกีฬาต้องลงแข่งขันหลายรอบภายในวันเดียว ดังนั้นการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำนักกีฬาเทควันโดไปสู่การประสบความสำเร็จในการแข่งขัน โดยเฉพาะในช่วงพักระหว่างการแข่งขันแต่ละรอบซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด หากนักกีฬาคนใดมีความสามารถในการฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการแข่งขันได้มากกว่า และพร้อมกว่าก็จะเป็นฝ่ายได้เปรียบ (Wilcock *et al*., 2006)

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่าการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นนั้นส่งผลต่อระดับกรดแลคติกในเลือดที่แตกต่างกันขึ้นกับความหนักของการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นนั้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการลดของระดับฟอสโฟครีเอทีนและไกลโคเจนซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในสร้างพลังงานสำหรับการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก รวมทั้งกระทบต่อความสามารถของการออกกำลังกายในช่วงถัดไปอีกด้วย การออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในช่วงพักระหว่างการแข่งขันกีฬาเทควันโดที่ต้องการลดความล้าจากการสะสมของกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการสะสมพลังงานของร่างกายสำหรับการแข่งขันในรอบต่อๆไป ดังนั้นหากมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวด้วยระดับความหนักต่ำในช่วงพักฟื้นร่างกายต้องดึงพลังงานที่สะสมไว้มาใช้ระหว่างพักฟื้น ขณะที่การพักโดยไม่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหวเป็นวิธีที่ช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์ไกลโคเจนในช่วงพักฟื้น ดังนั้นการใช้คอนทราส ไฮโดรเทอราพี (contrast hydrotherapy) อาจเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าและนักกีฬาส่วนใหญ่มักใช้เป็นเครื่องมือในการลดความล้าจากการฝึกซ้อม (Cochrane, 2004) สอดคล้องกับ Willcock *et al*. (2006) กล่าวถึงวิธีการฟื้นสภาพร่างกายจากความล้าที่เกิดจากการฝึกซ้อมและการแข่งขันด้วยการแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำ 4 วิธีดังนี้

1. การแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำ (water immersion) เป็นวิธีการที่ง่ายใช้เพียงถังน้ำขนาดใหญ่สำหรับแช่ตัวนักกีฬา อุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ 16-35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาตั้งแต่ 5 นาที ถึง 6 ชั่วโมง

2. การรักษาด้วยความร้อน (thermotherapy) เป็นการแช่หรืออาบน้ำอุ่นอุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียสขึ้นไป เป็นเวลา 10-20 นาที มักทำภายหลังการฝึกซ้อมเพื่อฟื้นฟูสภาพร่างกาย

3. การรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็น (contrast therapy) เป็นการให้ร่างกายหรือส่วนของร่างกายสัมผัสกับอุณหภูมิร้อนสลับกับอุณหภูมิเย็นด้วยวิธีการแช่หรืออาบ ช่วงละ 30-300 วินาที เป็นเวลา 4-30 นาทีส่งผลให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดสลับกับการคลายตัวของหลอดเลือดเกิดกลไกที่เรียกว่า ปั๊มปิ้ง แมคคานิซึม (pumping mechanism) กระตุ้นให้เกิดการไหลเวียนเลือดในส่วนที่รักษาทำให้อาการบวมลดลงได้ (Knight, 1995)

Morton (2007) ได้ทำการศึกษาผลของการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นที่มีต่อการลดระดับกรดแลคติกในพลาสมาภายหลังการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกตามวิธีของวินเกต (Wingate tests) เป็นเวลา 30 วินาที พัก 30 วินาที ทั้งหมด 4 เซต ผลพบว่าการใช้การรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็น (อุณหภูมิร้อน 36 องศาเซลเซียสสลับกับอุณหภูมิเย็น 12 องศาเซลเซียส) ช่วยลดระดับกรดแลคติกในพลาสมาภายหลังออกกำลังกาย 1.8 มิลลิโมลต่อลิตรเมื่อเทียบกับการนอนพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างเพศ สอดคล้องกับ Coffey *et al.* (2004) ที่ทำการศึกษาผลการออกกำลังกาย การนั่งพักและการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการวิ่งบนลู่กล เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ผลปรากฏว่าการออกกำลังกายและการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นในช่วงพักฟื้นส่งผลในการลดระดับกรดแลคติกในเลือดเมื่อเทียบกับการนั่งพัก ระดับการรับรู้ความเหนื่อยหลังจากพักฟื้นด้วยการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการพักฟื้นด้วยการออกกำลังกายและการนั่งพัก ขณะที่ค่าพีเอชของเลือดและระยะเวลาที่วิ่งได้ระยะทาง 400 เมตรระหว่าง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ Hamlin (2007) ได้ทำการศึกษาผลของการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬารักบี้พบว่าการพักฟื้นเป็นเวลา 6 นาที ด้วยการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็น (แช่ขาในน้ำเย็นอุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที สลับกับการ

แช่น้ำอุ่นอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ) ภายหลังการออกกำลังกายด้วยการวิ่งช่วยลดระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจเมื่อเทียบกับการวิ่งเหยาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการออกกำลังกายภายหลังการพักฟื้น

4. การรักษาด้วยความเย็น (cryotherapy) เป็นการแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำเย็นอุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที วิธีนี้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรเนื่องจากนักกีฬาส่วนใหญ่ไม่สามารถทนกับความเย็นได้นาน

แท้จริงแล้วการรักษาด้วยความเย็นเป็นวิธีการรักษาทางกายภาพบำบัดวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับการรักษาอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูก รวมทั้งการบาดเจ็บที่เกิดจากการเล่นกีฬาในระยะเฉียบพลัน ภายใน 24-48 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าการรักษาด้วยความเย็นจะทำให้ผู้รับการรักษารู้สึกไม่ค่อยสบายช่วง 2-3 นาทีแรก แต่เมื่อผ่านไปสักระยะอาการเจ็บปวดจะลดลง การรักษาด้วยความเย็นนี้สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้ (กันยา, 2543)

1. การใช้น้ำแข็งสัมผัสโดยตรงที่ผิวหนัง (อุณหภูมิจะถูกถ่ายเทโดยการนำ)

2. การแช่ส่วนที่ต้องการรักษาลงในน้ำที่ใส่น้ำแข็ง (อุณหภูมิจะถูกถ่ายเทโดยการนำและการพา)

3. การฉีดพ่นของเหลวที่ระเหยเป็นไอบนส่วนที่ต้องการรักษา (อุณหภูมิจะถูกถ่ายเทโดยการระเหย)

4. การพ่นอากาศเย็นผ่านส่วนที่ต้องการรักษา (อุณหภูมิจะถูกถ่ายเทโดยการพา)

สำหรับผลของการใช้ความเย็นด้วยวิธีต่างๆ ที่มีต่อการฟื้นสภาพร่างกายในช่วงพักฟื้นภายหลังออกกำลังกาย ภาคภูมิ (2548) พบว่าการลดอุณหภูมิภายในร่างกายโดยการนอนพักในห้องอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีผลต่อระยะเวลาในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นหัวใจ และระดับกรดแลคติกในเลือดหลังการออกกำลังกายด้วยการก้าวขึ้นลงจากกล่องไม้สูง 45 เซนติเมตร จนถึงระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ขณะที่ Hornery *et al.* (2005) ศึกษาผลของการใส่เสื้อเย็น เป็นเวลา 10 นาทีในช่วงพักระหว่างออกกำลังกายด้วยวิธีปั่น

จักรยานความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด 30 นาที ช่วยเพิ่มความสามารถในการปั่นจักรยานช่วงถัดไป ลดอัตราการเต้นหัวใจ ลดระดับกรดแลคติกในเลือด ลดระดับการรับรู้ความเหนื่อย นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างมีความรู้สึกดีระหว่างที่พักด้วยการใส่เสื้อเย็นในขณะที่อัตราการสูญเสียเหงื่อ อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย และระดับความรู้สึกต่ออุณหภูมิ (rating of thermal sensation) ไม่แตกต่างกับการนั่งพักเป็นเวลา 10 นาทีในช่วงพักระหว่างการออกกำลังกาย ดังนั้นการที่ร่างกายได้รับความเย็นช่วงพักเป็นผลดีสำหรับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยไม่ส่งผลต่อความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

ขณะเดียวกัน Duffield *et al*. (2003) ทำการศึกษาผลของการใส่เสื้อเย็น เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ระหว่างจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดช่วงละ 15 นาที รวมทั้งสิ้น 80 นาที ในอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใส่เสื้อเย็นทำให้อุณหภูมิผิวหนังบริเวณหน้าอก ระดับความรู้สึกไม่สบายต่อความร้อน และอัตราการกระหายน้ำลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างของความสามารถในการปั่นจักรยาน (power output) อัตราการเต้นหัวใจ ระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการหลั่งเหงื่อ ระดับการรับรู้ความเหนื่อยและระดับความล้าระหว่างกลุ่ม แต่อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด อัตราการหลั่งเหงื่อ และอุณหภูมิผิวหนังของกลุ่มทดลอง มีแนวโน้มลดลงเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น

Schniepp *et al*. (2002) ศึกษาผลของการแช่น้ำเย็นที่มีต่อกำลัง อัตราการเต้นหัวใจ และระยะเวลาในการปั่นจักรยานจนถึงระดับกำลังสูงสุด พบว่าการนั่งพัก และการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสถึงระดับเชิงกราน (iliac crest) เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด 30 วินาที ส่งผลต่อระยะเวลาในการปั่นจักรยานจนถึงระดับกำลังสูงสุดไม่แตกต่างกัน โดยการแช่น้ำเย็นทำให้อัตราการเต้นหัวใจสูงสุดลดลง 8.1 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยลดลง 4.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการแช่น้ำช่วยในด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาแต่ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการปั่นจักรยาน นอกจากนี้ Vaile *et al*. (2008a) ทำการศึกษาการออกกำลังกาย การแช่น้ำเย็น อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นช่วงๆ และการแช่น้ำเย็น 20 องศาเซลเซียสอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 15 นาทีในช่วงพักฟื้นหลังออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที ผลปรากฏว่าการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นทำให้ความสามารถของการออกกำลังกายลดลง 4.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ระดับกรดแลคติกในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนการแช่น้ำเย็นในช่วงพักฟื้นทุกวิธีไม่พบความแตกต่างระหว่างความสามารถในการออกกำลังกายทั้งสองช่วงและไม่พบความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือดระหว่างการแช่น้ำเย็นทั้ง 4 วิธี

Wilcock (2005) ศึกษาผลของการแช่น้ำเย็น การออกกำลังกาย และการพักในช่วงพักฟื้นภายหลังออกกำลังกายโดยการกระโดดสูง 20 ครั้ง แต่ละเซตห่างกัน 3 วินาที ทั้งหมด 3 เซต พักระหว่างเซต 1 นาที จากนั้นได้รับการปั่นจักยาน การแช่ขาในน้ำเย็นอุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสถึงระดับก้น (gluteal fold) การปั่นจักยานตามด้วยการแช่ในน้ำเย็น และการนั่งพักในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 10 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างของอัตราส่วนพลาสมาในเลือดและระดับความรู้สึกล้า เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการออกกำลังกายและการแช่ขาในน้ำเย็นจะให้ผลดีต่อเมื่อใช้เวลา 15 นาทีขึ้นไป และการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนพลาสมาในเลือดจะเกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกาย 10 นาที

Ingram *et al*. (2008) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แช่น้ำร้อนสลับเย็น การแช่น้ำเย็น และการนั่งพัก เป็นเวลา 15 นาทีในช่วงพักฟื้นภายหลังออกกำลังกาย เป็นเวลา 80 นาทีตามด้วยการทดสอบวิ่ง 20 เมตร (20-m shuttle run test) จนหมดแรงพบว่า การแช่น้ำเย็นช่วยลดระดับความเจ็บระบมกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายทันที, 24 และ 48 ชั่วโมง เพิ่มความสามารถในการหดตัวแบบเกร็งค้างในท่าเหยียดเข่าและงอเข่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่การแช่น้ำร้อนสลับเย็นสามารถลดระดับความเจ็บระบมกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงเท่านั้น จากการศึกษานี้จึงสนับสนุนการใช้ความเย็นสำหรับฟื้นสภาพร่างกายในช่วงพักฟื้นภายหลังออกกำลังกายเมื่อเทียบกับการใช้ความร้อนสลับความเย็นและการนั่งพัก

สอดคล้องกับการศึกษาของ Vaile *et al*. (2008b) พบว่าการแช่ร่างกายในน้ำเย็นอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที และการแช่ร่างกายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส (1 นาที) สลับกับน้ำเย็นอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (1 นาที) เป็นเวลา 14 นาทีในช่วงพักฟื้นภายหลังออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานเป็นเวลาทั้งหมด 105 นาที และมีช่วงปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด (sprint) 66 ครั้ง ช่วยเพิ่มความสามารถในการปั่นจักรยานได้ 0.1-2.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการนั่งพัก และการแช่ร่างกายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่วัดได้ทางทวารหนักแตกต่างกันในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของระดับความเหนื่อยและอัตราการเต้นหัวใจระหว่างวิธีการทั้ง 4 วิธี จากการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าการแช่ร่างกายในน้ำเย็นและการแช่ร่างกายในน้ำร้อนสลับเย็นในช่วงพักฟื้นช่วยเพิ่มความสามารถในการออกกำลังกาย

จากการศึกษาผลงานวิจัยข้างต้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้ความเย็นในช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการพักแบบไม่มีกิจกรรมที่นักกีฬานิยมใช้ในการฟื้นสภาพร่างกายจากการฝึกซ้อมกันอย่างแพร่หลาย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำความเย็นมาใช้สำหรับลด

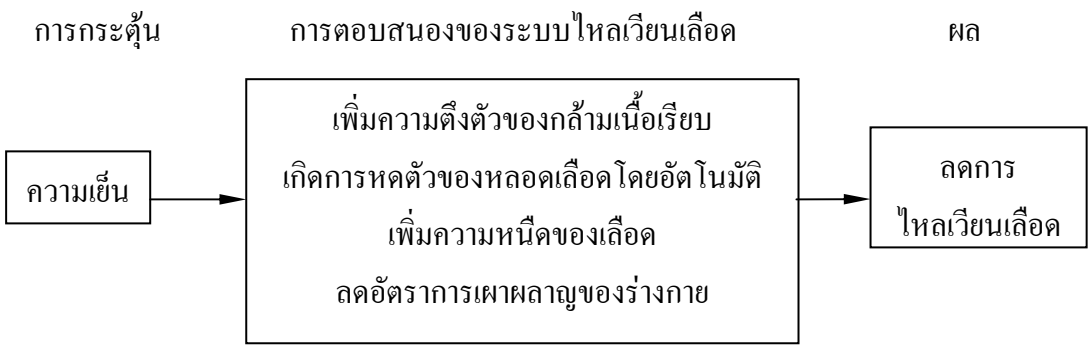
ระดับกรดแลคติกในเลือดซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อขึ้น รวมทั้งประโยชน์ของความเย็นที่ช่วยในการระบายความร้อนออกจากร่างกายด้วยวิธีการนำความร้อนร่วมด้วยแทนที่การระบายความร้อนด้วยวิธีการหลั่งเหงื่อเพียงอย่างเดียวซึ่งการสะสมของความร้อนนี้เป็นสาเหตุที่นำไปสู่ภาวะหมดแรง หากนักกีฬาสามารถฟื้นตัวจากความล้า รวมทั้งสามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้เร็วจะเป็นผลดีต่อนักกีฬาและเป็นฝ่ายได้เปรียบในการแข่งขัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาเทควันโดนั้นนักกีฬาจำเป็นต้องลงแข่งขันหลายรอบภายในหนึ่งวันโดยที่มีระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันน้อยลง การใช้ความเย็นในช่วงพักระหว่างการแข่งขันจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการฟื้นสภาพร่างกายของนักกีฬาโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการสะสมพลังงานของร่างกายในช่วงพักฟื้น

## ผลทางสรีรวิทยาของความเย็น

Cochrane (2004) กล่าวถึงผลทางสรีรวิทยาของการรักษาด้วยความเย็นนั้นส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของเนื้อเยื่อซึ่งกระตุ้นต่อระบบประสาทซิมพาเทติกเป็นสาเหตุให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดจึงช่วยลดอาการบวม และลดการอักเสบในระยะเฉียบพลัน ลดระดับการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อเนื่องจากความเย็นส่งผลต่อการผลิตสารเมตาบอไลต์ อัตราเมตาบอลิซึมช้าลง นอกจากนี้ความเย็นยังลดความเร็วของการนำกระแสประสาทของเนื้อเยื่อชั้นตื้น โดยอัตราการส่งกระแสประสาทของกล้ามเนื้อ (muscle spindle afferent) และการตอบสนองต่อรีเฟลกซ์ช้าลงทำให้ความรู้สึกปวดลดลงและลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ สอดคล้องกับ กันยา (2543) ที่กล่าวว่าความเย็นส่งผลต่อระบบต่างๆ ดังนี้

### ความเย็นที่ส่งผลต่อระบบไหลเวียนเลือด

เมื่อให้ความเย็นแก่ร่างกาย อุณหภูมิของเนื้อเยื่อลดลงจะส่งผลให้เกิดการตอบสนองโดยทันทีคือ เกิดการตีบตัวของหลอดเลือดส่งผลให้การไหลเวียนของเลือดไปยังที่ได้รับความเย็นนั้นลดลง ซึ่งเป็นผลโดยตรงของความเย็นที่มีต่อกล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดและกลไกรีเฟลกซ์ที่กระตุ้นให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนัง (reflex cutaneous vasoconstriction)




**ภาพที่ 1** แสดงผลของการกระตุ้นด้วยความเย็นที่มีต่อการไหลเวียนของเลือดเฉพาะที่

**ที่มา**: กันยา (2543)

การไหลของเลือดเป็นการควบคุมพื้นฐานทางระบบประสาทที่มีพื้นฐานสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิ การตีบตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังเป็นกลไกที่จะรักษาความร้อนในร่างกายไว้เมื่ออุณหภูมิที่ผิวหนังลดต่ำลง ตัวรับความเย็นที่ผิวหนังจะถูกกระตุ้น และเป็นสาเหตุให้เกิดการกระตุ้นรีเฟลกซ์ของซิมพาเทติก (sympathetic adrenergic fiber) ที่บริเวณฮัยโปทาลามัสส่วนหน้าซึ่งเป็นผลให้เกิดการตีบตัวของหลอดเลือดผิวหนังส่วนอื่นในร่างกาย นอกจากนี้ความเย็นส่งผลในการลดอาการอักเสบและบวมได้ เนื่องจากความเย็นทำให้หลอดเลือดตีบตัว ลดการไหลเวียนของเลือดไปยังบริเวณที่ได้รับอันตรายได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เลือดออกในช่องระหว่างเซลล์น้อยลง ช่วยให้เซลล์ไม่ต้องได้รับอันตรายซ้ำสองจากการบวม ช่วยลดอาการอักเสบให้น้อยลงนอกจากนั้นความเย็นยังมีผลช่วยลดความเจ็บปวดและลดอัตราเมตาบอลิซึมของเซลล์ลง (กันยา, 2543)

Fiscus *et al*. (2005) ทำการศึกษาการเปลี่ยนของการไหลเวียนเลือดระหว่างการรักษาด้วยความร้อน การรักษาด้วยความเย็นและการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็น ในอาสาสมัครชายจำนวน 24 คน พบว่าการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นเป็นเวลา 20 นาที ทำให้เกิดการผันผวนของการไหลเวียนเลือด การรักษาด้วยความร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสทำให้การไหลเวียนเลือดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ขณะที่การรักษาด้วยความเย็นอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสไม่ส่งผลในการลดอัตราการไหลเวียนเลือดได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดย Knight (1995) กล่าวว่าการให้การรักษาด้วยความเย็นช่วยเพิ่มการไหลเวียนเลือดดีกว่าและนานกว่าการรักษาด้วยความร้อน (cold-induced vasodilation; CIVD) โดยช่วงแรกหลอดเลือดจะหดตัวขนาดเล็กลง 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น

จะเกิดการขยายตัวของหลอดเลือด เพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเดิม สอดคล้องกับกันยา (2543) กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิของเนื้อเยื่อลดลงเป็นเวลานานหรือเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ความเย็นจะทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดตามมาหลังจากในตอนแรกเกิดการตีบตัวของหลอดเลือด เรียกว่า ฮันติ้ง เรสปอนส์ (hunting response) ซึ่งเกิดจากการควบคุมของแอกซอนรีเฟลกซ์ (axon reflex) โดยขณะที่ผิวหนังถูกทำให้เย็นน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส จะเกิดความเจ็บปวดขึ้นเป็นสาเหตุให้พลังประสาทจากเส้นประสาทนำเข้าย้อนกลับไปที่หลอดเลือดของผิวหนัง ทำให้สารเอช (H substance) ซึ่งเป็นสารคล้ายฮีสตามีน (histamine) ถูกหลั่งออกมามีผลทำให้หลอดเลือดขยายตัว เพื่อให้อุณหภูมิบริเวณนั้นสูงขึ้น

**ความเย็นที่ส่งผลต่อระบบประสาท**

ความเย็นสามารถเปลี่ยนความเร็วในการนำกระแสประสาทและการทำงานของจุดประสานของเส้นประสาทรอบนอกได้ ซึ่งพบว่าการลดลงอุณหภูมิเส้นประสาทจะมีความสัมพันธ์กับการลดลงในความเร็วของการนำพลังประสาทของเส้นประสาทรับความรู้สึก และเส้นประสาทยนต์หรือจนถึงกับไม่สามารถนำพลังประสาทได้ การส่งพลังประสาทผ่านจุดประสาน สามารถถูกหน่วงเหนี่ยวหรือสามารถถูกยับยั้งได้ด้วยความเย็นลดลงเช่นกัน จึงส่งผลช่วยในการลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (muscle spasm) ลดอาการเจ็บและ/หรือปวด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะขึ้นกับระยะเวลาและความมากน้อยของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

**ความเย็นที่ส่งผลต่อระบบกล้ามเนื้อ**

การให้ความเย็นช่วยให้แรงของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการให้ความเย็นในช่วงสั้นนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nerve activity) ทำให้เลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อมากขึ้น และอาจส่งผลต่อความไวของเส้นประสาทยนต์ (motor nerve excitability) ทำให้เร่งการทำงานของมอเตอร์ยูนิตเดี่ยว

นอกจากนี้ Prentice (1998) ได้กล่าวถึงผลทางสรีรวิทยาของความเย็นไว้ ดังต่อไปนี้

1. ลดอุณหภูมิบริเวณผิวหนัง (บางกรณีสามารถลดอุณหภูมิในเนื้อเยื่อชั้นลึก)

2. ลดอัตราเมตาบอลิซึมเฉพาะที่

3. ช่วงแรกของการได้รับความเย็น เส้นเลือดแดงและเส้นเลือดฝอยจะหดตัว รวมทั้งลดอัตราการไหลเวียนเลือดไปยังบริเวณที่รับความเย็นลดลง

4. ลดความเร็วในการนำกระแสประสาท (nerve conduction velocity) ทำให้ชา หรือหมดความรู้สึกของผิวหนังบริเวณที่ได้รับความเย็น

5. ลดการขนส่งเม็ดเลือดขาวและกระบวนการฟาโกไซโตซิส (phagocytosis)

6. ลดการคั่งของเลือดดำ และน้ำเหลืองจึงช่วยลดอาการบวม

7. ช่วยให้กล้ามเนื้อคลายตัว เนื่องจากการจำนวนของการส่งกระแสประสาทมายังเส้นใยกล้ามเนื้อลดลง

เมื่อผิวหนังสัมผัสกับความเย็นส่งผลให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดแต่เมื่อต้องสัมผัสกับความเย็นเป็นเวลานานขึ้น หลอดเลือดจะเปลี่ยนจากการหดตัวเป็นคลายตัวซึ่งส่งผลให้เพิ่มการไหลเวียนของเลือดมายังบริเวณนั้นมากขึ้น นอกจากนี้การให้ลำตัวสัมผัสกับความเย็นจะส่งผลให้อุณหภูมิแกนกลางลดลง และหากอุณหภูมิแกนกลางนี้ลดต่ำลง 1.9 องศาเซลเซียสหรือประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ การทำงานของกล้ามเนื้อ อวัยวะภายใน รวมทั้งการทำงานของต่อมไร้ท่อ นอกจากนี้การที่อุณหภูมิร่างกายลดลง ร่างกายจะเกิดการสั่น ซึ่งเป็นการตอบสนองแบบอัตโนมัติ โดยการหดตัวของกล้ามเนื้อนอกเหนืออำนาจจิตใจ (involuntary muscle contraction) ทำให้อัตราการเผาผลาญพลังงานและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับร่างกาย ดังนั้นหากต้องการผลของความเย็นในการลดอุณหภูมิเฉพาะที่ การให้ความเย็นที่ทำให้อุณหภูมิแกนกลางลดลงจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม

จากทฤษฎีทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เห็นได้ว่าการแข่งขันกีฬาเทควันโดนั้นมีลักษณะและรูปแบบการแข่งขันที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์พลังงานจากระบบแอนแอโรบิคแลคติกเป็นหลัก หากร่างกายไม่สามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อให้อยู่ในระดับปกติในช่วงเวลาพักระหว่างการแข่งขันที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกมากขึ้นนำไปสู่ภาวะความเมื่อยล้ากล้ามเนื้อของนักกีฬา และส่งผลกระทบต่อการแข่งขันได้

แม้ว่าร่างกายจะมีกลไกในการกำจัดกรดแลคติกที่สะสมขณะออกกำลังกายได้ขณะพักแต่ต้องใช้เวลานานจนกว่าระดับกรดแลคติกจะลดลงเท่ากับขณะพัก ส่วนการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากเลือดและกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าแต่ระหว่างการออกกำลังกายนี้ ร่างกายยังคงต้องการใช้พลังงานส่วนหนึ่งสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อการเคลื่อนไหวในช่วงพักฟื้นต่อไป ส่งผลทำให้ระดับกลูโคสและอินซูลินในเลือดลดลงขณะที่ระดับของแคทีโคลามีนในเลือดสูงขึ้นซึ่งทำให้ร่างกายสังเคราะห์ไกลโคเจนลดลงตามไปด้วยจึงไม่เหมาะสมกับกีฬาเทควันโดที่นักกีฬาต้องทำการแข่งขันหลายรอบในหนึ่งวันเนื่องจากร่างกายจำเป็นต้องสะสมพลังงานสำหรับการแข่งขันในรอบต่อไปให้ได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงวิธีต่างๆ รวมทั้งการใช้ความเย็น

การใช้ความเย็นเป็นวิธีหนึ่งในการกระตุ้นให้นักกีฬาฟื้นตัวจากความล้าโดยไม่กระทบต่อการสะสมพลังงานในช่วงพักฟื้น นอกจากนี้การที่ร่างกายได้รับความเย็นส่งผลในการลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกาย ทำให้ช่วยลดการสะสมความร้อนขณะออกกำลังกาย รวมทั้งลดการสะสมปริมาณกรดแลคติกในเลือดและเพิ่มความสามารถในการออกกำลังกาย แต่การศึกษาที่ผ่านมาพบว่ายังขาดความชัดเจนในส่วนของการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกอย่างกีฬาเทควันโด รวมทั้งยังไม่พบการศึกษาความแตกต่างของการให้ความเย็นที่ส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายที่มีต่อประสิทธิภาพในการลดระดับกรดแลคติกในเลือดภายหลังการออกกำลังกาย เนื่องจากกีฬาเทควันโดเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยการเคลื่อนไหวของแขนและขาเป็นสำคัญทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อส่วนปลายเป็นอันมาก และงานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาถึงตำแหน่งของร่างกายที่รับความเย็นที่มีต่อความสามารถในการลดระดับกรดแลคติกในเลือดภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการให้ความเย็นที่ส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติก

ในเลือดของนักกีฬาเทควันโดชายเพื่อประโยชน์ในการเร่งการฟื้นตัวภายหลังการแข่งขันกีฬาเทควันโดทั้งในระดับชาติและนานาชาติต่อไป

# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

1. เสื้อที่ทำจากผ้าขนหนู

2. ปลอกแขน และปลอกขาที่ทำจากผ้าขนหนู

3. เป้าเตะลิ้นคู่ ยี่ห้อ Adidas

4. นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Casio ประเทศญี่ปุ่น

5. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ ยี่ห้อ Polar รุ่น 90440 ประเทศฟินแลนด์

6. เครื่องวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ยี่ห้อ Accutrend และแผ่นวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ยี่ห้อ BM lactate ประเทศเยอรมนี

7. เข็มเจาะเลือด ยี่ห้อ Fine Point Lancets ประเทศสหรัฐอเมริกา

8. เครื่องวัดอุณหภูมิทางหู ยี่ห้อ Microlife Infrared Thermometer #1DA1 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

9. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

10. สำลี แอลกอฮอล์ และถุงมือยาง

11. กระติกน้ำแข็ง

# วิธีการ

## กลุ่มประชากร

กลุ่มประชากรเป็นนักกีฬาเทควันโด สังกัดชมรมเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพศชาย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 22 คน

## กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาจากการสุ่มจากกลุ่มประชากรที่มีสุขภาพดี ไม่มีการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการทำวิจัย โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่ายด้วยวิธีการจับฉลากได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ลงนามยินยอมเข้าร่วมการวิจัยและให้ความร่วมมือได้ตลอดจนสิ้นสุดการวิจัย

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษารายละเอียดรวบรวมข้อมูลในการทำวิจัยจากทฤษฎีและหลักการจากเอกสาร ตำรา งานวิจัย และผู้เชี่ยวชาญ

2. ศึกษารายละเอียดวิธีการใช้เครื่องมือละรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องมือที่ต้องสร้างเพิ่มเติมทั้งในทางปฏิบัติ และทางเทคนิค

3. สำรวจความพร้อมของนักเทควันโด และทดสอบเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

4. ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อติดต่ออาจารย์ที่ปรึกษาชมรมเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และขอความอนุเคราะห์การใช้สถานที่ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. จัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง พร้อมทั้งชี้แจงขั้นตอน และวิธีการแก่ผู้เข้ารับการทดลอง

**การดำเนินการเก็บข้อมูล**

1. ผู้เข้ารับการทดลองลงนามยินยอมเข้ารับการทดลอง

2. ผู้เข้ารับการทดลองนั่งพักเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบันทึกอัตราการเต้นหัวใจ อุณหภูมิแกนกลางโดยวิธีการวัดอุณหภูมิทางหู (ภาคผนวก ค) ระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE) (ภาคผนวก ง) และระดับความรู้สึก (Feeling scale) (ภาคผนวก จ) และเจาะเลือดที่ปลายนิ้วของผู้เข้ารับการทดลองเพื่อวัดระดับกรดแลคติกในเลือด (ภาคผนวก ข)

3. ผู้เข้ารับการทดลองอบอุ่นร่างกายแล้วออกกำลังกายตามโปรแกรมการเตะตวัด (round kick) (ภาคผนวก ก) จากนั้นบันทึกอัตราการเต้นหัวใจ อุณหภูมิแกนกลาง ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึกหลังออกกำลังกายทันที และเจาะเลือดบริเวณปลายนิ้วของผู้เข้ารับการทดลองเพื่อวัดระดับกรดแลคติกในเลือดหลังการออกกำลังกาย 5 นาที

4. ภายหลังออกกำลังกายตามโปรแกรมการเตะตวัด ผู้เข้ารับการทดลองปฏิบัติตามวิธีการทดลองด้วยวิธีการจับฉลากวิธีการทดลองใดวิธีหนึ่งใน 3 วิธี ดังต่อไปนี้

วิธีการที่ 1 การนั่งพัก เป็นเวลา 15 นาที

วิธีการที่ 2 การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการใส่เสื้อที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนูที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรตัดเป็นเสื้อแขนกุดความยาว 72 เซนติเมตร และสามารถปรับความกว้างให้เหมาะสมกับผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคน จากนั้นนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีแล้วใส่ที่ลำตัวของผู้เข้ารับการทดลอง โดยใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที จนครบ 15 นาที (ภาคผนวก ฉ)

วิธีการที่ 3 การให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการใส่ปลอกแขน-ขาที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนูที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นปลอกแขน

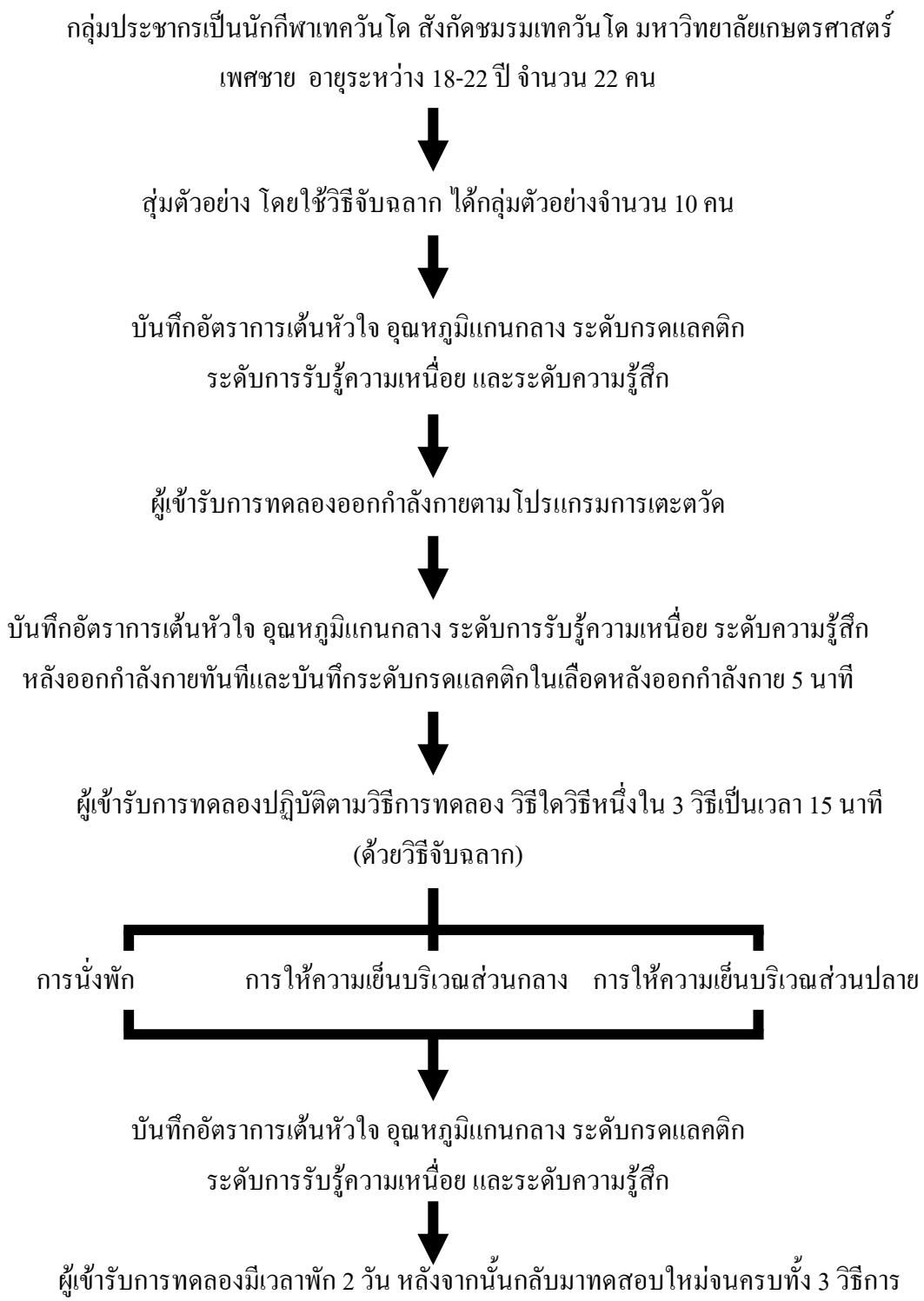
ความยาว 64 เซนติเมตร และปลอกขาความยาว 75 เซนติเมตร ปลอกแขนและปลอกขานี้สามารถปรับความกว้างให้เหมาะสมกับรูปร่างของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนเพื่อให้ผ้าแนบกับผิวหนังตลอดระยะเวลาที่ใส่ จากนั้นนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปใส่ที่แขนและขาทั้ง 2 ข้าง โดยใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที จนครบ 15 นาที (ภาคผนวก ช)

จากนั้นบันทึกอัตราการเต้นหัวใจ อุณหภูมิแกนกลาง ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และระดับความรู้สึก และเจาะเลือดที่ปลายนิ้วของผู้เข้ารับการทดลองเพื่อวัดระดับกรดแลคติกในเลือดภายหลังปฏิบัติตามวิธีการทดลองเป็นเวลา 15 นาที

5. หลังจากการทดสอบในครั้งที่ 1 แล้ว ผู้เข้ารับการทดลองมีเวลาพักอย่างน้อย 2 วัน หลังจากนั้นผู้เข้ารับการทดลองจะกลับมาทดสอบใหม่จนครบทั้ง 3 วิธีการ โดยปฏิบัติตามข้อ 1-4 (วิธีการทดลองที่ผู้เข้ารับการทดลองได้รับแต่ละครั้งนั้นได้มาจากการจับฉลากวิธีการทดลอง ซึ่งวิธีการทดลองที่ผู้เข้ารับการทดลองได้รับแต่ละครั้งไม่ตรงกับที่เคยปฏิบัติไปแล้ว)

6. การทดสอบทุกครั้งจะต้องมีการบันทึกอุณหภูมิในห้องและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่ทำการทดสอบ

**การดำเนินการเก็บข้อมูล**




**ภาพที่ 2** แสดงขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

**การใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล**

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูงของผู้เข้ารับการทดลอง

2. คำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) ของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิร่างกาย ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที

3. วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการวัดซ้ำสองมิติ (repeated measures in two dimensional design) โดยใช้สถิติ Two-way analysis of variance with repeated เพื่อทดสอบผลที่เกิดการมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างวิธีการทั้ง 3 วิธีการกับช่วงเวลาการทดสอบที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด โดยทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ถ้าไม่มีปฏิสัมพันธ์กันให้ทำการอ่านค่า P จากตารางเพื่อดูความแตกต่างระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธีการและช่วงเวลาการทดสอบ แต่ถ้าผลการทดสอบพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันให้ทำการทดสอบดังนี้

3.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการวัดซ้ำมิติเดียว (repeated measures in one - dimensional design) โดยใช้สถิติ One-way analysis of variance with repeated เพื่อทดสอบความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลางและอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 โดยทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.2 เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของระดับกรดแลคติกในเลือดโดยวิธีการของ Tukey ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการวัดซ้ำมิติเดียว (repeated measures in one dimensional design) โดยใช้สถิติ One-way analysis of variance with repeated เพื่อทดสอบความ

แตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างทั้ง 3 วิธีการ โดยทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธีการ โดยวิธีการของ Tukey ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

6. เปรียบเทียบความแตกต่างของระดับความเหนื่อย และระดับความรู้สึกระหว่างวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## สถานที่ และระยะเวลาในการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้สนามกีฬาเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน โดยใช้ระยะเวลาการทำวิจัย ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึง เดือนธันวาคม 2551

## ประโยชน์ที่จะได้รับ

ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์สำหรับนักกีฬาเทควันโดที่จะนำไปใช้ในการลดความเมื่อยล้า ภายหลังการแข่งขันแต่ละรอบซึ่งมีช่วงระยะเวลาในการพักสั้น เพื่อให้ประสิทธิภาพการแข่งขันในรอบต่อไปสามารถทำได้เต็มที่

## แหล่งทุนสนับสนุน

แหล่งทุนสนับสนุนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ ทุนส่วนตัว

# ผลและวิจารณ์

## ผล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้รูปแบบการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย และการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังการออกกำลังกายตามโปรแกรมเตะตวัด ซึ่งมีท่าเตะตวัดเป็นท่าหลักในการทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการแข่งขันและกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกายให้อยู่ในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด

ผู้เข้ารับการทดลองเป็นนักกีฬาเทควันโด เพศชาย สังกัดชมรมกีฬาเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อายุ 18-22 ปี จำนวน 10 คน ผู้เข้ารับการทดลองได้มาจากการสุ่มอย่างง่ายจากกลุ่มประชากรที่มีสุขภาพดี ไม่มีการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการทำวิจัยและมีการแจกแจงเป็นโค้งปกติ ผู้เข้ารับการทดลองได้ลงนามการยินยอมและให้ความร่วมมือได้ตลอดจนสิ้นสุดการวิจัย ผู้เข้ารับการทดลองทุกคนจะได้รับการเข้าร่วมการทดลองครบทั้ง 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีการที่ 1 การนั่งพัก วิธีการที่ 2 การให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย และวิธีการที่ 3 การให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย วิธีการให้ความเย็นโดยใช้ผ้าขนหนูนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียสและใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที ซ้ำ 3 ครั้ง จนครบ 15 นาที และการเข้ารับการทดลองแต่ละวิธีการนั้นจะห่างอย่างน้อย 2 วัน นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างจะต้องงดซ้อมและงดออกกำลังกายในช่วง 2 วันก่อนการทดลองทุกครั้งเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของรูปแบบการให้ความเย็นภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อความล้าในนักกีฬาเทควันโดเพศชาย ทำการบันทึกระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับการรับรู้ความเหนื่อยและระดับความรู้สึกในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองภายในสนามกีฬาเทควันโด ของชมรมกีฬาเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่ทดสอบทุกครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอุณหภูมิห้องเท่ากับ 31.4 และ 0.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 66 และ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov one sample test พบว่าระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกาย ของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบโค้งปกติ (ตารางผนวกที่ ฌ1, ฌ2 และ ฌ3) และผลการวิจัยที่ได้นำเสนอในรูปแบบของตารางประกอบความเรียง โดยแบ่งเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจ ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี

ตอนที่ 3 ความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี

ตอนที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของระดับการรับรู้ความเหนื่อย (rating of perceived exertion; RPE) และระดับความรู้สึก (Feeling scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี

**ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง**

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของนักกีฬาเทควันโดเพศชาย แสดงด้วยค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของกลุ่มตัวอย่าง

| รายการ | $\overline{X}$ | S.E. |
|---|---|---|
| อายุ (ปี) | 18.90 | 0.23 |
| น้ำหนัก (กิโลกรัม) | 72.70 | 3.93 |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร) | 173.70 | 2.52 |

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่านักกีฬาเทควันโดเพศชาย มีค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอายุเท่ากับ 18.90 และ 0.23 ปี ตามลำดับ น้ำหนัก 72.70 และ 3.93 กิโลกรัม ตามลำดับ และส่วนสูง เท่ากับ 173.70 และ 2.52 เซนติเมตร ตามลำดับ

**ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี**

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\overline{X} \pm$ S.E.) ของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลาย

| วิธีการทดลอง | ก่อนออกกำลังกาย | หลังออกกำลังกาย | หลังพักฟื้น 15 นาที |
|---|---|---|---|
| ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร) | | | |
| การนั่งพัก | $1.98 \pm 0.11$ | $9.01 \pm 0.20^{a}$ | $6.72 \pm 0.56^{b,c}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | $2.01 \pm 0.09$ | $10.30 \pm 0.45^{a}$ | $5.20 \pm 0.45^{b,c}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | $2.04 \pm 0.07$ | $9.41 \pm 0.59^{a}$ | $4.51 \pm 0.46^{b,c,\#}$ |
| อุณหภูมิแกนกลางร่างกาย (องศาเซลเซียส) | | | |
| การนั่งพัก | $36.88 \pm 0.84$ | $37.39 \pm 0.14^{a}$ | $37.43 \pm 0.14^{b}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | $37.11 \pm 0.13$ | $37.60 \pm 0.09^{a}$ | $37.12 \pm 0.12^{c}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | $37.08 \pm 0.11$ | $37.43 \pm 0.15^{a}$ | $37.02 \pm 0.12^{c}$ |

**ตารางที่ 3 (ต่อ)**

| วิธีการทดลอง | ก่อนออกกำลังกาย | หลังออกกำลังกาย | หลังพักฟื้น 15 นาที |
|---|---|---|---|
| อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | | | |
| การนั่งพัก | $85.40 \pm 2.26$ | $180.40 \pm 0.69^{a}$ | $111.30 \pm 3.02^{b,c}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | $85.20 \pm 2.76$ | $179.10 \pm 0.96^{a}$ | $97.00 \pm 4.02^{b,c,\#}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | $92.50 \pm 2.76$ | $179.90 \pm 0.64^{a}$ | $107.30 \pm 2.96^{b,c}$ |

**หมายเหตุ** # มีความแตกต่างจากการนั่งพัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

a ค่าเฉลี่ยหลังออกกำลังกายแตกต่างจากค่าเฉลี่ยก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

b ค่าเฉลี่ยหลังพักฟื้น 15 นาทีแตกต่างจากค่าเฉลี่ยก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

c ค่าเฉลี่ยหลังจากพักฟื้น 15 นาทีแตกต่างจากค่าเฉลี่ยหลังออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

หลังจากการทดสอบครบทั้ง 3 วิธีการได้แก่ การนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\overline{X} \pm$ S.E.) ของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที แสดงในตารางที่ 3 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการวัดซ้ำสองมิติโดยใช้สถิติ Two-way analysis of variance with repeated พบการมีปฏิสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธีกับช่วงเวลาการทดสอบ (ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที) ที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ภาคผนวกที่ ฌ4)

จากนั้นจึงทดสอบความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการวัดซ้ำมิติเดียวโดยใช้สถิติ One-way analysis of

variance with repeated พบว่ามีความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจภายในกลุ่มของทั้ง 3 วิธีการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ5, ฌ7 และ ฌ9 ตามลำดับ)

วิธีการทดลองโดยการนั่งพักในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีมีค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ5, ฌ8 และ ฌ11 ตามลำดับ) โดยค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงหลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ7, ฌ10 และ ฌ13 ตามลำดับ) และค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ7 และ ฌ13 ตามลำดับ) ส่วนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที (ตารางผนวกที่ ฌ10)

วิธีการทดลองโดยการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย (central body cooling) มีค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ5 และ ฌ11 ตามลำดับ) โดยค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงหลังออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ7 และ ฌ13 ตามลำดับ) ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ7, ฌ10 และ ฌ13 ตามลำดับ) ส่วนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังออกกำลังกายมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ8) โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ11) แต่ไม่พบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางระหว่างช่วงก่อนออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ8)

วิธีการทดลองโดยการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย (peripheral body cooling) มีค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ5 และ ฌ11 ตามลำดับ) โดยค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงหลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ7 และ ฌ13 ตามลำดับ) ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ7 และ ฌ13 ตามลำดับ) ส่วนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังออกกำลังกายมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ8) โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ11)

**ตอนที่ 3 ความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี**

**ตารางที่ 4** ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ของค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ระหว่างวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายโดยวิธีของ Tukey

| ตัวแปร | วิธีการ | การนั่งพัก | การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย |
|---|---|---|---|---|
| ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร) | การนั่งพัก | - | 1.52 | 2.21* |
| | การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | | - | 0.69 |
| | การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | | | - |
| อุณหภูมิแกนกลาง (องศาเซลเซียส) | การนั่งพัก | - | 0.31 | 0.41 |
| | การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | | - | 0.1 |
| | การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | | | - |
| อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | การนั่งพัก | - | 14.3* | 4 |
| | การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | | - | 10.3 |
| | การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | | | - |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการวัดซ้ำมิติเดียว (repeated measures in one dimensional design) โดยใช้สถิติ One-way analysis of variance with repeated เพื่อทดสอบความแตกต่างของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลางและอัตราการเต้นหัวใจก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีระหว่างวิธีการทดลอง 3 วิธีการได้แก่ การนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายพบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายระหว่าง 3 วิธีการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

(ตารางผนวกที่ ฌ6, ฌ9 และ ฌ12 ตามลำดับ) นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ระหว่างวิธีการทั้ง 3 เช่นกัน (ตารางผนวกที่ ฌ9) ขณะที่ระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ระหว่างวิธีการทั้ง 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ6 และ ฌ12 ตามลำดับ) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยวิธีการของ Tukey ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า

ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีระหว่างวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายมีค่าต่ำกว่าการนั่งพัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ9) แต่สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกนกลางระหว่างการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย โดยอุณหภูมิแกนกลางหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายมีแนวโน้มต่ำกว่าการนั่งพัก และการให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกาย

สำหรับค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยวิธีการระหว่างการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ12) โดยค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจในช่วงหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกายต่ำกว่าการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตอนที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของระดับการรับรู้ความเหนื่อย (rating of perceived exertion; RPE) และระดับความรู้สึก (Feeling scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี**

**ตารางที่ 5** แสดงค่าฐานนิยมของระดับการรับรู้ความเหนื่อย (rating of perceived exertion; RPE) และระดับความรู้สึก (Feeling scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี

| วิธีการทดลอง | ก่อนออกกำลังกาย | หลังออกกำลังกาย | หลังพักฟื้น 15 นาที |
|---|---|---|---|
| ระดับการรับรู้ความเหนื่อย | | | |
| การนั่งพัก | 0 | $8^{a}$ | $3^{b}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | 0 | $8^{a}$ | $0^{b,\#}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | 0 | $7^{a}$ | $0^{b,\#}$ |
| ระดับความรู้สึก | | | |
| การนั่งพัก | 0 | $-2^{a}$ | $-2^{b}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง | 0 | $-1^{a}$ | $2^{b,\#}$ |
| การให้ความเย็นที่ส่วนปลาย | 0 | $-1^{a}$ | $1^{b,\#}$ |

**หมายเหตุ** # มีความแตกต่างกันจากการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

a มีความแตกต่างกันจากก่อนออกกำลังกาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

b มีความแตกต่างกันจากหลังออกกำลังกาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

การบันทึกระดับการรับรู้ความเหนื่อยโดยใช้หลักการของ The Borg CR10 scale มีค่าตั้งแต่ 0 คือไม่รู้สึกอะไรเลย จนถึง 10 คือหนักมากๆ ระดับการรับรู้ความเหนื่อย ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี แสดงในตารางที่ 5 พบว่าระดับการรับรู้ความเหนื่อยก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ตารางผนวกที่ ฌ14) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 ของระดับการรับรู้ความเหนื่อยก่อนออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกายระหว่างวิธีการทั้ง 3 วิธี (ตารางผนวกที่ ฌ15) ในขณะที่ระดับการรับรู้ความเหนื่อยหลังพักฟื้นด้วยการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความ

เย็นที่ส่วนปลาย เป็นเวลา 15 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ตารางผนวกที่ ฌ15)

สำหรับระดับความรู้สึก (Feeling scale) ใช้หลักการของ Hardy และ Rejeski (1989) มีค่าตั้งแต่ -5 ถึง +5 (+5 คือดีมาก +3 คือดี +1 คือดีเล็กน้อย 0 คือธรรมดา -1 คือแย่เล็กน้อย -3 คือแย่ และ -5 คือแย่มาก) วัดระดับความรู้สึกก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที ของวิธีการทดลอง 3 วิธี แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ระดับความรู้สึกก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายและหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ตารางผนวกที่ ฌ16) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ตารางผนวกที่ ฌ17) ของระดับความรู้สึกก่อนออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายระหว่างวิธีการทั้ง 3 วิธี ในขณะที่ระดับความรู้สึกหลังพักฟื้นด้วยการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลาย เป็นเวลา 15 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ตารางผนวกที่ ฌ17)

## วิจารณ์

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของการให้ความเย็นที่ส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด ของนักกีฬาเทควันโดชาย จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบการมีปฏิสัมพันธ์ของระดับกรดแลคติกในเลือดระหว่างวิธีการพักฟื้นตามวิธีการทดลอง 3 วิธี และระยะเวลาการทดลอง (ตารางผนวกที่ ฌ4) แสดงว่าระดับกรดแลคติกในเลือดที่วัดได้ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 มีความแตกต่างกัน โดยลักษณะการศึกษาวิจัยนั้นผู้วิจัยได้ให้ผู้เข้าร่วมทำการทดลองออกกำลังกายตามโปรแกรมเตะตวัดที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองการแข่งขันกีฬาเทควันโดที่มีลักษณะการแข่งทั้งหมด 3 ยก ยกละ 2 นาที และพักระหว่างยก 1 นาที และกำหนดความหนักในการออกกำลังกายที่ระดับ 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด จากผลการศึกษาพบว่าระดับกรดแลคติกในเลือด อุณภูมิแกนกลาง และอัตราการเต้นหัวใจก่อนและหลังการออกกำลังกายตามโปรแกรมเตะตวัดระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ6) แสดงว่าการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถกำหนดระดับความหนักของการออกกำลังกายที่ผู้เข้าร่วมการทดลองปฏิบัติได้เท่ากันทุกกลุ่ม

การเปลี่ยนแปลงของระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลางและอัตราการเต้นหัวใจระหว่างการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจภายหลังการออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าก่อนออกกำลังกายนั่นคือ โปรแกรมการเตะตวัดที่สร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบลักษณะการแข่งขันกีฬาเทควันโดนี้มีความหนักเพียงพอในการกระตุ้นการทำงานของระบบแอนแอโรบิก แลคติก ซึ่งการสร้างพลังงานจากระบบแอนแอโรบิก แลคติกนั้น เป็นการเผาผลาญกลูโคสผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสในภาวะขาดออกซิเจนทำให้พัยรูเวทถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกโดยผ่านการทำงานของเอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส (Hale, 2003) ดังนั้นการแข่งขันกีฬาและการออกกำลังกายในช่วงเวลาไม่เกิน 3 นาทีจะก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกทั้งในเลือดและกล้ามเนื้อ (Astrand, 2003) สอดคล้องกับ Bouhlel *et al*. (2006) ศึกษาอัตราการเต้นหัวใจ และปริมาณกรดแลคติกในเลือดขณะทำการแข่งขันเทควันโดพบว่า อัตราการเต้นหัวใจและปริมาณกรดแลคติกในเลือดระหว่างการแข่งขันมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละยก โดยเมื่อสิ้นสุดการแข่งขัน 3 ยก นักกีฬามีอัตราการเต้นหัวใจเท่ากับ 197 ครั้งต่อนาที และความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดเท่ากับ 10.2 มิลลิโมลต่อลิตร

เทควันโดเป็นกีฬาที่จัดอยู่ในหมวดของการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกที่มีความหนักสูง (high–strength anaerobic capacity exercise) ซึ่งประกอบด้วยช่วงเตะสลับกับฟุตเวอร์คส่งผลให้อัตราการเต้นหัวใจอาจสูงถึง 100% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและมีการสะสมกรดแลคติกสูงสุดถึงร้อยละ 81 ของระดับกรดแลคติกสูงสุด (81%Lamax) (Heller *et al*.,1998) สำหรับอัตราการเต้นหัวใจและระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับหลังจากหยุดออกกำลังกายตามโปรแกรมเตะตวัดทันที แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าอัตราการเต้นหัวใจ และระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในช่วงก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 3) ดังนั้นนักกีฬาจึงจำเป็นต้องมีระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันมากกว่า 15 นาทีจึงจะทำให้ร่างกายสามารถฟื้นสภาพเท่ากับขณะพักเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการแข่งขันในรอบต่อๆไป ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการแข่งขันกีฬาเทควันโดที่ตามปกติแล้วนักกีฬาจะต้องมีระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันอย่างน้อย 30 นาทีก่อนที่นักกีฬาจะทำการแข่งขันต่อไป

**การเปลี่ยนแปลงของระดับกรดแลคติกในเลือด**

สมมติฐานหลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ การให้ความเย็นที่ส่วนกลางร่างกายและการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายมีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดแตกต่างกัน ซึ่งจากการศึกษาวิจัยผลปรากฏว่าระดับกรดแลคติกในเลือดหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีโดยวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ ฌ6) โดยระดับกรดแลคติกในเลือดหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีโดยวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายร่างกายแตกต่างจากการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 3) และมีแนวโน้มต่ำกว่าวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลางร่างกาย (ตารางที่ 4) เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเย็นส่งผลให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดผิวหนังบริเวณที่สัมผัสกับความเย็นทำให้การไหลเวียนเลือดที่ผิวหนังลดลงซึ่งส่งผลให้มีปริมาณเลือดไปเลี้ยงบริเวณกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น โดยเลือดนี้จะนำพาเอาออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อมีจำนวนเพียงพอสำหรับการสร้างพลังงานจากกระบวนการออกซิเดชั่นโดยอาศัยการเปลี่ยนกรดแลคติกเป็นกรดพัยรูวิกเพื่อเป็นสารตั้งต้นในวัฏจักรเครปส์และสร้างเป็นพลังงานในการเคลื่อนไหวต่อไป ดังนั้นอัตราการเคลื่อนย้ายของกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อจึงเพิ่มขึ้นและช่วยลดการสะสมกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ (Marsh and Sleivert, 1999)

นอกจากนี้การสัมผัสกับความเย็นเป็นเวลานานหลอดเลือดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการหดตัวเป็นคลายตัว ทำให้การไหลเวียนของเลือดเพิ่มมากขึ้นเรียกว่า ฮันติ้ง เรสฟอนส์ (Hunting response) ประกอบกับวิธีการให้ความเย็นในงานวิจัยครั้งนี้มีลักษณะการให้ร่างกายสัมผัสความเย็นสลับกับอุณหภูมิปกติวิธีนี้เรียกว่า การรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็น (Contrast therapy) ซึ่งทำให้เกิดการหดตัวสลับกับการคลายตัวของหลอดเลือดจึงเป็นการเพิ่มการไหลเวียนเลือด (Knight, 1995) ให้กับกล้ามเนื้ออีกด้วยโดยช่วงที่เกิดการหดตัวของหลอดเลือดผิวหนังบริเวณที่สัมผัสกับความเย็นจะเป็นการเพิ่มการไหลเวียนเลือดภายในกล้ามเนื้อเกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างกล้ามเนื้อกับเลือดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการออกซิเดชั่นในวัฏจักรเครปส์เป็นพลังงานดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และในขณะที่ช่วงการคลายตัวของหลอดเลือดทำให้การไหลเวียนเลือดบริเวณผิวหนังมากขึ้นทำให้กรดแลคติกที่เหลือจากการออกซิไดซ์หรือไม่ได้รวมตัวกับออกซิเจนจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากเซลล์กล้ามเนื้อโดยแพร่เข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดเพื่อขับออกจากร่างกายทางเหงื่อ

ปัสสาวะ หรือนำไปเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนเพื่อสะสมไว้ใช้เป็นพลังงานต่อไป (พิชิต, 2535; ราตรี, 2548; Gladden, 2004)

Ingram *et al*. (2008) ยังสนับสนุนการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นในการฟื้นสภาพร่างกายหลังจากการออกกำลังกายเนื่องจากความเย็นช่วยลดการหดตัวสลับกับการคลายตัวของหลอดเลือดขณะที่ได้รับความร้อนสลับความเย็นนั้นทำให้เกิดการกำซาบของกล้ามเนื้อ (muscle perfusion) เรียกว่า ปั๊มปิ้ง เอฟเฟค (Pumping effect) ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกและของเสียอื่นๆ ออกจากกล้ามเนื้อที่ทำงาน สอดคล้องกับการศึกษาของ Morton (2007) พบว่าการใช้การรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นช่วยลดระดับกรดแลคติกในพลาสมาภายหลังออกกำลังกาย 1.8 มิลลิโมลต่อลิตรเมื่อเทียบกับการนอนพัก เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและผลของการไหลเวียนเลือดที่ช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในเลือดขณะที่กลไกการเกิดยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างชัดเจน

การศึกษาของ Coffey *et al*. (2004) ผลปรากฏว่าการออกกำลังกาย และการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นในช่วงพักฟื้นส่งผลในการลดระดับกรดแลคติกในเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการนั่งพัก ส่วน Hamlin (2007) พบว่าการพักฟื้นเป็นเวลา 6 นาที ด้วยวิธีการรักษาด้วยความร้อนสลับความเย็นภายหลังออกกำลังกายด้วยการวิ่งช่วยลดระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นหัวใจเมื่อเทียบกับการวิ่งเหยาะ ขณะที่ Wilcock (2005) การแช่ขาในน้ำเย็นอุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสถึงระดับก้น (gluteal fold) การปั่นจักยานตามด้วยการแช่ในน้ำเย็น และการนั่งพักในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 10 นาที ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนพลาสมาในเลือดและระดับความรู้สึกล้า

สำหรับรูปแบบการให้ความเย็นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้เข้ารับการทดลองได้รับความเย็นที่บริเวณส่วนกลางร่างกายโดยการใส่เสื้อที่ตัดจากผ้าขนหนูนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส และได้รับความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายโดยการใส่ปลอกแขน-ขาที่ตัดเย็บจากผ้าขนหนูนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที และพักในอุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 1 นาที ทั้งหมด 3 รอบ รวมใช้เวลาในกระบวนการทั้งหมด 15 นาที เนื่องจากการความเย็นเพื่อช่วยการลดระดับกรดแลคติกในเลือดและลดระดับความรู้สึกล้านั้นจะให้ผลดีต่อเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสความเย็นตั้งแต่ 15 นาทีขึ้นไป (Wilcock, 2005)

**การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกนกลาง**

อุณหภูมิแกนกลางหลังจากพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีโดยวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 3) โดยอุณหภูมิแกนกลางของวิธีการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายหลังออกกำลังกายมีค่าสูงกว่าช่วงก่อนออกกำลังกาย เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากขณะที่กล้ามเนื้อทำงานในการเคลื่อนไหวระหว่างที่มีการออกกำลังกายจะมีการผลิตความร้อนขึ้น ยิ่งออกกำลังกายหนัก กล้ามเนื้อทำงานมาก อุณหภูมิกายยิ่งเพิ่มขึ้น (สุพัตรา, 2544) และหากอุณหภูมิแกนกลางร่างกายเพิ่มสูงถึง 38.5 องศาเซลเซียสจะส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายในสภาวะอากาศร้อนและชื้น (Castle *et al*., 2006)

หลังจากที่ผู้เข้าร่วมการทดลองพักด้วยวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายเป็นเวลา 15 นาทีพบว่า อุณหภูมิแกนกลางในช่วงหลังพักฟื้นนั้นลดลงเมื่อเทียบกับหลังออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 3)โดยอุณหภูมิแกนกลางหลังจากพักด้วยวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาทีมีแนวโน้มต่ำกว่าวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลางแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 4) เพราะเมื่อผิวหนังสัมผัสกับความเย็นโดยตรงจากเสื้อหรือปลอกแขน-ขาที่ทำจากผ้าขนหนูแล้วนำไปแช่ในกระติกที่บรรจุน้ำและน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียส ความร้อนที่สะสมอยู่ในร่างกายสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยวิธีการนำความร้อนจากผิวหนังไปยังเสื้อหรือปลอกแขน-ขาโดยตรงแทนที่การระเหยของเหงื่อเพียงอย่างเดียว (ชูศักดิ์ และ กันยา ,2536; สุพัตรา, 2544; Willmore and Costill, 2004)

Peiffer *et al.* (2008) พบว่าการแช่ร่างกายในน้ำเย็นอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีภายหลังออกกำลังกายช่วยลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกายที่วัดได้ทางทวารหนัก 0.5 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับการนั่งพัก เมื่ออุณหภูมิแกนกลางลดต่ำลงร่างกายจะเกิดการตอบสนองโดยการสั่นซึ่งเป็นการกระตุ้นการไหลเวียนเลือดไปยังส่วนปลายของร่างกายอีกด้วย นอกจากนี้ Duffield *et al*. (2003) พบว่าการใส่เสื้อเย็น เป็นเวลา 5-10 นาที ระหว่างจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดทำให้อุณหภูมิผิวหนังบริเวณหน้าอกลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแกนกลาง ซึ่งอาจเป็นเพราะระยะเวลาที่ร่างกายสัมผัสกับความเย็นสั้นเพียง 5 นาที จึงทำให้ร่างกายไม่มีเวลา

เพียงพอสำหรับการระบายความร้อนออกจากร่างกายจึงทำให้อุณหภูมิแกนกลางที่วัดได้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแต่สอดคล้องกับการนำไปใช้ในสถานการณ์ของการแข่งขันกีฬาจริง

โดยการศึกษาเกี่ยวกับผลของการให้ความเย็นด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งการใส่เสื้อเย็นและการแช่ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในน้ำเย็นที่มีต่ออุณหภูมิร่างกายนั้นมักเป็นการใช้ความเย็นในช่วงก่อนออกกำลังกาย หรือขณะอบอุ่นร่างกายเรียกว่า พรีคูลลิ่ง (Precooling) ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยลดอุณหภูมิร่างกายเพื่อให้ร่างกายสามารถรับความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายได้มากยิ่งขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณการสะสมความร้อนของร่างกาย ช่วยลดอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายจึงทำให้นักกีฬาสามารถทนต่อการออกกำลังกายในสภาวะอากาศร้อนได้นานขึ้น (Marino, 2002) เนื่องจากขณะที่ร่างกายได้รับความเย็นทำให้การไหลเวียนเลือดบริเวณผิวหนังลดลงส่งผลในการเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการออกกำลังกายและไม่ควรให้กล้ามเนื้อที่ทำงานในการออกกำลังกายสัมผัสกับความเย็นโดยตรงเพราะจะทำให้ความสามารถลดลงในการทำงานของกล้ามเนื้อ (Duffield *et al*., 2003) แต่สำหรับการศึกษาของ Castle *et al*. (2006) กลับพบว่าการใช้ถุงน้ำแข็งวางลงบนต้นขาสามารถเพิ่มกำลังสูงสุดได้ 4 เปอร์เซ็นต์เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคสจากไกลโคเจนและการผลิตฟอสเฟต (phosphate production) เกิดได้เร็วขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นสาเหตุให้กล้ามเนื้อล้าเร็ว และกำลังเฉลี่ยของกล้ามเนื้อลดลง แต่สำหรับการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ความเย็นในช่วงพักฟื้นที่มีต่อความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ

**การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นหัวใจ**

อัตราการเต้นหัวใจหลังจากพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 3) โดยอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีด้วยวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลางร่างกายแตกต่างจากการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 3) และมีอัตราการเต้นหัวใจหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีต่ำกว่าวิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย (ตารางที่ 4) ซึ่งโดยปกติแล้วอัตราการเต้นหัวใจจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติผ่านการทำงานของระบบซิมพาเทติกและระบบพาราซิมพาเทติก (Westerlund *et al*. 2006) เมื่อร่างกายได้รับความเย็นเป็นการกระตุ้นของระบบซิมพาเทติกที่ส่วนปลายทำให้หลอดเลือดผิวหนังหดตัว ความ

ดันหลอดเลือดแดงเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุให้อาเตอเรียล บาโรรีเซปเตอร์ (arterial barorecepter) ส่งกระแสประสาทเพื่อให้ร่างกายมีการปรับตัวโดยการกระตุ้นการทำงานของระบบพาราซิมพาเทติกผ่านบาโรรีเฟลกซ์ (baroreflex) นี้ทำให้อัตราการเต้นหัวใจลดลง (Wilcock *et al*. 2006)

นอกจากนี้ผลของการหดตัวสลับกับการคลายตัวของหลอดเลือดทำให้ความเข้มข้นของแคททีโคลามีน พลาสม่า (catecholamine plasma) เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการหลั่งอะดรีนาลีน (adrenaline) ลดลงขณะที่หลั่งนอร์อะดรีนาลีน (noradrenalin) เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเต้นหัวใจลดลงอีกด้วย (Hamlin, 2007) สอดคล้องกับการศึกษาของ Schniepp *et al*. (2002) พบว่าหลังจากการแช่ร่างกายส่วนร่างกายในน้ำเย็น 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที สามารถลดอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดลง 8.1 เปอร์เซ็นต์ ลดอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยลง 4.2 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่าการให้ความเย็นที่ส่วนกลางร่างกายในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีช่วยลดอัตราการเต้นหัวใจลงเมื่อเทียบกับการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 4) เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการแช่ร่างกายในน้ำเย็นหรือการได้สัมผัสกับความเย็นนั้นช่วยลดอุณหภูมิบริเวณผิวหนังที่สัมผัสกับความเย็นส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเลือดที่ผิวหนังส่วนนั้นลดลงจึงเป็นเพิ่มอัตราการการไหลเวียนเลือดที่ส่วนกลางและส่งเลือดไปเลี้ยงที่กล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอหัวใจจึงไม่จำเป็นต้องบีบตัวเพื่อส่งเลือดไปยังกล้ามเนื้อทำงานทำให้ลดอัตราการเต้นหัวใจลง (Marsh and Sleivert, 1999) สอดคล้องกับ Beelen and Sargeant (1991) พบว่าความเย็นช่วยเพิ่มปริมาตรเลือดในการบีบตัวของหัวใจ 1 ครั้ง (stroke volume) และเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของออกซิเจนภายในเนื้อเยื่อ เป็นผลให้อัตราการเต้นหัวใจลดลง 7 ครั้งต่อนาที เมื่ออุณหภูมิเลือดลดลง 1 องศาเซลเซียส

**การเปลี่ยนแปลงทางด้านจิตวิทยา**

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาในขณะออกกำลังกาย การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการออกกำลังกาย และการทดสอบสมรรถภาพทางกายมักใช้การวัดรับการรับรู้ความเหนื่อยเพื่อวัดความรู้สึก “อะไร” ที่เกิดขึ้นระหว่างออกกำลังกายโดยไม่คำนึงถึงการวัดความรู้สึก “อย่างไร” จึงเป็นการจำกัดข้อมูลที่จะได้รับ (Hardy and Rejeski, 1989) ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้ทั้งการวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อยและการวัดระดับความรู้สึกเพื่อศึกษาผลของการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง

ทางด้านจิตวิทยา สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้การวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อยเป็นตัวแปรหนึ่งในการควบคุมความหนักในการออกกำลังกายตามโปรแกรมเตะตวัด จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างของระดับการรับรู้ความเหนื่อยในช่วงก่อนออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายระหว่างวิธีการทั้ง 3 วิธี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ภาคผนวก ฌ15) นั่นหมายถึงผู้เข้ารับการทดลองปฏิบัติตามโปรแกรมเตะตวัดด้วยระดับความหนักที่ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีการทดลอง

ระดับการรับรู้ความความเหนื่อยและระดับความรู้สึกในช่วงหลังพักฟื้นระหว่างการนั่งพัก การให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลาย เป็นเวลา 15 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่าการให้ความเย็นที่ส่วนกลางและการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายในช่วงพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาทีสามารถลดระดับความเหนื่อยลงจาก 7-8 ในช่วงหลังจากออกกำลังกายเป็น 0 ในขณะที่การนั่งพักนั้นสามารถลดระดับความเหนื่อยได้เพียง 3 เท่านั้น และระดับความรู้สึกนั้นเป็นในแนวทางเดียวกันโดยการให้ความเย็นทั้ง 2 วิธีนั้นสามารถช่วยให้ผู้เข้ารับการทดลองรู้สึกดีและสดชื่นขึ้นเมื่อร่างกายได้ความเย็นภายหลังจากออกกำลังกาย สอดคล้องกับการศึกษาของ Acevedo and Gill (1996) พบว่าระดับความรู้สึกและระดับการรับรู้ความเหนื่อยระหว่างออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกัน โดยระดับการรับรู้ความเหนื่อยมีค่าลดลงเมื่อระดับความรู้สึกเพิ่มขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการได้รับความเย็นนั้นทำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดบริเวณผิวหนัง ร่างกายจึงมีกลไกการปรับตัวโดยการลดการทำงานของระบบซิมพาเทติก และมีรายงานว่านักกีฬาที่ได้รับความเย็นภายหลังการฝึกซ้อมหรือภายหลังการแข่งขันนั้นมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลงและรู้สึกสดชื่น (Cochrane, 2004)

Castle *et al*. (2005) พบว่าการใส่เสื้อเย็นนั้นสามารถช่วยในการเร่งระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ดีจึงช่วยลดความรู้สึกล้าที่เกิดจากการสะสมความร้อน (systemic level) ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ ขณะที่การแช่ร่างกายในน้ำนั้นส่งผลเสียมากกว่าผลดี เนื่องจากการให้ผิวหนังได้สัมผัสกับความเย็นเป็นบริเวณกว้างนั้นเป็นการกระตุ้นตัวรับอุณหภูมิที่ส่วนกลางและที่ผิวหนัง (thermosensor) ก่อให้เกิดการกระตุ้นอินซูลาร์ คอร์เทกซ์ (insular cortex) ให้เกิดความรู้สึกเจ็บปวดและลดความสามารถในการออกกำลังกาย สอดคล้องกับการศึกษา Crewe *et al.* (2008) พบว่าการที่ร่างกายมีการสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ระดับการรับรู้ความเหนื่อยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสมองทำการประมวลการรับรู้ความรู้สึกถึงความเหนื่อยจากตัวรับอุณหภูมิและระดับความหนักของการออกกำลังกายเพื่อตัดสินว่าเมื่อไหร่ร่างกายมีความล้าเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อยไม่ใช่ตัววัดการเปลี่ยนแปลงทางด้าน

สรีรวิทยา แต่การวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อยเป็นกุญแจสำคัญของการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ (regulatory system) ที่ได้รับข้อมูลจากอุณหภูมิผิวหนังและอัตราการสะสมความร้อนในร่างกายอีกด้วย

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้รูปแบบการให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกาย และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังการออกกำลังกายตามโปรแกรมเตะตวัด (round kick) มีท่าเตะตวัดเป็นท่าหลักในการทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการแข่งขันและกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกายให้อยู่ในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทควันโด เพศชาย สังกัดชมรมเทควันโด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อายุ 18-22 ปี จำนวน 10 คน กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัยโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย ทำการทดลองแบบ cross over design โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับการเข้าร่วมการทดลองครบทั้ง 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีการที่ 1 การนั่งพัก วิธีการที่ 2 การให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกาย และวิธีการที่ 3 การให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย วิธีการให้ความเย็นโดยใช้ผ้าขนหนูนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียสและใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที ซ้ำ 3 ครั้ง จนครบ 15 นาที และการเข้ารับการทดลองแต่ละวิธีการนั้นจะห่างอย่างน้อย 2 วัน นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างจะต้องงดซ้อมและงดออกกำลังกายในช่วง 2 วันก่อนการทดลองทุกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของรูปแบบการให้ความเย็นภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อความล้าในนักกีฬาเทควันโดเพศชาย ทำการบันทึกระดับกรดแลคติกในเลือด อุณหภูมิแกนกลาง อัตราการเต้นหัวใจ ระดับความเหนื่อยและระดับความรู้สึก ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้นเป็นเวลา 15 นาที นอกจากนี้ทำการบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่ทดสอบทุกครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอุณหภูมิห้องเท่ากับ 31.4 และ 0.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 66 และ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

การใช้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกายสามารถลดระดับกรดแลคติกในเลือดเมื่อเทียบกับการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่การใช้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกายช่วยลดอัตราการเต้นหัวใจเมื่อเทียบกับการนั่งพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นกัน โดยการให้ความเย็นทั้งสองวิธีนั้นส่งผลต่ออุณหภูมิแกนกลางร่างกายไม่แตกต่างกัน ผลการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์ในการเลือกวิธีการที่สามารถช่วยลดระดับกรดแลคติกในเลือดที่

เป็นสาเหตุหนึ่งก่อให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อและส่งผลในการเพิ่มความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขันกีฬาเทควันโด เพื่อแนะนำให้แก่นักกีฬาและผู้ฝึกสอนในการเลือกใช้ความเย็นเพื่อลดความเมื่อยล้าระหว่างการแข่งขันและการฝึกซ้อมได้

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัยครั้งนี้

1. การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวัดระดับกรดแลคติกในเลือดด้วยวิธีการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วของผู้เข้ารับการทดลองซึ่งเป็นส่วนปลายของร่างกาย ดังนั้นการใช้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายจึงอาจส่งผลต่อการลดระดับกรดแลคติกในเลือดได้ดีกว่า สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปจึงเสนอแนะการวัดระดับกรดแลคติกในเลือดจากบริเวณส่วนกลางของร่างกาย

2. การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมการเตะตวัดในการออกกำลังกายซึ่งมีการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างโดยเฉพาะขาทำให้กรดแลคติกที่เกิดขึ้นนั้นมาจากกล้ามเนื้อขาเป็นหลัก ดังนั้นการใช้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายจึงอาจส่งผลต่อการระดับกรดแลคติกได้ดี

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ผู้วิจัยเสนอแนะการศึกษาผลของการใช้ความเย็นที่บริเวณส่วนกลางและส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกกำลังกายที่มีสมรรถภาพทางกายและทักษะในรูปแบบด้านต่างๆที่สอดคล้องกับการแข่งขันกีฬาเทควันโด

2. ผู้วิจัยแสนอแนะการศึกษาผลของการใช้ความเย็นทั้งร่างกายรวมทั้งการใช้ความเย็นด้วยวิธีอื่นๆ ภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด

# เอกสารและสิ่งอ้างอิง


กรมพลศึกษา. 2543. **กติกาการแข่งขันเทควันโดสากล.** ม.ป.ท.

กันยา ปาละวิวัธน์. 2543**. การรักษาด้วยคลื่นไฟฟ้าทางกายภาพบำบัด.** เดอะบุคส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

คมกฤช ไกรนรา. 2549. **ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพทางกายกับจำนวนครั้งของการเตะท่าตวัดภายใน 30 วินาที ในนักกีฬาเทควันโดชาย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จีรศักดิ์ นพคุณ. 2527. **สรีรวิทยาคลินิกขั้นพื้นฐาน.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัธน์. 2536**. สรีรวิทยาการออกกำลังกาย.** ธรรกมลการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

พิชิต ภูติจันทร์. 2539. **สรีรวิทยาการออกกำลังกาย.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ภาคภูมิ โชคทวีพาณิชย์. 2548. **ผลของอุณหภูมิเย็นที่มีต่อเวลาฟื้นตัวของอัตราการเต้นหัวใจและระดับกรดแลคติกในเลือดภายหลังการออกกำลังกาย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มานพ โลหิตโยธิน. 2539. **ผลของความเย็นที่มีต่อระยะเวลาในการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราตรี เรืองไทย. 2548. **สรีรวิทยาการออกกำลังกายขั้นสูง.** (เอกสารประกอบการเรียน). คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิรุฬห์ เหล่าภัทรเกษม. 2537. **กีฬาเวชศาสตร์.** พี.บี. ฟอเรน บุคส์ เซนเตอร์, กรุงเทพฯ.

วัยวุฒิ นิมมิตร. 2549. **ผลของการฝึกความคล่องตัวและการฝึกพลังกล้ามเนื้อที่มีต่ออัตราเร็วในการเตะท่าราวนด์คิกของกีฬาเทควันโด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุพัตรา โล่สิริวัฒน์. 2544. อุณหภูมิกาย, น. 566-579. ใน สุพรพิมพ์ เจียสกุล และ คณะ, บรรณาธิการ. **สรีรวิทยา 2.** ครั้งที่พิมพ์ 4. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สุพิตร สมาหิโต. 2538. **จิตวิทยาการกีฬากับโค้ช.** คณะศึกษาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สนธยา สีละมาด. 2547. **หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Acevedo, E.O. and D.L. Gill. 1996. Affect and perceived exertion during a two hour run. **International Journal of Sport Psychology.** 27: 286-292

Arngrı´msson, S.A., D.S. Petitt, M.G. Stueck, D.K. Jorgensen and K. J. Cureton. 2004. Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. **J Appl Physiol.** 96: 1867-1874.

Astrand, P.O., K. Rodahl, H.A. Dahl and S.B. Stromme. 2003. **Textbook of work physiology: physiological bases of exercise.** 4th ed. Human Kinetics book, Canada.

Aziz,A.R., B. Tan and K.C. 2002. The physiological responds during matches and profile of elite PENCAK SILAT exponents. **Journal of Sports Science and Medicine.** 1: 147-155.

Beelen, A. and A. J. Sargeant. 1991. Effect of Lowered muscle temperature on the physiological response to exercise in men**. Eur J Appl Physiol.** 63: 387-392.

Booth, J., B.R. Wilsmore, A.D. Macdonald, A. Zeyl, S. Mcghee, D. Calvert and F.E. Marino. 2001. Whole body precooling does not alter human metabolism during submaximal exercise in heat. **Eur J Appl Physiol.** 84: 587-590.

Borg, G. 2004. **The Borg CR10 Scale® Folder. A Method for measuring intensity of experience.** Available Source: http://ffy.inforce.dk/graphics/PDF-filer/Maaleredskaber/CR10folder_eng_050704.pdf, March 31, 2009.

Bouhlel. E., A. Jouini, N. Gmada, A. Nefzi, K.B. Abdallah and Z. Tabka. 2006. Heart rate and blood lactate responses during Taekwondo training and competition. **Science & Sports.** 21: 285-290.

Calder, A. 2001. **The science behind recovery: Strategies for athletes.** Sports Med News August. Available Source: http://www.ask.net.au/downloads/Update_on_Recovery_Techniques.pdf , February 15, 2007.

_____. 2003. **Olympic Coach.** Available Source: http://www.usolympicteam.com, February 15, 2007.

Castle, P.C., A.L. Macdonald, A. Philp, A. Webborn, P.W. Watt and N.S. Maxwell. 2005. Pre-cooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot humid conditions. **J Appl Physiol.** 100: 1377-1384.

Cheung, S.S. and Robinson A.M. 2004. The influence of upper-body precooling on repeated sprint performance in moderate ambient temperature. **Journal of Sports Sciences.** 22: 605-612.

Cochrane, D.J. 2004. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: A review. **Physical Therapy in Sport.** 5: 26-32.

Coffey, V., M. Leveritt and N. Gill. 2004. Effect of recovery modality on 4-hours repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. **J Sci Med Sport**. 7: 1-10.

Crewe H., R. Tucker and T.D. Noakes. 2008. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. Eur J Appl Physiol. 103: 569-577.

Daanen, H.A., E.M. van Es and J.L. de Graaf . 2006. Heat strain and gross efficiency during endurancee after lower, upper, or whole body precooling in the heat. **Int J Sports Med.** 27: 379-388.

Declan, A.J., K.M. Brennan and C.D. Lauzon. 2003. Effect of active versus passive recovery on power output during repeated bouts of short term high intensity exercise. **Journal of Sports Science and Medicine**. 2: 47-51.

Draper, N., E.L. Bird, I. Coleman and C. Hodgson. 2006. Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and RPE in climbing. **Journal of Sports Science and Medicine**. 5: 97-105.

Duffield, R., B. Dawson, D. Bishop, M. Fitzsimons and S. Lawrence. 2003. Effect of wearing an ice cooling jacket on repeat sprint performance in warm/humid conditions. **Br. J. Sports Med**. 37: 164-169.

Easton, C., B.W. Fudge and Y.P. Pitsiladis. 2007. Rectal, telemetry pill and tympanic membrane thermometry during exercise heat stress. **Journal of Thermal Biology**. 32: 78-86.

Eagles, C.J. and M.J. Kendall. 1997. The effects of combine treatment with $\beta$1-select receptor antagonists and lipid-lowering drugs and fat metabolism and measures fatigue during moderate intensity exercise: a placebo-controlled study in healthy subjects. **Br J Clin Pharmacol.** 43: 291-300.

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

Foss, L.M. and J.S. Keteyian. 1998. **Fox's Physiological Basic for Exercise and Sport.** 6th ed. Mc.Graw Hill companies, Inc, New York.

Fournier, P.A., T.J. Fairchild, L. D. Ferreira and L. Brau. 2004. Post - exercise muscle glycogen repletion in the extreme: effect of food absence and active recovery. **Journal of Sports Science and Medicine**. 3: 139-146.

Gladden, L.B. 2004. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. **J physiol**. 1: 5-30.

Hale, T. 2003. **Exercise Physiology**. John Wiley and Sons, Inc., San Francisco.

Hamlin, J.M. 2007. The effect of contrast temperature water therapy on repeated sprint performance. **J Sci Med Sport.** 10: 398-402.

Hardy, C.J. and W.J. Rejeski. 1989. Not what, but how one feels: The measurement of affect during exercise. **Journal of Sport and Exercise Psychology.** 11: 304-317

Heller, J., T. Peric, R. Dlouha, E. Kohlikova, J. Melichna and H. Novakova. 1998. Physiological profiles of male and female Taekwondo black belts. **Journal of Sports Sciences**. 16: 243-249.

Hornery, D.J., S. Papalia, I. Mujika and A. Hahn. 2006. Physiological and performance benefits of haftime cooling. **J Sci Med Sport.** 8: 15-25.

Hunter, I., J.T. Hopkins and D.J. Casa. 2006. Warming up with an ice vest: Core body temperature before and after cross-country racing. **Journal of Athletic Training.** 4: 371-374.

Ingram, J., B. Dawson, C. Goodman, K. Wallman and J. Beilby. 2008. Effect of water immersion methods on post exercise recovery from simulated team sport exercise. **J Sci Med Sport.** 1: 1-5.

Kay, D., D.R. Taaffe and F.E. Marino. 1999. Whole-body precooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid condition. **Journal of Sports Sciences.** 17: 937-944.

Knight, K.L. 1995. **Cryotherapy in Sport Injury Management**. Champaign. Human Kinetics, USA.

Lin, W.L.,K.T. Yen, C.Y.D. Lu, Y.H. Huang and C.K. Chang. 2006. Anaerobic capacity of elite Taiwanese Taekwondo athletes**. Science & Sports.** 21: 291-293.

Marino, F.E. 2002. Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. **Br. J. Sports Med**. 36: 89-94.

Markovic, G., M.M. Durakovic and S. Trninic. 2005. Fitness profile of elite Croatian female Taekwondo athletes. **Coll.Antropol**. 29: 93-99.

Marsh, D. and G. Sleivert. 1999. Effect of precooling on high intensity cycling performance. **Br. J. Sports Med**. 33: 393-397.

McAinch, A.J., M.A. Febbraio, J.M. Parkin, S. Zhao, K. Tangalakis, L. Stojanovska and M.F. Carey. 2004. Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. **Int j nutr exer metab.** 2: 185-196.

McArdle, D., I. Katch. and L. Katch. 2000. **Essentials of exercise physiology**. Williams and Wilkins, Maryland.

Mitchell, J.B., E.R. Schille, J.R. Miler and J.P. Dugas . 2001. The influence of different external cooling methods on thermoregulatory responses before and after intense intermittent exercise in the heat. **The Journal of Strength and Conditioning Research.** 15: 247-254.

Morton R.H. 2008. Contrast water immersion hastens plasma lactate decrease after intense anaerobic exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**. 10: 467-470.

Muth, C.M., E. Shank, B. Hauser, P. Radermacher, M. Groger and U. Ehrmann. 2007. Infrared ear thermometry in water related accidents – Not a good vhoice. **The Journal of Emergency Medicine.** 10: 1-5.

Palmieri, R.M., J.C. Garrison, J.L Leonard, J.L. Edwards, A. Weltman and C.D. Ingersoll. 2006. Peripheral ankle cooling and core body temperature. **Journal of Athletic Training**. 2: 185-188.

Peiffer J.J., C.R. Abbiss, K. Nosaka, J.M. Peake and P.B. Laursen. 2008. Effect of cold water immersion after exercise in the heat on muscle function, body temperatures and vessel aiameter. **Journal of Science and Medicine in Sport.** 10: 1-6.

Prentice, W.E. 1998. **Therapeutic Modalities for Allied Health Professionals.** McGraw-Hill companies, Inc., New York.

_____. 2003. **Therapeutic Modalities for Sports Medicine and Athletic training.** 5th ed. McGraw-Hill companies, Inc., New York.

Ribeiro, J.L., B.O. Castro, C.S. Rosa, R.R. Baptista and A.R. Oliveira. 2006. Heart rate and blood lactate response to CHANGQUAN and DAOSHU forms of modern WUSHU. **Journal of Sports Science and Medicine.** 1-4.

Schniepp, J., T.S. Champbell and K.L. Powell. 2002. The effects of cold water immersion on power output and heart rate in elite cyclist. **The Journal of Strength and Conditioning Research.** 16: 561-566.

Sesboue, B. and J.Y. Guincestre. 2006. Muscle Fatigue. **Annales de Readaptation et de Medecine Physique.** 49: 348-354.

Spencer, M., D. Bishop, B. Dawson, C. Goodman and R. Duffield. 2006. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active versus passive recovery. **Journal of Sports Science and Medicine**. 8: 1492-1499.

Thornley, L.J., N.S. Maxwell and S.S. Cheung. 2003. Local tissue temperature effects on peak torque and muscular endurance during isometric knee extension. **Eur J Appl Physiol.** 90: 588-594.

Vaile J., S. Halson, N. Gill and B. Dawson. 2008a. Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. **Int J Sports Med 2008.** 29: 539–544.

_____. 2008b. Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. **Journal of Sports Sciences.** 26: 431-440.

Webster, J., E.J. Holland, G. Sleivert, R.M. Laing and B.E. Niven. 2005. Light weight cooling vest enhances performance of athletics in the heat. **Ergonomics.** 48: 821-837.

Wilcock, I.M. 2005. **The effect of water immersion, active recovery and passive recovery on repeated bouts of explosive exercise and blood plasma fraction**. M.S.Thesis, Auckland University of Technology.

_____.J.B. Cronin and W.A. Hing. 2006. Physiological response to water immersion: A method for sport recovery?. **Sport Med**. 36: 747-765.

Willmore, J.H. and D.L. Costill. 2004. **Physiology of Sport and Exercise**. 3rd ed. Human Kinetics, Illinosis.

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

โปรแกรมการเตะตวัด

## โปรแกรมการเตะตวัด

กีฬาเทควันโดเป็นกีฬาที่มีการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก ไกลโคไลซิส (anaerobic glycolysis) เป็นหลัก วิธีการนี้สามารถสังเคราะห์พลังงานได้เร็วแต่จะนำไปสู่การสะสมของกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อประกอบกับลักษณะการจัดการแข่งขันเทควันโดนั้น นักกีฬาต้องทำการแข่งขันให้เสร็จภายในหนึ่งวัน จึงมีระยะเวลาพักระหว่างการแข่งขันแต่ละรอบน้อย ร่างกายจึงไม่สามารถกำจัดกรดแลคติกออกจากเลือดและกล้ามเนื้อได้ทันทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อและเลือดมากยิ่งขึ้นและนำไปสู่ภาวะความเมื่อยล้า

งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของการให้ความเย็นที่ส่วนกลาง และการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าในกล้ามเนื้อ เพื่อให้การวิจัยเป็นไปอย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ การควบคุมตัวแปรเกินที่เกิดจากความหนักในการออกกำลังกายที่ไม่เท่ากันของผู้เข้าร่วมการทดลองจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสร้างโปรแกรมการเตะตวัด (round kick) ขึ้นมีพื้นฐานจากโปรแกรมการฝึกความทนทานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดของชมรมเทควันโดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และใช้ท่าเตะตวัดเป็นท่าหลักในการฝึกเนื่องจากเป็นท่าเตะที่มีความรวดเร็ว แม่นยำและมีความสำคัญในการเปิดเกมรุกจึงนิยมใช้ในการแข่งขัน เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการแข่งขันจึงกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกายให้อยู่ในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด โปรแกรมการเตะตวัดนี้ผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องเตะเป้าเล็กตามท่าที่กำหนดสลับกับการฟุตเวอร์ค ยกละ 2 นาที ทั้งหมด 3 ยก โดยมีเวลาพักระหว่างยก 1 นาที ดังนี้

1. เตะตวัด 30 วินาที
2. ฟุตเวอร์ค 10 วินาที
3. สไลด์เตะตวัด (slide round kick) 30 วินาที
4. ฟุตเวอร์ค 10 วินาที
5. ดึงเตะตวัด 30 วินาที

6. ฟุตเวอร์ค 10 วินาที

**ภาพผนวกที่ ก1** ท่าเตะตวัด

**ภาพผนวกที่ ก2** ท่าสไลด์เตะตวัด

**ภาพผนวกที่ ก3** ท่าดึงเตะตวัด

**ภาพผนวกที่ ก4** การฟุตเวอร์ค

**ภาพผนวกที่ ก5** เป้าเตะลิ้นคู่ ยี่ห้อ Adidas

**ภาพผนวกที่ ก6** นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Casio ประเทศญี่ปุ่น

การที่ผู้เข้าร่วมการทดลองปฏิบัติตามโปรแกรมครบทั้ง 6 ขั้นตอนถือเป็น 1 ยก จากนั้นพักระหว่างยกโดยการนั่งบนเก้าอี้เป็นเวลา 1 นาที และปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าวซ้ำจนครบทั้งหมด 3 ยก นอกจากนี้ผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องรักษาระดับความหนักในการปฏิบัติตามโปรแกรมที่กำหนดให้อยู่ในช่วง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดโดยมีเครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ วัดอัตราการเต้นหัวใจตลอดระยะเวลาที่ปฏิบัติ

**ภาพผนวกที่ ก7** เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ยี่ห้อ Polar ประเทศฟินแลนด์

**ภาคผนวก ข**

การวัดปริมาณของกรดแลคติกในเลือด

## การวัดปริมาณกรดแลคติกในเลือด

การวัดปริมาณกรดแลคติกในเลือดสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ใช้เลือดที่ได้จากปลายนิ้วมือมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแลคติกด้วยเครื่อง Accutrend Lactate ประเทศเยอรมนี โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

**การเก็บตัวอย่างเลือด**

1. ใช้แอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาดบริเวณปลายนิ้วมือของผู้เข้าร่วมการทดลอง

2. ใช้เครื่องเจาะเลือดแบบปากกาเจาะบริเวณปลายนิ้วของผู้เข้าร่วมการทดลอง โดยปรับความลึกของเข็มที่เจาะ 1 มิลลิเมตร

3. บีบปลายนิ้วมือของผู้เข้าร่วมการทดลองเพื่อให้เลือดไหลออกมาประมาณ 1 หยด แล้วแตะลงบนแถบสีเหลืองที่ปรากฏบนแผ่นวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกจนเต็มแถบ

**การวัดปริมาณกรดแลคติกในเลือด**

1. เปิดเครื่องโดยการกดปุ่ม ON

2. เสียบแผ่น bar code ที่มาพร้อมกับชุดแผ่นวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกในเลือด ในช่องเสียบที่อยู่ปลายสุดของเครื่อง แล้วดึงออก เครื่องจะทำการอ่าน bar code

3. เปิดฝาที่ด้านปลายสุดของเครื่อง แล้วนำแผ่นวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกในเลือดที่มีเลือดของผู้เข้าร่วมการทดลองที่ต้องการทดสอบวางลงในช่องที่กำหนด จากนั้นปิดฝา

4. เครื่องจะใช้เวลา 60 วินาทีในการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของกรดแลคติก มีหน่วยเป็น มิลลิโมลต่อลิตร โดยกรดแลคติก 1 มิลลิโมลต่อลิตร หมายถึงกรดแลคติก 1 มิลลิโมลในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร (1 มิลลิลิตรของกรดแลคติกเท่ากับ 9 มิลลิกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร หรือเรียกว่า 9 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)

**ภาพผนวกที่ ข1** การปริมาณกรดแลคติกด้วยเครื่อง Accutrend Lactate ประเทศเยอรมนี

**ภาคผนวก ค**

การวัดอุณหภูมิแกนกลาง

**การวัดอุณหภูมิแกนกลาง**

การวัดอุณหภูมิแกนกลางที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้การวัดอุณหภูมิทางช่องหูเป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากทิมพานิก เมมเบรน (tympanic membrane) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเลือดที่ไปเลี้ยงสมองซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย

1. ทำความสะอาดใบหูและช่องหูให้สะอาด

2. ใส่ probe clover ลงบน probe ก่อนการวัดอุณหภูมิทุกครั้ง

3. กดปุ่มเปิดเครื่องรอ 2 วินาที เครื่องจะแสดงอุณหภูมิครั้งล่าสุดที่เครื่องวัดได้ และรอจนได้ยินเสียง “ปี๊บ” เครื่องจึงจะพร้อมสำหรับการวัดอุณหภูมิในครั้งต่อไป

4. ดึงใบหูของผู้เข้าร่วมการทดลองในลักษณะเฉียงขึ้นไปทางด้านหลัง แล้วเสียบปลายของ probe เข้าไปในช่องหู

5. กดปุ่ม “start” จากนั้นรอจนกระทั่งได้ยินเสียง “ปี๊บ” ซึ่งแสดงว่าเครื่องทำการวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว

6. บันทึกค่าที่ได้

# ภาคผนวก ง

การวัดระดับความรู้สึกถึงความเหนื่อย

(Rating of perceived exertion; RPE)

## การวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย

## (Rating of perceived exertion; RPE)

การวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE) เป็นการวัดระดับความรู้สึกรับรู้ถึงความเหนื่อยในการทำกิจกรรมต่างๆ รวมทั้งการออกกำลังกายและเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการควบคุมความหนักในการออกกำลังกาย โดยใช้หลักการของ The Borg CR10 Scale (Borg, 2004)

**ตารางผนวกที่ ง1** ระดับการรับรู้ความเหนื่อย

| ระดับ | ความรู้สึก |
|---|---|
| 0 | ไม่รู้สึกอะไรเลย |
| 0.3 | |
| 0.5 | สบายมากๆ |
| 0.7 | |
| 1 | สบายมาก |
| 1.5 | |
| 2 | สบาย |
| 2.5 | |
| 3 | เริ่มรู้สึกเหนื่อย |
| 4 | |
| 5 | เหนื่อย |
| 6 | |
| 7 | เหนื่อยมาก |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | เหนื่อยที่สุด |

**ภาคผนวก จ**

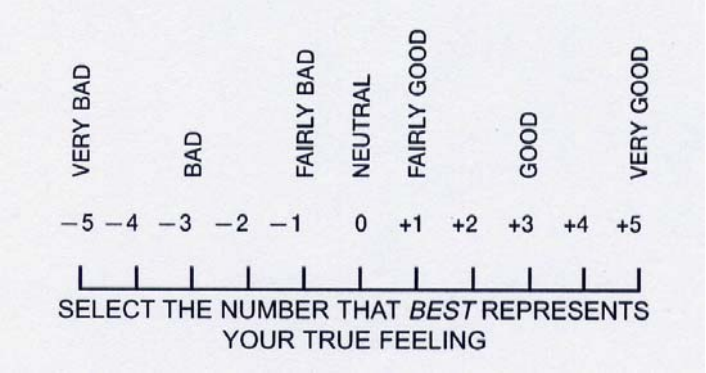
การวัดระดับความรู้สึก

(Feeling scale)

**การวัดระดับความรู้สึก**

**(Feeling scale)**

การวัดระดับความรู้สึก (Feeling scale) เป็นการวัดความรู้สึกขณะออกกำลังกายและขณะพักในลักษณะมีความรู้สึกอย่างไร ดีหรือไม่ดี พอใจหรือไม่พอใจ ในขณะนั้นๆ เป็นต้น โดยใช้หลักการของ Hardy and Rejeski (1989) ซึ่งประกอบด้วย 11 คะแนน วัดความรู้สึกแบบ 2 ทาง (bipolar) พอใจหรือไม่พอใจ ในช่วงคะแนนตั้งแต่ -5 ถึง 5 โดย 0 คือ ปกติ 5 คือรู้สึกดีมากๆ และ -5 คือรู้สึกแย่มากๆ




**ภาพผนวกที่ จ1** การวัดระดับความรู้สึก (Feeling scale)

**ที่มา:** Eagles and Kendall (1997)

**ภาคผนวก ฉ**

วิธีการให้ความเย็นที่บริเวณส่วนกลางของร่างกาย

## วิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกาย

การให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกาย (central body cooling) หมายถึง การให้ร่างกายส่วนกลางลำตัวสัมผัสกับความเย็นภายหลังการออกกำลังกาย เป็นเวลา 15 นาที สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการใส่ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรตัดเป็นเสื้อแขนกุดความยาว 72 เซนติเมตร และสามารถปรับความกว้างให้เมาะสมกับผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคน จากนั้นนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีแล้วใส่ที่ลำตัวของผู้เข้ารับการทดลอง โดยใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที จนครบ 15 นาที

**ภาพผนวกที่ ฉ1** เสื้อที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนู

**ภาพผนวกที่ ฉ2** วิธีการให้ความเย็นที่ส่วนกลางของร่างกาย

**ภาคผนวก ช**

วิธีการให้ความเย็นที่บริเวณส่วนปลายของร่างกาย

## วิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย

การให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย (peripheral body cooling) หมายถึง การให้ร่างกายส่วนแขนและขาทั้งสองข้างสัมผัสกับความเย็นภายหลังการออกกำลังกาย เป็นเวลา 15 นาที สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการใส่ปลอกแขน-ขาที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนูที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นปลอกแขนความยาว 64 เซนติเมตร และปลอกขาความยาว 75 เซนติเมตร ปลอกแขนและปลอกขานี้สามารถปรับความกว้างให้เหมาะสมกับรูปร่างของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนเพื่อให้ผ้าแนบกับผิวหนังตลอดระยะเวลาที่ใส่ จากนั้นนำไปแช่ในกระติกน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิที่ 5±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปใส่ที่ขาและขาทั้ง 2 ข้าง โดยใส่เป็นช่วง ช่วงละ 4 นาที พัก 1 นาที จนครบ 15 นาที

**ภาพผนวกที่ ช1** ปลอกแขนที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนู

**ภาพผนวกที่ ช2** ปลอกขาที่เย็บขึ้นจากผ้าขนหนู

**ภาพผนวกที่ ช3** วิธีการให้ความเย็นที่ส่วนปลายของร่างกาย

**ภาคผนวก ซ**

แบบบันทึกการทดสอบ

**แบบบันทึกการทดสอบ**

ชื่อ.....นามสกุล.....อายุ.....ปี
น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร รุ่นที่เข้าแข่งขัน.....
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด = ….....
อัตราการเต้นหัวใจขณะปฏิบัติตามโปรแกรมเตะตวัดอยู่ในช่วง.....

**การทดสอบครั้งที่**.....

**วิธีการทดลอง**.....

| **ช่วงเวลา** | **ชีพจร (ครั้ง/นาที)** | **อุณหภูมิร่างกาย (องศาเซลเซียส)** | **Borg Scale** | **ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมล/ลิตร)** |
|---|---|---|---|---|
| ขณะพัก | | | | |
| หลังจากเตะเป้า 3 ยก | | | | |
| พัก15 นาที | | | | |

**จำนวนครั้งที่สามารถเตะได้**

| การทดสอบ / ท่าที่ทดสอบ | **ทดสอบครั้งที่ 1** | | | **ทดสอบครั้งที่ 2** | | | **ทดสอบครั้งที่ 3** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ยกที่1 | ยกที่2 | ยกที่3 | ยกที่1 | ยกที่2 | ยกที่3 | ยกที่1 | ยกที่2 | ยกที่3 |
| **เตะตวัด** | | | | | | | | | |
| **สไลด์เตะตวัด** | | | | | | | | | |
| **ดึงเตะตวัด** | | | | | | | | | |

**Feeling scale**

ขณะพัก -5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5

หลังจากเตะเป้า 3 ยก -5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5

พัก15 นาที -5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5

**ภาคผนวก ฌ**

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

**ตารางผนวกที่ ฌ1** การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ก่อนการทดลอง โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov one sample test ของวิธีการทดลองที่ 1 (การพักฟื้นด้วยวิธีการนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที)

| ตัวแปร | $\overline{X}$ | S.E. | P |
|---|---|---|---|
| ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร) | 1.98 | 0.11 | 0.707 |
| อุณหภูมิแกนกลาง (องศาเซลเซียส) | 36.88 | 0.08 | 0.922 |
| อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | 85.40 | 2.26 | 0.706 |

จากตารางผนวกที่ ฌ1 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล พบว่า ข้อมูลมีการกระจายเป็นโค้งปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ฌ2** การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ก่อนการทดลอง โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov one sample test ของวิธีการทดลองที่ 2 (การพักฟื้นด้วยวิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนกลางของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที)

| ตัวแปร | $\bar{X}$ | S.E. | p |
|---|---|---|---|
| ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร) | 2.01 | 0.09 | 0.386 |
| อุณหภูมิแกนกลาง (องศาเซลเซียส) | 37.11 | 0.13 | 0.766 |
| อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | 85.20 | 2.76 | 0.923 |

จากตารางผนวกที่ ฌ2 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล พบว่า ข้อมูลมีการกระจายเป็นโค้งปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ฌ3** การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ก่อนการทดลอง โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov one sample test ของวิธีการทดลองที่ 3 (การพักฟื้นด้วยวิธีการให้ความเย็นบริเวณส่วนปลายของร่างกาย เป็นเวลา 15 นาที)

| ตัวแปร | $\overline{X}$ | S.E. | P |
|---|---|---|---|
| ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร) | 2.04 | 0.69 | 0.124 |
| อุณหภูมิแกนกลาง (องศาเซลเซียส) | 37.08 | 0.11 | 0.956 |
| อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | 92.50 | 2.76 | 0.874 |

จากตารางผนวกที่ ฌ3 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล พบว่า ข้อมูลมีการกระจายเป็นโค้งปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ฌ4** การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของระดับกรดแลคติกในเลือดก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ของวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ระหว่างสมาชิก | | | | | |
| วิธีการ | 6.117 | 2 | 3.058 | 1.742 | 0.194 |
| สมาชิก | 47.401 | 27 | 1.756 | | |
| ภายในสมาชิก | | | | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 180.267 | 1 | 180.267 | 153.554 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการและระยะเวลาการทดลอง | 13.456 | 2 | 6.728 | 5.731 | .008* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการทดลองและสมาชิก | 31.697 | 27 | 1.174 | | |
| รวม | 278.938 | 59 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,27} = 3.35$)

**ตารางผนวกที่ ฌ5** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>วิธการทดลองที่ 1</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 9.910 | 9 | 1.101 | | |
| ภายในสมาชิก | 279.760 | 20 | 129.812 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 257.109 | 2 | 128.554 | 102.156 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 22.651 | 18 | 1.258 | | |
| รวม | 289.670 | 29 | | | |
| <u>วิธีการทดลองที่ 2</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 11.390 | 9 | 1.266 | | |
| ภายในสมาชิก | 375.600 | 20 | 176.289 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 349.701 | 2 | 174.850 | 121.521 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 25.899 | 18 | 1.439 | | |
| รวม | 386.990 | 29 | | | |
| <u>วิธีการทดลองที่ 3</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 26.101 | 9 | 2.900 | | |
| ภายในสมาชิก | 305.627 | 20 | 142.057 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 281.426 | 2 | 140.713 | 104.660 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 24.201 | 18 | 1.344 | | |
| รวม | 331.728 | 29 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,18} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ฌ6** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>ก่อนออกกำลังกาย</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 0.580 | 9 | 0.064 | | |
| ภายในสมาชิก | 1.767 | 20 | 0.106 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 0.018 | 2 | 0.009 | 0.093 | 0.912 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 1.749 | 18 | 0.097 | | |
| รวม | 2.347 | 29 | | | |
| <u>หลังออกกำลังกาย</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 11.805 | 9 | 1.312 | | |
| ภายในสมาชิก | 49.734 | 20 | 6.638 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 8.721 | 2 | 4.360 | 1.914 | 0.176 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 41.013 | 18 | 2.278 | | |
| รวม | 61.539 | 29 | | | |
| <u>หลังพักฟื้น 15 นาที</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 10.680 | 9 | 1.187 | | |
| ภายในสมาชิก | 79.894 | 20 | 15.802 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 25.569 | 2 | 12.784 | 4.236 | 0.031* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 54.325 | 18 | 3.018 | | |
| รวม | 90.574 | 29 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,18} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ฌ7** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือดในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 5 นาที และหลังพักฟื้น 15 นาที โดยวิธีของ Tukey

| วิธีการทดลอง | ช่วงเวลาทดสอบ | ก่อนออกกำลังกาย | หลังออกกำลังกาย | หลังพักฟื้น 15 นาที |
|---|---|---|---|---|
| วิธีการที่ 1 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -7.03* | -4.74* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 2.29* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |
| วิธีการที่ 2 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -8.29* | -3.19* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 10.20* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |
| วิธีการที่ 3 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -7.37* | -2.47* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 4.90* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ฌ8** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลาง ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | Df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>วิธีการทดลองที่ 1</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 2.520 | 9 | 0.280 | | |
| ภายในสมาชิก | 3.347 | 20 | 1.021 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 1.881 | 2 | 0.940 | 11.546 | .001* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 1.466 | 18 | 0.081 | | |
| รวม | 5.867 | 29 | | | |
| <u>วิธีการทดลองที่ 2</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 2.767 | 9 | 0.307 | | |
| ภายในสมาชิก | 2.407 | 20 | 0.831 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 1.569 | 2 | 0.784 | 16.847 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 0.838 | 18 | 0.047 | | |
| รวม | 5.174 | 29 | | | |
| <u>วิธีการทดลองที่ 3</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 3.374 | 9 | 0.375 | | |
| ภายในสมาชิก | 1.980 | 20 | 0.546 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 0.981 | 2 | 0.490 | 8.832 | .002* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 0.999 | 18 | 0.056 | | |
| รวม | 5.354 | 29 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,18} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ฌ9** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลาง ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | Df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>ก่อนออกกำลังกาย</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 1.014 | 9 | 0.113 | | |
| ภายในสมาชิก | 2.660 | 20 | 0.286 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 0.313 | 2 | 0.156 | 1.199 | 0.325 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 2.347 | 18 | 0.130 | | |
| รวม | 3.674 | 29 | | | |
| <u>หลังออกกำลังกาย</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 1.232 | 9 | 0.137 | | |
| ภายในสมาชิก | 3.407 | 20 | 0.299 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 0.249 | 2 | 0.124 | 0.709 | 0.506 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 3.158 | 18 | 0.175 | | |
| รวม | 4.639 | 29 | | | |
| <u>หลังพักฟื้น 15 นาที</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 1.014 | 9 | 0.113 | | |
| ภายในสมาชิก | 4.113 | 20 | 0.635 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 0.914 | 2 | 0.457 | 2.571 | 0.104 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 3.199 | 18 | 0.178 | | |
| รวม | 5.127 | 29 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,18} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ฌ10** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแกนกลางในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 5 นาที และหลังพักฟื้น 15 นาที โดยวิธีของ Tukey

| วิธีการทดลอง | ช่วงเวลาทดสอบ | ก่อนออกกำลังกาย | หลังออกกำลังกาย | หลังพักฟื้น 15 นาที |
|---|---|---|---|---|
| วิธีการที่ 1 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -0.51* | -0.55* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | -0.04 |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |
| วิธีการที่ 2 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -0.50* | -0.01 |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 0.48* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |
| วิธีการที่ 3 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -0.35* | 0.06 |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 0.41* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ฌ11** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>วิธีการทดลองที่ 1</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 640.300 | 9 | 71.144 | | |
| ภายในสมาชิก | 48920.000 | 20 | 24155.700 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 48235.400 | 2 | 24117.700 | 634.120 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 684.600 | 18 | 38.033 | | |
| รวม | 49560.300 | 29 | | | |
| <u>วิธีการทดลองที่ 2</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 1200.033 | 9 | 3263.352 | | |
| ภายในสมาชิก | 53347.334 | 20 | 2668.348 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 52322.867 | 2 | 26161.433 | 459.659 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 1024.467 | 18 | 56.915 | | |
| รวม | 54547.367 | 29 | | | |
| <u>วิธีการทดลองที่ 3</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 692.033 | 9 | 76.893 | | |
| ภายในสมาชิก | 44579.334 | 20 | 21926.348 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 43761.867 | 2 | 21880.933 | 481.802 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 817.467 | 18 | 45.415 | | |
| รวม | 45271.367 | 29 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,18} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ฌ12** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ ก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลองทั้ง 3 วิธี

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>ก่อนออกกำลังกาย</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 590.967 | 9 | 65.663 | | |
| ภายในสมาชิก | 1585.333 | 20 | 241.763 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 345.800 | 2 | 172.900 | 2.511 | 0.109 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 1239.533 | 18 | 68.863 | | |
| รวม | 2176.300 | 29 | | | |
| <u>หลังออกกำลังกาย</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 54.800 | 9 | 6.089 | | |
| ภายในสมาชิก | 124.600 | 20 | 10.267 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 8.600 | 2 | 4.300 | 0.721 | 0.500 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 107.400 | 18 | 5.967 | | |
| รวม | 179.400 | 29 | | | |
| <u>หลังพักฟื้น 15 นาที</u> | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 923.467 | 9 | 102.607 | | |
| ภายในสมาชิก | 3231.333 | 20 | 663.341 | | |
| ระยะเวลาการทดลอง | 1088.600 | 2 | 544.300 | 4.572 | 0.025* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการทดลอง | 2142.733 | 18 | 119.041 | | |
| รวม | 4154.800 | 29 | | | |

*$p < .05$ ($F_{2,18} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ฌ13** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 5 นาที และหลังพักฟื้น 15 นาที โดยวิธีของ Tukey

| วิธีการทดลอง | ช่วงเวลาทดสอบ | ก่อนออกกำลังกาย | หลังออกกำลังกาย | หลังพักฟื้น 15 นาที |
|---|---|---|---|---|
| วิธีการที่ 1 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -95.00* | -25.90* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | -69.10* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |
| วิธีการที่ 2 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -93.90* | -11.80* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 82.10* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |
| วิธีการที่ 3 | ก่อนออกกำลังกาย | - | -87.40* | -14.80* |
| | หลังออกกำลังกาย | | - | 72.60* |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | | | - |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ฌ14** การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test

| วิธีการทดลอง | ช่วงเวลาทดสอบ | N | Mean Rank | p |
|---|---|---|---|---|
| วิธีการที่ 1 | ก่อนออกกำลังกาย | 10 | 1.00 | .000* |
| | หลังออกกำลังกาย | 10 | 3.00 | |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | 10 | 2.00 | |
| วิธีการที่ 2 | ก่อนออกกำลังกาย | 10 | 1.15 | .000* |
| | หลังออกกำลังกาย | 10 | 2.95 | |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | 10 | 1.90 | |
| วิธีการที่ 3 | ก่อนออกกำลังกาย | 10 | 1.20 | .000* |
| | หลังออกกำลังกาย | 10 | 3.00 | |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | 10 | 1.80 | |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ฌ15** การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test

| ช่วงเวลาทดสอบ | วิธีการทดลอง | N | Mean Rank | p |
|---|---|---|---|---|
| ก่อนออกกำลังกาย | วิธีการที่ 1 | 10 | 2.15 | .368 |
| | วิธีการที่ 2 | 10 | 2.00 | |
| | วิธีการที่ 3 | 10 | 1.85 | |
| หลังการออกกำลังกาย | วิธีการที่ 1 | 10 | 2.05 | .846 |
| | วิธีการที่ 2 | 10 | 2.05 | |
| | วิธีการที่ 3 | 10 | 1.90 | |
| หลังพักฟื้น 15 นาที | วิธีการที่ 1 | 10 | 2.80 | .004* |
| | วิธีการที่ 2 | 10 | 1.80 | |
| | วิธีการที่ 3 | 10 | 1.40 | |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ฌ16** การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความรู้สึก (Feeling scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ภายในวิธีการทดลอง 3 วิธีการด้วยวิธีการของ Friedman Test

| วิธีการทดลอง | ช่วงเวลาทดสอบ | N | Mean Rank | P |
|---|---|---|---|---|
| วิธีการที่ 1 | ก่อนออกกำลังกาย | 10 | 2.85 | .002* |
| | หลังออกกำลังกาย | 10 | 1.60 | |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | 10 | 1.55 | |
| วิธีการที่ 2 | ก่อนออกกำลังกาย | 10 | 1.85 | .000* |
| | หลังออกกำลังกาย | 10 | 1.15 | |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | 10 | 3.00 | |
| วิธีการที่ 3 | ก่อนออกกำลังกาย | 10 | 1.95 | .000* |
| | หลังออกกำลังกาย | 10 | 1.50 | |
| | หลังพักฟื้น 15 นาที | 10 | 3.00 | |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ฌ17** การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความรู้สึก (Feeling scale) ก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย และหลังพักฟื้น 15 นาที ระหว่างวิธีการทดลอง 3 วิธีการ ด้วยวิธีการของ Friedman Test

| ช่วงเวลาทดสอบ | วิธีการทดลอง | N | Mean Rank | p |
|---|---|---|---|---|
| ก่อนออกกำลังกาย | วิธีการที่ 1 | 10 | 2.00 | - |
| | วิธีการที่ 2 | 10 | 2.00 | |
| | วิธีการที่ 3 | 10 | 2.00 | |
| หลังการออกกำลังกาย | วิธีการที่ 1 | 10 | 1.90 | .115 |
| | วิธีการที่ 2 | 10 | 2.35 | |
| | วิธีการที่ 3 | 10 | 1.75 | |
| หลังพักฟื้น 15 นาที | วิธีการที่ 1 | 10 | 1.00 | .000* |
| | วิธีการที่ 2 | 10 | 2.40 | |
| | วิธีการที่ 3 | 10 | 2.60 | |

**หมายเหตุ** * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$

# ประวัติการศึกษา และการทำงาน

| | |
|---|---|
| ชื่อ –นามสกุล | นางสาวจิตรดา ผ่องกุหลาบ |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | 30 ธันวาคม 2523 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดกรุงเทพมหานคร |
| ประวัติการศึกษา | ปีการศึกษา 2544<br>สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (กายภาพบำบัด) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | นักกายภาพบำบัด |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | หน่วยงานเวชศาสตร์ฟื้นฟู<br>โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | - |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | - |