



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

สาขา

คณะ

เรื่อง ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนองและการปรับตัว
ของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

The Effects of Deep Water Running after Plyometric Training: Response and
Adaptation of Indirect Symptoms of Muscle Damage

นามผู้วิจัย นายอภิรักษ์ เทียนทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อภัสรา อัครพันธุ์, ป.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ไฉ่ออน ชินชนะ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงห์สีเงิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนองและการปรับตัวของอาการ
ทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

The Effects of Deep Water Running after Plyometric Training: Response and Adaptation of
Indirect Symptoms of Muscle Damage

โดย

นายอภิรักษ์ เทียนทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิต)

พ.ศ. ๒๕๕๕

อภิสิทธิ์ เทียนทอง 2555: ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนอง และการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย ปริญาปรัชญาดุสิตบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D. 282 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการวิ่งในน้ำลึกหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย ประกอบด้วย ระดับ CK และ LDH ในเลือด ความอ่อนตัว (นั่งอตัวไปด้านหน้า ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและงอข้อเท้า) แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง (MVIC) ความสูงของการทำ Drop jump (DJ) และ Counter-movement jump (CMJ) ความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง (SOR) การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุด และที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด การศึกษาที่ 1 มีระยะเวลา 1 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แบ่งออกเป็นกลุ่มละ 10 คน ทำการคลายอุ่นด้วยวิธีการต่างกัน คือ วิ่งในน้ำลึก (DWR) วิ่งเหยาะ (JOG) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (CON) การศึกษาที่ 2 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอล ชมรมกีฬาฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แบ่งออกเป็นกลุ่มละ 10 คน ทำการฝึกพลัยโอเมตริกร่วมกับโปรแกรมการฝึกฟุตบอล วันจันทร์ และวันพฤหัสบดี และฝึกโปรแกรมฟุตบอลอย่างเดียว วันอังคาร วันพุธ และวันศุกร์ หลังการฝึกแต่ละวันใช้กิจกรรมคลายอุ่นเช่นเดียวกับการศึกษาที่ 1 ภายหลังการฝึกซ้อมในแต่ละวันเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์อาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายแต่ละตัวแปร โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัยพบว่า อาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายของกลุ่ม DWR แตกต่างจากกลุ่ม JOG และ CON ($p < 0.05$) ได้แก่ ระดับ CK ($DWR < JOG < CON$, 30 นาที, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง; ค่าสูงสุดระหว่าง 36 ถึง 84 ชั่วโมง) ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าอข้อเท้า ($DWR > JOG > CON$, ทุกช่วงเวลา) DJ และ CMJ ($DWR > JOG > CON$, วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์; ทุกกลุ่มมีค่าลดลงต่ำสุดหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง) SOR ($DWR < JOG < CON$; ทุกช่วงเวลา) และค่า MDF ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ระดับ MVIC ($DWR < CON < JOG$; 30 นาที, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง) สรุปได้ว่าการวิ่งในน้ำลึกหลังการฝึกพลัยโอเมตริกช่วยบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อและเพิ่มกระบวนการฟื้นตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากแรงพุงของน้ำ ไม่มีแรงกระแทกกระทำกับโครงร่างและการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเคลื่อนไหวในน้ำเป็นแบบหดสั้นเข้า นอกจากนี้การฝึกพลัยโอเมตริกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีพลัง ความแข็งแรง และการประสานสัมพันธ์กันของหน่วยยนต์เพิ่มขึ้น

Apiluk Theanthong 2012: The Effects of Deep Water Running after Plyometric Training: Response and Adaptation of Indirect Symptoms of Muscle Damage. Doctor of Philosophy (Sports Science), Major Field: Sports Science, Faculty of Sports Science.

Thesis Advisor: Assistant Professor Ratree Reungthai, Ed.D. 282 pages.

The purpose of this study was to examine the effect of deep water running after plyometric training on the response and adaptation of indirect symptoms of muscle damage. Included CK and LDH in plasma, flexibility (sit and reach, range of motion (ROM) of ankle extension and flexion), maximal isometric voluntary contraction force (MVIC), drop jump (DJ) and counter-movement jump (CMJ) heights, perceived muscle soreness (SOR) and electromyography of gastrocnemius muscle during maximum and submaximum isometric contraction. The first study was to examine for one week, male sports science students from Kasetsart University were randomly assigned 10 subjects per group, deep water running group (DWR), jogging group (JOG) and stretching group (CON). The second study, male soccer players from Kasetsart University were divided 10 subjects per group. They practiced soccer program combined with plyometric training on Monday and Thursday and soccer training only on Tuesday, Wednesday and Friday. Each group performed different cool down activities as same as first study after a daily training program for six weeks. Each parameter of indirect symptoms of muscle damage were analyzed by using ANOVA. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

The results showed that the indirect symptoms of muscle damage of DWR group were significantly different from JOG and CON ($p < 0.05$). Included CK (DWR < JOG < CON, 30 min., 24, 48, 72 and 96 hours; reached peak between 36 to 84 hours), ROM of ankle flexion (DWR > JOG > CON, was different at all time points) DJ และ CMJ (DWR > JOG > CON, day 3, day 7 after training for 6 weeks; all groups were at the lowest decrease after training at 24 and 96 hours), SOR (DWR < JOG < CON; different at all time points) and MDF of electromyography at MVIC (DWR < CON < JOG; 30 min., 24, 48, 72 และ 96 hours). The conclusion: the deep water running after plyometric training could help to attenuate muscle damage and enhance the recovery process. The properties of water reduced the impact of loading on the lower limb, and there was no eccentric contraction during the movement in water. Furthermore, After 6 weeks of plyometric program, muscle power, muscle strength and motor unit synchronization were improved.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องด้วยความเมตตากรุณาอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.อาทิตย์ อัครพันธุ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ไถ่อ่อน ชินชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์อย่างดียิ่งตลอดมาจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์และมีคุณค่าทางวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิตร สามีโต รองศาสตราจารย์วัลลีย์ ภัทโรภาส และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทถ่ายทอดวิชาความรู้ ความเมตตากรุณา พร้อมทั้งอบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการศึกษาด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สุพัชรินทร์ ปานอุทัย ที่ช่วยเก็บตัวอย่างเลือดของกลุ่มตัวอย่าง และขอบคุณกลุ่มตัวอย่างทุกท่านที่เสียสละเวลาในการเข้าร่วมการวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออัสนีย์ เทียนทอง คุณแม่จุฑาภรณ์ เทียนทอง และคุณป้าศิริวัฒนา เทศิม ที่ได้ส่งเสริม สนับสนุนและให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียนสูงสุด รวมทั้งภรรยา บุตรชาย และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ได้ให้กำลังใจอย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณพี่ๆ น้องๆ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา คุณประโยชน์ใดๆ ที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด

อภิรักษ์ณ์ เทียนทอง

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	43
อุปกรณ์	43
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	62
สรุปและข้อเสนอแนะ	209
สรุป	209
ข้อเสนอแนะ	217
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	218
ภาคผนวก	234
ภาคผนวก ก บันทึกอนุวัติการศึกษาวิจัยในคน กระทรงงสาธารณสุข ใบยินยอมร่วมการวิจัย แบบบันทึกข้อมูล	235
ภาคผนวก ข โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก สำหรับการศึกษาที่ 1 และ 2	241
ภาคผนวก ค โปรแกรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึก การวิ่งเหยาะ และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อสำหรับการศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2	246
ภาคผนวก ง โปรแกรมการฝึกฟุตบอลควบคู่กับการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริก สำหรับการศึกษาที่ 2	262

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ การวัดระดับ CK และ LDH ในเลือด	
การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า และวัดช่วงการ	
เคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและท่างอข้อเท้า	
การทดสอบแรงสูงสุดของการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง	
การทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาจากความสูงของการทำ Drop jump	
และ Counter movement jump	
การวัดความรู้สึกเจ็บระบมของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง	
การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขา	
ด้านหลัง	
การหาค่าจุดตัดและความชันของค่า MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GL	270
และ GM	
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	282

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงทาง สรีรวิทยาของระบบไหลเวียนเลือด ขณะร่างกาย แช่ในน้ำ	23
2	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม (การศึกษาที่ 1)	64
3	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ระดับ CK และ LDH ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการ ฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง	64
4	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความอ่อนตัวในท่านั่ง งอตัวไปด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	70
5	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ช่วงการเคลื่อนไหวข้อ เท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า ของกลุ่ม ตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	73
6	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) แรงสูงสุดในการหด เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลัง การฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	79
7	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter movement jump ของกลุ่ม ตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	83
8	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความรู้สึกเจ็บระบบ ของกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
9	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	93
10	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	96
11	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	102
12	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	108
13	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	115
14	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	128
16	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	134
17	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม (การศึกษาที่ 2)	142
18	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ระดับ CK และ LDH ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	143
19	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	150
20	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) มุมการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและมุมการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	154
21	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	161

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter movement jump ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	165
23	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความรู้สึกเจ็บระบมของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	173
24	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึก กับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	177
25	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) RMS ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	181
26	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	189

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
27	ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของ ค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่าง ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	198

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออก	9
2	การวิ่งในน้ำลึก (A) การจัดทำที่ถูกต้อง (B) ลำตัวตั้งตรงมากเกินไป	28
3	ร้อยละระดับ CK (A) และ LDH (B) ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง	69
4	ร้อยละความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	72
5	ร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (A) และ ช่วงการเคลื่อนไหว ข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	77
6	ร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	81
7	ร้อยละความสูงของการทำ Drop jump (A) และ ความสูงของการทำ Counter movement jump (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	86
8	ร้อยละความรู้สึกเจ็บระบมของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	90
9	ร้อยละ MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	99
10	ร้อยละ RMS ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	106
12	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	107
13	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	112
14	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	113
15	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	119
16	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	120
17	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	125
18	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	126

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	เนื้อหา	หน้า
19	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	132
20	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	133
21	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	138
22	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง	139
23	ร้อยละระดับ CK (A) และLDH (B) ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	147
24	ร้อยละความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	152
25	ร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (A) และ ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	158
26	ร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	163

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ร้อยละความสูงของการทำ Drop jump (A) และ ความสูงของการทำ Counter movement jump (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	170
28	ร้อยละความรู้สึกเจ็บระบมของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	176
29	ร้อยละ MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	185
30	ร้อยละ RMS ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	186
31	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	196
32	ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	197

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
33 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และ วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	205
34 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะ เกร็งกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และ วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	206
35 แผนผังสรุปผลการวิจัย	216
 ภาพผนวกที่	
จ1 การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า	273
จ2 การวัดช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (ก) และท่างอข้อเท้า (ข)	274
จ3 ทดสอบแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง	275
จ4 แผนยางวัดความสูงของการกระโดด (ก) และอุปกรณ์ต่อกับคอมพิวเตอร์	276
จ5 การทดสอบ Drop jump	277
จ6 การทดสอบ Counter movement jump	277
จ7 มาตรการวัดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ	278
จ8 การติดอิเล็กโทรดที่กล้ามเนื้อ GL และ GM (ก) ออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อตาม ระดับที่กำหนด โดยมองจากจอภาพ (ข)	280

ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนองและการปรับตัวของ อาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

The Effects of Deep Water Running after Plyometric Training: Response and Adaptation of Indirect Symptoms of Muscle Damage

คำนำ

การออกกำลังกายและการฝึกซ้อมกีฬายังคงเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมปฏิบัติ มักจะนำไปสู่การเสียหายของกล้ามเนื้อ (muscle damage) ภายหลังการฝึก (Clarkson, 1992) ส่วนระดับความรุนแรงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนัก ระยะเวลาที่ปฏิบัติกิจกรรม และลักษณะการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Szymanski, 2001) การศึกษาส่วนใหญ่จะพบว่าการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก (eccentric contraction) จะส่งผลต่อการเสียหายของกล้ามเนื้อมากกว่าการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้า (concentric contraction) (Clarkson *et al.*, 1992) นอกจากนี้การฝึกเพื่อพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อ (muscle power) โดยที่กล้ามเนื้อมีการยืดตัวออกอย่างรวดเร็วและตามด้วยการหดตัวสั้นเข้าอย่างทันทีทันใด หรือเรียกรูปแบบการฝึกนี้ว่า การฝึกแบบพลัยโอเมตริก (plyometric) หรือการฝึกแบบวงจรการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อ (stretch-shortening exercise) (Haffman, 2002) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการฝึกที่จะก่อให้เกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึกได้ ดังที่ Marginson *et al.* (2005); Tofas *et al.* (2008) พบว่าหลังการฝึกพลัยโอเมตริก 24 – 48 ชั่วโมงจะเกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อ รวมถึงความสามารถในการกระโดดแนวตั้งและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง สำหรับตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อที่สำคัญและใช้เป็นตัวแปรหลักในงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย คือ ระดับ creatine kinase (Kobayashi *et al.*, 2005) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่รักษาระดับ ATP ให้เพียงพอต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Friden and Lieber, 2001) หากมีอยู่ในเลือดมากแสดงถึงการเสียหายที่เกิดขึ้นกับเยื่อหุ้มเซลล์ (Takarada, 2003) ค่าปกติที่อยู่ในเลือดสำหรับเพศชายและเพศหญิง คือ 55 ถึง 170 ยูนิต/ลิตร และ 30 ถึง 135 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ (Ehlers *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังมีการเจ็บระบมที่กล้ามเนื้อ (muscle soreness) การลดลงของความแข็งแรง (strength) และความอ่อนตัว (flexibility) และการบวมบริเวณแขนหรือขาที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายซึ่ง Clarkson (1992) ได้อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของตัวบ่งชี้ดังกล่าว คือ อาการเจ็บระบมที่กล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นหลังจากการออกกำลังกาย

กาย 2 ถึง 3 วัน ขณะที่อาการบวมของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นหลังจากการออกกำลังกาย 5 วัน ความแข็งแรงและความอ่อนตัว จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังการออกกำลังกายและจะฟื้นกลับภายใน 10 วัน ส่วนระดับของ creatine kinase ในเลือดจะเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และเพิ่มสูงสุดในวันที่ 4 หลังการออกกำลังกาย หลังจากนั้นจะเริ่มลดลงภายใน 10 วัน

จะเห็นได้ว่าการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึกจะมีกระบวนการและระยะเวลาของการฟื้นคืนสภาพ หากจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่ไม่เหมาะสม มีระยะเวลาในการพักไม่เพียงพอต่อการฟื้นคืนสภาพย่อมทำให้การเสียหายของกล้ามเนื้อหนักและรุนแรงมากยิ่งขึ้น อันจะนำไปสู่การบาดเจ็บและการฝึกเกิน (over training) ซึ่งเป็นสภาวะที่เกิดจากความไม่สมดุลระหว่างความหนักปริมาณงาน และระยะเวลาของการพักฟื้น อาการที่บ่งชี้ เช่น สมรรถภาพทางกายลดลง การปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ต้องใช้แรงและความพยายามมากกว่าที่เคย อัตราการเต้นหัวใจและความดันโลหิตสูงขึ้น เมื่ออาหารทั้งที่ซ่อมหนัก น้ำหนักตัวลดลง ขาดความมั่นใจในตนเอง และระดับของ creatine kinase ในเลือดเพิ่มสูงขึ้น (Chen and Hsieh, 2001) ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงเน้นศึกษาวิธีการที่จะช่วยบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อและทำให้กระบวนการฟื้นคืนสภาพจากการเสียหายเร็วขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ความสามารถของการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันในช่วงถัดไปทำได้มีประสิทธิภาพ วิธีการที่ใช้เพื่อให้กระบวนการฟื้นสภาพกล้ามเนื้อเสียหายหลังการออกกำลังกาย ได้แก่ การใช้ยาลดการอักเสบ การใช้ความเย็น และการนวดหลังการออกกำลังกาย ซึ่งก็ยังไม่มียาที่ชัดเจนเกี่ยวกับผลที่ช่วยให้กล้ามเนื้อฟื้นสภาพจากการเสียหายได้อย่างเร็ว (Szymanski, 2001) แต่วิธีการหนึ่งที่มีแนวโน้มจะใช้น้อยอยู่เสมอหลังการฝึกซ้อม เนื่องจากไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม และมีความสะดวกในการปฏิบัติ คือ การเคลื่อนไหวเบาๆ ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนไหวจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวและคลายตัว ทำให้การไหลเวียนเลือดไปสู่บริเวณกล้ามเนื้อที่มีการเสียหายเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของเสียที่ตกค้างอยู่ถูกกำจัดออก ในขณะที่เดียวกันก็นำสารอาหารที่จำเป็นไปสู่เนื้อเยื่อ เพื่อช่วยกระบวนการซ่อมแซมกล้ามเนื้อที่เสียหาย แต่ผลที่เกิดขึ้นและบ่งชี้ถึงการช่วยฟื้นคืนสภาพจากการเสียหายให้เร็วขึ้นยังไม่มีที่ชัดเจน ดังเช่นงานวิจัยของ Matin *et al.* (2004) ที่ใช้โปรแกรมการฝึกวิ่งที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของ $VO_2 \max$ เปรียบเทียบกับวิธีการกระตุ้นไฟฟ้า (electro stimulation) หลังการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อยืดยาวออก พบว่า กระบวนการฟื้นตัวและระยะเวลาที่ใช้ในการฟื้นสภาพจากการเสียหายของกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่จะพบว่าทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าของ creatine kinase ลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม สำหรับสาเหตุของกิจกรรมการเคลื่อนไหวเบาๆ เช่นการวิ่งไม่ช่วยส่งผลต่อกระบวนการฟื้นสภาพของกล้ามเนื้อที่เสียหายให้เร็วขึ้นนั้น อาจเนื่องจากการวิ่งยังคงเป็นกิจกรรมที่มีแรงกระทำกับกล้ามเนื้อและข้อต่อที่มาก อีกทั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อยังคงเป็นแบบยืดยาวออกและหดสั้นเข้าสลับกันไป อาจทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายขึ้นอีก สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Chen and Hsieh (2001) ที่พบว่าการฝึกที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกซ้ำในวันที่ 3 และวันที่ 6 หลังการฝึกในวันแรก และการฝึกซ้ำ วันที่ 1 ถึงวันที่ 7 หลังการฝึกในวันแรก ไม่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายมากกว่าเดิม และไม่ช่วยให้กระบวนการฟื้นคืนสภาพจากการเสียหายเร็วขึ้น นอกจากการวิ่งบนบกแล้วการวิ่งในน้ำยังเป็นกิจกรรมหนึ่งที่ผู้ฝึกสอนใช้เพื่อช่วยการฟื้นตัวจากการเสียหายของกล้ามเนื้อ เนื่องจากแรงพยุงของน้ำจะช่วยลดแรงกดดันหรือแรงกระแทกภายในข้อต่างๆ เช่น ข้อเท้า ข้อเข่า (สุริยา, 2538) เมื่ออยู่ในน้ำระดับกระดูกสันหลังส่วนของขาจะรับน้ำหนักของร่างกายประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 และจะลดลงเหลือร้อยละ 10 เมื่อเคลื่อนไหวอยู่ในน้ำลึกระดับไหล่ อีกทั้งพบว่ากล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้าเพียงอย่างเดียวเมื่อมีการเคลื่อนไหวในน้ำ ซึ่งจะเกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อน้อยกว่าการเคลื่อนไหวบนบกที่กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบยืดยาวออกร่วมด้วย (Bates and Hanson 1996; Takahashi *et al.* 2006) นอกจากนี้แรงดันของน้ำยังมีส่วนช่วยทำให้การไหลเวียนของเลือดจากส่วนปลายของร่างกายกลับสู่หัวใจมากขึ้น (Mayo, 2000) ส่วนผลที่เกิดขึ้นกับการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายนั้น Reilly *et al.* (2003) ได้รายงานว่า การวิ่งในน้ำช่วยลดอาการเจ็บระบมที่กล้ามเนื้อได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ช่วยกระบวนการฟื้นความแข็งแรงได้เร็วขึ้น และ creatine kinase ในเลือดลดลงเร็วกว่ากลุ่มที่ไม่ได้วิ่งในน้ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ Rudzki and Conning (1999) พบว่า อัตราของการเจ็บระบมกล้ามเนื้อจะลดลง 46.6 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่วิ่งในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ การวิ่งบนบก

จากการศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบยืดยาวออก จะพบว่าเป็นการศึกษาในช่วงเวลาสั้น ๆ คือ ในช่วง 10 วัน หลังการออกกำลังกาย และวิธีการที่ทำให้เกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อยังเป็นการปฏิบัติในห้องปฏิบัติการเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการฝึกซ้อมนักกีฬาโดยทั่วไปมีรูปแบบการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกและทำให้เกิดการเสียหายต่อกล้ามเนื้อได้ เช่น การวิ่งลงเนิน และการฝึกพลัยโอเมตริก เป็นต้น (Szymanski, 2001) สำหรับการฝึกพลัยโอเมตริก เป็นหนึ่งในรูปแบบวิธีการฝึกที่ถูกนำมาใช้พัฒนาสมรรถภาพด้านพลังและความเร็วในการเคลื่อนไหวให้กับนักกีฬาหลายประเภท เช่น วอลเลย์บอล ฟุตบอล รักบี้ฟุตบอล กรีฑาวิ่งระยะสั้นและกรีฑาประเภทลาน เป็นต้น (Brown *et al.*, 2000) แต่กิจกรรมการฝึกดังกล่าวทำให้เกิดการเจ็บระบมที่กล้ามเนื้อ การบาดเจ็บของเอ็นกล้ามเนื้อ และข้อต่อ ซึ่งจะส่งผลต่อการฝึกซ้อมในช่วงถัดไป ดังนั้นหากมีวิธีการทำให้กระบวนการฟื้นตัวจากสภาพการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการฝึกเร็วขึ้น ย่อมทำให้การฝึกในช่วงถัดไปทำได้มีประสิทธิภาพ โดยการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกการวิ่งในน้ำตามเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นกิจกรรมที่ใช้สำหรับการฟื้นตัวหลังการฝึกพลัยโอเมตริก เพื่อศึกษาการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

สำหรับการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษาเพื่อตอบวัตถุประสงค์ร่วมข้างต้นโดยแต่ละการศึกษามีวัตถุประสงค์หลักดังต่อไปนี้

การศึกษาช่วงที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายหลังจากการคลายอุ่นด้วยวิธีการวิ่งในน้ำลึก การวิ่งเหยาะและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ หลังการฝึกพลัยโอเมตริก และศึกษาค่าของ median frequency (MDF) และ root mean square (RMS) ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุดและระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด ในการใช้เป็นตัวบ่งชี้หนึ่งของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย โดยแยกออกเป็นรายชื่อดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการคลายอุ่นหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อการตอบสนองของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย
2. เพื่อเปรียบเทียบระดับ CK และ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง
3. เพื่อเปรียบเทียบค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด และเปรียบเทียบค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC 70% MVIC และ 80% MVIC ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง
4. เพื่อเปรียบเทียบค่าความอ่อนตัว แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ ความสูงของการกระโดดในแนวตั้ง และความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

การศึกษาที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายจากโปรแกรมการฝึกซ้อมและมีกิจกรรมการคลายอุ่นด้วยวิธีการวิ่งในน้ำลึก การวิ่งเหยาะ และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังการฝึก ทั้งนี้จะติดตามดูการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นเวลา 6 สัปดาห์ และศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายหลังหยุดโปรแกรมการฝึกเป็นเวลา 3 วัน และ 7 วัน โดยแยกวัตถุประสงค์เป็นรายข้อดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการคลายอุ่น หลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่ออาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

2. เพื่อเปรียบเทียบระดับ CK และ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

3. เพื่อเปรียบเทียบค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด และค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ความอ่อนตัว แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ ค่าความสูงของการกระโดดในแนวตั้ง และความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

นิยามศัพท์

การวิ่งในน้ำลึก (deep water running) หมายถึง การเคลื่อนไหวเช่นเดียวกับการวิ่งบนบกในน้ำลึกระดับไหล่และเท้าไม่สามารถสัมผัสพื้นได้ โดยใช้เข็มขัดโฟมคาดไว้ที่เอวเพื่อช่วยในการลอยตัว

หลังการฝึก (after training) หมายถึง ช่วงของการคลายอุ่นหลังจากโปรแกรมการฝึก

การฝึกพลัยโอเมตริก (plyometric training) หมายถึง การฝึกเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ โดยมีลักษณะการยืดตัวออกของกล้ามเนื้อและหดตัวสั้นเข้าอย่างรวดเร็วในทันที เช่น การกระโดดในลักษณะต่างๆ

อาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย (indirect symptoms of muscle damage) หมายถึง ตัวบ่งชี้ที่แสดงถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึก โดยไม่ใช้วิธีการเจาะเส้นใยกล้ามเนื้อเพื่อมาทำการศึกษา แต่ใช้การศึกษาจากตัวแปรอื่นที่บ่งชี้ว่ามีการเสียหายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น ได้แก่

- ระดับ CK และ LDH ในเลือด
- ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า (sit and reach) ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (ankle extension) และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (ankle flexion)
- แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ (maximum voluntary isometric contraction: MVIC) ปลายขาด้านหลัง (gastrocnemius)
- ความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump
- ความรู้สึกเจ็บระบมของกล้ามเนื้อ (muscle soreness) ปลายขาด้านหลัง
- ค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด
- ค่าจุดตัด (intercept) และความชัน (slope) จากสมการถดถอยของค่า MDF ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC 70% MVIC และ 80% MVIC
- ค่าจุดตัด (intercept) และความชัน (slope) จากสมการถดถอยของค่า RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC 70% MVIC และ 80% MVIC

การตรวจเอกสาร

ในการตรวจเอกสารครั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอเนื้อหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับข้อบกพร่องการวิจัยดังนี้

- การออกกำลังกายและการเสียหายของกล้ามเนื้อ
- การฝึกพลัยโอเมตริก
- ตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อ
- รูปแบบการฟื้นตัวในช่วงระหว่างการฝึกซ้อมและแข่งขัน
- การวิ่งในน้ำลึก

การออกกำลังกายและการเสียหายของกล้ามเนื้อ

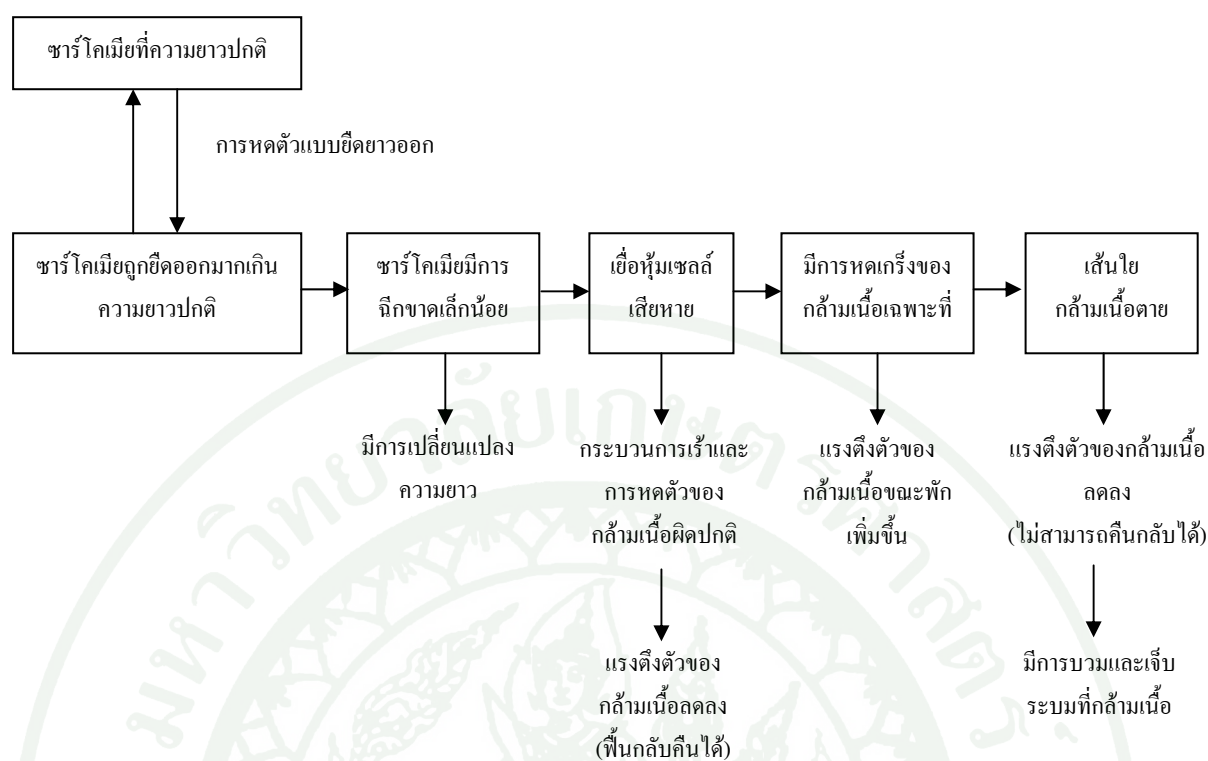
การศึกษาเกี่ยวกับการเสียหายของกล้ามเนื้อ ได้ถูกรายงานขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Hough ในปี ค.ศ. 1902 โดยกล่าวถึงอาการเจ็บระบมของกล้ามเนื้อ (muscle soreness) ที่เกิดขึ้นภายหลังการออกกำลังกายนั้น มีสาเหตุจากการฉีกขาดเล็กน้อยภายในกล้ามเนื้อ (Clarkson, 1992 หลังจากนั้นถัดมาอีก 90 ปี การศึกษาเกี่ยวกับการเจ็บระบมของกล้ามเนื้อและการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายจึงเป็นที่สนใจและมีผู้ศึกษาเพิ่มมากขึ้น โดยระหว่างปี ค.ศ. 1970 และ 1980 มีเพียง 5 เรื่อง ที่ศึกษาในมนุษย์ จำนวนเรื่องที่ศึกษาในมนุษย์ได้เพิ่มมากขึ้นในระหว่างปี ค.ศ. 1970 และ 1990 คือ มีประมาณ 42 เรื่อง และในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมานี้ การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นคือ มีประมาณ 125 เรื่อง จากจำนวนเรื่องที่มีการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายและการฝึกอย่างหนัก การออกกำลังกายที่ไม่คุ้นเคย หรือการฝึกที่เกินกว่าความสามารถที่เคยปฏิบัติจะทำให้เกิดการเสียหายต่อกล้ามเนื้อ รูปแบบการออกกำลังกายที่ก่อให้เกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อมากที่สุดคือ การออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก (eccentric contraction) รูปแบบการศึกษาที่ใช้แยกได้เป็นการศึกษาที่ให้กลุ่มกล้ามเนื้อทำงานแบบแยกส่วน คือ เป็นการทำงานของข้อต่อเพียงข้อเดียว เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้ในการงอศอก (biceps muscle) และ การออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกเป็นส่วนใหญ่ เช่น การวิ่งลงเนิน หรือ การก้าวลงบันได เป็นต้น (Clarkson, 1992; Clarkson and Hubal, 2002) การอธิบายอาการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นเริ่มแรกและชั้นการเสียหายที่โครงสร้าง (Proske and Morgan, 2001)

การเสียหายของกล้ามเนื้อขั้นเริ่มแรก

กระบวนการเริ่มต้นอันนำไปสู่การเสียหายของกล้ามเนื้อในขั้นเริ่มแรกเกิดจากซาร์โคเมอร์ (sarcomeres) ถูกยืดออกมากเกินไป (overstretch) (ภาพที่ 1) จึงส่งผลให้ซาร์โคเมอร์มีการฉีกขาดเล็กน้อย และก่อให้เกิดการเสียหายในกระบวนการเข้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อ (excitation-contraction coupling) เป็นลำดับถัดมา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้แรงดึงตัวของกล้ามเนื้อลดลงร้อยละ 75 หรือมากกว่านี้ แต่การเสียหายขั้นนี้คงอยู่แค่ช่วงวันแรกหลังการออกกำลังกาย และเป็นการเสียหายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงให้เห็นได้จากงานวิจัยของ Warren *et al.* (1993a); Warren *et al.* (1993b); Balnave and Allen (1995) ที่พบว่าแรงดึงตัวของกล้ามเนื้อหนูสามารถฟื้นคืนกลับได้ภายหลังจากได้รับคาเฟอีน เนื่องจากคาเฟอีนมีผลต่อการกระตุ้นการปล่อยแคลเซียม (Ca^{2+}) จากซาร์โคพลาสมิกเรติคูลัม (sarcoplasmic reticulum) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Takekura *et al.* (2001) ที่รายงานว่า การเสียหายในขั้นเริ่มแรกอยู่ที่บริเวณ t-tubule และส่งผลให้แรงดึงตัวของกล้ามเนื้อลดลงโดยการฟื้นคืนกลับของแรงดึงตัวของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นได้เมื่อได้รับคาเฟอีนไม่ใช่จากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่เกิดขึ้นเมื่อทดลองในกล้ามเนื้อคางคก (Allen, 2001)

การเสียหายของกล้ามเนื้อที่โครงสร้าง

การเสียหายของกล้ามเนื้อในขั้นนี้เป็นการเสียหายในส่วนโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่จะทำการเจาะเส้นใยกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายในรูปแบบที่ทำให้กล้ามเนื้อเสียหายมาส่องดูโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscopic) ที่มีกำลังขยายสูง พบว่าการเสียหายจะเกิดที่บริเวณ Z-line และฟิลาเมนต์ที่มีความยืดหยุ่น ได้แก่ titin ซึ่งมีหน้าที่ในการยึด thick filament ให้ติดอยู่กับ Z-line นอกจากนี้ยังเกิดการเสียหายที่โครงสร้างของโปรตีน desmin เช่นกัน (Allen, 2001) การเสียหายดังกล่าวจะรุนแรงขึ้นหากการออกกำลังกายยังคงปฏิบัติด้วยความหนักและต่อเนื่อง จนกระทั่งบางส่วนหรือทั้งหมดของเส้นใยกล้ามเนื้อไม่สามารถทำหน้าที่ต่อไปได้และตายลงในที่สุด การเปลี่ยนแปลงที่แสดงให้เห็นคือแรงดึงของกล้ามเนื้อลดลงและไม่สามารถฟื้นคืนกลับได้ด้วยคาเฟอีน การเสียหายในขั้นนี้จะก่อให้เกิดการอักเสบเฉพาะที่ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับการบวม น้ำของเนื้อเยื่อ อาการบวมของมัดกล้ามเนื้อที่ทำงานและความรู้สึกเจ็บระบม (Proske and Morgan, 2001)



ภาพที่ 1 กระบวนการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออก

ที่มา: Proske and Morgan (2001)

การฝึกพลัยโอเมตริก

พลัยโอเมตริก (plyometric) มาจากภาษากรีก คือ “Plethyein” หมายถึง เพิ่มขึ้น หรือ จากรากศัพท์ภาษากรีก คำว่า “plio” หมายถึง มากขึ้นอีก รวมคำว่า “metric” ซึ่งหมายถึงการวัดขนาดหรือระยะ ตามที่เข้าใจกันในปัจจุบัน plyometric exercise หมายถึง การออกกำลังกายหรือการฝึกบริหารร่างกายที่รวมไว้ซึ่งพลัง ความแข็งแรง และความรวดเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน (Dintiman *et al.*, 1998) โดยเทคนิคการฝึกพลัยโอเมตริกจะต้องตระหนักถึงการทำให้กล้ามเนื้อมีการยืดตัวออกอย่างรวดเร็ว และตามด้วยการหดตัวแบบหดสั้นเข้าอย่างทันทีทันใด การปฏิบัติดังกล่าวจะมีลักษณะของการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อสลับกันไป ซึ่งปัจจุบันการฝึกพลัยโอเมตริกจัดว่าเป็นกิจกรรมหนึ่งของรูปแบบการฝึกหรือรูปแบบการออกกำลังกายที่เรียกว่า “การฝึกแบบวงจรการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อ” (stretch-shortening cycle exercise) (Haffman, 2002) เพราะการฝึกแบบวงจรการยืดเหยียดกล้ามเนื้อจะมีความหมายที่กว้างและครอบคลุมในหลายกิจกรรมที่กล้ามเนื้อมีการยืดตัวออกหรือหดตัวแบบยืดยาวออกก่อนแล้ว

ตามด้วยการหดตัวแบบหดสั้นเข้าอย่างทันทีทันใด เป็นวงจรต่อเนื่องจนสิ้นสุดการเคลื่อนไหว เช่น การวิ่งลงเนิน การเดินลงบันได และการเคลื่อนไหวในกีฬาทุกประเภทที่มีการวิ่ง เป็นต้น ดังนั้น กิจกรรมการฝึกในลักษณะดังกล่าวจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบพลังงาน กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ และชีวเคมีภายในกล้ามเนื้อภายหลังจากการฝึก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากกล้ามเนื้อมีการเสียหาย (Komi, 2000; Ishikawa *et al.*, 2006) การฝึกพลัยโอเมตริกมีจุดเริ่มต้นจากผู้ฝึกสอนแถบทวีปยุโรป ในช่วงปี ค.ศ. 1970 โดยจัดกิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริกไว้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการฝึกกรีฑาประเภทลู่และลาน ยิมนาสติก และยกน้ำหนัก ผลคือ นักกีฬาประสบความสำเร็จและมีสถิติที่ดีขึ้นกว่าเดิม (Chu, 1992) จากผลที่เกิดขึ้นเป็นที่ยอมรับของผู้ฝึกสอน และนักกีฬาในการนำมาส่งเสริมความสามารถให้เพิ่มขึ้นในกีฬาหลายประเภท เช่น วอลเลย์บอล ฟุตบอล บาสเกตบอล เทนนิส เป็นต้น (Radcliffe and Farentionor, 1999)

รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกสามารถทำได้หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การฝึกกระโดด และการเข่งในรูปแบบต่างๆ กัน เพื่อพัฒนาร่างกายส่วนล่าง และการใช้เมคซิมบอล เพื่อพัฒนาร่างกายส่วนบน (Chu, 1992) ขั้นตอนการทำงานของกล้ามเนื้อในการฝึกพลัยโอเมตริก แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้คือ

ระยะที่ 1 eccentric phase เป็นระยะที่กล้ามเนื้อยืดเหยียดตัวออกเพื่อสะสมพลังงานศักย์หรือแรงไว้ก่อนที่จะหดตัว เพื่อปฏิบัติการเคลื่อนไหว

ระยะที่ 2 amortization phase เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการที่กล้ามเนื้อยืดยาวออกเป็นการหดตัวกลับอย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3 concentric phase เป็นระยะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวกลับอย่างสมบูรณ์

ขณะที่กล้ามเนื้อถูกยืดตัวออกจะมีการสะสมพลังงานแบบยืดหยุ่น (elastic energy) และจะมีการปล่อยพลังงานออกเมื่อกำลังมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้า จึงช่วยให้การหดตัวของกล้ามเนื้อ มีแรงและพลังมากยิ่งขึ้น พลังงานแบบยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อได้มากขึ้นหากช่วง amortization phase เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว งานวิจัยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นผลการฝึกที่มีต่อการเพิ่มความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมที่ต้องอาศัยพลังของกล้ามเนื้อให้ดีขึ้น เช่น ความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง (vertical jump) อัตราเร็วในการเคลื่อนไหว และการรับรู้ของระบบประสาทที่ข้อต่อ เป็นต้น (Miller *et al.*, 2006) การฝึกพลัยโอเมตริกเป็นการฝึก

แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวสูงสุด มีแรงที่มากกระทำกับกระดูก ข้อต่อ เอ็น และ กล้ามเนื้อที่มาก จึงควรมีการเตรียมความพร้อมของสมรรถภาพร่างกาย โดยเฉพาะความแข็งแรง ของกล้ามเนื้อขาและลำตัว ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้แรงและรับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากการ เคลื่อนไหวโดยตรงก่อนการฝึก สำหรับโปรแกรมการฝึก Chu (1992) แนะนำให้ฝึก 2 – 3 วันต่อ สัปดาห์ ใช้เวลาในการฝึกแต่ละครั้งไม่เกิน 30 นาที ควรฝึกประมาณ 2 – 4 ชุด ๆ ละ 8 – 12 ครั้ง และพักระหว่างชุด 2 – 5 นาที สำหรับผลการฝึกที่มีต่อความสามารถในการเคลื่อนไหวที่ใช้พลัง ของกล้ามเนื้อ เช่น ความสามารถในการกระโดดแนวตั้ง ความเร็วในการวิ่งระยะทาง 40 หลา จะมี ระยะเวลาของโปรแกรมการฝึกอยู่ระหว่าง 4-6 สัปดาห์ ดังเช่นงานวิจัยของ Miller *et al.*, (2006) ที่ พบว่าโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก 6 สัปดาห์ ส่งผลต่อเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นขณะทดสอบความ แคล่วคล่องว่องไวบนแผ่นวัดแรงลดลง นอกจากนี้ Reymont *et al.* (2006) พบว่านักกีฬาฮอกกีว ีชั้น 3 มีความเร็วในการวิ่ง 10 และ 40 หลาลดลง ความสูงของการกระโดดแนวตั้งและพลัง กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

การฝึกพลัยโอเมตริกเป็นกิจกรรมที่ฝึกแล้วส่งผลให้กล้ามเนื้อมีพลังมากยิ่งขึ้นแต่ผลของ การฝึกก็ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเจ็บระบมและมีการเสียหายเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบ กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออก ดังเช่นการศึกษาของ Tofas *et al.* (2008) ที่พบว่าการฝึกพลัยโอเมตริก ส่งผลให้ตัวบ่งชี้ทางเคมีที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายมีระดับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลัง การฝึก เช่น ระดับ creatine kinase จะเพิ่มสูงขึ้นหลังการฝึก 48 และ 72 ชั่วโมง ส่วน lactate dehydrogenase จะเพิ่มสูงขึ้นหลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง สอดคล้องกับ Marginson *et al.* (2005) พบว่า ผู้ใหญ่เพศชายที่มีอายุระหว่าง 20 – 29 ปี และเด็กเพศชายที่มีอายุระหว่าง 9 – 10 ปี หลังการฝึกพลัยโอเมตริก 30 นาที และ 24 - 48 ชั่วโมง จะมีการเจ็บระบมกล้ามเนื้อเกิดขึ้นสูงสุด ส่วนความสามารถในการกระโดดแนวตั้งและความแข็งแรงกล้ามเนื้อจะมีค่าลดลงมากที่สุดเช่นกัน นอกจากนี้ Eiras *et al.* (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำ Drop jump ที่ความสูง 30 เซนติเมตร จำนวน 10 ครั้งต่อชุด ทั้งหมด 4 ชุด แต่ละชุดพัก 1 นาที ในผู้ชายที่มีอายุเฉลี่ย 18 ปี มีกิจกรรมการออกกำลังกายระดับปานกลาง พบว่า ระดับ CK ในเลือดหลังการฝึก 72 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึก ร้อยละ 277 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่นเดียวกับระดับ LDH ในเลือดที่พบว่า หลัง การฝึก 72 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกประมาณร้อยละ 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ระดับ 0.05 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการฝึกพลัยโอเมตริกส่งผลให้เกิดการเสียหายของ กล้ามเนื้อ ได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก

ตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อ

การเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายเกิดจากการฉีกขาดเล็กน้อยภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจนกระทั่งเส้นใยกล้ามเนื้อสูญเสียหน้าที่การทำงานบางส่วนหรือตายลง ในช่วงแรกของการเสียหายจะเกิดที่บริเวณผนังที่ห่อหุ้มเซลล์ (sarcolemma) เกิดความไม่สมดุลระหว่างการเคลื่อนที่เข้าออกของสารภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ถัดมาคือบริเวณ t-tubule และท้ายสุดคือบริเวณโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ การเสียหายที่แผ่ขยายออกอย่างเป็นลำดับเกิดจากความหนักและความรุนแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ยังคงดำเนินอยู่ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงส่งผลให้หน้าที่การทำงานของกล้ามเนื้อลดลง ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยการหดตัวของกล้ามเนื้อภายใต้อำนาจจิตใจ (voluntary contraction) และการหดตัวของกล้ามเนื้อภายใต้อำนาจจิตใจโดยใช้การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า (electrically stimulated contractions) มีการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่รั่วไหลของมาจากเซลล์กล้ามเนื้อที่มีการเสียหาย เช่น creatine kinase และ lactate dehydrogenase เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าการอักเสบ การเจ็บระบมของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย และอาการบวม เป็นต้น (Skurvydas *et al.*, 2006)

จากที่กล่าวมาสามารถแบ่งวิธีประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อได้เป็น 2 วิธีการใหญ่ๆ คือ วิธีการทางตรงและวิธีการทางอ้อมรายละเอียดดังต่อไปนี้

การประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อด้วยวิธีการทางตรง

การประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อด้วยวิธีการทางตรงคือการเจาะตัวอย่างเส้นใยกล้ามเนื้อแล้วนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่มีความยุ่งยาก ผู้ถูกทดสอบเกิดความเจ็บปวด ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการพักฟื้น และยังมีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้เส้นใยกล้ามเนื้อที่ถูกเจาะมาศึกษาเป็นเพียงตัวแทนของเส้นใยกล้ามเนื้อทั้งหมดอาจจะไม่ครอบคลุมการเสียหายในส่วนอื่นๆ และส่งผลให้การประเมินการเสียหายเกินกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริงได้ อีกวิธีหนึ่งที่จัดอยู่ในการประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อโดยวิธีการทางตรงคือการดูด้วยภาพ หรือวิธีการ magnetic resonance imaging (MRI) เป็นการดูภาพการเสียหายของกล้ามเนื้อทั้งมัด เป็นเทคนิคที่มีราคาไม่แพง แต่ก็ยังไม่มีความชัดเจนในภาพที่แสดงให้เห็นเนื่องจากต้องอาศัยการตีความและความชำนาญของผู้ใช้เครื่องในการวิเคราะห์ (Clarkson and Hubal, 2002)

การประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อด้วยวิธีการทางอ้อม

จากความไม่ชัดเจนในวิธีการทางตรงซึ่งต้องอาศัยความชำนาญของผู้ทดสอบ และค่าใช้จ่ายที่สูงจึงมีนักวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาการประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อโดยวิธีการทางอ้อม และจากข้อมูลของ Warren *et al.* (1999) พบว่าตัวบ่งชี้สำหรับใช้ประเมินการเสียหายของกล้ามเนื้อด้วยวิธีการทางอ้อมในงานวิจัยที่ทำกับมนุษย์ 3 ลำดับแรกได้แก่ ตัวบ่งชี้ด้านการเจ็บระบบของกล้ามเนื้อมีร้อยละ 63 เรื่อง การประเมินโดยใช้โปรตีนในเลือดมีร้อยละ 52 เรื่อง และแรงสูงสุดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อมีร้อยละ 50 เรื่อง นอกจากนี้ยังมีตัวบ่งชี้อื่นๆ อีกดังต่อไปนี้

1. การเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อ (muscle soreness)

การระบบที่กล้ามเนื้อเป็นตัวบ่งชี้หนึ่งที่บอกลถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย โดยผู้ที่นำเสนอเกี่ยวกับการเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อ คือ Hough ในปี ค.ศ. 1902 และผู้ที่นำเสนอเกี่ยวกับการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกจะส่งผลต่อการเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อ ภายหลังการออกกำลังกาย คือ Asmussen ในช่วงต้น ปี 1950 (Friden and Lieber, 2001) โดยอาการเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อจะปรากฏให้เห็นหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง และจะสูงสุดเมื่อการออกกำลังกายผ่านไป 2 – 3 วัน หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเข้าสู่วันที่ 8 – 10 ของการออกกำลังกาย สำหรับการฝึกที่นำไปสู่การเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อนั้นเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป แต่สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้นหลังการออกกำลังกาย 24 – 48 ชั่วโมงยังไม่มีเหตุผลในการอธิบาย ส่วนความรู้สึkJเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อสามารถรับรู้ได้เมื่อมีการสัมผัสที่กล้ามเนื้อ หรือระหว่างการเคลื่อนไหว (Smith, 2004)

2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscle strength)

หลังการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก พบว่า ความแข็งแรงลดลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งเข้าสู่วันที่ 10 หลังการออกกำลังกาย โดยเหตุผลที่ความแข็งแรงลดลงนั้น Friden and Lieber (2001) ได้รายงานว่าเกิดจากโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อมีการเสียหาย

3. ระดับ Creatine Kinase และ Lactate dehydrogenase ในเลือด

Creatine kinase (CK) เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่รักษาระดับ ATP ให้เพียงพอต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Friden and Lieber, 2001) จัดเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อ อันเนื่องจากเซลล์กล้ามเนื้อถูกทำลายโดยปกติ creatine kinase จะมีอยู่ในกล้ามเนื้อแต่ก็สามารถตรวจพบในเลือดได้ สำหรับค่าปกติที่อยู่ในเลือดของผู้ชายและผู้หญิง คือ 55 ถึง 170 ยูนิต/ลิตร และ 30 ถึง 135 ยูนิต/ลิตร (Ehlers *et al.*, 2002) หรือไม่เกิน 190 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ (Dawson *et al.*, 2005) หากพบว่ามีมากกว่านี้แสดงว่ากล้ามเนื้อมีการเสียหาย จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับ creatine kinase เกิดขึ้นได้จากกิจกรรมการฝึกในหลายรูปแบบ เช่น การวิ่งลงเนิน การวิ่งมาราธอน แต่กิจกรรมการฝึกที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับ creatine kinase หลังการออกกำลังกายมากที่สุด (Ehlers *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับระยะเวลาของการออกกำลังกาย และระดับสมรรถภาพทางกายของนักกีฬา (Vincent and Vincent, 1997) ดังเช่นงานวิจัยของ Ostrowski *et al.* (1998) ที่พบว่าหลังการแข่งขันวิ่งมาราธอนของนักกีฬาเพศชาย อายุเฉลี่ย 30.5 ปี จำนวน 16 คน มีเวลาเฉลี่ยในการวิ่งเท่ากับ 3 ชั่วโมง 17 นาที 03 วินาที จะมีระดับ CK ในเลือดจาก 255 ยูนิต/ลิตร ซึ่งเป็นค่าก่อนการแข่งขัน 1 สัปดาห์ เพิ่มขึ้นเป็น 2,360 ยูนิต/ลิตร และ 1,193 ยูนิต/ลิตร ในวันที่ 1 และวันที่ 2 หลังการแข่งขันตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาของ Nosaka and Clarkson (1996) พบว่าระดับของ creatine kinase หลังการออกกำลังกายสามารถเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 25,244 ยูนิต/ลิตร นอกจากนี้งานวิจัยโดยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของระดับ creatine kinase ในเลือดเกิดหลังจากการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกมากกว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นเข้า และการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดเกร็งค้างไว้โดยมีค่าเพิ่มสูงสุดหลังการออกกำลังกาย 48-72 ชั่วโมง (Clarkson and Hubal, 2002)

Lactate dehydrogenase (LDH) เป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยน pyruvate ไปเป็น lactate โดยงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเสียหายของกล้ามเนื้อพบว่าระดับ LDH ที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับความหนักและระยะเวลาในการออกกำลังกายเป็นสำคัญ การออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานาน เช่น การวิ่งมาราธอน จะมีระดับ LDH ในเลือดเพิ่มมากกว่า 2 เท่าจากขณะพัก และคงอยู่ในระดับที่สูงกว่าปกติประมาณ 2 สัปดาห์ และหากเป็นการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกที่ระดับความหนักมาก ส่งผลให้ระดับ LDH จะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการฝึกวันที่ 3 ถึงวันที่ 5 และบางครั้งอาจอยู่นานถึง 7 วัน (Brancaccio *et al.*, 2010)

4. การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (electromyography: EMG)

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะก่อให้เกิดกระบวนการที่นำไปสู่การหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นลำดับถัดไปหากความแรงของการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้ามากพอ การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยยนต์ (motor unit) ที่ระดมเพื่อการทำงานหรือเกิดจากความถี่ของการกระตุ้นหน่วยยนต์ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสามารถบันทึกได้โดยอาศัยการติดอิเล็กโทรดบนผิวหนัง หรือสอดเข็มอิเล็กโทรดเข้าไปในกล้ามเนื้อ แล้วต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) (ชัยเลิศ, 2547) การศึกษาทางกีฬานิยมใช้การติดอิเล็กโทรดบนผิวหนังเพราะสามารถวัดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ทั้งในขณะพักและระหว่างการออกกำลังกาย คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้จะนำเสนอใน 2 ลักษณะคือ ความถี่ (frequency) เป็นค่าที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อที่สอดคล้องกับ ความถี่ของการส่งสัญญาณไฟฟ้าของหน่วยยนต์ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) ค่าที่นิยมนำเสนอ คือค่า median frequency (MDF) เป็นค่าที่แบ่งครึ่ง spectral power ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อออกเป็นความถี่ต่ำ (low frequency) และความถี่สูง (high frequency) นิยมใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาเกี่ยวกับความล้าและการเสียหายของกล้ามเนื้อ (Felici *et al.*, 1997) ส่วนขนาดหรือความสูง (amplitude) ของการเกิดคลื่นจะนำเสนอด้วยค่า root mean square (RMS) เพื่ออธิบายถึง จำนวนหน่วยยนต์ที่ถูกกระตุ้นเพื่อการทำงานหรือการออกแรงในขณะพัก (Felici *et al.*, 1997; Ahmadi *et al.*, 2007)

การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อใช้เพื่อการค้นหาคุณสมบัติการหดตัวของกล้ามเนื้อทั้งในระหว่างและหลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อถูกทำให้ยืดยาวออก โดยเริ่มมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางมากขึ้น ดังการศึกษาของ Felici *et al.* (1997) ที่นำค่า MDF และ RMS ที่ได้จากการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อไปเข้าสมการถดถอยเพื่อหาค่าความชัน (slope) และค่าจุดตัด (intercept) หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ ผลพบว่าค่าดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อได้ เช่นเดียวกับ Ahmadi *et al.* (2007) ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยเฉพาะค่าความชันและค่าจุดตัดของ MDF มีความสอดคล้องกับการฟื้นกลับของสมรรถภาพกล้ามเนื้ออันเนื่องมาจากกล้ามเนื้อเสียหายภายหลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อถูกทำให้ยืดยาวออกมากกว่าค่าความชันและค่าจุดตัดของ RMS

รูปแบบกิจกรรมการฟื้นตัวระหว่างช่วงการฝึกซ้อมและการแข่งขัน

การที่นักกีฬาจะประสบความสำเร็จในการแข่งขันนั้นส่วนหนึ่งอยู่ที่กลยุทธ์ของการฝึกซ้อม การวางแผนการฝึกโดยการจัดกิจกรรม กำหนดความหนัก ปริมาณงานและระยะเวลาของการพักฟื้นที่เหมาะสม จะทำให้นักกีฬารักษาจากสภาวะการฝึกเกิน และไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บ แต่อย่างไรก็ตามการฝึกซ้อมแต่ละครั้งหรือแต่ละช่วงย่อมทำให้นักกีฬาเกิดความล้าสะสม โดยความล้าที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากพลังงานที่นักกีฬาใช้ในช่วงการฝึกซ้อมลดน้อยลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ คือ เป็นนาทีหรือชั่วโมง สามารถฟื้นคืนกลับได้เมื่อได้รับการชดเชยสารอาหารสำหรับสร้างพลังงานที่ใช้ไปได้อย่างเพียงพอ เช่น การฟื้นคืนกลับของไกลโคเจน เมื่อได้รับคาร์โบไฮเดรตหลังการแข่งขัน ซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากการฝึกซ้อมหรือแข่งขันอย่างหนัก แต่หลังการฝึก 24 ถึง 48 ชั่วโมง ความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมยังคงลดลง เช่น แรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัว และความอดทน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบระยะยาวอันเนื่องมาจากการเสียหายภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อหรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้น โดยอาการที่แสดงให้เห็นหรือความรู้สึกที่นักกีฬารับรู้ได้ คือ อาการเจ็บระบมที่กล้ามเนื้อ (delayed onset of muscle soreness : DOMS) ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 รูปแบบ คือ ระยะสั้นหรือทันทีทันใดหลังการฝึกซ้อม และระยะยาว คือ ภายหลัง 24-48 ชั่วโมง หากไม่ได้รับการดูแลอย่างดีจากผู้ฝึกสอนในการจัดให้เกิดความสมดุลระหว่างความหนักของการฝึกซ้อมและระยะเวลาในการพักฟื้น จะนำไปสู่ปัญหาการบาดเจ็บ หรือสภาวะการฝึกเกินในที่สุด

การจัดกิจกรรม กำหนดความหนัก และระยะเวลาการฟื้นตัวที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวข้างต้นไม่ถูกบรรเทาลง แต่กลับทำให้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมในปัจจุบันจึงต้องมีช่วงของการฟื้นตัวไว้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมด้วย กิจกรรมหรือรูปแบบที่ให้นักกีฬาปฏิบัติมีความต่างกันไป เช่น การนวด (massage) การเคลื่อนไหว (active recovery) การรักษาด้วยความเย็น (cryotherapy) การแช่ด้วยน้ำร้อนและน้ำเย็น (contrast temperature water immersion) การรักษาด้วยความกดอากาศออกซิเจนสูง (hyperbaric oxygen therapy; HBOT) ยาต้านการอักเสบในกลุ่มที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ (nonsteroidal anti-inflammatory drugs; NSAID) การยืดเหยียด (stretching) การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (electromyostimulation; EMS) การผสมผสานหลายๆ รูปแบบเข้าด้วยกัน และการออกกำลังกายในน้ำ เป็นต้น

1. การนวด (massage)

การนวดเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางหลังการฝึกซ้อม ทั้งนี้เพื่อลดอาการบวมน้ำ (edema) และการเจ็บปวด เพิ่มการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อและลดอาการเจ็บระบบหลังการฝึก โดยเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าการนวดไม่ได้เพิ่มการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น เช่น การศึกษาของ Hinds *et al.* (2004) ที่ให้กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายโดยใช้เครื่องไอโซไคเนติก (Isokinetic) ในท่าเหยียดเข่า (leg extension) พบว่า การไหลเวียนของเลือดที่ขาระหว่างกลุ่มที่ได้รับการนวดหลังการออกกำลังกายและกลุ่มควบคุมที่พักเฉยๆ ไม่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การไหลเวียนของเลือดที่บริเวณผิวหนังของกลุ่มที่ได้รับการนวดจะสูงกว่ากลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Peeze *et al.* (1989) ที่ทำการทดลองในหนู พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของเลือดที่เส้นเลือดฝอยภายหลัง 24 ชั่วโมงของการวิ่ง โดยประเด็นสำคัญของการเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก คือ การเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อและจากหลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การนวดไม่ได้เป็นวิธีการที่จะทำให้การไหลเวียนเลือดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น แต่การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อที่ความหนักระดับปานกลางเป็นวิธีการที่จะทำให้เลือดไหลเวียนไปยังกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการนวด ดังนั้น หากพิจารณาในด้านประโยชน์และการประหยัดค่าใช้จ่าย การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อด้วยความหนักระดับปานกลาง จึงเป็นวิธีการที่น่าจะเลือกนำมาใช้มากกว่าวิธีการนวด

การนวดกับการฟื้นตัวของความแข็งแรงภายหลังการออกกำลังกาย พบว่า ไม่มีความต่างกันระหว่างกลุ่มที่ได้รับการนวดและกลุ่มควบคุม ภายหลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก เช่นเดียวกับการศึกษาของอีกหลายงานวิจัยที่พบว่า การนวดไม่ก่อประโยชน์ในการป้องกันการลดลงของความแข็งแรงภายหลังการออกกำลังกาย แต่การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการนวดช่วยลดอาการรุนแรงของการเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อภายหลัง 48 ชั่วโมงของการออกกำลังกาย แต่ไม่ส่งผลภายหลัง 24 72 หรือ 96 ชั่วโมงของการออกกำลังกาย สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการนวดภายหลังการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกและดูผลต่อการเปลี่ยนแปลงความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายไม่ปรากฏให้เห็น เนื่องจากการนวดหลังการออกกำลังกายที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายนั้นจะเป็นการทำให้กล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บเพิ่มขึ้นไปอีก (Barnett, 2006)

2. การฟื้นตัวด้วยการเคลื่อนไหว (active recovery)

กิจกรรมการเคลื่อนไหวภายหลังการออกกำลังกาย มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก ดังแสดงให้เห็นได้จากหลายงานวิจัยที่พบว่า การเคลื่อนไหวหลังการออกกำลังกายทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกดีกว่านั่งพัก หรือแม้แต่การนวดก็ส่งผลไม่ต่างกัน ส่วนการศึกษาในตัวแปรอื่น เช่น creatine kinase พบว่าการเคลื่อนไหวหลังการเล่นรักบี้ฟุตบอลให้ผลต่อการลดลงไม่ต่างจากการแช่น้ำร้อนและน้ำเย็น และการนั่งพัก (Suzuki *et al.* 2004) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวจะส่งผลต่อการฟื้นกลับของไกลโคเจนด้วยหรือไม่ ซึ่งประเด็นดังกล่าวมีทั้งข้อมูลที่แสดงให้เห็นว่าการฟื้นกลับของไกลโคเจนจากการเคลื่อนไหวไม่ต่างจากการนั่งพัก ซึ่งก็มีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการพักไม่เหมาะสม คืออยู่ระหว่าง 10 หรือ 15 นาที ยังไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์ไกลโคเจนกลับคืนได้ (Bangsbo *et al.* 1994) ดังนั้นนักวิจัยจึงมีการเสนอแนะให้ทำการศึกษาผลของการฟื้นตัวกลับของไกลโคเจนอันเนื่องจากการเคลื่อนไหวควบคู่กับหาปริมาณการได้รับคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมระหว่างช่วงการฝึกหรือหลังการฝึกซ้อมและแข่งขัน

3. การรักษาด้วยความเย็น (cryotherapy)

การรักษาด้วยความเย็นเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการรักษาอาการบาดเจ็บเฉียบพลัน และก็ได้ถูกนำมาใช้ในการฟื้นตัวหลังการฝึกซ้อมและหลังการแข่งขัน โดยข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาด้วยความเย็นหลังการออกกำลังกายมีวัตถุประสงค์เพื่อดูการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกายทันทีและในด้านการก่อให้เกิดการปรับตัว สำหรับประเด็นที่งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาได้แก่ผลต่อการลดอาการเจ็บระบมของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย ซึ่ง Cheung *et al.* (2003) สรุปข้อมูลจากหลายงานวิจัยที่มีการศึกษาในเรื่องดังกล่าวพบว่า ยังไม่มีข้อมูลที่สามารถสนับสนุนผลที่จะช่วยบรรเทาความรู้สึกถึงการบาดเจ็บได้ ส่วนผลที่ช่วยด้านการฟื้นตัวกลับของแรงกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายนั้นพบว่า การรักษาด้วยความเย็นไม่ทำให้แรงกล้ามเนื้อหลังการฝึกด้วยน้ำหนักของผู้ที่ฝึกอยู่เป็นประจำ มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการอื่นๆ (Howatson and Someren, 2008) แต่การศึกษาของ Lane and Wenger (2004) ที่ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่ขว้างลูกในกีฬาเบสบอล โดยการรักษาด้วยน้ำแข็งร่วมกับการเคลื่อนไหวเบาๆ ทำให้แรงของกล้ามเนื้อไหล่เพิ่มขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ด้านการรักษาด้วยความเย็นในช่วงระหว่างการฝึกที่มีต่อการปรับตัวของสมรรถภาพทางกาย Yamane *et al.* (2006) พบว่าเมื่อนำกลุ่มคนที่ไม่ค่อยออกกำลังกายมาทำการฝึกความอดทนของ

กล้ามเนื้อขา หรือฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนเป็นเวลา 4 – 6 สัปดาห์ ไม่ก่อให้เกิดการปรับตัวต่อสมรรถภาพทางกาย

4. การแช่น้ำร้อนและน้ำเย็น (contrast temperature water immersion)

การแช่น้ำร้อนและน้ำเย็นเป็นวิธีการที่ให้แช่น้ำโดยเริ่มจากน้ำอุ่น น้ำร้อน และน้ำเย็น วิธีการนี้ยังไม่มีข้อมูลในการที่จะรายงานถึงผลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อ และก็ยังเป็นการยากที่จะให้เหตุผลถึงกลไกที่ช่วยเพิ่มกระบวนการฟื้นตัว เช่น งานวิจัยของ Coffey *et al.* (2004) ที่พบว่า การฟื้นตัวระหว่างวิธีการมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว การนั่งพัก และการแช่น้ำร้อนและน้ำเย็น เป็นเวลา 15 นาที หลังการออกกำลังกายเป็นช่วงๆ บนลู่วิ่งจนกระทั่งไม่สามารถปฏิบัติต่อไปได้ที่ระดับความหนัก 120% และ 90% ของความเร็วสูงสุดในการวิ่ง ก่อนและหลังวิธีการฟื้นตัวดังกล่าวไม่ส่งผลให้สมรรถภาพทางกายภายหลัง 4 ชั่วโมงของการพักฟื้นแต่ละวิธีแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงการแช่น้ำร้อนและน้ำเย็นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CK ภายหลังจบเกมการแข่งขันของนักกีฬารักบี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การนั่งพักเฉยๆ (Gill *et al.*, 2006) นอกจากนี้ Vaile *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อแบบ passive recovery และการแช่น้ำร้อนสลับน้ำเย็น (contrast therapy) ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นเวลา 15 นาที โดยวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ได้รับการฟื้นตัวแบบ passive recovery มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในกลุ่มที่ได้รับการฟื้นตัวแบบแช่น้ำร้อนสลับน้ำเย็น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนและหลังออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าวิธีการแช่น้ำร้อนและน้ำเย็นยังต้องการงานวิจัยที่สนับสนุนผลที่ช่วยในกระบวนการฟื้นตัวต่อไป

5. การรักษาด้วยความกดอากาศออกซิเจนสูง (hyperbaric oxygen therapy; HBOT)

การรักษาด้วยความกดอากาศออกซิเจนสูงเป็นวิธีการที่ให้ทั้งหมดของร่างกายได้รับแรงกดดันที่มากกว่า 1 บรรยากาศ (>760 มม.ปรอท) ในขณะที่หายใจเอาออกซิเจน 100 เปอร์เซ็นต์ วิธีการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราการฟื้นตัวของเนื้อเยื่อที่มีการบาดเจ็บ เช่น บริเวณเนื้อเยื่อที่มีออกซิเจนน้อยลง (hypoxia) และมีการอักเสบ ทำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือด (vasoconstriction) ลดการเกิด neutrophil ลดการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ควบคุมอาการบวม

เพิ่มประสิทธิภาพของ leukocyte killing และช่วยกระบวนการสังเคราะห์คอลลาเจน (collagen) และการเจริญเติบโตของหลอดเลือดต่าง ๆ วิธีการดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้หลังการฝึกซ้อม ทั้งนี้เนื่องจากการฝึกซ้อมในบางช่วงจะมีความหนักของงานที่มาก จะก่อให้เกิดการเสียหายหรือบาดเจ็บเล็กน้อยที่เนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งวิธีการ HBOT จะทำให้กระบวนการซ่อมการเสียหายดังกล่าวเร็วขึ้น สำหรับการศึกษาในทางกีฬานั้นยังไม่มีการศึกษาในนักกีฬาชั้นนำเกี่ยวกับการใช้วิธี HBOT หลังการฝึกซ้อม แต่การศึกษาส่วนหนึ่งที่พบคือ การศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก ซึ่งนำไปสู่การเจ็บระบมของกล้ามเนื้อและการเสียหายของกล้ามเนื้อ เช่น การศึกษาของ Staples *et al.* (1999) ที่ให้กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก โดยการยกน้ำหนักที่ความหนัก 10 RM จำนวน 10 ชุด การศึกษาแยกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบการได้รับ HBOT การได้รับ HBOT หลอก และไม่ได้รับอะไรเลย (กลุ่มควบคุม) การศึกษาที่ 2 คือ แต่ละกลุ่มทำตามวิธีการเดิมอีกครั้ง หลังการออกกำลังกาย วันที่ 3 และวันที่ 5 ผลพบว่าคะแนนความเจ็บปวดไม่ต่างกันระหว่างกลุ่ม ส่วนค่าของแรงเชิงมุมไม่ต่างกันในการศึกษาที่ 1 แต่ในการศึกษาที่ 2 พบว่าในวันที่ 5 หลังการออกกำลังกายระหว่างการได้รับ HBOT หลอกและ HBOT ต่างกัน จะเห็นได้ว่าผลการวิจัยมีความขัดแย้งกันเอง แต่อย่างไรก็ตามหลังการออกกำลังกาย 96 ชั่วโมง กลุ่มได้รับ HBOT จะดีกว่าอีก 2 กลุ่ม

งานอื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้ไม่พบความแตกต่างในด้านการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรง การรับรู้ความรู้สึกเจ็บระบม หรือการเปลี่ยนแปลงรอบวงของแขน ระหว่างกลุ่มที่ได้รับ HBOT และกลุ่มได้รับ HBOT หลอกหลังการฝึกแบบกล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกในกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า (Mekjavic *et al.*, 2000) แสดงให้เห็นได้ว่า งานวิจัยไม่ได้สนับสนุนวิธีการ HBOT เพื่อช่วยให้กระบวนการฟื้นตัวในนักกีฬาชั้นนำ นอกจากนี้เหตุที่ไม่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายเท่าที่ควรเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่สูงและอุปกรณ์ที่ใช้ต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญ ส่วนใหญ่จึงใช้ในวงการแพทย์สำหรับรักษาผู้ป่วย เป็นต้น

6. การใช้ยาต้านอักเสบในกลุ่มที่ไม่ใช่สเตอรอยด์ (nonsteroidal anti-inflammatory drugs; NSAID)

ผู้คนจำนวนหลายล้านคนในโลกนี้ใช้ยา NSAID เพื่อบรรเทาอาการเจ็บปวดและด้านการอักเสบ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้กับนักกีฬา โดยมุ่งหวังให้กระบวนการฟื้นตัวของร่างกายระหว่างฝึกซ้อมและแข่งขันเร็วขึ้น โดยคุณสมบัติของ NSAID ใช้เพื่อการต้านการอักเสบ โดยผลของการใช้ยาจะไปยับยั้ง cyclo-oxygenase และเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์

prostaglandins ที่เป็นผลทำให้มีความรู้สึกเจ็บปวด จากข้อมูลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ NSAID มีประโยชน์ต่อการฟื้นฟูหน้าที่การทำงานของกล้ามเนื้อในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และการใช้จะได้ผลหรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับของการเสียหายของกล้ามเนื้อที่จะก่อให้เกิดความรู้สึกเจ็บระบบส่วนใหญ่สรุปในประเด็นที่คล้ายกันคือ ใช้ได้ผลในการฝึกที่ไม่หนักมากหรือระดับปกติ ถึงแม้ผลการวิจัยจะให้ข้อมูลในบางส่วนที่ช่วยกระบวนการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อได้ แต่ผลที่เกิดขึ้นในทางลบหลังจากใช้ NSAID ติดต่อกันก็ควรเป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป (Lanier *et al.*, 2003)

7. การยืดเหยียด (stretching)

การยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในแต่ละวันในช่วงก่อนและหลังการฝึกซ้อม หรือแม้แต่ใช้ในช่วงของการฟื้นตัวและระหว่างช่วงของการฝึกซ้อม โดยผลที่มุ่งหวังจากการยืดกล้ามเนื้อคือการเพิ่มมุมการเคลื่อนไหว ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ก็แสดงให้เห็นผลของการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในทุกรูปแบบสามารถช่วยเพิ่มมุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อได้จริง (Thacker *et al.*, 2004) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่มาสืบผลของการยืดเหยียดกล้ามเนื้อระหว่างกายฝึกจะส่งผลต่อสมรรถนะทางกายอย่างไร ระหว่างช่วงของการพักฟื้น ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อก่อนการฝึกหรือแข่งขัน และดูผลที่มีต่อสมรรถนะของร่างกาย เช่น ในด้านพลังกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เป็นต้น โดยผลการศึกษาจะเป็นในลักษณะคล้ายกัน คือ ผลของการยืดกล้ามเนื้อก่อนการฝึกหรือแข่งขันจะทำให้สมรรถนะทางกายลดลง เช่น ความเร็วในการวิ่ง 20 เมตร การศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นในกลุ่มของนักกรีฑาประเภทลู่อูและลาน (Barnett, 2006) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในกลุ่มของนักวิ่งระยะไกลระดับนานาชาติ และระดับที่ต่ำกว่าพบว่า ความอ่อนตัวและลักษณะการวิ่งที่ประหยัดพลังงานมีความสัมพันธ์ในทางกลับกัน และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อระหว่างการพักฟื้นไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในระยะยาวต่อสมรรถนะทางกาย (Beaudoin and Blum, 2005) สำหรับ การศึกษากลไกของการยืดเหยียดกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อกระบวนการฟื้นตัวที่ดีขึ้นนั้น ยังไม่มีการพิสูจน์ให้เห็นอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการยืดกล้ามเนื้ออาจทำให้เพิ่มการบวมที่กล้ามเนื้อมากขึ้น ดังนั้นการกระทำอะไรก็ตามที่จะก่อให้เกิดการอักเสบเพิ่มขึ้นและก่อให้เกิดการบวมไม่ลดลงในระหว่างฟื้นตัวจึงไม่ควรกระทำ และโดยส่วนใหญ่อาการเจ็บระบบของกล้ามเนื้อเป็นอาการที่ตอบสนองต่อการอักเสบที่เกิดขึ้น และการยืดกล้ามเนื้อหลังการฝึกแบบกล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกจึงไม่ส่งผลให้การเจ็บระบบของกล้ามเนื้อลดลง (Cheung *et al.*, 2003)

โดยสรุปแล้วการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเทคนิคสำหรับลดปัจจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬา แต่งานวิจัยส่วนหนึ่งก็ยังเสนอว่าการยืดกล้ามเนื้อไม่ช่วยทำให้การบาดเจ็บลดลงหรือลดอัตราเสี่ยงได้ ส่วนผลที่มีต่อกระบวนการฟื้นตัวไม่ปรากฏข้อมูลให้เห็นทั้งผลในระยะสั้นและผลในระยะยาว

8. การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (Electromyostimulation; EMS)

การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า เป็นวิธีการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นการสั่งการของประสาททกไก (motor neuron) เพื่อก่อให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยมีความเชื่อว่าเมื่อกกล้ามเนื้อเกิดการหดตัว จะทำให้การไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อนั้นได้ดีขึ้น และส่งผลต่อกระบวนการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่มีการเสียหาย Martin *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลของการใช้ EMS เพื่อช่วยการฟื้นตัวของแรงเชิงมุมของกล้ามเนื้อภายหลัง 96 ชั่วโมง ของการวิ่งลงเนินขาเดียว โดยผลการศึกษาพบว่าการใช้ EMS วิธีการเคลื่อนไหว และการนั่งพักเฉยๆ ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lattier *et al.* (2004) ที่พบว่าการใช้ EMS ที่ความถี่ระดับต่ำ ไม่ช่วยให้กระบวนการฟื้นคืนกลับของแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อภายใต้อำนาจจิตใจแตกต่างจากวิธีการเคลื่อนไหวและการนั่งพักเฉยๆ

โดยสรุปการใช้ EMS เพื่อช่วยในกระบวนการฟื้นตัวนั้นตัวยังมีการศึกษาเพียงจำนวนน้อย และผลก็แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีการดังกล่าวไม่ช่วยให้กระบวนการฟื้นกลับของสมรรถนะทางร่างกายดีขึ้นวิธีการอื่นๆ

9. การผสมผสานหลายรูปแบบเข้าด้วยกัน

การฟื้นตัวด้วยวิธีการหลายๆ วิธีการยังมีการศึกษาไม่มาก และผลที่ออกมาก็แสดงให้เห็นถึงผลของการฟื้นตัวที่ยังไม่ชัดเจน เช่น การใช้วิธีการนวดและการมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวระหว่างการฟื้นตัวของนักจักรยาน ให้ผลต่อความสามารถในการปั่นจักรยานระยะทาง 5 กิโลเมตร ไม่แตกต่างจากวิธีการพักฟื้นด้วยการเคลื่อนไหว การนวด หรือการนั่งพักเฉยๆ เพียงอย่างเดียว แต่กลไกที่ส่งผลดังกล่าวก็ยังไม่มีความชัดเจน ดังนั้นรูปแบบนี้ยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้นในอนาคต (Barnett, 2006)

10. การออกกำลังกายในน้ำ

การออกกำลังกายในน้ำเป็นกิจกรรมหนึ่งที่นิยมในปัจจุบันสำหรับกลุ่มคนต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไป เช่น เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายในด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด ความอ่อนตัว ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ เพื่อการรักษาผู้ป่วยระบบประสาท เช่น ใน spinal cord injury, cerebral palsy, multiple sclerosis และในกลุ่มโรคกระดูกและข้อต่อ เช่น ปวดหลัง ปัญหาของข้อไหล่ ข้อเข่าและสะโพก (Meyer, 1990) เพื่อการฟื้นตัวจากการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬา และเพื่อฟื้นฟูสภาพหลังการฝึกซ้อม (recovery) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของน้ำ ได้แก่ แรงลอยตัว (buoyancy) การเคลื่อนที่ของน้ำ (turbulence) แรงดันตามความลึกของน้ำ (hydrostatic pressure) ความหนืดของน้ำ (viscosity) และอุณหภูมิของน้ำ (temperature) (Stiskal, 2003) ที่ช่วยลดความเครียดของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ และมีผลต่อการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ช่วยผ่อนคลายและเอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกายได้ง่ายโดยไม่เจ็บปวด

เมื่อร่างกายแช่อยู่ในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาขึ้น ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย โดยการเปลี่ยนแปลงของร่างกายที่เกิดขึ้นในขณะพักเป็นผลมาจากแรงดันของน้ำและที่สำคัญ คือ การไหลเวียนกลับของเลือดที่มาจากส่วนปลายมือปลายเท้า โดยความดันของหลอดเลือดดำหัวใจห้องบนขวา (right atrial venous) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของแรงบีบตัวของหัวใจ (stroke volume; SV) การเพิ่มขึ้นทั้งแรงบีบตัวของหัวใจ (SV) และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที (cardiac output: CO) ในขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate; HR) ลดลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแสดงได้จากสมการ

$$HR \times SV = CO$$

ตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงทาง สรีรวิทยาของระบบไหลเวียนเลือด ขณะร่างกายแช่ในน้ำ

ค่าที่วัด	การตอบสนอง
Right atrial venous pressure	increase (8 to 2 mm Hg)
Heart blood volume	increase (180 to 250 ml)
Cardiac output	increase (25%)
Stroke volume	increase (25%)
Central venous pressure	increase
Heart rate	remain the same or decrease slightly
Systemic blood pressure	remain the same or decrease slightly

ที่มา : Wilder *et al.* (1993)

การออกกำลังกายในน้ำได้ถูกนำมาใช้เพื่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อภายหลังจากออกกำลังกายมากขึ้น โดยเฉพาะการแช่ร่างกายในน้ำโดยไม่มีการออกกำลังกายร่วมด้วย ทำให้ร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาโดยผลของแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure) และอุณหภูมิน้ำเมื่อร่างกายแช่อยู่ในน้ำ จะมีแรงกระทำต่อร่างกาย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีการเพิ่มการขนส่งแลกเปลี่ยนของสารต่างๆ จากกล้ามเนื้อ เพิ่มปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจและเพิ่มความสามารถขนส่งสารเคมีของร่างกาย อีกทั้งแรงลอยตัวของน้ำยังช่วยลดอาการปวดและเมื่อยล้ากล้ามเนื้อ แรงดันของน้ำเมื่อร่างกายแช่ในน้ำจะสัมพันธ์กับความลึกของน้ำ โดยร่างกายอยู่ในน้ำที่ลึกมากขึ้นแรงดันของน้ำที่กระทำต่อร่างกายจะมากขึ้นด้วยดังสมการ

$$P = P_{atm} \times g \times p \times h$$

P = แรงดันน้ำ

g = แรงดึงดูดของโลก

P_{atm} = แรงดันบรรยากาศ

p = ความหนาแน่นของน้ำ

H = ความลึกของน้ำ

เมื่อร่างกายมีแรงดันมากกระทำมากขึ้น อากาศและของเหลวต่าง ๆ ในร่างกายจะมีการเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่มีแรงดันน้อยกว่า (Bove, 2002) ในขณะที่ยื่นแขนระดับสะโพกจะมีการเคลื่อนย้ายของเหลวจากขาไปยังทรวงอก ซึ่งช่วยให้มีการขับของเสียออกจากกล้ามเนื้อไปสู่กระแส

เลือดได้ดีขึ้น (Vaile, 2004) โดยเพิ่มความสามารถในการแพร่กระจายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้ดีขึ้นทำให้กล้ามเนื้อฟื้นตัวจากการล้าได้เร็วขึ้น (Coffey *et al.*, 2004) แรงดันน้ำยังมีผลลดการบวมของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย เนื่องจากการเสียหายของกล้ามเนื้อบางส่วน รวมถึงเซลล์กล้ามเนื้อถูกทำลายทำให้มีการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นส่งผลให้เซลล์กล้ามเนื้อถูกทำลายลดลง (Friden and Lieber, 2001) โดยแรงดันน้ำไปช่วยลดการซึมผ่านของ leucocytes และ monocytes ที่เกิดจากการทำลายเซลล์กล้ามเนื้อในระยะแรกของการอักเสบ ทำให้สามารถลดบวมได้ ทั้งยังทำให้ระดับเซลล์ที่เกิดจากการอักเสบและเอ็นไซม์ของกล้ามเนื้อที่ออกมาสู่กระแสเลือดลดลง (Vaile *et al.*, 2004) การบวมที่ลดลงนี้ทำให้เพิ่มความสามารถของการฟื้นตัวได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการแช่น้ำอาจเป็นวิธีทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อที่ระบมจากการออกกำลังกายได้

โดยสรุปวิธีการฟื้นตัวที่จะทำให้สมรรถภาพทางกายของนักกีฬากลับคืนหลังทำการแข่งขันหรือหลังการฝึกซ้อม จะมุ่งประเด็นที่การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกเป็นหลัก รองลงมา คือ การฟื้นกลับอันเนื่องจากการบาดเจ็บและการเจ็บระบมของกล้ามเนื้อ ในประเด็นของการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกนั้นเพียงแค่การนั่งพัก ในช่วงเวลาสั้นๆ ก็สามารถทำให้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกหมดไปได้ ดังนั้นความสำคัญของการฟื้นตัวที่มุ่งสนใจกันทั่วไป คือ การฟื้นตัวอันเนื่องจากการบาดเจ็บ การเจ็บระบมของกล้ามเนื้อ การอักเสบ การเสียหายของกล้ามเนื้อ ที่ส่งผลต่อการฝึกซ้อมและแข่งขันในช่วงถัดไป โดยวิธีการที่นำมาใช้โดยทั่วไป ได้แก่ การนวด การเคลื่อนไหว การแช่น้ำร้อนและน้ำเย็น HBOT การยืดกล้ามเนื้อ และ EMS แต่ผลของการใช้วิธีการดังกล่าวเพื่อการฟื้นตัวก็ยังไม่ก่อให้เกิดการได้เปรียบในกระบวนการฟื้นตัว สำหรับการใช้อย่างด้านการอักเสบในกลุ่มไม่ใช่สารสเตอรอยด์จะส่งผลในทางลบต่อสุขภาพ อาจส่งผลทางลบต่อการซ่อมแซมและการปรับตัวของกล้ามเนื้อจากการฝึกได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาในรูปแบบของการพักฟื้นด้วยเทคนิคอื่นๆ ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ สถานะการของการฝึกซ้อมและสามารถใช้กับกลุ่มคนส่วนใหญ่ได้ต่อไป

การวิ่งในน้ำลึก

การออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด ส่วนใหญ่จะใช้กิจกรรมการวิ่ง การว่ายน้ำ หรือการขี่จักรยาน จุดสำคัญของการพัฒนาสมรรถภาพด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับระยะเวลา ความหนัก และกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมที่จะกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของระบบหัวใจ ระบบหายใจและไหลเวียนเลือด ที่เพียงพอต่อการพัฒนา โดยนิยามของสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดจะมีความเกี่ยวข้องกับระบบหัวใจ ระบบหายใจและไหลเวียนเลือดที่สามารถขนส่งออกซิเจนสำหรับการทำงานของเนื้อเยื่อต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสูงสุดภายในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งสามารถประเมินได้จากปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดในหนึ่งหน่วยเวลาในขณะที่ออกกำลังกาย ความสำคัญของการใช้กิจกรรมดังกล่าวข้างต้นเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดนั้น เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่หรือใช้กล้ามเนื้อหลายส่วนเพื่อการเคลื่อนไหว สามารถที่จะใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติที่นานกว่ากิจกรรมที่ใช้กล้ามเนื้อน้อยส่วนในการปฏิบัติ

กิจกรรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งในน้ำลึก (deep water running) เป็นที่นิยมในกลุ่มผู้ฝึกสอนและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายในหลายประเทศของทวีปยุโรป ทวีปอเมริกา รวมถึงทวีปเอเชียบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น จีน เป็นต้น ดังจะเห็นได้จากการนำกิจกรรมดังกล่าว จัดเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับนักกีฬาระดับชาติ ระดับสโมสร หรือแม้แต่ระดับโรงเรียน รวมถึงสำหรับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ เนื่องด้วยคุณสมบัติของน้ำที่มีแรงลอยตัว ทำให้ขณะวิ่งในน้ำจะไม่มีแรงที่มากกระทำกับโครงสร้างของร่างกายจนก่อให้เกิดการบาดเจ็บได้ จากคุณสมบัติของน้ำดังกล่าวผู้ฝึกสอนใช้กิจกรรมการวิ่งในน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ มากมาย เช่น เพื่อลดการเจ็บระบมของกล้ามเนื้ออันเนื่องจากการฝึก เพื่อรักษาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดในขณะที่มีการบาดเจ็บ ทำให้เกิดการผ่อนคลายและเป็นการลดปริมาณงานของการฝึก เพื่อให้กล้ามเนื้อไม่เกิดความล้าสะสมจนทำให้เกิดสภาวะการฝึกเกิน (over training) และพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด เป็นต้น

1. การวิ่งในน้ำลึก

การออกกำลังกายในน้ำมีมานานนับศตวรรษ แต่ไม่มีหลักฐานที่จะระบุแน่ชัดว่าเริ่มต้นจากที่ใด ระยะแรกของการนำกิจกรรมการออกกำลังกายในน้ำมาใช้มีวัตถุประสงค์เพื่อการฟื้นฟู โดย ราตรี (2548) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของน้ำที่มีประโยชน์ต่อการออกกำลังกายหลายประการ อันได้แก่

1. แรงลอยตัวทำให้น้ำหนักตัวเมื่ออยู่ในน้ำลดน้อยลงข้อต่อไม่ต้องรับแรงกระแทกมาก
2. แรงต้านทานขณะออกกำลังกายเกิดขึ้นได้ทุกทิศทางที่ข้อต่อมีการเคลื่อนไหว
3. แรงดันของน้ำเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกทำให้การไหลเวียนโลหิตกลับสู่หัวใจได้ง่ายกว่าบนบก ทำให้การฟื้นตัวจากการบาดเจ็บเร็วขึ้น

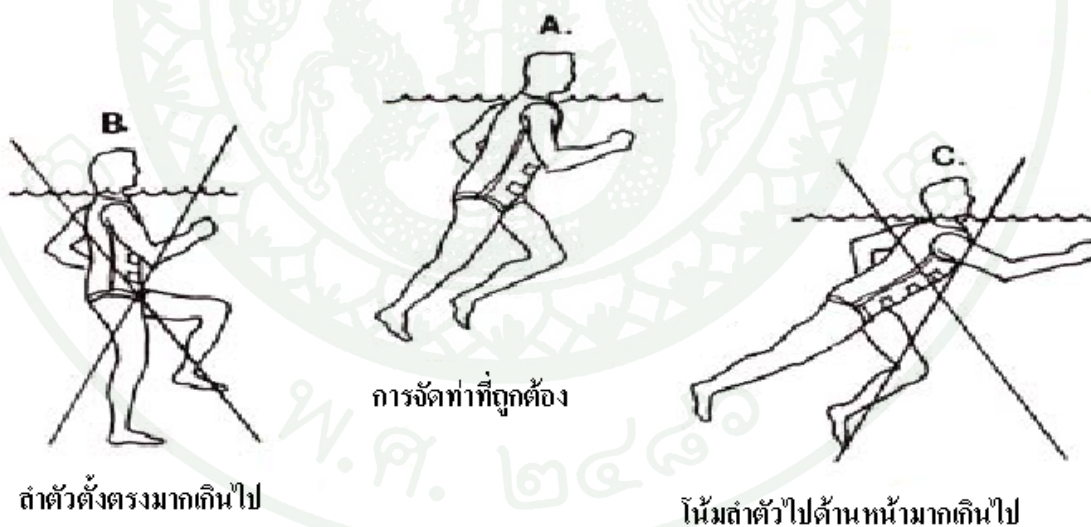
ช่วงปลายทศวรรษที่ 19 ผู้ฝึกสอนกรีฑาและนักสรีรวิทยาได้จัดทำการศึกษาการเคลื่อนไหวในน้ำให้มีความเฉพาะและสอดคล้องกับการวิ่งจริงบนบก โดยใช้ความลึกของน้ำระดับอกหรือประมาณลิ้นปี่ ทั้งนี้การจัดกิจกรรมการวิ่งในน้ำไว้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการฝึกมีวัตถุประสงค์เพื่อลดแรงที่มากกระทบกับโครงสร้างของร่างกายนักกีฬามากเกินไป ลดการอักเสบของเอ็นและการดึงที่กล้ามเนื้อ เนื่องจากในการฝึกซ้อมนักกีฬาต้องวิ่งเป็นระยะทางหลายกิโลเมตรต่อสัปดาห์ นอกจากนี้เมื่อนักกีฬาเกิดปัญหาการบาดเจ็บ การวิ่งในน้ำยังเป็นกิจกรรมหนึ่งสำหรับการฟื้นฟูและหลีกเลี่ยงการหยุดฝึกซ้อมเป็นเวลานาน ในช่วงที่มีการบาดเจ็บและหยุดฝึกซ้อมจะส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายในหลายด้าน เช่น สมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด การทำงานของเอ็นไขว้ และความหนาแน่นหลอดเลือดฝอยที่กล้ามเนื้อลดลงหากหยุดออกกำลังกายอย่างน้อย 2 สัปดาห์ แม้ว่าการวิ่งในน้ำจะมีผลทางเชิงกลไม่เหมือนกับการวิ่งบนบก เช่น การออกแรงของกล้ามเนื้อ ช่วงการเคลื่อนไหว (rang of motion) และการรับรู้เกี่ยวกับแรงปฏิกิริยาที่สะท้อนจากพื้น (ground reaction forces) แต่การวิ่งในน้ำก็เป็นกิจกรรมที่ยังคงพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดได้ไม่แตกต่างจากการวิ่งบนบก (Mayo, 2000)

1.1 เทคนิคของการวิ่งในน้ำลึก

ด้วยคุณสมบัติของน้ำที่มีแรงต้าน ทำให้การเคลื่อนไหวในน้ำปฏิบัติได้ยากกว่าบนบก หรือการเคลื่อนไหวช้ากว่า แต่ลักษณะของการเคลื่อนไหวอื่นๆ ไม่ต่างกัน ยกเว้นการออกแรงของกล้ามเนื้อ เนื่องจากการวิ่งบนบกกล้ามเนื้อขาต้องแบกรับน้ำหนักของร่างกายไว้ทั้งหมด แรงที่

ใช้ในการทำให้ร่างกายมีการเคลื่อนไหวก็มากกว่า นอกจากนี้การวิ่งบนบกจะมีช่วงที่ส้นเท้าสัมผัสพื้น (heel strike phase) และช่วงที่มีการผลักดันเท้าออกจากพื้น (push of phase) แต่การวิ่งในน้ำไม่มีช่วงดังกล่าว ผลก็คือไม่มีแรงปฏิกิริยาจากพื้น (ground reaction force) มากระทำกับข้อต่อ สำหรับการวิ่งในน้ำมีดังต่อไปนี้

1. หลังเหยียดตรง โนม์ลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย และไม่มีการเคลื่อนไหวของลำตัวช่วย เพื่อให้มีการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า
2. แกว่งแขนและขาเป็นปกติเหมือนการวิ่งบนบก โดยให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปด้านหน้า ไม่ย่อเท้าอยู่กับที่
3. จังหวะของการก้าวขาเป็นปกติเหมือนการวิ่งบนบก โดยจังหวะที่มีการดึงหน้าขาขึ้น พยายามให้มุมระหว่างสะโพกและต้นขาอยู่ในช่วง 45-70 องศา
4. จังหวะของการแกว่งแขนเป็นปกติเหมือนการวิ่งบนบก โดยรักษามุมของศอกให้อยู่ประมาณ 90 องศา ตลอดการปฏิบัติ
5. ฝ่ามืออยู่ในระนาบหน้าหลัง หลีกเลี่ยงการแบมือเพื่อดันน้ำ หรือลักษณะพยุ้น้ำแบบสุนัข (dog paddling)



ภาพที่ 2 การวิ่งในน้ำลึก (A) การจัดทำที่ถูกต้อง (B) ลำตัวตั้งตรงมากเกินไป
C) โนม์ลำตัวไปด้านหน้ามากเกินไป

1.2 ความหนักของการออกกำลังกาย

ความเหมาะสมในการกำหนดความหนักของการออกกำลังกาย ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาหรือเพื่อการคงสภาพ ถึงแม้ว่าการวิ่งในน้ำจะเคลื่อนไหวยากกว่าการเคลื่อนไหวบนบกเนื่องจากแรงต้านทานของน้ำ อีกทั้งการตอบสนองทางสรีรวิทยาอันเนื่องจากแรงดันของน้ำที่ทำให้เลือดจากส่วนปลายเข้าสู่บริเวณทรวงอกมากขึ้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจเพิ่มมากขึ้น และอัตราการเต้นหัวใจมีการชะเชยด้วยการเดินต่ำกว่าบนบกประมาณ 10-12 ครั้ง ก็ไม่ได้เป็นปัจจัยที่จะส่งผลให้การกำหนดความหนักของการวิ่งในน้ำและการวิ่งบนบกต่างกัน เพราะจุดสำคัญอยู่ที่การควบคุมท่าทางการปฏิบัติให้เป็นไปตามจังหวะของการเคลื่อนไหวที่ถูกต้องและสอดคล้องกับความหนักของงานที่กำหนดให้ได้ สำหรับการควบคุมความหนักของการวิ่งในน้ำที่ใช้ก็ไม่แตกต่างจากการวิ่งบนบก เช่น ใช้อัตราการเต้นหัวใจ และอัตราการรับรู้ความเหนื่อย (rating perceive of exertion; RPE) เป็นตัวกำหนด เป็นต้น

- อัตราการเต้นหัวใจ เป็นตัวบ่งชี้ที่ง่ายสำหรับใช้กำหนดและควบคุมความหนักของการวิ่งในน้ำซึ่งมีหลักการและวิธีการไม่ต่างจากการวิ่งบนบก ดังที่ Demaere and Ruby (1997) แสดงให้เห็นว่า การฝึกวิ่งในน้ำลึก (DWR) และการวิ่งบนลูกล (TMR) ของนักวิ่ง cross country ที่มีประสบการณ์ตั้งแต่ 4 สัปดาห์ จนกระทั่ง 4 ปี มีการตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจที่ความหนัก 60% (DWR= 143 ± 8 ครั้ง/นาที , TMR = 143 ± 7 ครั้ง/นาที) และ 70% (DWR= 172 ± 6 ครั้ง/นาที , TMR = 173 ± 6 ครั้ง/นาที) ของ VO_{2max} ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ได้มีข้อเสนอแนะว่าต้องมีการควบคุมท่าทางการปฏิบัติอย่างเข้มงวด สำหรับวิธีการกำหนดความหนักจากอัตราการเต้นหัวใจของการวิ่งในน้ำไม่ต่างจากการวิ่งบนบก คือ หาได้จากอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (maximum heart rate) และหาได้จากวิธีการของ Karvonen หรือเรียกอีกอย่างว่า อัตราเต้นหัวใจสำรอง (heart rate reserve) (Heyward, 2006) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

1. กำหนดความหนักจากอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด

$$\text{อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด} = (220 - \text{อายุ})$$

$$\text{ชีพจรเป้าหมาย (ครั้ง/นาที)} = \text{อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด} \times \% \text{ ความหนักที่ต้องการ}$$

2. กำหนดความหนักจากวิธีการของ Kavonen หรือ อัตราการเต้นหัวใจสำรอง

อัตราการเต้นหัวใจสำรอง = อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด – อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก

ชีพจรเป้าหมาย (ครั้ง/นาที) = [% ความหนักที่ต้องการ × (อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด – อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก)] + อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก

การกำหนดเปอร์เซ็นต์ความหนักจากวิธีการทั้ง 2 วิธี จะมีความต่างกัน หากใช้สูตรอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เปอร์เซ็นต์ความหนักเพื่อการพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดอยู่ระหว่าง 66 - 96 % หากเป็นสูตรของ Kavonen เปอร์เซ็นต์ความหนักอยู่ระหว่าง 50 - 90% (Wildman and Miller, 2004)

- **อัตรารับรู้ความเหนื่อย** เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับควบคุมความหนักของการออกกำลังกาย ซึ่งมาตราส่วนที่นิยมใช้จะเป็นของ Borg คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 6 – 20 โดยมีข้อความที่สื่อถึงความรู้สึกกำกับอยู่ด้านหลังตัวเลขโดยแบ่งเป็นช่วง ผู้ออกกำลังกายจะสื่อสารด้วยคำพูดหรือการชี้ไปยังตัวเลขบนแผ่นข้อมูลที่ตรงกับระดับความรู้สึกของตนเองในขณะนั้น เช่น ใช้มาตราส่วน 6 – 20 เลข 6 จะสื่อถึงความรู้สึกไม่เหนื่อยเลย หรือ ไม่รู้สึกเหนื่อย ส่วนเลข 20 หมายถึง เหนื่อยมากที่สุดจนไม่สามารถจะออกกำลังกายต่อไปได้ เป็นต้น จากการใช้อัตรารับรู้ความเหนื่อยกับการวิ่งในน้ำลึกที่ความหนักต่ำกว่าระดับความสามารถสูงสุด (submaximum) ในนักกีฬาที่มีประสบการณ์พบว่า ไม่แตกต่างจากการวิ่งบนลูกล (Mayo, 2000) แต่อย่างไรก็ตามในกลุ่มที่ไม่มีประสบการณ์มีข้อมูลในบางงานวิจัยพบว่ามีผลต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยด้านความเข้มงวดในท่าทางการเคลื่อนไหวเป็นสำคัญ

นอกจากอัตรารับรู้ความเหนื่อยโดยใช้มาตราส่วนของ Borg แล้วยังมีผู้ที่คิดให้มีความเหมาะสมกับการวิ่งในน้ำมากยิ่งขึ้น คือ มาตราส่วนของ Brennan สำหรับเหตุผลของการปรับก็เพื่อให้มีความง่ายต่อการใช้และการอธิบายความรู้สึกโดยกำหนด เป็น 5 ระดับ คือ เลข 1 หมายถึง “เบามาก” เทียบการวิ่งในช่วงคลายอุ่น(cool down) เลข 2 หมายถึง “เบา” เทียบกับการวิ่งจะเป็นการวิ่งด้วยจังหวะการก้าวคงที่สม่ำเสมอ เลข 3 หมายถึง “รู้สึกเหนื่อยบ้างเล็กน้อย” เทียบกับการวิ่งแข่งระยะทางไกล เลข 4 หมายถึง “หนัก” เทียบกับการวิ่งระยะทาง 400 – 800 เมตร และ เลข 5 หมายถึง “หนักมาก” เทียบกับการวิ่งระยะทาง 100 – 200 เมตร (Mayo, 2000)

2. การตอบสนองทางสรีรวิทยาขณะพักเมื่ออยู่ในน้ำ

2.1 การตอบสนองของการหายใจและการทำงานของปอด

เมื่ออยู่ในน้ำและไม่มีการเคลื่อนไหวหรืออยู่ในสภาวะพัก การตอบสนองของการหายใจและการทำงานของปอด จะมีความแตกต่างจากอยู่บนบกทั้งนี้เนื่องจากแรงดันของน้ำที่อยู่รอบตัวจะทำให้การไหลเวียนโลหิตจากส่วนปลายเข้าสู่ส่วนกลางของร่างกายได้ง่ายขึ้น ปริมาตรของเลือดที่มาจากส่วนต่างๆ จะรวมอยู่บริเวณทรวงอกมากขึ้นและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอดและการหายใจ โดยสรุปได้ดังนี้

- เปรียบเทียบการทำงานของปอดที่ความลึกของน้ำระดับอกและบนบก ในปี 1966 Agostoni และคณะเป็นคนแรกที่ทำการศึกษาการตอบสนองของการหายใจเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความลึกระดับอก หรือระดับลิ้นปี่ (xiphoid) พบว่า ปริมาตรอากาศที่ตกค้างอยู่ในปอด หลังจากการหายใจออกเต็มที่แล้ว หรือเรียกว่า ปริมาตรตกค้าง (residual volume; RV) ลดลง ซึ่งปกติมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,200 มิลลิลิตร นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาตรหายใจออกสำรอง (expiratory reserve volume ; ERV) เมื่ออยู่บนบกมีค่าประมาณ 1,870 มิลลิลิตร เมื่ออยู่ในน้ำมีค่าประมาณ 510 มิลลิลิตร เช่นเดียวกับ ความจุปอดตกค้าง (function residual capacity ; FRC) เมื่ออยู่บนบก มีค่าประมาณ 3,530 มิลลิลิตร และเมื่ออยู่ในน้ำมีค่าประมาณ 1,900 มิลลิลิตร

- เปรียบเทียบการทำงานของปอดที่ความลึกของน้ำระดับคอและระดับอก การศึกษาของ Hong *et al.* ในปี 1969 ที่พบว่าความลึกของน้ำระดับคอ มีผลต่อปริมาตรหายใจออกสำรองลดลงประมาณ 1,150 มิลลิลิตร ความจุปอดปกติ (vital capacity ; VC) ลดลงประมาณ 360 มิลลิลิตร และ ความจุปอดตกค้างลดลงประมาณ 400 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของน้ำระดับอก แต่ไม่พบความแตกต่างของ ปริมาตรหายใจปกติ (tidal volume ; V_T) ระหว่างความลึกของน้ำทั้ง 2 ระดับ

- เปรียบเทียบการทำงานของปอดที่ความลึกของน้ำระดับสะโพกและบนบก พบว่า ปริมาตรของเลือดที่บริเวณทรวงอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนความจุปอดตกค้างลดลงเล็กน้อย (Farhi and Linnarsson, 1997)

จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปริมาตรหายใจออกสำรอง ความจุปอดปกติ และความจุปอดตกค้าง แสดงให้เห็นว่าการอยู่ในน้ำที่มีความลึกจะมีผลต่อการตอบสนองของการหายใจที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยทางด้านแรงดันน้ำที่กระทำกับทรวงอกและการเพิ่มขึ้นของปริมาตรเลือดภายในทรวงอก สำหรับการเปลี่ยนแปลงการทำงานของปอดเมื่ออยู่ในน้ำจะศึกษา 3 ด้านใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

1. การต้านทานการไหลของอากาศเข้าสู่ปอด (pulmonary flow resistance) หมายถึง การไหลของแก๊สหรือของเหลวผ่านท่อทรงกระบอก โดยค่าความต้านทานการไหลของแก๊สหรือของเหลวนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของท่อและความหนืดของแก๊สหรือของเหลวที่ไหลผ่าน โดยทั่วไปความต้านทานต่อการไหลของอากาศส่วนใหญ่จะอยู่ที่ทางเดินอากาศส่วนล่าง ซึ่งได้แก่ หลอดลมเล็กและหลอดลมฝอย ความต้านทานการไหลของอากาศจะมีค่าสูงมากเมื่อปริมาตรปอดน้อยลง เช่น ขณะที่ถูกฉีดยาเข้าปอด และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครง มีการหดตัว (บัวรอง, 2539) จากการศึกษาของ Lollgen *et al.* ในปี 1980 พบว่า เมื่ออยู่ในน้ำลึกระดับคอทำให้แรงต้านทานการหายใจสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่า ปริมาตรเลือดที่เส้นเลือดฝอยบริเวณปอดเพิ่มขึ้น 70% เนื่องจากแรงดันของน้ำที่มีต่อร่างกายส่วนล่างทำให้เลือดไหลเวียนกลับสู่ทรวงอกมากขึ้น

2. แรงดันย่อยของแก๊สที่หลอดเลือดแดงใหญ่และแรงดันย่อยของแก๊สที่อยู่ในหลอดเลือดดำ (partial pressures of arterial and mix venous) จากการศึกษาพบว่า แรงดันย่อยของแก๊สออกซิเจนในหลอดเลือดแดงใหญ่ (PaO_2) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความลึกระดับคอ ส่วนแรงดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในหลอดเลือดแดงใหญ่ ($PaCO_2$) ไม่พบการเปลี่ยนแปลง แรงดันย่อยของแก๊สออกซิเจนที่อยู่ในหลอดเลือดดำ (PvO_2) เพิ่มขึ้นสูงตามระดับความลึกของน้ำ โดยเริ่มตั้งแต่สะโพก ระดับอก และเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความลึกระดับคอ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจภายใน 1 นาที (cardiac output ; Q) ที่สูงขึ้น สำหรับแรงดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในหลอดเลือดดำ ($PvCO_2$) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และมีความสอดคล้องกับการระบายอากาศที่ถุงลมปอด (alveolar ventilation) (Chu and Rhodes, 2001)

3. สัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่ปอด (pulmonary ventilation and perfusion; V_E/Q) หมายถึง การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างถุงลมปอดกับเลือด ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนจะดีขึ้นขึ้นอยู่กับถุงลมปอดจะต้องมีอากาศและเลือดเข้ามาถึงอย่างเพียงพอ โดยปกติแล้วอัตราการระบายอากาศของถุงลม (alveolar ventilation) จะมีค่าประมาณ 4 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของเลือดมายังปอดจะมีค่าประมาณ 5 ลิตรต่อนาที ดังนั้นสัดส่วนการระบายอากาศและเลือดที่

ปอดในสภาวะพักบนบกมีค่าประมาณ 0.8 จากการศึกษาของ Derion *et al.* (1992) พบว่า V_E/Q ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วน V_E/VO_2 และ Q เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความลึกระดับคอ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ PaO_2

2.2 การตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือด

การศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดเมื่ออยู่ในน้ำจะศึกษาจาก ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจภายหลังการบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume; SV) อัตราการเต้นหัวใจ (heart rate; HR) และปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจภายใน 1 นาที (cardiac output; Q) โดยแต่ละตัวแปรนี้มีข้อมูลจากการศึกษาดังนี้

- ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจภายหลังการบีบตัว 1 ครั้ง เมื่ออยู่ในน้ำ SV จะเพิ่มขึ้นจากบนบกประมาณ 35% ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันของน้ำทำให้เลือดไหลเข้าสู่บริเวณทรวงอกมากขึ้นประมาณ 700 มิลลิลิตร โดย 1 ใน 4 ของเลือดที่อยู่บริเวณทรวงอก จะกระจายไปยังห้องหัวใจ นอกจากนี้การประเมินขนาดของหัวใจโดยใช้เทคนิค biplane roentgenometric แสดงให้เห็นว่า ปริมาตรหัวใจเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 180 – 247 มิลลิลิตร (Park, 1999) ซึ่งส่งผลให้แรงดันของหัวใจห้องบนขวาเพิ่มขึ้น 12-18 mm/Hg. (Rielly, 2003) รวมถึงแรงต้านทานการไหลของเลือดบริเวณส่วนปลายของร่างกายลดลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลง SV ที่เพิ่มขึ้น ยังแปรผันตามระดับความลึกของน้ำ ดังงานวิจัยของ Farhi and Linnarson (1997) ที่พบว่า SV มีค่าเท่ากับ 78 ± 2.3 , 110 ± 2.4 และ 120 ± 2.5 มิลลิลิตร/ครั้ง เมื่ออยู่ในน้ำลึกระดับสะโพก ระดับล้นปี และระดับคางตามลำดับ

- อัตราการเต้นหัวใจ เมื่ออยู่ในน้ำอัตราการเต้นหัวใจจะมีค่าต่ำกว่าบนบกประมาณ 4.7 ครั้ง/นาที (Nakanishi, 1999) และมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกของน้ำเช่นเดียวกับตัวแปรอื่นๆ แต่มีข้อแตกต่างที่การตอบสนองจะไม่แปรผันตามความลึกของน้ำเสมอไป ดังเช่น Farhi and Linnarson (1997) พบว่า เมื่ออยู่ในน้ำลึกระดับสะโพก และระดับล้นปี อัตราการเต้นหัวใจจะลดต่ำลงกว่าอยู่บนบก แต่เมื่ออยู่ที่ความลึกของน้ำระดับคางกลับพบว่า อัตราการเต้นหัวใจจะเพิ่มขึ้น โดยมีเหตุผลประกอบคือ ที่ความลึกของน้ำที่ระดับสะโพกและระดับล้นปี จะกระตุ้น baroreceptor ให้ส่งข้อมูลไปควบคุมให้อัตราการเต้นหัวใจลดต่ำลง ส่วนที่ความลึกระดับคาง atrial stretch receptor จะมีบทบาทในการสั่งการมากกว่าจึงสั่งให้อัตราการเต้นหัวใจสูงขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Derion *et al.* (1992) พบว่า อัตราการเต้นหัวใจของผู้สูงอายุเมื่ออยู่ในน้ำลึกไม่มีการ

เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจเมื่อร่างกายอยู่ในน้ำไม่สามารถสรุปได้โดยปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยเฉพาะ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นหัวใจ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีค่าสูงขึ้นหรือลดลง มาจาก 2 ปัจจัย คือ 1. เมื่อ atrial pressure เพิ่มขึ้นจะกระตุ้นให้หัวใจมีการเต้นเร็ว 2. เมื่อ SV และ Q เพิ่มขึ้นเป็นผลให้อัตราการเต้นหัวใจลดลงเนื่องจากการส่งข้อมูลโดย baroreceptor

- ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจภายใน 1 นาที จะเพิ่มขึ้นประมาณ 30-35% เมื่ออยู่ในน้ำขณะพัก (Park, 1999) เนื่องจาก SV เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการผันแปรตามระดับของความลึกของน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยแยกเป็น ความลึกของน้ำ 3 ระดับ คือ 1). ความลึกของน้ำระดับสะโพก จะทำให้ Q เพิ่มขึ้นประมาณ 10-15 % ส่วนอัตราการเต้นหัวใจจะลดลง โดยเหตุผลของการลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ atrial pressure และ ปริมาตรเลือดที่ทรวงอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ SV เพิ่มขึ้น 2). ความลึกของน้ำระดับลิ้นปี่ จะส่งผลให้มีแรงดันมากกว่าที่ท้องเพิ่มมากขึ้นทำให้เลือดกลับสู่ทรวงอกมากขึ้น ผลที่ตามมาคือ SV เพิ่มขึ้นมากและ Q ก็มากขึ้นเช่นกัน 3). ความลึกของน้ำที่ระดับคาง จะมีผลต่อการเพิ่ม atrial pressure ที่สูงขึ้นมากกว่าความลึกของน้ำทั้ง 2 ระดับที่กล่าวมา ซึ่งจะกระตุ้น atrial stretch receptor และส่งผลให้ทั้งอัตราการเต้นหัวใจและปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจภายหลังการบีบตัว 1 ครั้ง มีค่าสูงขึ้น

นอกจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของอัตราการสันดาปพลังงานซึ่งตรวจสอบได้จากค่า respiratory exchange ratio (RER) หาได้จากปริมาณของ CO_2 ที่เกิดขึ้นหารด้วยปริมาณ O_2 ที่ถูกใช้ ค่าที่ได้จะทำให้ทราบว่าขณะนี้ร่างกายใช้พลังงานในระบบใดและใช้สารอาหารใดเป็นพลังงาน จากข้อมูลการวิจัยพบว่า เมื่ออยู่บนบกจะมีค่า RER เท่ากับ 0.85 แต่เมื่ออยู่ในน้ำแล้วจะมีค่า RER เท่ากับ 0.93 ซึ่ง Derion *et al.* (1992) ได้อธิบายการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวว่าเกิดจากปริมาตรเลือดที่อวัยวะส่วนปลายลดลง ทำให้มีการสันดาปพลังงานจากระบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic system) มากขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.3 ความแตกต่างระหว่างวัย

เมื่ออายุมากขึ้นการเสื่อมถอยของอวัยวะและระบบต่างๆ ก็เกิดขึ้น รวมถึงระบบหายใจ และปอดซึ่งจะพบว่ามีความแตกต่างจากเด็ก โดยพบว่าเมื่ออายุมากขึ้น เนื้อเยื่อปอดจะมีคุณสมบัติยืดหยุ่นลดลง ทำให้ elastic recoil force ของปอดซึ่งจะคอยต้านทานการขยายของปอดมีค่าลดลง ความสามารถในการหดตัวเพื่อดันอากาศออกจากปอดขณะหายใจก็ลดลง (บัวลอง, 2539) สำหรับการตอบสนองเมื่ออยู่ในน้ำก็เช่นกัน พบว่าค่า V_E/VO_2 ของผู้สูงอายุที่ไม่ใช่นักกีฬาจะมีค่าสูง และ Q จะมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเด็ก นอกจากนี้ยังพบว่า Q เมื่ออยู่ในน้ำจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ซึ่งต่างจากเด็กจะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยทางด้านกล้ามเนื้อหัวใจ และหลอดเลือดจากส่วนปลายของร่างกายมีความยืดหยุ่นลดลง ทำให้การไหลเวียนกลับของเลือดเข้าสู่บริเวณทรวงอกน้อยลง จึงส่งผลต่อการตอบสนองของ SV และ HR ตามลำดับ

3. การตอบสนองทางสรีรวิทยาเมื่อวิ่งอยู่ในน้ำลึก

3.1 การออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุด

การออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุด (maximal exercise) หมายถึงการออกกำลังกายจนถึงระดับความหนักที่ร่างกายไม่สามารถจะปฏิบัติกิจกรรมนั้นๆ ต่อไปได้ และหยุดออกกำลังกายในที่สุด การศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาในขณะออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุดจะศึกษา โดยให้กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายโดยเพิ่มความหนักของงานขึ้นอย่างเป็นลำดับขั้นจนกระทั่งผู้ทดสอบไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นระหว่างการเพิ่มความหนักของงานโดยมีการศึกษาในหลายตัวแปร เช่น อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด SV และ Q เป็นต้น มีข้อมูลจากงานวิจัยหนึ่งที่น่าสนใจพบว่า ขณะออกกำลังกายในน้ำที่ระดับต่ำกว่าความหนักของงานสูงสุด ($40\% VO_{2max}$) จนถึงการออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุด พบว่า SV ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่าที่สูงกว่าการออกกำลังกายบนบก การที่ SV ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มความหนักของงานดังกล่าวเนื่องจาก

3.1.1 การที่ปริมาตรเลือดจากส่วนปลายในขณะพักเข้าไปอยู่ในส่วนกลางของร่างกายมาก ทำให้เลือดจากส่วนปลายมีน้อยกว่าปกติ เมื่อมีการออกกำลังกายจึงทำให้เลือดที่จะเข้าสู่ส่วนกลางร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

3.1.2 ปริมาตรเลือดที่หัวใจห้องล่างซ้ายก่อนการหดตัวขณะพักเมื่ออยู่ในน้ำมีค่าเกือบสูงสุดแล้ว จึงเป็นเหตุให้ SV เพิ่มขึ้นได้ไม่มากเมื่อมีการออกกำลังกาย

เมื่อมีการเพิ่มความหนักของงานขึ้นจนถึงความหนักสูงสุด ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายระหว่างในน้ำและบนบก คือ การใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (max heart rate) โดย Nakanishi *et al.* (1999) ทำการเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ความหนักระดับสูงสุดระหว่างการวิ่งในน้ำและการวิ่งบนลู่วิ่ง พบว่า VO_2max (2.68 VS 3.40 ลิตร/นาที่) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (171.5 VS 190.8 ครั้ง/นาที่) การระบายอากาศสูงสุด (98.5 VS 113.31 ลิตร/นาที่) และค่ากรดแลคติกสูงสุด (10.4 VS 12.47 มิลลิโมล/ลิตร) ของการวิ่งในน้ำต่างจากการวิ่งบนลู่วิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ Butts *et al.* (1991) พบว่า อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ของการวิ่งในน้ำลึกจะมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าการวิ่งบนลู่วิ่งประมาณ 19 ครั้ง/นาที่ และมีค่า VO_2max (17% VS 8.5%) ลดลงเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวหากมีการควบคุมวิธีการออกกำลังกายในน้ำจนถึงระดับความหนักของงานสูงสุดที่ดีแล้ว การอธิบายเหตุผลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว คือ เกิดจากแรงดันน้ำส่งผลให้การไหลเวียนของเลือดกลับสู่ทรวงอกมากขึ้น ส่งผลต่อ SV และ อัตราการเต้นหัวใจ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านการลอยตัวเมื่ออยู่ในน้ำและการเคลื่อนไหวที่ไม่มีแรงกระแทกมากระทำกับโครงสร้างของร่างกาย ทำให้การระดมการทำงานของกล้ามเนื้อแตกต่างจากการวิ่งบนบกและบนลู่วิ่ง หรืออาจกล่าวได้ว่าการวิ่งในน้ำมีสัดส่วนของกล้ามเนื้อที่ออกแรงในการเคลื่อนไหวน้อยกว่าการวิ่งบนบก

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านการใช้อุปกรณ์ช่วยในการลอยตัวขณะวิ่งในน้ำ เช่น เข็มขัดโฟม เป็นผลให้ค่า VO_2max และ อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ที่ได้จากการออกกำลังกายจนถึงความสามารถสูงสุดน้อยกว่าบนบก ดังเช่นงานวิจัยของ Gehring *et al.* (1997) ที่พบว่า เมื่อใส่อุปกรณ์ช่วยในการลอยตัวค่าการใช้ออกซิเจน (VO_2) และ อัตราการเต้นหัวใจลดลง 16% และ 15% ตามลำดับ กับการไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยในการลอยตัว แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนเกี่ยวกับกลไกที่ทำให้การตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุดในน้ำ มีค่าต่ำกว่าการออกกำลังกายบนบก ซึ่งมีแต่สมมุติฐานที่กล่าวว่าการลดลงของอัตราการเต้นหัวใจมาจากการกระตุ้น baroreceptor แรงดันของน้ำที่ทำให้ปริมาตรเลือดไหลเข้าสู่ส่วนกลางของร่างกายมากขึ้น ทำให้ SV และอัตราการเต้นหัวใจลดลง รวมถึงการสั่งการของระบบประสาทซิมพาเทติกลดลงซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ และการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน catecholamine ระหว่างการออกกำลังกายในน้ำเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายบนบก

3.2 การออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าความหนักสูงสุด

การออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าความหนักสูงสุด (submaximal exercise) หมายถึง การออกกำลังกายที่ความหนักของงานน้อยกว่าระดับของงานที่ทำได้สูงสุด เช่น ออกกำลังกายที่ความหนัก 60 % ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นต้น การเปรียบเทียบค่าการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด จะมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของน้ำ โดยปกติแล้วอุณหภูมิของน้ำจะต่ำกว่าบนบก เป็นผลให้หลอดเลือดส่วนปลายมีการหดตัวส่งผลให้ปริมาตรเลือดไหลกลับเข้าสู่ทรวงอกมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าการตอบสนองทางสรีรวิทยาเมื่อออกกำลังกายในน้ำจะมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ในอุณหภูมิที่เป็นกลาง (thermoneutral) ซึ่งกำหนดได้ดังนี้ อุณหภูมิกลางสำหรับการทดสอบการตอบสนองทางสรีรวิทยาในสภาวะพักเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส และสำหรับการออกกำลังกายกำหนดให้มีความอยู่ระหว่าง 29 – 33 องศาเซลเซียส (Nakanishi *et al.*, 1999) โดยพบว่า อัตราการเต้นหัวใจ ในขณะที่พักและออกกำลังกายด้วยความหนักระดับปานกลาง มีค่าไม่แตกต่างจากบนบกในทั้งสองสภาวะ

การศึกษาของ Svedenhang and Seger (1992); Michaud *et al.* (1995) พบว่าการวิ่งในน้ำลึกมีค่า RER และปริมาณกรดแลคติกในเลือดสูงกว่าการวิ่งบนบก ทั้งนี้เนื่องจากการสันดาปคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นพลังงานมากกว่าไขมัน นอกจากนี้การศึกษานี้ยังมีการควบคุมให้ความถี่ของการก้าววิ่งในน้ำและบนบกมีค่าเท่ากันจะพบว่า ค่าอัตรารับรู้ความเหนื่อย (rating perceive of exertion; RPE) เมื่อวิ่งในน้ำมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการวิ่งในน้ำจะมีแรงต้านทานจากน้ำทำให้การปฏิบัติด้วยความถี่ของการก้าววิ่งที่เท่ากันจึงต้องออกแรงมากกว่า นอกจากนี้ประเด็นสำคัญของการเปรียบเทียบระหว่างการวิ่งในน้ำและการวิ่งบนบกคือ ประสิทธิภาพของผู้ออกกำลังกาย เพราะจากการศึกษาของ Gehring *et al.* (1997) แสดงให้เห็นว่านักวิ่งที่มีความสามารถสูงจะมีค่าการใช้ออกซิเจนเมื่อวิ่งอยู่ในน้ำและบนบกไม่ต่างกัน หากเป็นผู้ที่ไม่มีประสิทธิภาพ ไม่มีทักษะของการวิ่งในน้ำ จะมีค่าอัตราการเต้นหัวใจสูงเมื่อวิ่งในน้ำ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าการเปรียบเทียบการตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจระหว่างการวิ่งในน้ำและการวิ่งบนบก ควรคำนึงถึงทักษะของการวิ่งทั้งในน้ำและบนบกประกอบ

3.3 ความแตกต่างด้านเพศ

เมื่อกล่าวถึงการออกกำลังกายในน้ำ ผู้หญิงจะมีความได้เปรียบในเรื่องของการลอยตัวทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไขมันที่มีสะสมอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆ มีมากกว่าผู้ชาย แต่ในเรื่องของการตอบสนองทาง สรีรวิทยา เมื่ออยู่ในน้ำพบว่าไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขมัน ซึ่งจากข้อมูลงานวิจัยหลายงานที่ผ่านมาจะพบว่า นักวิ่งชายมีค่า V_E และ VO_{2max} สูงกว่านักวิ่งหญิง ทั้งจากการทดสอบบนลู่วิ่งและการทดสอบวิ่งในน้ำ ดังนั้นความแตกต่างทางด้านเพศไม่ได้เป็นปัจจัยที่จะส่งผลต่อการตอบสนองของระบบหายใจและปอดเมื่อทำการวิ่งในน้ำลึก

4. การปรับตัวจากการฝึก

4.1 การฝึกในนักกีฬา

การวิ่งในน้ำจัดเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการฝึกสำหรับนักกีฬาทั้งนี้เพื่อการพัฒนาและรักษาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดไว้ หากพิจารณาอย่างคร่าว ๆ อาจจะคิดว่าการวิ่งในน้ำจะแทนที่การวิ่งบนบก หรือจะมีผลของการฝึกใกล้เคียงกับการวิ่งบนบกได้อย่างไร แต่แท้จริงแล้วผลของการฝึกที่มีต่อสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดไม่แตกต่างกันหากควบคุมความถี่ ความหนักและระยะเวลาของการฝึกตามที่กำหนดได้ ดังเช่นงานวิจัยของ Wilber *et al.* (1996) ที่พบว่าภายหลังนักกีฬาชั้นนำได้ทำการฝึกในน้ำครบ 6 สัปดาห์ ค่า VO_{2max} ไม่แตกต่างจากการวิ่งบนบก เช่นเดียวกับ Bushman *et al.* (1997) ที่พบว่านักวิ่งชั้นนำ 11 คน ฝึกวิ่งในน้ำเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วกลับมาทดสอบความสามารถในการวิ่งบนบกพบว่า ความสามารถยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างการประหยัพลังงานขณะวิ่ง lactate threshold อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และค่า VO_{2max} คงที่ไม่ต่างจากก่อนการฝึก จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า โปรแกรมการฝึกวิ่งในน้ำมีผลต่อการวิ่งบนบก โดยรักษาสมรรถภาพด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังคงเป็นการยากที่จะสรุปว่าโปรแกรมการวิ่งในน้ำมีความเหมาะสมและทดแทนการวิ่งบนบกได้ 100% เพราะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมการฝึกที่ผู้นำไปใช้ต้องควบคุมให้ได้ ดังนี้ 1) ความหนักและระยะเวลาของการฝึกต้องเป็นการกระตุ้นการตอบสนองของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดได้จริง 2) ตัวควบคุมความหนักต้องสามารถวัดและตรวจสอบได้ เช่น การควบคุมจากอัตราการเต้นหัวใจ หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน เป็นต้น

หากใช้อัตรารับรู้ความเหนื่อยจะทำให้การควบคุมความหนักของการออกกำลังกายมีความคลาดเคลื่อนได้ 3) การเพิ่มความหนัก ความถี่ และระยะเวลาของการฝึก จะต้องมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับและสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง

4.2 การฝึกในกลุ่มที่ไม่ใช่นักกีฬา

จุดเริ่มต้นและความเป็นมาของการวิ่งในน้ำเพื่อมุ่งเน้นการพัฒนาความสามารถทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดของนักกีฬา อีกทั้งยังเป็นการฟื้นฟูจากการบาดเจ็บเป็นหลัก รวมถึงข้อมูลจากการวิจัยที่นำเสนอใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬา การสรุปผลและการนำไปใช้ดูราวกับจะเหมาะสมและมีความเฉพาะกับนักกีฬามากกว่าบุคคลทั่วไป แท้จริงแล้วการนำมาใช้กับบุคคลทั่วไปที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพก็สามารถที่จะใช้กิจกรรมการวิ่งในน้ำได้เช่นกัน เพียงแต่ต้องควบคุมความหนัก ระยะเวลา และความถี่ของการฝึกซ้อมให้ได้ ดังเช่นงานวิจัยของ Quinn *et al.* (1994) ที่พบว่า ผลของการวิ่งบนลู่วิ่งเป็นเวลา 10 สัปดาห์ สามารถทำให้ VO_{2max} ในผู้หญิงที่ไม่ได้เป็นนักกีฬาเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นให้วิ่งในน้ำเพียงอย่างเดียวต่ออีก 4 สัปดาห์ กลับพบว่า VO_{2max} มีค่าลดลงเท่ากับก่อนการฝึก ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่า การวิ่งในน้ำไม่มีประสิทธิภาพพอในการที่จะกระตุ้นให้คงสมรรถภาพด้าน VO_{2max} ได้ จากข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้ได้กล่าวว่า กลุ่มตัวอย่างอาจไม่ปฏิบัติตามเทคนิคของการวิ่งในน้ำได้อย่างเคร่งครัด เนื่องจากเป็นกลุ่มคนที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ จึงทำให้ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ หากจะนำไปใช้ในกลุ่มคนดังกล่าวควรมีการควบคุมเทคนิคของการฝึกให้ดี ซึ่งจากข้อเสนอแนะดังกล่าวมีผู้วิจัยในหลายงานถัดมา ทำการควบคุมเทคนิคของการปฏิบัติให้ถูกต้อง เช่น จังหวะของการแกว่งแขนและขา เป็นต้น โดยผลของการควบคุมดังกล่าวส่งผลให้ค่า VO_{2max} หลังการฝึก 8 สัปดาห์ เพิ่มขึ้น 20.1% ส่วนการวิ่งบนลู่วิ่งเพิ่มขึ้นเพียง 10.6% เท่านั้น การเพิ่มขึ้นดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แท้จริงแล้วการวิ่งในน้ำสำหรับกลุ่มคนทั่วไปที่ไม่ใช่นักกีฬา สามารถจะทำให้ค่า VO_{2max} เพิ่มขึ้นได้ เพียงแต่ต้องคำนึงถึง “หลักความเฉพาะเจาะจง” คือ ต้องควบคุมการเคลื่อนไหวให้สอดคล้องกับการวิ่งบนบก ปฏิบัติเต็มช่วงการเคลื่อนไหวและควบคุมจังหวะให้ได้ตามความหนักของงานที่กำหนด

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการฝึกวิ่งในน้ำมีประโยชน์ต่อการพัฒนาและคงสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด รวมถึงการถ่ายโยงมาสู่การวิ่งจริงบนบกได้ ซึ่งมีความสำคัญกับการจัดโปรแกรมการฝึกสำหรับนักกีฬาเพื่อลดแรงกระแทกที่

กระทำกับโครงสร้างจากการวิ่งบนบก ส่วนบุคคลทั่วไปการวิ่งในน้ำช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดได้เช่นเดียวกัน

5. การประยุกต์ใช้กับกลุ่มผู้สูงอายุ

ในผู้สูงอายุ การออกกำลังกายมีความจำเป็นเพื่อการชะลอความเสื่อมถอยของอวัยวะและระบบต่างๆ ที่เปลี่ยนไปตามอายุที่มากขึ้น โดยปกติจะพบว่าเมื่อพ้นอายุ 25 ปี หน้าที่การทำงานของระบบหัวใจและหายใจจะลดลง ซึ่งตรวจสอบได้จากค่า VO_{2max} จะลดลง 10% ทุกๆ 10 ปี การลดลงดังกล่าวส่งผลต่อการลดประสิทธิภาพการเคลื่อนไหว น้ำหนักตัวเพิ่มมากขึ้น ปัญหาที่ตามมาคือปัญหาด้านสุขภาพ (Nakanishi, *et al.* 1999) ดังนั้นการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุจะมุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อเป็นหลัก เพราะปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้สูงอายุส่วนมากจะเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว ร่วมกับการเจ็บป่วยจากโรคหัวใจและหลอดเลือด ดังนั้นกิจกรรมการออกกำลังกายบางประเภทจึงเป็นข้อจำกัดสำหรับผู้สูงอายุ เพราะหากเลือกกิจกรรมการออกกำลังกายที่ไม่เหมาะสมย่อมเกิดผลเสียมากกว่าผลดี การวิ่งในน้ำจึงเป็นอีกทางเลือก สำหรับการพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดและพัฒนาความสามารถในการเคลื่อนไหวให้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าการใช้ออกซิเจนเพื่อการสันดาปพลังงานจะน้อยกว่าการวิ่งบนบก แต่การวิ่งในน้ำก็ไม่ทำให้เกิดการเจ็บระบมและการบาดเจ็บจากแรงกระแทกเหมือนการวิ่งบนบก นอกจากนี้การวิ่งในน้ำยังช่วยในเรื่องการสร้างสมดุลของการเคลื่อนไหวให้ดีขึ้น

การวิ่งในน้ำกับการพัฒนาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดนั้น Broman *et al.* (2006) ได้รายงานว่า ผู้หญิงสูงอายุ (69 ± 4 ปี) ออกกำลังกายด้วยการวิ่งและการเดินในน้ำลึกโดยใส่เสื้อกั๊กเพื่อช่วยพยุงตัว ที่ความหนักของการออกกำลังกาย 75% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด จะมีค่าอัตราการเต้นหัวใจลดลง 8% ค่า VO_{2max} เพิ่มขึ้น 10% และความสามารถในการระบายอากาศ (V_E) เพิ่มขึ้น 14% หลังการฝึกครบ 8 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าการวิ่งในน้ำช่วยให้ความสามารถในการเดินและการวิ่งบนบกดีขึ้น

การวิ่งในน้ำลึกสามารถที่จะส่งเสริมและรักษาสมรรถภาพทางด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด ซึ่งไม่เฉพาะแต่นักกีฬาเท่านั้น บุคคลทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นเด็ก ผู้ใหญ่ หรือผู้สูงอายุ สามารถที่จะใช้กิจกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมส่งเสริมสุขภาพได้ โดยมีจุดสำคัญที่ต้องควบคุมในขณะปฏิบัติ คือ ท่าทางการปฏิบัติ ความถี่ ความหนัก และระยะเวลาของการฝึกให้

เป็นไปตามที่กำหนดให้ได้ จึงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดใกล้เคียงกับการวิ่งบนบก

ประโยชน์ในการช่วยป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายโดยการวิ่งบนบกนั้นจะมีแรงกระทำกับกล้ามเนื้อและข้อต่อมากกว่าการวิ่งในน้ำ ดังการศึกษาของ Keller *et al.* (1996) พบว่าขณะทำการเดินด้วยความเร็วน้อยกว่า 2.5 ถึง 3.0 เมตรต่อวินาที จะมีแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้นมากระทำกับกล้ามเนื้อและโครงสร้างของร่างกายประมาณ 1.1 ถึง 1.5 เท่า ของน้ำหนักตัว แต่หากเป็นการวิ่งที่ความเร็วมากกว่า 3 ถึง 5 เมตรต่อวินาที จะมีแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้นมากระทำกับกล้ามเนื้อและโครงสร้างที่มากขึ้น คือ ประมาณ 2.6 ถึง 3.2 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการนำไปสู่การบาดเจ็บ ดังนั้นการวิ่งในน้ำจึงช่วยลดความหนัก หรือลดแรงที่จะกระทำกับร่างกายลงได้ เพราะน้ำมีคุณสมบัติที่ช่วยในการลอยตัว เมื่ออยู่ในน้ำระดับกระดูกสันหลัง ส่วนของขาจะรับน้ำหนักของร่างกายประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 และจะลดลงเหลือร้อยละ 10 เมื่อเคลื่อนไหวอยู่ในน้ำลึกระดับไหล่ นอกจากนี้การเคลื่อนไหวในน้ำกล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้าเพียงอย่างเดียว จะเกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อน้อยกว่าการเคลื่อนไหวบนบกที่กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบยืดยาวออกรวมด้วย (Bates and Hanson 1996; Takahashi *et al.* 2006) และจากการศึกษาของ Rudzki and Conning (1999) พบว่า อัตราของการเจ็บระบมกล้ามเนื้อจะลดลง 46.6 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่วิ่งในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิ่งบนบก นอกจากนี้ Dawson *et al.* (2005) ยังพบว่า การวิ่งในน้ำลดแรงที่มากกระทำกับกระดูกสันหลังได้มากกว่าการวิ่งบนบก

ประโยชน์ในการช่วยฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย

หลังจากการออกกำลังกาย หรือฝึกซ้อมกีฬามักจะเกิดการเสียหายที่กล้ามเนื้อ อาการที่เป็นตัวบ่งชี้ได้แก่การเจ็บระบมที่กล้ามเนื้อ ระดับ creatine kinase ในเลือดเพิ่มสูงขึ้น หากมีวิธีการที่ช่วยในการทำให้ร่างกายฟื้นสภาพร่างกายที่ดีย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพของการฝึกซ้อมช่วงต่อไป ซึ่งจากงานวิจัยของ Reilly *et al.*, (2003) ได้ศึกษาผลของการวิ่งในน้ำลึก (deep-water running) ที่มีต่อการระบมของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (plyometric) ในผู้ที่ไม่ได้รับการออกกำลังกาย 30 คน และได้รับการฟื้นตัวด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 3 วัน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ให้พักโดยไม่มีการทำกิจกรรมการออกกำลังกาย กลุ่มที่ 2 ให้พักในวันแรก และให้วิ่งในน้ำลึกในอีก 2 วัน กลุ่มที่ 3 ให้พักในวันแรก และให้วิ่งบนลู่วิ่งในอีก 2 วัน กลุ่มที่ 4 ให้วิ่งบนลู่วิ่งกลดตลอด 3 วัน กลุ่ม

ที่ 5 ให้วิ่งในน้ำลึกตลอด 3 วัน พบว่า การวิ่งในน้ำลึกไม่สามารถช่วยป้องกันการระบมของกล้ามเนื้อ แต่ช่วยให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อฟื้นตัวได้เร็วขึ้น ความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อและระดับ creatine kinase ภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ต่ำกว่าการให้กล้ามเนื้อฟื้นตัวด้วยวิธีอื่น ๆ ที่ไม่มีการวิ่งในน้ำลึกร่วมด้วย

การเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการฝึกแบบพลัยโอเมตริกเป็นประเด็นสำคัญที่ผู้ฝึกสอนและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการฝึกซ้อมกีฬาต้องตระหนักมากขึ้นเนื่องจากข้อมูลในปัจจุบันแสดงให้เห็นช่วงเวลาของการเกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อจะมากขึ้นเมื่อการฝึกผ่านไป 24 - 48 ชั่วโมง และจะลดลงภายใน 10 วัน โดยหลักของการฝึกซ้อมกีฬามุ่งหวังให้นักกีฬามีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการฝึกซ้อมต้องมีความหนักที่มากกว่าปกติและปฏิบัติตามกิจกรรมนั้นอย่างต่อเนื่อง แต่หากการฝึกซ้อมในช่วงถัดไปไม่คำนึงถึงผลที่เกิดจากการฝึกในช่วงก่อนหน้าและระยะเวลาของการปรับตัวที่จะเกิดขึ้นย่อมนำไปสู่การบาดเจ็บมากกว่าการพัฒนา นอกจากนี้หากมีวิธีการที่จะช่วยให้อาการที่เกิดขึ้นบรรเทาลงหรือเกิดขึ้นน้อยที่สุดย่อมเป็นประโยชน์ต่อการฝึกซ้อมในช่วงถัดไปเช่นกัน วิธีการที่ใช้มีอยู่หลายวิธี แต่วิธีการที่เลือกใช้นั้นต้องสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์ฝึกซ้อมจริงได้ มีความสะดวก ประหยัดค่าใช้จ่ายย่อมเป็นประโยชน์มากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบการวิ่งในน้ำลึกเป็นกิจกรรมการฟื้นตัวหลังการฝึกพลัยโอเมตริก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่อง Isokinetic เครื่องหมายการค้า Biodex รุ่น System 3 pro ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เครื่องหมายการค้า Mega รุ่น 2000ME ประเทศฟินแลนด์
3. แผ่นยางวัดความสูงของการกระโดด พร้อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เครื่องหมายการค้า Newtest ประเทศ สหรัฐอเมริกา
4. กล้องสำหรับทดสอบและฝึกกระโดด ขนาดความสูง 8, 16, 24, 32 และ 40 เซนติเมตร
5. แผ่นอิเล็กทรอนิกส์
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เข็มขัดโฟม
8. เข็มฉีดยา และหลอดสำหรับเก็บตัวอย่างเลือด
9. สำลี และแอลกอฮอล์
10. อุปกรณ์วัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง
11. ไบบรรทัดวัดมุมการเคลื่อนไหว (goniometer)

วิธีการ

การวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง คือ การศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2 ดังนั้นในส่วน
ของวิธีการจะแยกอธิบายรายละเอียดของแต่ละการศึกษาดังนี้

การศึกษาที่ 1

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการคลายอุ่นหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อการตอบสนองของ
อาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย
2. เพื่อเปรียบเทียบระดับ CK และ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1
กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง

3. เพื่อเปรียบเทียบค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด ค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC 70% MVIC และ 80% MVIC ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

4. เพื่อเปรียบเทียบค่าความอ่อนตัว แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ ความสูงของการกระโดดในแนวดิ่ง และความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

สมมติฐาน

1. ระดับ CK และ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง แตกต่างกัน

2. ค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุดและค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC 70% MVIC และ 80% MVIC ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง แตกต่างกัน

3. ค่าความอ่อนตัว แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ ความสูงของการกระโดดในแนวดิ่ง และความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง แตกต่างกัน

กลุ่มประชากร

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตชายสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 101 คน โดยมีคุณสมบัติดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมโครงการ (inclusion criteria)

- ไม่มีปัญหาการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้อ
- มีแรงเหวี่ยงขา 1.70 กก./น.น.ตัว ขึ้นไป
- ความสูงของการทำ squat jump มากกว่า 25 เซนติเมตร
- ทำท่าทางในการปฏิบัติ drop jump ถูกต้อง
- มีความสนใจที่จะเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การแยกกลุ่มตัวอย่างออกจากโครงการ (exclusion criteria)

- กลุ่มตัวอย่างไม่เข้าร่วมการวิจัยตามที่กำหนด
- กลุ่มตัวอย่างมีปัญหาการบาดเจ็บและมีอุปสรรคที่ไม่สามารถเข้าร่วมโครงการวิจัยได้
- กลุ่มตัวอย่างไม่สนใจ เข้าร่วมโครงการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาจากกลุ่มประชากรที่มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดเบื้องต้น ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมการวิจัย โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

1. ตัวแปรอิสระ (independent variable) คือ โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก การวิ่งเหยาะร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และโปรแกรมการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

2. ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ

- ระดับ CK และ LDH ในเลือด
- ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า
- แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- ความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump
- ความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- ค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด
- ค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC 70%MVIC และ 80%MVIC
- ค่าจุดตัด และความชันจากสมการถดถอยของค่า RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC 70%MVIC และ 80%MVIC

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยจากงานวิจัย ตำรา และ เอกสารทางวิชาการ
2. สร้างโปรแกรมการฝึกพลัซโอมेटริก หลังจากนั้นนำไปทดลองใช้กับกลุ่มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระดับอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายทันที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง
3. สร้างโปรแกรมการวิ่งในน้ำลึกและโปรแกรมการวิ่งบนบก หลังจากนั้นนำไปทดลองใช้กับกลุ่มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการเต้นหัวใจ
4. ปฏิบัติตามขั้นตอนที่คาดว่าจะเก็บข้อมูลจริงกับกลุ่มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง 1 คน เพื่อหาข้อผิดพลาดจากการปฏิบัติ และทำการแก้ไข ก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง
5. ทำหนังสือขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ไปยังคณะวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

6. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ เครื่องมือ อุปกรณ์ รายละเอียดในการทำวิจัย และ จัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ ตารางฝึก ไปบันทึก เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล หลังจากนั้นเชิญกลุ่ม ตัวอย่างมาชี้แจงขั้นตอนวิธีการวิจัยโดยละเอียด พร้อมลงนามในใบยินยอมสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย

7. ก่อนการฝึก 5 วัน นำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 30 คน มาทดสอบข้อมูลพื้นฐานได้แก่

7.1 สมรรถภาพทางกาย ประกอบด้วย การชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง วัดชีพจรและความดันขณะพัก

7.2 ข้อมูลสำหรับอ้างอิง ประกอบด้วย การหาจุดสำหรับติดอิเล็กโทรดเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อ gastrocnemius lateralis (GL) และ gastrocnemius medialis (GM) และแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังตามวิธีการของ Rainoldi *et al.* (2004) (ภาคผนวก จ)

8. แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มโดยวิธีการจัดเข้ากลุ่ม (randomly assignment) รายละเอียดของแต่ละกลุ่มดังนี้

กลุ่มทดลองที่ 1

- วันที่ 1 ฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกและคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
- วันที่ 2 3 4 และ 5 วิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

กลุ่มทดลองที่ 2

- วันที่ 1 ฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกและคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะ ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
- วันที่ 2 3 4 และ 5 วิ่งเหยาะ ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

กลุ่มควบคุม

- วันที่ 1 ฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกและคลายอุ่นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
- วันที่ 2 3 4 และ 5 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียว

9. ทำการเก็บตัวแปรอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายดังนี้

ก่อนการฝึก 2 วัน

- กลุ่มตัวอย่างนั่งพักที่ห้องปฏิบัติการ 10 นาที
- หลังจากนั้นทำการวัดแต่ละตัวแปรตามลำดับดังนี้
 - 1) วัดความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังโดยมีมาตรวัดความรู้สึก อยู่ระหว่าง 1 (ไม่รู้สึกเจ็บระบบ) ถึง 7 (เจ็บระบบมากที่สุด)
 - 2) ทำการเจาะเลือดที่ antecubital vein จำนวน 4 มิลลิลิตร
 - 3) วัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า วัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและท่างอข้อเท้า
 - 4) ทำการทดสอบค่า MVIC ของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง (พร้อมบันทึกค่า EMG 5 วินาที)
 - 5) บันทึกค่า EMG ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC 70% MVIC และ 80% MVIC ระดับละ 20 วินาที และนำไปวิเคราะห์เป็นค่า MDF และ RMS (ภาคผนวก จ)
 - 6) หาความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump

หลังการฝึก 30 นาที

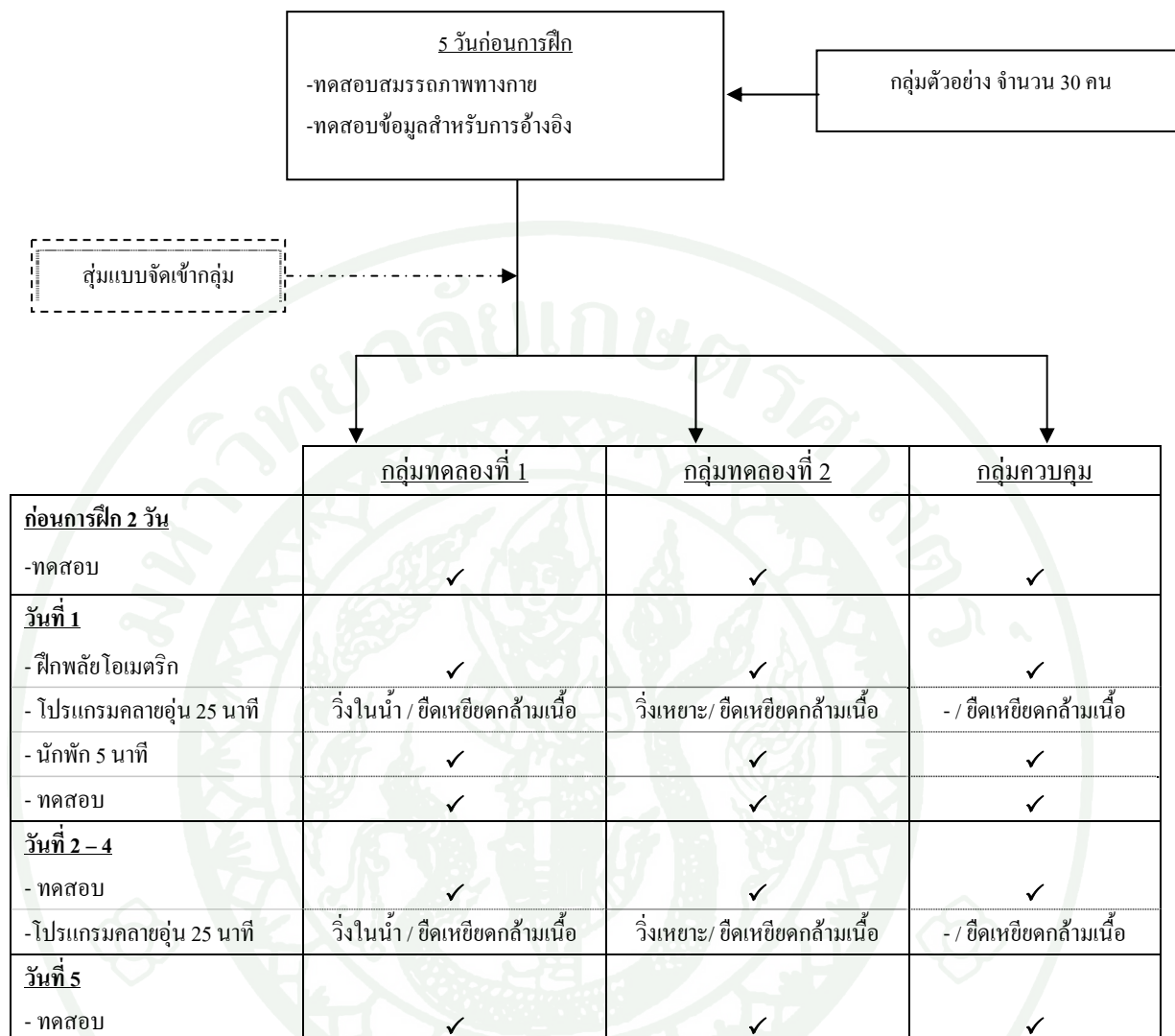
- หลังเสร็จสิ้นการฝึกพลัยโอเมตริกและโปรแกรมคลายอุ่นของแต่ละกลุ่มแล้วกลุ่มตัวอย่างนั่งพักที่ห้องปฏิบัติการ 5 นาที
- ทำการวัดตัวแปรแต่ละตัวตามลำดับ (1-6) เช่นเดียวกับวันก่อนการฝึก 2 วัน

หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

- ทำการวัดตัวแปรแต่ละตัว ก่อนกิจกรรมคลายอุ่นของแต่ละกลุ่มตามลำดับ (1-6) เช่นเดียวกับวันก่อนการฝึก 2 วัน ยกเว้นการเจาะเลือดทำเฉพาะในวันที่ 3 และ วันที่ 5 (36 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึก)

10. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ และสรุปผลการวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

แผนภูมิการดำเนินการวิจัย



หมายเหตุ เจาะเลือดเพื่อวิเคราะห์ระดับ CK และ LDH 4 ครั้ง คือ ก่อนการฝึก
หลังการฝึก 30 นาที เข้าวันที่ 3 และวันที่ 5 (36 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึก)

การใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติดังต่อไปนี้

1. หาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error of estimation) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกายและทุกตัวแปรของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที 24, 48, 72, และ 96 ชั่วโมง ส่วนระดับ CK และ LDH จะเป็นค่าก่อนการฝึกหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง ของกลุ่มตัวอย่าง

2. หาค่าจุดตัด และความชันของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC 70%MVIC และ 80%MVIC โดยการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (simple linear regression analysis) เพื่อนำไปคำนวณผลทางสถิติ

3. ทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการ (กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม) กับช่วงเวลาของการวัด (ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที 24, 48, 72, และ 96 ชั่วโมง) ยกเว้นระดับ CK และ LDH เป็นค่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง ของแต่ละตัวแปร โดยใช้สถิติ two-way ANOVA หากผลการทดสอบพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ให้ทำการทดสอบดังนี้

3.1. ทดสอบความแตกต่างของแต่ละตัวแปร ภายในกลุ่มระหว่างค่าก่อนการฝึก กับหลังการฝึก 30 นาที 24, 48, 72, และ 96 ชั่วโมง (ยกเว้นระดับ CK และ LDH) เป็นค่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง ของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 โดยใช้สถิติ one-way ANOVA with repeated

3.2 ทดสอบความแตกต่างของแต่ละตัวแปร ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ของการฝึก หลังการฝึก 30 นาที 24, 48, 72, และ 96 ชั่วโมง (ยกเว้นระดับ CK และ LDH) เป็นค่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง) โดยใช้สถิติ one-way ANOVA

4. ภายหลังการทดสอบหากพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีการของ LSD

5. ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การศึกษาที่ 2

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการคลายอุ่น ภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่ออาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย

2. เพื่อเปรียบเทียบระดับ CK และ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

3. เพื่อเปรียบเทียบค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด ค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ความอ่อนตัว แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ ค่าความสูงของการกระโดดในแนวดิ่ง และความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

สมมติฐาน

1. ระดับ CK และ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ แตกต่างกัน

2. ค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด ค่าจุดตัดและความชัน จากสมการถดถอยของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะ

เกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ความอ่อนตัว แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ ค่าความสูงของการกระโดดในแนวตั้ง และความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ ระหว่างกลุ่ม และภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ แตกต่างกัน

กลุ่มประชากร

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักกีฬาฟุตบอล ชมนรมกีฬาฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และนิสิตทั่วไปที่มีประสบการณ์ในการเล่นฟุตบอล อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 45 คน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาจากกลุ่มประชากรที่มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดเบื้องต้นในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมในการวิจัยและทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมโครงการ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาฟุตบอล สังกัดชมรมกีฬาฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพศชาย อายุ 18-22 ปี และนิสิตทั่วไปที่ไม่ใช่นักกีฬาชมรมกีฬาฟุตบอล แต่มีประสบการณ์ในการเล่นฟุตบอลหรือเคยเป็นนักกีฬาฟุตบอล และยังคงเล่นกีฬาฟุตบอลเป็นประจำอย่างน้อยวันละ 1-2 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อสัปดาห์ ดังนี้

- ไม่มีปัญหาการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้อ
- ความสูงของการทำ squat jump มากกว่า 25 เซนติเมตร
- ทำทางในการปฏิบัติ drop jump ถูกต้อง
- มีความสมัครใจที่จะเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การแยกกลุ่มตัวอย่างออกจากโครงการ

- กลุ่มตัวอย่างไม่เข้าร่วมการวิจัยตามที่กำหนด
- กลุ่มตัวอย่างมีปัญหาการบาดเจ็บและมีอุปสรรคที่ไม่สามารถเข้าร่วมโครงการวิจัยได้
- กลุ่มตัวอย่างไม่สมัครใจ เข้าร่วมโครงการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

1. ตัวแปรอิสระ (independent variable) คือ โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก ร่วมกับ โปรแกรมการฝึกฟุตบอล 2 วันต่อสัปดาห์ โปรแกรมการฝึกฟุตบอลเพียงอย่างเดียว 3 วันต่อสัปดาห์ โปรแกรมการวิ่งในน้ำลึก ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ โปรแกรมการวิ่งเหยาะๆ ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และ โปรแกรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ซึ่งปฏิบัติหลังการฝึกซ้อมทุกวัน

2. ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ

- ระดับ CK และ LDH ในเลือด
- ความอ่อนตัวในท่า นั่งงอตัวไปด้านหลัง ช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า
- แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- ความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump
- ความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- ค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับการออกแรงสูงสุด
- ค่าจุดตัด และความชันจากสมการถดถอยของค่า MDF ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC
- ค่าจุดตัด และความชันจากสมการถดถอยของค่า RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัย และจัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ ตารางฝึก ใบบันทึก เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล

2. ประสานงานผู้ฝึกสอนชมรมกีฬาฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อขอความอนุเคราะห์ประชาสัมพันธ์ให้นักกีฬาในชมรมทราบ รวมถึงประชาสัมพันธ์ให้กับนิสิตทั่วไปที่ไม่ใช่นักกีฬาชมรมกีฬาฟุตบอลทราบ นัดประชุมผู้สนใจเพื่ออธิบายในประเด็นต่างๆ ต่อไปนี้

2.1 อธิบายเกี่ยวกับความเป็นมาของโครงการ เหตุผลที่เชิญชวนเข้าร่วมโครงการ วัตถุประสงค์ และประโยชน์ของการวิจัยต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายรวมถึงผลเสียหรืออาการที่จะเกิดขึ้นจากโปรแกรมการฝึก

2.2 อธิบายเกี่ยวกับรูปแบบของการคลายอุ่นที่นำมาใช้ในการวิจัย เป็นรูปแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป และมีงานวิจัยที่สนับสนุนในการช่วยลดความล้าและช่วยฟื้นตัวภายหลังการฝึก แต่ประเด็นที่รูปแบบไหนจะส่งผลต่อการช่วยลดความล้า ช่วยในการฟื้นตัวและบรรเทาอาการเสียหายของกล้ามเนื้อต่างกันนั้นยังไม่ได้มีการศึกษา แต่รูปแบบของกิจกรรมคลายอุ่นที่ได้รับในงานวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการเล่นฟุตบอลและสมรรถภาพทางกายที่ลดลงทั้งนี้เพราะกิจกรรมที่นำมาใช้มีความหนัก ระยะเวลาในการทำกิจกรรมสำหรับการคลายอุ่นอย่างแท้จริง

2.3 อธิบายเกี่ยวกับความเสี่ยงหรือความไม่สบายทุกประการที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการศึกษา การป้องกันความเสี่ยง และการแก้ไขกรณีเกิดปัญหา การดูแลรักษา สวัสดิการ และค่าชดเชย ค่าเสียเวลาในทุกครั้งที่เข้าร่วมการทดสอบ

2.4 อธิบายเกี่ยวกับจรรยาบรรณของนักวิจัย และจรรยาบรรณในวิชาชีพอาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยเป็นอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน การเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมวิจัยรวมถึงการถอนตัวจากการเข้าร่วมโครงการจะไม่ส่งผลกระทบต่อเรียน และการคัดเลือกเป็นตัวแทนของทีมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การตัดสินใจเข้าร่วมวิจัยขอให้เกิดขึ้นจากความสมัครใจโดยแท้จริง และหากนักกีฬามีความรู้สึกว่าเป็นการบีบบังคับให้เข้าร่วมการวิจัย ให้ขอยกเลิกโครงการได้

2.5 หลังจากอธิบายประเด็นต่างๆ ตั้งแต่ข้อ 2.1 ถึง ข้อ 2.4 แล้วผู้วิจัยให้นักกีฬากลับไปทบทวนหรือปรึกษาคอบครัวแล้วจึงแจ้งความประสงค์จะเข้าร่วมโครงการด้วยความสมัครใจที่ผู้ฝึกสอน โดยผู้วิจัยจะมารับรายชื่อนักกีฬาที่เข้าร่วมโครงการถัดจากวันประชุม 3 วัน หากนักกีฬาไม่ครบตามกำหนด 30 คน ผู้วิจัยจะดำเนินการประกาศรับสมัครเพิ่มเติมจากนิสิตทั่วไปที่ไม่ใช่ นักกีฬาชมรมกีฬาฟุตบอล แต่มีประสบการณ์ในการเล่นฟุตบอลหรือเคยเป็นนักกีฬาฟุตบอล และยังคงเล่นกีฬาฟุตบอลเป็นประจำอย่างน้อยวันละ 1-2 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อสัปดาห์เพื่อเข้าร่วมโครงการ เมื่อครบตามจำนวนจะดำเนินการในข้อ 3 ต่อไป

3. เมื่อได้รับรายชื่อนักกีฬาที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการแล้วผู้วิจัยขอเชิญประชุมอีกครั้ง ทั้งนี้ นักกีฬาที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการจะต้องผ่านตามเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ ซึ่งหากมีมากกว่า 30 คน ผู้วิจัยจะทำการสุ่มอย่างง่าย (simple random) โดยวิธีการจับฉลาก เพื่อคัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน พร้อมลงนามในใบยินยอมสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย สำหรับการเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คนนั้นอ้างอิงถึงกัลยา (2546) ที่เสนอแนะว่าสูตรโดยทั่วไปเหมาะสำหรับการหาขนาดตัวอย่างเมื่อต้องการศึกษาตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงตัวเดียว แต่ในการวิจัยที่มีการศึกษาหลายตัวแปร พร้อมกัน และความผิดพลาดที่ยอมรับได้สำหรับตัวแปรแต่ละตัวอาจไม่เท่ากัน ในกรณีนี้ทำได้โดยการกำหนดขนาดตัวอย่างต่ำสุดของกลุ่มย่อยและขนาดตัวอย่างทั้งหมดเป็นผลบวกของขนาดตัวอย่างของแต่ละกลุ่มย่อย ซึ่ง เดิมศรี (2544) เสนอแนะว่าการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างอาจพิจารณาจากรายงานที่ผู้อื่นเคยศึกษามาก่อนแล้วได้ และจากการศึกษาในประเด็นที่คล้ายคลึงกันนี้กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวนกลุ่มละ 10 คน เช่น งานวิจัยของสยาม (2551) และ Chen and Sandy (2001)

4. ก่อนการทดลอง 5 วัน นำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 30 คน มาทดสอบข้อมูลพื้นฐานอันได้แก่

4.1 สมรรถภาพทางกาย ประกอบด้วย การชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง วัดชีพจรและความดันขณะพัก

4.2 การหาตำแหน่งสำหรับติดอิเล็กโทรดตามวิธีการของ Rainoldi *et al.* (2004) (ภาคผนวก จ) เพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังโดยใช้ปากกาสีลบออกยากระบุตำแหน่ง เพื่อใช้สำหรับการทดสอบแต่ละครั้ง ได้แก่กล้ามเนื้อ *gastronemius lateralis* (GL) และ *gastronemius medialis* (GM) และการวัดแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังจากการหด

เกร็งกล้ามเนื้อสูงสุดภายใต้อำนาจจิตใจ (maximum voluntary isometric contraction; MVIC) ด้วยเครื่องวัดแรงกล้ามเนื้อ เครื่องหมายการค้า Biodex รุ่น System 3 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

5. แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มโดยวิธีการจัดเข้ากลุ่ม (randomly assignment) กลุ่มละ 10 คน แต่ละกลุ่มจะฝึกโปรแกรมฝึกฟุตบอล 1 ชั่วโมง 30 นาที (วันอังคาร วันพุธ และวันศุกร์) และโปรแกรมการฝึกพลีโอเมตริก 45 นาที ก่อนการฝึกโปรแกรมฟุตบอล (วันจันทร์ และวันพฤหัสบดี) ตามตารางการฝึกซ้อมของชมรมฟุตบอล โดยช่วงของการคลายอุ่นภายหลังเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกของทุกวันแต่ละกลุ่มจะได้รับกิจกรรมที่ต่างกัน คือ

กลุ่มทดลองที่ 1 คลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกโดยความลึกของน้ำที่เท้าไม่สามารถสัมผัสพื้นได้ ขณะปฏิบัติระดับน้ำจะอยู่ระดับเดียวกับไหล่และใช้เข็มขัดโฟมคาดไว้ที่เอวเพื่อช่วยในการลอยตัว ส่วนท่าทางการเคลื่อนไหวเช่นเดียวกับการวิ่งบนบก ที่ความหนัก 40% HRR (heart rate reserve) เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำอีก 10 นาที รวมเวลาของการคลายอุ่น 25 นาที สูตรการคำนวณความหนักของการวิ่งในน้ำดังต่อไปนี้

$$\text{ชีพจรเป้าหมาย} = \{[(220 - \text{อายุ}) - \text{ชีพจรขณะพัก}] \times \% \text{ความหนัก} + \text{ชีพจรขณะพัก}\} - 10$$

ตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างอายุ 21 ปี ชีพจรขณะพักเท่ากับ 72 ครั้ง/นาที ดังนั้นอัตราการเต้นชีพจรเป้าหมายเท่ากับ 113 ครั้ง/นาที แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถควบคุมให้ชีพจรขณะวิ่งในน้ำเท่ากับที่คำนวณได้ตลอด จึงกำหนดให้อัตราการเต้นชีพจรขณะวิ่งในน้ำอยู่ในช่วง ± 5 คือ กลุ่มตัวอย่างจะวิ่งในน้ำโดยให้อัตราการเต้นชีพจรอยู่ระหว่าง 108 – 118 ครั้ง/นาที

กลุ่มทดลองที่ 2 คลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนัก 40% HRR (heart rate reserve) เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นยืดเหยียดกล้ามเนื้ออีก 10 นาที รวมเวลาของการคลายอุ่น 25 นาที สูตรการคำนวณความหนักของการวิ่งเหยาะดังต่อไปนี้

$$\text{ชีพจรเป้าหมาย} = \{[(220 - \text{อายุ}) - \text{ชีพจรขณะพัก}] \times \% \text{ความหนัก} + \text{ชีพจรขณะพัก}\}$$

ตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างอายุ 21 ปี ชีพจรขณะพักเท่ากับ 72 ครั้ง/นาที ดังนั้นอัตราการเต้นชีพจรเป้าหมายเท่ากับ 123 ครั้ง/นาที แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถควบคุมให้ชีพจรขณะวิ่งเหยาะ

เท่ากับที่คำนวณได้ตลอด จึงกำหนดให้อัตราการเดินชีพจรขณะวิ่งเหยาะอยู่ในช่วง ± 5 คือ กลุ่มตัวอย่างจะวิ่งเหยาะโดยให้อัตราการเดินชีพจรอยู่ระหว่าง 118 – 128 ครั้ง/นาที

กลุ่มควบคุม คลายอุ่นด้วยการยืดเหยียด 25 นาที

เมื่อฝึกครบ 6 สัปดาห์แล้ว ทุกกลุ่มทำการฝึกโปรแกรมฟุตบอลอย่างเดียวตามปกติต่ออีก 7 วัน

6. ทำการเก็บตัวแปรอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายดังนี้

ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึก 2 วัน

- กลุ่มตัวอย่างนั่งพักที่ห้องปฏิบัติการ 10 นาที หลังจากนั้นทำการวัดแต่ละตัวแปรตามลำดับดังนี้

1) วัดความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังโดยผู้เข้ารับการทดสอบยื่นเขย่งปลายเท้า 2-3 ครั้ง และเดินไปมา พร้อมให้ผู้รับการทดสอบดูมาตรวัดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อและชี้ที่ตัวเลขที่ตรงกับระดับความรู้สึก ซึ่งมีตัวเลขตั้งแต่ 1 (ไม่รู้สึกเจ็บระบบ) จนถึง 7 (เจ็บระบบมากที่สุด)

2) ทำการเจาะเลือดที่ antecubital vein จำนวน 4 มิลลิลิตร (Ehlers *et al.*, 2002) โดยพยาบาลวิชาชีพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาระดับ CK และ LDH ณ ห้องปฏิบัติการ โรงพยาบาล จันทบุรีเวชการแพทย์ทหารอากาศ จังหวัดนครปฐม

3) วัดความอ่อนตัวในท่านั่งเหยียดตัวไปด้านหน้า ด้วยกล่องวัดความอ่อนตัว และวัดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและงอข้อเท้า ด้วยเครื่องวัดมุมข้อต่อ (goniometer)

4) ทำการทดสอบค่า MVIC ของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง โดยใช้เครื่อง Isokinetic เลือกที่รูปแบบการทดสอบเป็น isometric และตั้งมุมการงอข้อเท้าที่ 30 องศา สำหรับออกแรงกดปลายเท้า

5) การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC และ 70%MVIC เพื่อไปวิเคราะห์เป็นค่า MDF และ RMS มีรายละเอียดดังนี้

5.1 ติดอิเล็กโทรดตรงตำแหน่งที่ได้มีการหาไว้ก่อนหน้าทดสอบ หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

5.2 ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าที่ระดับ MVIC พร้อมการทดสอบตามข้อ 4 เป็นเวลา 5 วินาที ปฏิบัติ 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 90 วินาที จากนั้นพัก 3 นาที ดำเนินการในข้อถัดไป

5.3 ผู้รับการทดสอบจะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC โดยดูจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งจะมีเส้นบอกระดับการออกแรงไว้เป็นเวลา 20 วินาที เมื่อครบตามเวลาผู้รับการทดสอบพัก 3 นาที ดำเนินการทดสอบในข้อถัดไป

6) ทดสอบความสูงของการทำ Drop jump เป็นการทดสอบพลังกล้ามเนื้อ โดยผู้รับการทดสอบยืนบนกล่องที่มีความสูง 40 เซนติเมตร หลังจากนั้นก้าวเท้าข้างที่ถนัดออกมาด้านหน้ากล่องและปล่อยให้ร่างกายตกลงสู่แผ่นวัดแรง เมื่อเท้าสัมผัสพื้นผู้รับการทดสอบต้องออกแรงในการกระโดดขึ้นแนวดิ่งให้เร็วที่สุดและสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปฏิบัติทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 90 วินาที

7) ทดสอบความสูงของการทำ Counter-movement jump เป็นการทดสอบพลังกล้ามเนื้อ โดยผู้รับการทดสอบจะยืนอยู่บนแผ่นวัดแรง เมื่อได้รับคำสั่งให้ปฏิบัติให้ยืนตรงและย่อตัวลงหลังจากนั้นกระโดดขึ้นในแนวดิ่งให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปฏิบัติทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 90 วินาที

หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง

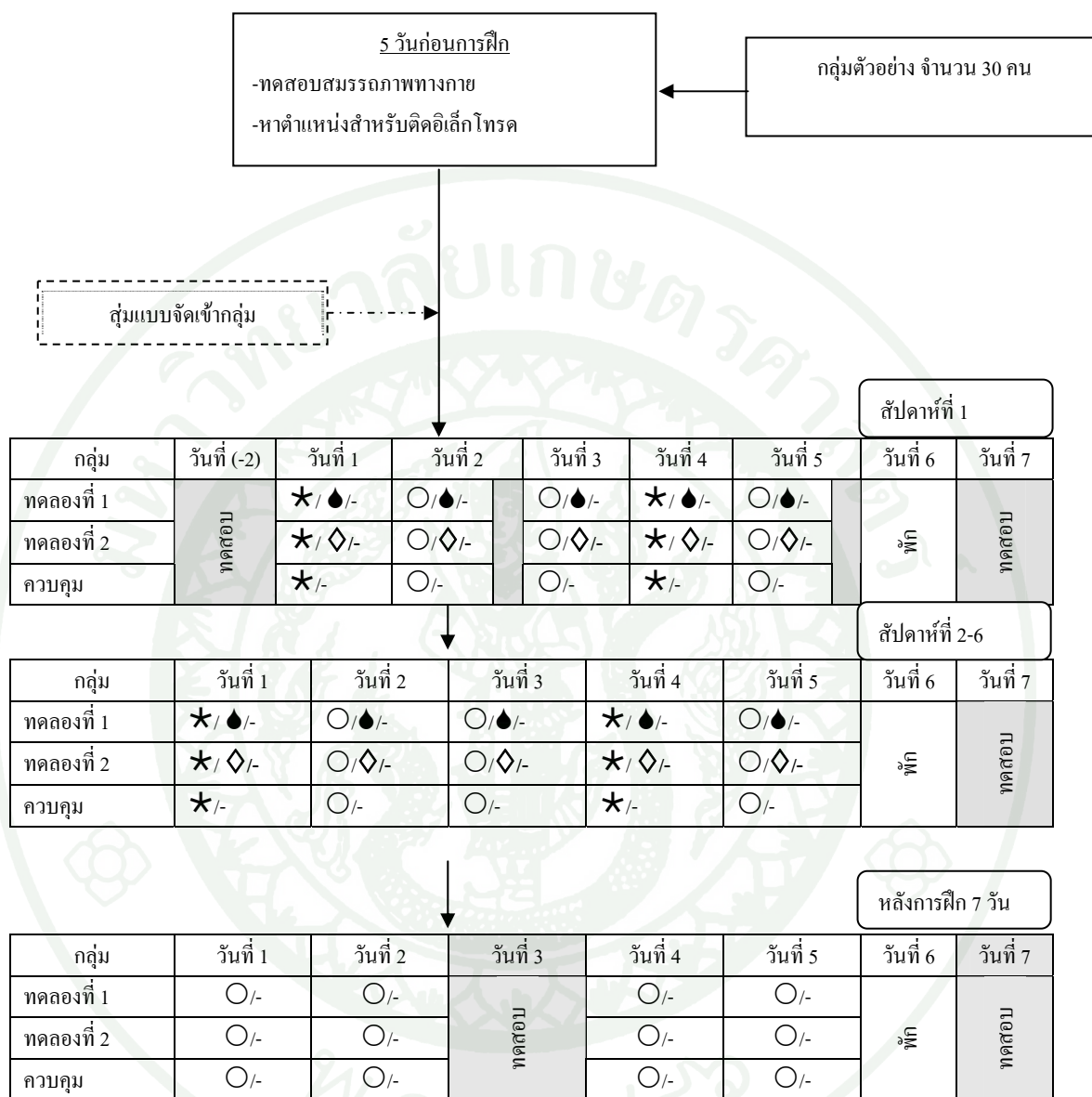
- ทำการวัดตัวแปรแต่ละตัวตามลำดับขั้นตอน เช่นเดียวกับวันก่อนการฝึก 2 วัน
หลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรมคลายอุ่นของแต่ละกลุ่ม

หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

- ทำการวัดตัวแปรแต่ละตัวตามลำดับขั้นตอน เช่นเดียวกับก่อนการฝึก 2 วัน ยกเว้นการเจาะเลือดที่ทำเฉพาะหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

7. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ และสรุปผลการวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

แผนภูมิการดำเนินการวิจัย



หมายเหตุ * = โปรแกรมพลัซโอเมตริก ○ = โปรแกรมฟุตบอล ● = โปรแกรมวิ่งในน้ำ
 ◇ = วิ่งเหยาะ - = โปรแกรมยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

การใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติดังต่อไปนี้

1. หาค่าเฉลี่ย (mean) และ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error of estimation) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายและทุกตัวแปรของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของแต่ละกลุ่ม

2. หาค่าจุดตัด และความชันของค่า MDF และ RMS ที่ได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC โดยการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (simple linear regression analysis) เพื่อนำไปคำนวณผลทางสถิติ

3. ทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการ (กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม) กับช่วงเวลาของการวัด (ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์) ของแต่ละตัวแปร โดยใช้สถิติ two-way ANOVA หากผลการทดสอบพบว่าปฏิสัมพันธ์ให้ทำการทดสอบดังนี้

3.1 ทดสอบความแตกต่างของแต่ละตัวแปร ภายในกลุ่มระหว่างค่า ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของ กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมโดยใช้สถิติ one-way ANOVA with repeated

3.2 ทดสอบความแตกต่างของแต่ละตัวแปร ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และควบคุม หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์โดยใช้สถิติ one-way ANOVA

4. ภายหลังจากทดสอบความแตกต่างหากพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีการของ LSD

5. ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ การวิเคราะห์ข้อมูลของระดับ CK และ LDH จะเป็นค่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา สระว่ายน้ำ และสนามกีฬากลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน ระหว่างเดือน มกราคม 2552 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2553

ประโยชน์ที่ได้รับ

การฝึกซ้อมฟุตบอลส่งผลต่อการเสียหายของกล้ามเนื้อเมื่อมีการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกร่วมในโปรแกรมซ้อมจะมีการเสียหายมากขึ้น การใช้กิจกรรมคลายอุ่นโดยการวิ่งในน้ำ ช่วยบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อได้ รวมถึงการปฏิบัติต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ หลังการฝึกซ้อมจะส่งผลในการปรับตัวของสมรรถภาพทางกายที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ผู้ฝึกสอนและผู้เกี่ยวข้องจะใช้เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาสมรรถนะของผู้เล่นให้เพิ่มสูงขึ้นได้

แหล่งทุนสนับสนุน

ทุนส่วนตัว

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการวิ่งในน้ำลึกหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย เนื่องจากการฝึกซ้อมนักกีฬาโดยทั่วไปมีรูปแบบการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวแบบยืดยาวออกและส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายได้ การฝึกพลัยโอเมตริกเพื่อพัฒนาพลังกล้ามเนื้อ เป็นหนึ่งกิจกรรมที่ส่งผลให้เกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อ สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการเสียหายของกล้ามเนื้อจากอาการแสดงทางอ้อม ซึ่งแยกออกเป็น 6 กลุ่ม คือ

1. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด ได้แก่ ระดับ CK และ LDH
2. ความอ่อนตัว ได้แก่ ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า
3. แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
4. พลังกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump
5. ความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
6. การเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุด และที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด

งานวิจัยนี้แยกออกเป็น 2 การศึกษา คือ การศึกษาที่ 1 เป็นศึกษาการตอบสนองของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายหลังจากการคลายอุ่นด้วยวิธีการวิ่งในน้ำลึก การวิ่งเหยาะ และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ภายหลังจากการฝึกพลัยโอเมตริกโดยมีระยะเวลาของการศึกษา 1 สัปดาห์ ส่วนการศึกษาที่ 2 เป็นการศึกษาการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายจากโปรแกรมการฝึกซ้อมและมีกิจกรรมการคลายอุ่นด้วยวิธีการวิ่งในน้ำลึก การวิ่งเหยาะ และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อภายหลังจากการฝึกซ้อม ทั้งนี้ติดตามดูการเปลี่ยนแปลงในช่วงของโปรแกรมการฝึกซ้อมเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และหลังหยุดโปรแกรมการฝึกเป็นเวลา 3 วัน และ 7 วัน สำหรับการรายงานผลและวิจารณ์จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 รายงานผลและวิจารณ์ของการศึกษาที่ 1 และส่วนที่ 2 รายงานผลและวิจารณ์ของการศึกษาที่ 2

ส่วนที่ 1 รายงานผลและวิจารณ์ของการศึกษาที่ 1 เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในของแต่ละกลุ่ม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยของการศึกษาที่ 1 ได้มาจากกลุ่มประชากรซึ่งเป็นนิสิตชาย สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดเบื้องต้น ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมการวิจัย หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 10 คน ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกและคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำ กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกและคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะ ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และกลุ่มควบคุมฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกและคลายอุ่นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ โดยทุกกลุ่มจะทำการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกในวันแรกของการทดลองและทำการคลายอุ่นตามวิธีการของแต่ละกลุ่ม ส่วนวันที่ 2 ถึงวันที่ 5 จะเป็นการปฏิบัติกิจกรรมคลายอุ่นของแต่ละกลุ่ม ทำการวัดตัวแปรอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายของแต่ละกลุ่มในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง นำผลไปคำนวณทางสถิติเพื่อตอบสมมติฐานการวิจัยโดยรายงานผลและวิจารณ์ได้ดังนี้

ตอนที่ 1 อายุและลักษณะทางกายภาพ

จากข้อมูลพื้นฐานพบว่า แต่ละกลุ่ม มีอายุและลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมี อายุระหว่าง 19.40 ถึง 19.80 ปี น้ำหนักระหว่าง 60.60 ถึง 67.96 กิโลกรัม ส่วนสูงระหว่าง 171.90 ถึง 174.40 เซนติเมตร และดัชนีมวลกายระหว่าง 20.64 ถึง 22.91 กก./ม² ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้ข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการแสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกของแต่ละกลุ่มไม่มีความได้เปรียบเสียเปรียบกันอันเนื่องจากรูปร่างและน้ำหนักตัว ทั้งนี้เพราะผู้ที่น้ำหนักตัวมากจะมีผลต่อแรงที่มากกระทำต่อกล้ามเนื้อและข้อต่อในขณะที่ปฏิบัติมากกว่าผู้ที่น้ำหนักตัวน้อยกว่า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะส่งผลต่อการเสียหายของกล้ามเนื้อที่มากกว่าได้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และ
ดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

รายการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
อายุ (ปี)	19.80 ± 0.13	19.50 ± 0.17	19.40 ± 0.37
น้ำหนัก (กก.)	65.15 ± 2.20	67.96 ± 3.49	60.60 ± 2.34
ส่วนสูง (ซม.)	174.40 ± 1.34	171.90 ± 1.87	174.10 ± 1.50
ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)	21.43 ± 0.61	22.91 ± 0.94	20.64 ± 0.57

ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด

ในงานวิจัยนี้ใช้ระดับของ CK และ LDH ในเลือดเป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมที่แสดงถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อระดับ CK และ LDH หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของวิธีการคลายอุ่นไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาหลังการฝึก แต่พบว่าผลการทดสอบหลังการฝึก (เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกัน จะมีอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของระดับ CK และ LDH ในเลือด สรุปข้อมูลลงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ระดับ CK และ LDH ในเลือด
ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง

(หน่วย: ยูนิต/ลิตร)			
ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
CK			
(a) ก่อนการฝึก	123.80 ± 8.26	151.00 ± 13.49	124.40 ± 14.85
(b) หลังการฝึก 30 นาที	180.10 ± 17.93^a	181.60 ± 14.73^a	159.40 ± 18.62^a
(f) หลังการฝึก 36 ชั่วโมง	288.10 ± 51.97	$356.50 \pm 46.16^{a,b}$	$296.70 \pm 55.12^{a,b}$
หลังการฝึก 84 ชั่วโมง	$162.30 \pm 17.25^{#,f}$	$317.20 \pm 55.78^{a,b}$	$191.90 \pm 31.34^{a,f}$

ตารางที่ 3 (ต่อ)

(หน่วย: ยูนิต/ลิตร)			
ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
LDH			
(a) ก่อนการฝึก	290.40 ± 14.43	279.60 ± 14.59	280.60 ± 18.39
(b) หลังการฝึก 30 นาที	335.70 ± 15.34 ^a	327.60 ± 16.90 ^a	319.00 ± 21.46 ^a
(f) หลังการฝึก 36 ชั่วโมง	298.70 ± 14.56 ^b	295.70 ± 18.08 ^b	302.10 ± 16.27
หลังการฝึก 84 ชั่วโมง	283.90 ± 14.07 ^b	278.20 ± 12.51 ^b	280.20 ± 14.94 ^{b,f}

หมายเหตุ # แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานระดับ CK และ LDH ในเลือด สรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของระดับ CK ในเลือดก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 123.80 ± 8.26 , 151.00 ± 13.49 และ 124.40 ± 14.85 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นค่าปกติที่อยู่ในเลือด ตามการอ้างอิงของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาล จันทบุรีเวช กรมการแพทย์ทหารอากาศ จังหวัดนครปฐม จะมีค่าอยู่ระหว่าง 38 ถึง 174 ยูนิต/ลิตร นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Ehlers *et al.* (2002) ที่พบว่าค่าปกติสำหรับเพศชายจะอยู่ระหว่าง 55 ถึง 170 ยูนิต/ลิตร และเพศหญิงจะมีค่าปกติอยู่ระหว่าง 30 ถึง 135 ยูนิต/ลิตร แสดงให้เห็นว่าก่อนการทดลองกลุ่มตัวอย่างไม่มีการเสียหายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น แต่ระดับ CK ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะมีค่าสูงขึ้นภายหลังการฝึก 30 นาที เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกอยู่ระหว่างร้อยละ 123.22 ถึง 146.76 (ภาพที่ 3A) และมีค่าสูงมากที่สุดภายหลังการฝึก 36 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกอยู่ระหว่างร้อยละ 230.03 ถึง 246.58 (ภาพที่ 3A) ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มในทั้ง 2 ช่วงเวลา ($p>0.05$) แต่หลังการฝึก 84 ชั่วโมง พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 มีระดับ CK ในเลือดลดลงต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 ($p<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุม ($p>0.05$)

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม ใช้กิจกรรมการคลายอุ่นที่ไม่มีแรงกระแทกมากระทำกับกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ใช้กิจกรรมการวิ่งในน้ำและการยืดเหยียดในน้ำ ด้วยคุณสมบัติของน้ำที่มีแรงพยุงตัว กล้ามเนื้อจะแบกรับน้ำหนักตัวลดลง ไม่มีแรงกระแทกมากระทำกับกล้ามเนื้อ เอ็นกล้ามเนื้อ และข้อต่อ อีกทั้งขณะที่มีการเคลื่อนไหวในน้ำกล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้า (concentric contraction) และคลายตัวออก (Takahashi *et al.*, 2005) ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 ที่การวิ่งเหยาะบนพื้นจะทำให้กลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเหยียดออกของข้อต่อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก ในจังหวะที่เท้าสัมผัสพื้น (Armstrong *et al.*, 1983) แล้วตามด้วยการหดตัวแบบหดสั้นเข้า เช่น การหดตัวของกล้ามเนื้อน่องจะเป็นแบบยืดยาวออกเมื่อเท้าสัมผัสพื้น และจะหดตัวแบบหดสั้นเข้าเมื่อถีบย่นเท้าให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปด้านหน้า การหดตัวของกล้ามเนื้อที่มีความต่อเนื่องกันดังกล่าว จะเรียกว่า “วงจรการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อ” ซึ่งเป็นรูปแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ก่อให้เกิดการเสียหายได้ ทั้งนี้เพราะช่วงที่กล้ามเนื้อมีการยืดตัวออกก่อนการหดตัวจะมีแรงดึงภายในกล้ามเนื้อเกิดขึ้น สอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเคลื่อนไหวที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก (eccentric contraction) เช่น การวิ่งลงเนิน การฝึกความแข็งแรงที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก การฝึกกระโดดในลักษณะต่างๆ จะส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายได้มากกว่ากิจกรรมการฝึกในลักษณะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้า (concentric contraction) และการหดตัวแบบหดเกร็ง (isometric contraction) (Clarkson and Sayers 2001; Lieber and Friden 2002) ถึงแม้ว่าการวิ่งเหยาะ จะเป็นการออกแรงในระดับต่ำแต่กิจกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นหลังจากการฝึกพลัยโอเมตริกที่ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีการเสียหายในเบื้องต้นอยู่แล้ว ดังที่ Marginson *et al.* (2005); Tofas *et al.* (2008) พบว่าหลังการฝึกพลัยโอเมตริก 24 – 48 ชั่วโมงจะเกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อ รวมถึงความสามารถในการกระโดดแนวตั้งและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง ดังนั้นการใช้กิจกรรมการวิ่งเหยาะ ซึ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกและหดสั้นเข้าอาจส่งผลให้ระดับการเสียหายยังคงมีอยู่ เมื่อวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อในแต่ละช่วงจะพบว่า ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นกล้ามเนื้อจะถูกยืดออกอย่างรวดเร็ว และมีแรงดึงเกิดขึ้น โดยแรงที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักตัวและความเร็วในการเคลื่อนไหว ดังที่ Keller *et al.* (1996) พบว่าขณะทำการเดินด้วยความเร็วน้อยกว่า 2.5 ถึง 3.0 เมตรต่อวินาที จะมีแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้นมากระทำกับกล้ามเนื้อและโครงสร้างของร่างกายประมาณ 1.1 ถึง 1.5 เท่า ของน้ำหนักตัว แต่หากเป็นการวิ่งที่ความเร็วมากกว่า 3 ถึง 5 เมตรต่อวินาที จะมีแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้นมากระทำกับกล้ามเนื้อและโครงสร้างที่มากขึ้น คือ ประมาณ 2.6 ถึง 3.2 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการนำไปสู่การบาดเจ็บ นอกจากนี้ Reisman *et al.* (2005) ได้กล่าวว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกซ้ำๆ กันจะส่งผลให้การแยกตัวของซาร์โคเมียร์เพิ่มมากขึ้น และกลายเป็นการเสียหายของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการ

เร้าและการหดตัวของกล้ามเนื้อเสียหายที่การทำงานตามปกติไป การเสียหายที่เกิดขึ้นอาจเริ่มตั้งแต่ T-tubules จนกระทั่งมีการฉีกขาดจากผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) จึงเป็นเหตุให้มีการซึมผ่านของสิ่งต่างๆ ผ่านเซลล์กล้ามเนื้อได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้กลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งใช้การวิ่งเหยาะและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในช่วงของการคลายอุ่นยังคงมีระดับ CK ในเลือดหลังการฝึก 84 ชั่วโมง สูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 218.32, 155.48 และ 131.72 ตามลำดับ (ภาพที่ 3A) สำหรับกลุ่มควบคุมซึ่งใช้กิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลให้กล้ามเนื้อเสียหายเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อมีผลช่วยลดการดึงตัวของกล้ามเนื้อ และช่วยให้การแตกตัวของเลือดที่ค้างอยู่ในบางส่วนของเซลล์กล้ามเนื้อสลายได้ แต่การยืดกล้ามเนื้อก็มีผลให้ซาร์โคเมอร์มีการเสียหายเพิ่มมากขึ้นได้หากยืดมากเกินไป (Reisman *et al.*, 2005)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับ CK ในเลือด ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่ามีระดับ CK ในเลือด หลังการฝึก 30 นาที สูงขึ้นกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) และหลังการฝึก 84 ชั่วโมง มีค่าลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 36 ชั่วโมง ($p < 0.05$) แต่ไม่ต่างจากก่อนการฝึก ($p > 0.05$) นั้นแสดงให้เห็นว่าภายหลังการฝึก 84 ชั่วโมงผ่านไประดับ CK ในเลือดลดลงสู่ระดับปกติ

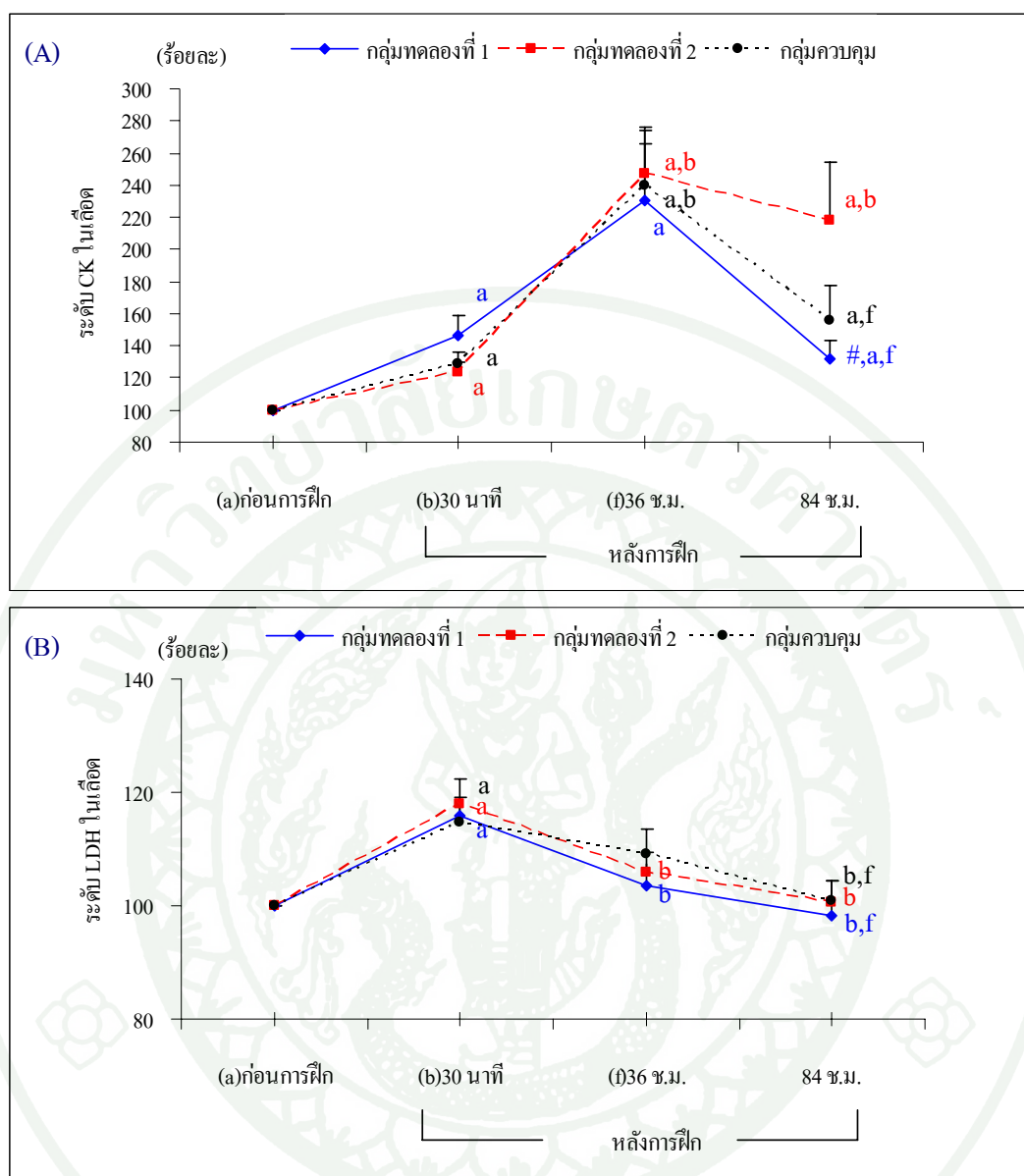
- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 และภายในกลุ่มควบคุม จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าระดับ CK ในเลือดเหมือนกัน คือ หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 36 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยพบว่าหลังการฝึก 36 ชั่วโมงมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด และต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 84 ชั่วโมง ทั้งสองกลุ่มมีระดับ CK ในเลือดลดลงแต่ยังสูงกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าไม่ต่างจากภายหลังการฝึก 36 ชั่วโมง นั้นแสดงว่ากิจกรรมการคลายอุ่นของกลุ่มทดลองที่ 2 ส่งผลต่อการลดลงของระดับ CK ในเลือดเพียงเล็กน้อยหลังการฝึกพลัยโอเมตริกและระดับยังคงสูงต่อเนื่อง

การเปลี่ยนแปลงของระดับ CK ในเลือดระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง ของแต่ละกลุ่มแสดงให้เห็นว่าการฝึกพลัยโอเมตริกส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหาย และการเสียหายของกล้ามเนื้อจะมีค่าสูงมากขึ้นหลังการฝึก 24 - 48 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับสมรรถภาพทางกายและความคุ้นเคยในกิจกรรมการฝึก (Clarkson, 1992) โดยงานวิจัยนี้พบว่าหลังการฝึก 36 ชั่วโมงทุกกลุ่มจะมีค่าระดับ CK สูงกว่าก่อนการฝึก แต่หลังการฝึก 84 ชั่วโมง

มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีระดับ CK ในเลือดลดลงไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกช่วยให้กระบวนการฟื้นฟูของเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีการเสียหายกลับสู่สภาพปกติได้เร็วขึ้น

2. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของระดับ LDH ในเลือดก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 290.40 ± 14.43 , 279.60 ± 14.59 และ 280.60 ± 18.39 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นค่าปกติที่อยู่ในเลือด ตามการอ้างอิงของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาล จันทบุรีเบกษา กรมการแพทย์ทหารอากาศ จังหวัดนครปฐม คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 240 ถึง 480 ยูนิต/ลิตร นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Ehrman *et al.* (2009) ที่ระบุว่า ค่าปกติจะอยู่ระหว่าง 105 ถึง 333 ยูนิต/ลิตร แสดงให้เห็นว่าก่อนการทดลองกลุ่มตัวอย่างไม่มีอาการเสียหายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับ LDH ในเลือดหลังการออกกำลังกายจะมีสาเหตุเดียวกับระดับของ CK คือ เกิดจากการออกกำลังกายในลักษณะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก การออกกำลังกายในลักษณะที่ไม่คุ้นเคย และการออกกำลังกายที่ระดับงานมากกว่าที่เคยปฏิบัติ ทั้งนี้ระดับ LDH ในเลือดจะมีค่าสูงขึ้นภายหลังการออกกำลังกายในรูปแบบดังกล่าวประมาณวันที่ 3 (72 ชั่วโมง) ถึงวันที่ 5 (120 ชั่วโมง) หรือบางกรณีอาจเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 7 (168 ชั่วโมง) หลังการออกกำลังกาย (Brancaccio *et al.*, 2010) สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับ LDH ในเลือดหลังการฝึก 30 นาทีของทุกกลุ่มมีค่าสูงมากขึ้นกว่าช่วงเวลาอื่น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 319.00 ถึง 335.70 ยูนิต/ลิตร หรือมีการเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกอยู่ระหว่างร้อยละ 114.56 ถึง 116.21 (ภาพที่ 3B) ซึ่งใกล้เคียงค่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของ LDH จะมีขนาดใหญ่กว่า โมเลกุลของ CK ทำให้การผ่านออกมานอกเซลล์และเข้าสู่กระแสเลือดมีปริมาณน้อย (Su *et al.*, 2010) แต่หากกล้ามเนื้อมีการเสียหายที่มากขึ้น อาจส่งผลให้ระดับ LDH ในเลือดเพิ่มสูงขึ้นได้ ในกรณีนี้อาจเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลให้รูปแบบการคลายอุ่นของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับ LDH ในเลือด ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง ของแต่ละกลุ่มพบว่า ภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก 30 นาทีของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีระดับ LDH ในเลือดเพิ่มสูงขึ้นจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะมีระดับ LDH ลดลงใกล้เคียงกับก่อนการฝึก ($p > 0.05$) นั้นแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการคลายอุ่นของทั้ง 3 กลุ่มสามารถส่งผลให้ระดับ LDH ลดลงได้



หมายเหตุ # แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 3 ร้อยละระดับ CK (A) และ LDH (B) ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 36 และ 84 ชั่วโมง

ตอนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงด้านความอ่อนตัว

การเปลี่ยนแปลงด้านความอ่อนตัวจะแยกเป็นความอ่อนตัวที่ได้จากการวัดความอ่อนตัวโดยรวมที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของข้อต่อหลายส่วน ได้แก่ การวัดความอ่อนตัวในท่อนั่งงอตัวไปด้านหลัง และการวัดความอ่อนตัวจากช่วงการเคลื่อนไหวข้อต่อเดียว ในการวิจัยครั้งนี้วัดความอ่อนตัวของการเคลื่อนไหวข้อเท้า โดยพิจารณาจากช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าที่สามารถทำได้ในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อความอ่อนตัวในท่อนั่งงอตัวไปด้านหลัง และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของวิธีการคลายอุ่นไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาหลังการฝึก แต่พบว่าผลการทดสอบหลังการฝึก (เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกัน จะมีอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน ส่วนช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าได้รับผลกระทบจากการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึก และจากการมีปฏิสัมพันธ์นี้จึงทำให้ต้องแยกดำเนินการวิเคราะห์ความแตกต่างของช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าที่เป็นผลมาจากวิธีการคลายอุ่นต่างกัน และผลที่มาจากช่วงเวลาหลังการฝึก นำข้อมูลจากการวิเคราะห์สรุปลงในตารางที่ 4 และ 5 ดังนี้

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความอ่อนตัวในท่อนั่งงอตัวไปด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 ชั่วโมง 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: เซนติเมตร)			
ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(a) ก่อนการฝึก	12.70 ± 2.12	14.75 ± 2.30	15.00 ± 1.32
(b) หลังการฝึก 30 นาที	12.55 ± 2.34	15.31 ± 2.51	14.70 ± 1.35
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	12.25 ± 2.09	14.88 ± 2.30	$13.70 \pm 1.41^{a,b}$
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	13.35 ± 2.02^d	15.19 ± 2.29	13.75 ± 1.41
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	13.65 ± 2.06^d	15.69 ± 2.19^d	14.14 ± 1.59
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	$13.80 \pm 1.98^{d,g}$	$15.81 \pm 2.23^{d,g}$	14.65 ± 1.55

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

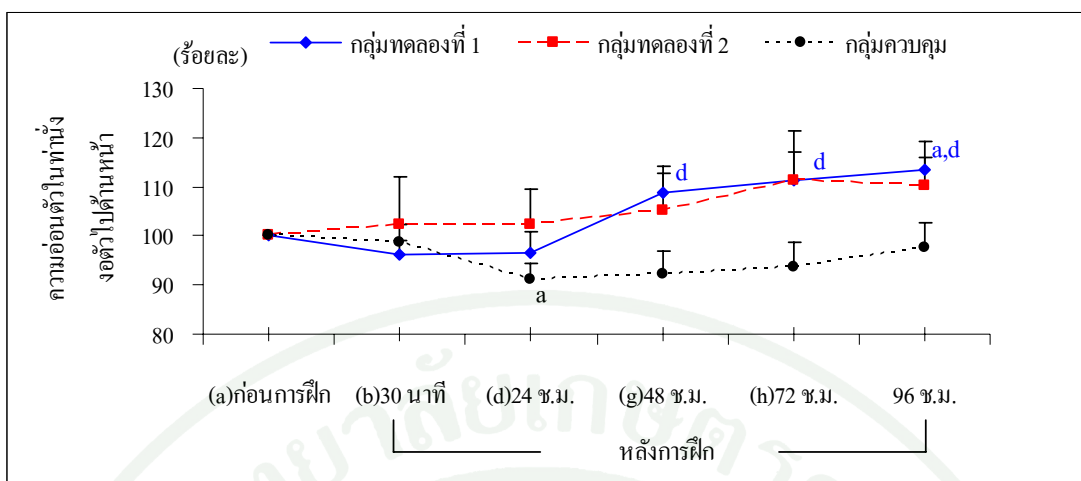
จากตารางที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 12.70 ± 2.12 , 14.75 ± 2.30 และ 15.00 ± 1.32 เซนติเมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ยังคงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) และหลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) และความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยพบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงมากที่สุดโดยแตกต่างจากทั้งก่อนการฝึกและหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) นอกจากนี้ หลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 4 ร้อยละความอ่อนตัวในทำนองงอตัวไปด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4 เป็นการนำข้อมูลที่ได้นำไปทำเป็นค่าร้อยละและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยพบว่าหลังการฝึก 30 นาที มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีร้อยละความอ่อนตัวในทำนองงอตัวไปด้านหน้าเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 102.24) ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุมจะมีค่าลดลง (ร้อยละ 96.19 และ 98.71 ตามลำดับ) การที่กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละความอ่อนตัวในทำนองงอตัวไปด้านหน้าเพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากรูปแบบของการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะ และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ จะส่งผลให้อุณหภูมิในกล้ามเนื้อสูงขึ้น ทำให้การยืดเหยียดกล้ามเนื้อสามารถทำได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังที่ Bishop (2003) ได้กล่าวไว้เกี่ยวกับการใช้กิจกรรมการเคลื่อนไหวส่งผลให้อุณหภูมิของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการลดแรงตึงตัวภายในกล้ามเนื้อ ทำให้การยืดกล้ามเนื้อสามารถทำได้มากยิ่งขึ้น ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 วิ่งในน้ำลึก และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ลักษณะของการเคลื่อนไหวในน้ำและการเพิ่มอุณหภูมิในกล้ามเนื้อเพื่อจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการยืดกล้ามเนื้ออาจทำได้ไม่ดี การเปลี่ยนแปลงค่าความอ่อนตัวที่วัดได้จึงน้อยกว่าการใช้กิจกรรมคลายอุ่นแบบกลุ่มทดลองที่ 2 เช่นเดียวกับกลุ่มควบคุมที่พบว่าความอ่อนตัวหลังการฝึก 30 นาที แล้วตามด้วยกิจกรรมการคลายอุ่น ไม่ส่งผลให้ความอ่อนตัวอยู่ในระดับเดิมได้แต่กลับมีค่าลดลง ทั้งนี้การยืดกล้ามเนื้อหลังจากการฝึกพลัยโอเมตริกซึ่งกล้ามเนื้อจะมีความตึง

ตัวเกิดขึ้นสูงมาก การยืดกล้ามเนื้อ โดยไม่มีการเคลื่อนไหวเบาๆ เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิกล้ามเนื้อ ก่อนจะทำให้ประสิทธิภาพของการยืดกล้ามเนื้อลดลง ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีระดับความตึงตัวเช่นเดิม

หลังการฝึก 48 ชั่วโมงเป็นต้นไป กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก ก่อนการฝึก อยู่ระหว่างร้อยละ 108.78 ถึง 113.54 และ 105.10 ถึง 111.19 ตามลำดับ ส่วนกลุ่ม ควบคุมจะมีค่าต่ำกว่าก่อนการฝึก อยู่ระหว่างร้อยละ 92.41 ถึง 97.79 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อจะ มีการตึงตัวอย่างต่อเนื่อง หากได้รับกิจกรรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียว แต่หากมี กิจกรรมการเคลื่อนไหวจะส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความยืดหยุ่นตัวที่ดีขึ้นได้

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่า เหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าอข้อเท้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: องศา)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า</u>			
(a) ก่อนการฝึก	59.50 $\pm$ 1.78	55.90 $\pm$ 2.07	63.60 $\pm$ 2.27
(b) หลังการฝึก 30 นาที	57.90 $\pm$ 1.55 ^a	55.00 $\pm$ 2.70	61.10 $\pm$ 2.27 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	58.60 $\pm$ 2.01	54.90 $\pm$ 2.67	61.35 $\pm$ 2.16 ^a
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	58.10 $\pm$ 1.88	54.70 $\pm$ 1.85	61.75 $\pm$ 2.29
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	59.90 $\pm$ 1.78 ^b	55.30 $\pm$ 1.66 [*]	63.10 $\pm$ 2.44 ^b
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	59.90 $\pm$ 1.82 ^b	55.80 $\pm$ 1.56 [*]	62.90 $\pm$ 2.35 ^b

ตารางที่ 5 (ต่อ)

(หน่วย: องศา)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้า</u>			
(a) ก่อนการฝึก	12.80 ± 2.33	11.30 ± 2.39	17.10 ± 3.05
(b) หลังการฝึก 30 นาที	6.60 ± 3.24^a	3.10 ± 6.24^a	-2.50 ± 2.31^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	$6.60 \pm 2.92^{*,a}$	$0.20 \pm 2.23^{a,b}$	-2.80 ± 1.90^a
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	$8.90 \pm 2.99^*$	4.10 ± 2.21^a	-1.80 ± 2.04^a
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	$13.60 \pm 2.36^{*,b,d,g}$	$7.80 \pm 1.96^{b,d}$	0.70 ± 7.45^a
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	$13.60 \pm 2.05^{b,d,g}$	$10.00 \pm 1.97^{b,d,g}$	$8.00 \pm 2.05^{a,b,d,g,h}$

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าที่สามารถทำได้ในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้า สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 59.50 ± 1.78 , 55.90 ± 2.07 และ 63.60 ± 2.27 องศา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ 2 ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าภายหลังการฝึก 30 นาที ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) แต่หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าเพิ่มขึ้น โดยพบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p > 0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า เพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p < 0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 12.80 ± 2.33 , 11.30 ± 2.39 และ 17.10 ± 3.05 องศา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 30 นาที ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่หลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

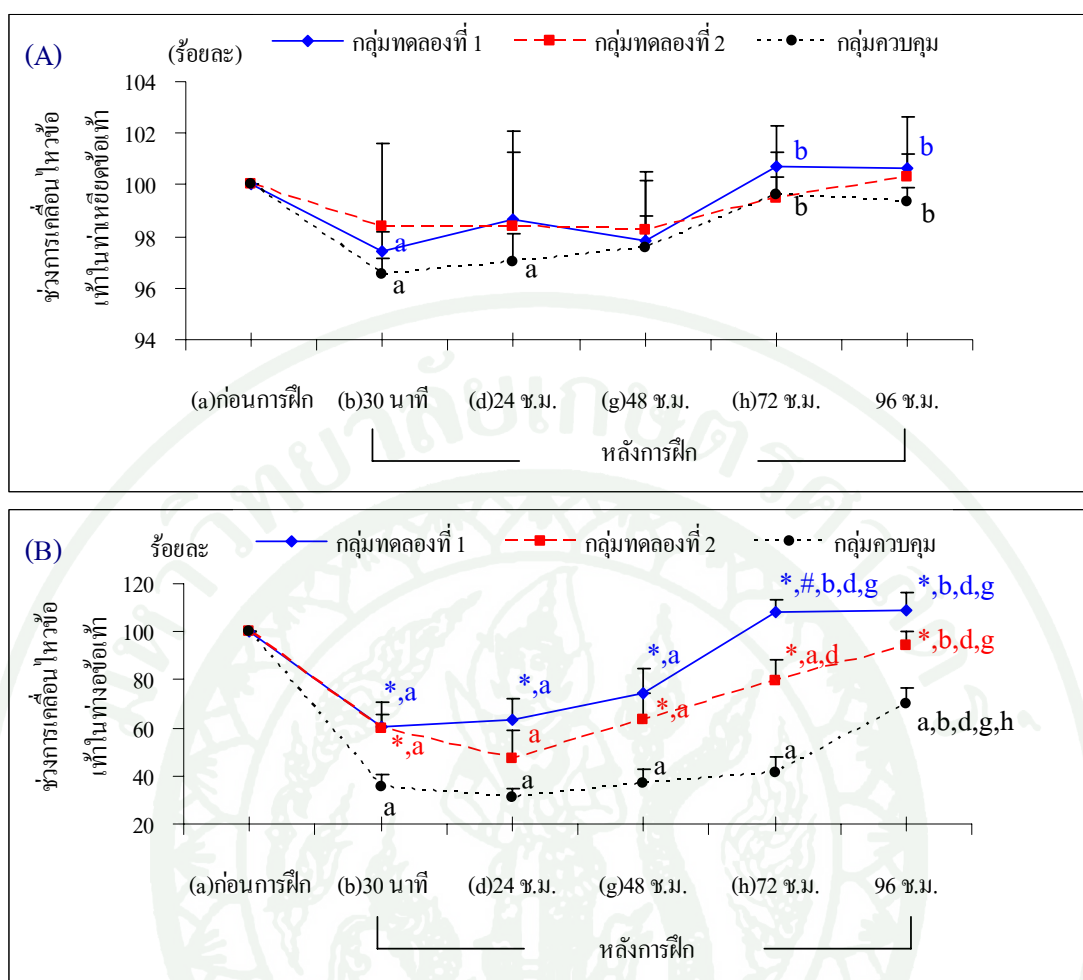
เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยหลังการฝึก 48 ชั่วโมง จนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมง จะมีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่า

หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที และ แตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้า แตกต่างจากทุกช่วงเวลาหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 5 ร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (A) และ ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากภาพที่ 5 แสดงค่าร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (A) และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (B) พบว่า ร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าจากการทดสอบทั้งสองแบบ ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม หลังการฝึก 30 นาที จนกระทั่งหลังการฝึก 48 ชั่วโมง มีค่า

ลดลงจากก่อนการฝึก และหลังการฝึก 72 ชั่วโมง จนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับและเพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึก รวมถึงต่างจากกลุ่มควบคุม การเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละความอ่อนตัวในช่วงแรกหลังการฝึกนั้นอาจเกิดจากการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (muscle stiffness) โดยมีสาเหตุจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การบวมและมีของเหลวค้างอยู่ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ การสะสมของแคลเซียมภายในเซลล์กล้ามเนื้อ รวมถึงการลดลงของแหล่งพลังงานที่จะใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Clarkson and Newham 1995; Chleboun *et al.*, 1998; Sayers 2001) นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการที่ muscle spindle ได้รับการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงของการฝึก เมื่อหยุดการฝึกแล้วยังคงส่งสัญญาณไปควบคุมให้กล้ามเนื้อมีการเกร็งตัวและการเกร็งตัวที่เกิดขึ้นนั้นมากกว่าช่วงก่อนการฝึกจึงทำให้ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าจากการทดสอบทั้งสองแบบลดลงภายหลังการฝึก โดยหน้าที่ของ muscle spindle จะรับรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ หากกล้ามเนื้อถูกทำให้ยืดออกจะส่งผลให้เกิดวงจรรีเฟร็กที่กระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัวสั้นเข้า สำหรับกิจกรรมการฝึกแบบพลัยโอเมตริกจะมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของ muscle spindle ที่มากกว่ากิจกรรมการฝึกแบบอื่น เนื่องจากการฝึกพลัยโอเมตริกนั้นกล้ามเนื้อจะถูกทำให้ยืดยาวออกก่อนแล้วตามด้วยการหดตัวสั้นเข้า นอกจากนี้ในโปรแกรมการฝึกจะมีการปฏิบัติหลายๆ ครั้ง จึงเป็นการกระตุ้นให้ muscle spindle ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่อง ผลคือทำให้กล้ามเนื้อมีการหดเกร็งมากกว่าก่อนการฝึก ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้กล้ามเนื้อเกิดการยืดออกมากจนเกิดการบาดเจ็บ (Eston and Peter, 1999)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงช่วงการเคลื่อนไหวหลังจากการฝึก 24 ชั่วโมงเป็นต้นไปนั้นอาจเกิดจากการที่กล้ามเนื้อมีการเจ็บระบมประกอบกับการเสียหายของกล้ามเนื้อทำให้เกิดการคั่งของ Ca^{2+} เกิดขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อ การคลายตัวจากการดึงตัวของกล้ามเนื้อจึงทำได้ไม่ดี ส่งผลให้ช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าลดลงมากกว่าหลังการฝึกทันที แต่ทั้งนี้จะพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าการเปลี่ยนแปลงกลับสู่ค่าปกติได้เร็วกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนไหวในน้ำไม่มีแรงกระแทกทำให้ไม่เกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอีก รวมถึงมีการไหลเวียนของเลือดที่ดีขึ้น กระบวนการซ่อมแซมจึงเกิดขึ้นเร็วกว่ากลุ่มอื่น หรือมีผลให้ Ca^{2+} กลับสู่ SR ได้เร็วขึ้นการคลายตัวของกล้ามเนื้อจึงดีขึ้นเป็นลำดับ (สยาม, 2551) นอกจากนี้ความเย็นของน้ำมีผลให้ระบบประสาทผ่อนคลายและลดสัญญาณจาก muscle spindle ทำให้การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อลดลง (Meeusen and Lievens, 1986)

ตอนที่ 4 การเปลี่ยนแปลงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

การเปลี่ยนแปลงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่อง Isokinetic ที่มุมในการงอข้อเท้า 30 องศาเป็นระยะเวลา 5 วินาที นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของวิธีการคลายอุ่นไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาหลังการฝึก แต่พบว่าผลการทดสอบหลังการฝึก(เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกันจะมีอย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกัน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง และสรุปลงในตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: นิวตัน/เมตร)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(a) ก่อนการฝึก	84.83 $\pm$ 5.28	95.50 $\pm$ 5.78	83.01 $\pm$ 4.82
(b) หลังการฝึก 30 นาที	84.68 $\pm$ 4.96	84.87 $\pm$ 5.74 ^a	75.82 $\pm$ 3.56 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	82.41 $\pm$ 5.09	85.45 $\pm$ 7.71 ^a	72.88 $\pm$ 1.76 ^a
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	87.78 $\pm$ 3.83 ^d	93.19 $\pm$ 7.45	77.62 $\pm$ 2.86 ^d
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	89.50 $\pm$ 4.15	95.59 $\pm$ 6.29 ^{b,d}	81.05 $\pm$ 2.92 ^{b,d}
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	90.05 $\pm$ 4.13 ^{b,d}	97.69 $\pm$ 7.49 ^d	82.94 $\pm$ 3.01 ^{b,d,g}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวดัง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

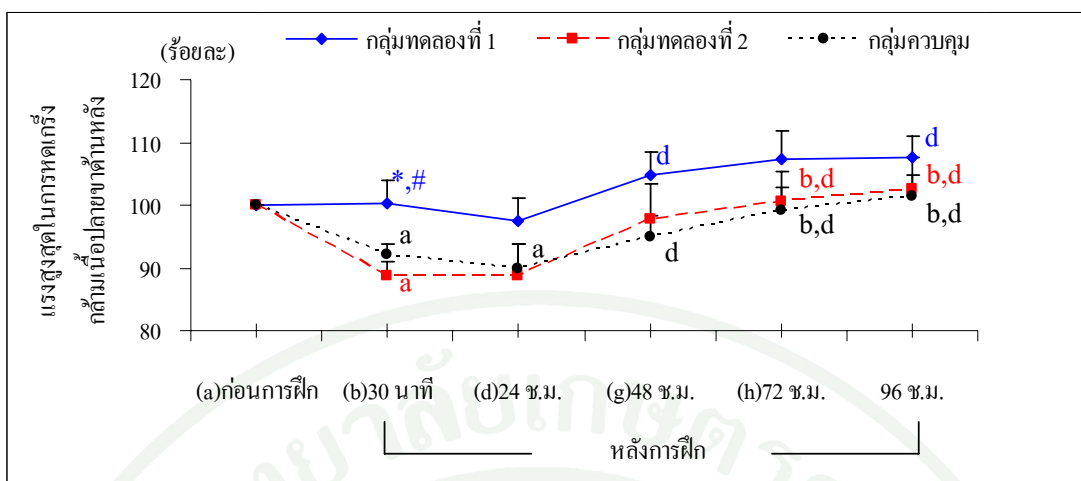
จากตารางที่ 6 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 84.83 ± 5.28 , 95.50 ± 5.78 และ 83.01 ± 4.82 นิวตัน/เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมงระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังระหว่างก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) โดยหลังการฝึก 48 ชั่วโมงจนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมงจะมีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าหลังการฝึก 48 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) และหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) และหลังการฝึก 48 ชั่วโมงจนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมงจะมีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมงมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) และหลังการฝึก 72 ชั่วโมง และ 96 ชั่วโมง แตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ($p<0.05$)



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 6 ร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากภาพที่ 6 มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หลังการฝึก 30 นาที ไม่เปลี่ยนแปลงจากก่อนการฝึก แต่หลังการฝึก 24 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงเล็กน้อย จากก่อนการฝึก และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่หลังการฝึก 48 ชั่วโมงจนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ซึ่งจะมีค่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมงลดลงจากก่อนการฝึก และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก เมื่อหลังการฝึก 72 ชั่วโมงเป็นต้นไป สอดคล้องกับ Komi (2000) ที่ทำการศึกษาความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบวงจรการยืดออกและการหดสั้นเข้า หลังการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อเสียหาย พบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบวงจรการยืดออกและหดสั้นเข้า จะลดลงทันทีหลังการฝึกแต่เป็นอยู่ชั่วคราวหรือใช้เวลาพักสั้นๆ ก็สามารถที่จะฟื้นกลับได้ ส่วนช่วงที่สองจะมีการลดลงของความสามารถในการปฏิบัติอีกครั้ง ซึ่งการลดลงในครั้งนี้จะใช้เวลาในการฟื้นตัวมากกว่า 3 วัน ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเสียหายของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกหลังการฝึกพลัยโอเมตริกช่วยกระบวนการฟื้นตัวจากการ

เสียหายของกล้ามเนื้อรวมถึงไม่ก่อให้เกิดการเสียหายมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำที่มีแรงลอยตัว จึงช่วยรองรับน้ำหนักของร่างกายในขณะที่เคลื่อนไหว ไม่มีแรงกระแทกอันจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเคลื่อนไหวในน้ำเป็นแบบหดสั้นเข้า จึงลดโอกาสที่จะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นกิจกรรมการวิ่งเหยาะ การทำงานของกล้ามเนื้อเป็นแบบยืดยาวออก รวมถึงเป็นลักษณะวงจรการเคลื่อนไหวแบบหดสั้นเข้าและยืดยาวออก (stretch-short cycle exercise) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hasson *et al.* (1989) ที่พบว่า การออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อหดสั้นเข้าด้วยการออกแรงเหยียดเข้าที่ความเร็วเชิงมุม 300 องศา/วินาที 20 ครั้ง จำนวน 6 ชุด หลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกไม่ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากค่าร้อยละการลดลงของแรงในการเหยียดเข้ามีค่าลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจมีความเกี่ยวข้องกับกลไกที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวแบบหดสั้นเข้าจะช่วยกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดได้ดีกว่า การลำเลียงออกซิเจนเพื่อช่วยกระบวนการซ่อมแซมเซลล์กล้ามเนื้อที่เสียหายได้มากขึ้น รวมถึงช่วยพาเม็ดเลือดขาวและเซลล์กำจัดขยะมาจับกินของเสียที่เกิดสะสมในเซลล์กล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยนำเอาไฮโดรเจนไอออนออกนอกเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งการมีไฮโดรเจนไอออนในเซลล์กล้ามเนื้อมากจะส่งผลต่อการลดลงของโปรแตสเซียมที่อยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อ มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้กลไกที่จะหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง นอกจากนี้การที่ไฮโดรเจนไอออนในเซลล์มากขึ้นจะขัดขวางการจับกันระหว่างแอกตินกับไมโอซิน หรือจำนวนการเกิด cross bridge ลดลง และส่งผลต่อการลดแรงดึงตัวหรือแรงของกล้ามเนื้อได้ (Tiidus, 1997)

ตอนที่ 5 การเปลี่ยนแปลงด้านพลังกล้ามเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงด้านพลังกล้ามเนื้อในการวิจัยครั้งนี้จะวัดจากความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter-movement jump นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter-movement jump แต่พบว่าผลการทดสอบความสูงของการทำ Counter-movement jump หลังการฝึก (เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกัน จะมีอย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกันรวมถึงมีวิธีการคลายอุ่นอย่างน้อย 1 วิธีมีผลต่อความสูงของการทำ Counter-movement jump และสรุปข้อมูลลงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter-movement jump ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: เซนติเมตร)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ความสูงของการทำ Drop jump</u>			
(a) ก่อนการฝึก	34.74 ± 1.57	33.95 ± 1.48	31.85 ± 1.79
(b) หลังการฝึก 30 นาที	33.78 ± 1.70	34.93 ± 1.23	30.87 ± 1.78
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	33.40 ± 1.09	32.83 ± 1.27	30.31 ± 1.76
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	34.08 ± 0.98	32.80 ± 0.55	31.18 ± 2.63
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	$35.41 \pm 1.02^*$	34.10 ± 0.78	31.53 ± 1.32
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	35.62 ± 0.95^d	35.02 ± 0.88^b	32.55 ± 1.92^b
<u>ความสูงของการทำ Counter-movement jump</u>			
(a) ก่อนการฝึก	35.19 ± 1.66	37.49 ± 1.39	33.18 ± 1.46
(b) หลังการฝึก 30 นาที	33.62 ± 2.25	$38.23 \pm 1.76^*$	30.69 ± 1.57
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	33.86 ± 1.65	37.40 ± 1.57	31.88 ± 1.65
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	35.36 ± 2.06	36.50 ± 1.58	31.95 ± 2.38
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	36.01 ± 1.68	37.52 ± 1.13	32.53 ± 1.38
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	$39.50 \pm 1.93^{b,d,g}$	$41.15 \pm 1.68^{*,b,h}$	$35.24 \pm 0.83^{b,h}$

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความสูงของการทำ Drop jump (A) และความสูงของการทำ Counter-movement jump (B) สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความสูงของการทำ Drop jump ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 34.74 ± 1.57 , 33.95 ± 1.48 และ 31.85 ± 1.79 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 และ 96 ชั่วโมงระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีความสูงของการทำ Drop jump ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่จะพบว่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 ความสูงของการทำ Drop jump มากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) แต่ไม่ต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างความสูงของการทำ Drop jump ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีความสูงของการทำ Drop jump ภายหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) แต่พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

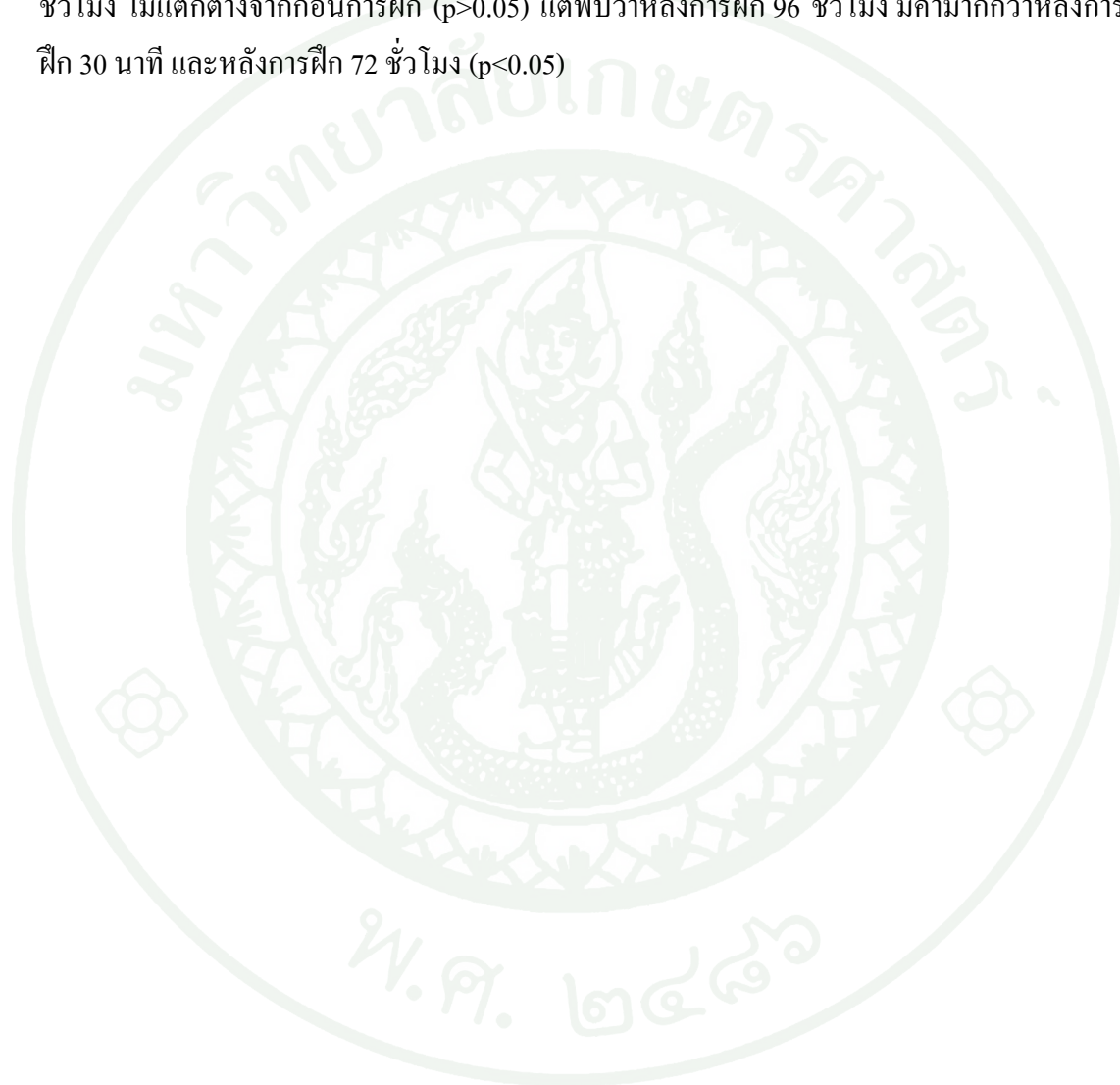
- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 และภายในกลุ่มควบคุม มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของการทำ Drop jump เหมือนกัน คือ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) แต่พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)

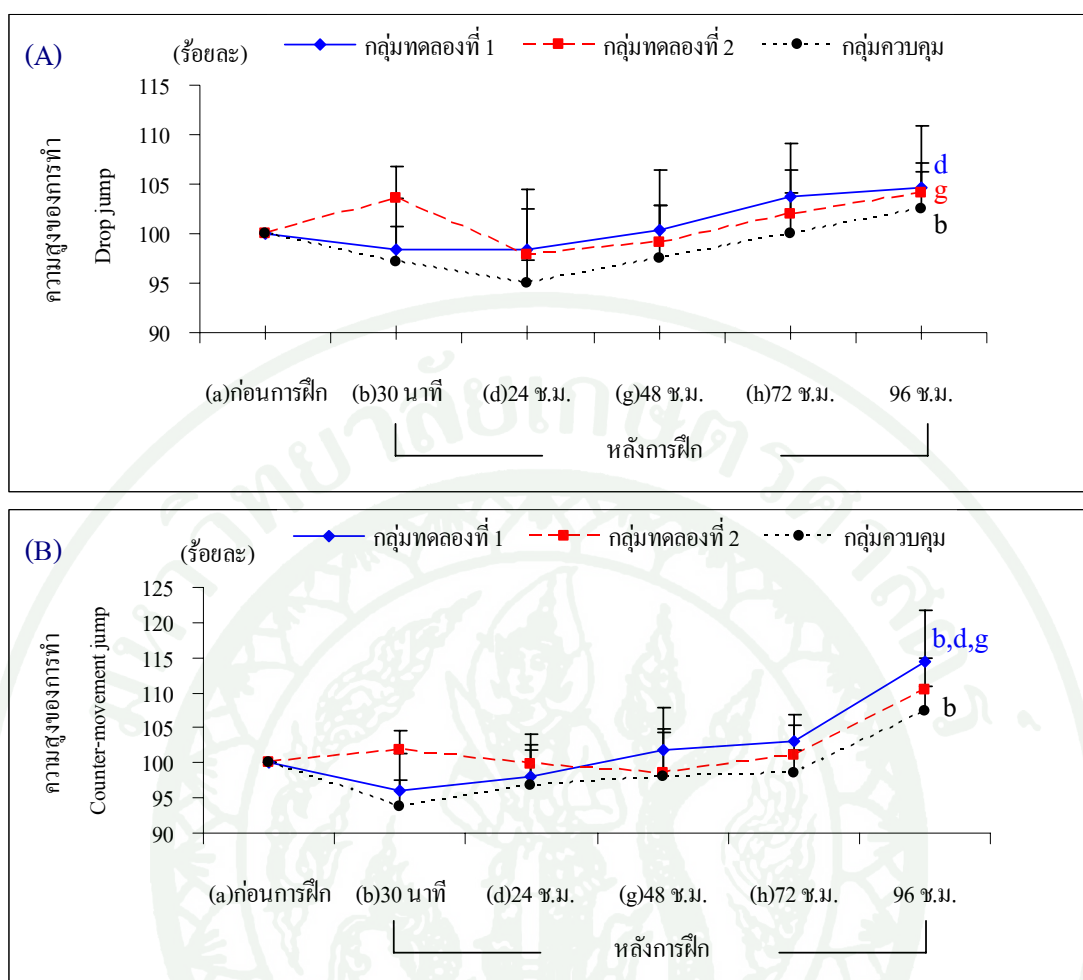
2. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความสูงของการทำ Counter-movement jump ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 35.19 ± 1.66 , 37.49 ± 1.39 และ 33.18 ± 1.46 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังการฝึก 30 นาที พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความสูงของการทำ Counter-movement jump แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 ($p>0.05$) ส่วนหลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมงระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีความสูงของการทำ Counter-movement jump ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีความสูงของการทำ Counter-movement jump แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างความสูงของการทำ Counter-movement jump ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีความสูงของการทำ Counter-movement jump หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) แต่พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่าแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 และภายในกลุ่มควบคุม มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของการทำ Counter-movement jump เหมือนกัน คือ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) แต่พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ($p<0.05$)





หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 7 ร้อยละความสูงของการทำ Drop jump (A) และ ความสูงของการทำ Counter- movement jump (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากภาพที่ 7 แสดงค่าร้อยละความสูงของการทำ Drop jump (A) และความสูงของการทำ Counter- movement jump (B) พบว่าหลังการฝึกในทุกช่วงเวลา กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีค่าร้อยละความสูงของการกระโดดทั้ง 2 แบบไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจะพบว่าหลังการฝึก 30 นาที กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละความสูงของการกระโดดทั้งแบบ Drop jump และ Counter- movement jump เพิ่มขึ้น ส่วนกลุ่มอื่นจะมีค่าลดลง และหลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมงจะมีค่าลดลงจากก่อนการฝึกเช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และกลุ่มควบคุม โดยหลังการฝึก 72 และ 96

ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นจากการฝึกยกเว้นกลุ่มควบคุมที่ยังคงมีค่าร้อยละน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

การศึกษาในครั้งนี้จะมีความแตกต่างจากงานวิจัยของ García-López *et al.* (2006) ที่พบว่า หลังการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าในท่า barbell squat โดยให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออก จะส่งผลให้กล้ามเนื้อจากการทดสอบความสูงของการทำ Counter- movement jump และ Squat jump หลังการฝึกทันที หลังการฝึก 6 ชั่วโมง และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 อาจเนื่องมาจากงานวิจัยครั้งนี้มีกิจกรรมการคลายอุ่นหลังการฝึก โดยพบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter- movement jump หลังการฝึก 30 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากกิจกรรมการคลายอุ่นหลังการฝึกพลัยโอเมตริก ด้วยการวิ่งเหยาะ 15 นาที และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที แล้วตามด้วยการพัก 5 นาที ก่อนการทดสอบกล้ามเนื้อด้วยการกระโดดนั้น เป็นการกระตุ้นให้ระบบประสาทกล้ามเนื้อมีความตื่นตัวและพร้อมกับการทดสอบ ซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับการที่ muscle spindle ได้รับการกระตุ้นต่อเนื่อง โดยเริ่มตั้งแต่ขณะฝึกพลัยโอเมตริก จนถึงช่วงของการคลายอุ่น ผลคือ ระดับการตึงตัวในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Eston and Peter, 1999) ความพร้อมในการเกิดปฏิกิริยาแบบรีเฟร็กซ์ เพื่อจะให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวกลับอย่างรวดเร็วจึงทำได้ดี อีกทั้งการวิ่งเหยาะ กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบยืดยาวออกและหดสั้นเข้า มีความสอดคล้องกับการกระโดดทั้ง 2 แบบ คือ กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบยืดยาวออกก่อนเพื่อสะสมพลังงานแบบยืดหยุ่น (elastic energy) ก่อนที่จะหดตัวแบบหดสั้น ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 ก็จะมีรูปแบบการคลายอุ่นเหมือนกับกลุ่มทดลองที่ 2 เพียงแต่ใช้กิจกรรมการเคลื่อนไหวด้วยการวิ่งในน้ำ ซึ่งมีการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อเช่นกันแต่กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวแบบหดสั้นเข้า อีกทั้งขณะเคลื่อนไหวไม่มีแรงกระทำมากระทำกับข้อต่อซึ่งไม่สอดคล้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อในการกระโดด ส่วนกลุ่มควบคุม ระบบประสาทและกล้ามเนื้อไม่ถูกกระตุ้นแต่การยืดกล้ามเนื้อทำให้เกิดการผ่อนคลายกล้ามเนื้อจึงไม่มีความพร้อมในการกระโดด เหมือนกับกลุ่มทดลองที่ 2 เมื่อทำการทดสอบจึงเหมือนกับกล้ามเนื้อและระบบประสาทได้ถูกทำให้ผ่อนคลาย ความพร้อมของระบบประสาทกล้ามเนื้อในการตื่นตัวสำหรับการกระโดดจึงน้อยลง

ตอนที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

การเปลี่ยนแปลงความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ในการวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรวัดมีค่าตั้งแต่ 1 คือ “ไม่รู้สึกเจ็บระบบ” จนถึง 7 คือ “เจ็บระบบมากที่สุด” นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อได้รับผลกระทบจากการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึก และจากการมีปฏิสัมพันธ์นี้จึงทำให้ต้องแยกดำเนินการวิเคราะห์ความแตกต่างความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อที่เป็นผลมาจากวิธีการคลายอุ่นต่างกัน และผลที่มาจากช่วงเวลาหลังการฝึก และนำมาสรุปข้อมูลลงในตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 ชั่วโมง และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: หน่วย)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(a) ก่อนการฝึก	1.00 $\pm$ 0.00	1.00 $\pm$ 0.00	1.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	1.40 $\pm$ 0.16 ^{*,#,a,}	2.30 $\pm$ 0.30 ^a	2.30 $\pm$ 0.30 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	3.70 $\pm$ 0.21 ^{*,#,a,b}	4.40 $\pm$ 0.27 ^{a,b}	4.50 $\pm$ 0.22 ^{a,b}
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	2.30 $\pm$ 0.15 ^{*,a,b,d}	2.50 $\pm$ 0.22 ^{*,a,d}	3.10 $\pm$ 0.18 ^{a,d}
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	1.20 $\pm$ 0.13 ^{*,#,d,g}	1.70 $\pm$ 0.15 ^{a,d,g}	2.10 $\pm$ 0.18 ^{a,d,g}
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	1.00 $\pm$ 0.00 ^{b,d,g}	1.20 $\pm$ 0.13 ^{b,d,g}	1.20 $\pm$ 0.13 ^{b,d,g,h}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

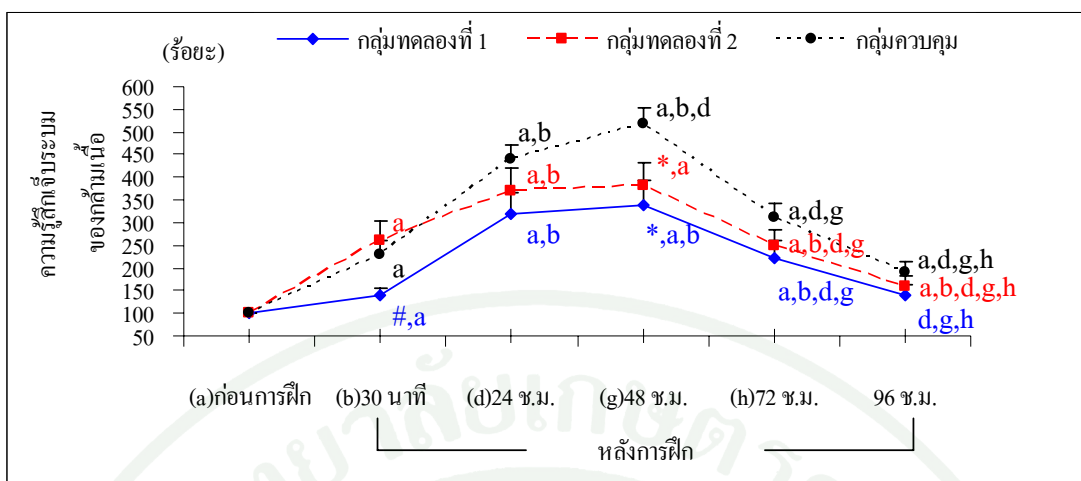
ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 8 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.00 ± 0.00 , 1.00 ± 0.00 และ 1.00 ± 0.00 หน่วยตามลำดับ แต่หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ภายหลังการฝึก 48 ชั่วโมง พบว่าทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) และหลังการฝึก 72 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนหลังการฝึก 96 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ระหว่างก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยพบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมงมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดและต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) รองลงมาคือ หลังการฝึก 48 ชั่วโมง นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 และภายในกลุ่มควบคุม จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเหมือนกัน คือ หลังการฝึก 30 นาทีจะความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยพบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมงมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด และต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) รองลงมาคือ หลังการฝึก 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทั้งสองช่วงนี้จะต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่า หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงต่างจากภายหลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ($p<0.05$)



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 8 ร้อยละความรู้สึkJีบระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าหลังการฝึกพลัยโอเมตริกและการคลายอุ่นด้วยวิธีการวิ่งในน้ำ ลีกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละความรู้สึkJีบระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หลังการฝึก 30 นาที น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม รวมถึงน้อยกว่าในทุกช่วงเวลาหลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ทั้งนี้ทุกกลุ่มจะมีค่าร้อยละความรู้สึkJีบระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังมากที่สุดหลังการฝึก 48 ชั่วโมง และจะค่อยๆ ลดลงหลังการฝึก 72 ชั่วโมงผ่านไป จนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมง จึงมีค่าใกล้เคียงจากก่อนการฝึก การเปลี่ยนแปลงความรู้สึkJีบระบบหลังจากการฝึกพลัยโอเมตริกในงานวิจัยครั้งนี้จะมีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ คือ อาการเจ็บระบบกล้ามเนื้อจะมีค่าสูงขึ้นจากก่อนการฝึกและมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่างหลังการฝึก 24 ถึง 48 ชั่วโมง หลังจากนั้น อาการเจ็บระบบนี้จะค่อยๆ หายไปเมื่อเข้าสู่วันที่ 5 ถึงวันที่ 7 หลังการฝึก (Hilbert *et al.*, 2003) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนักของการฝึก ระดับสมรรถภาพทางกาย และประสบการณ์ในการฝึก เป็นสำคัญ สำหรับความรู้สึkJีบระบบนั้นอาจสรุปได้ว่าเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักๆ คือ การเพิ่มขึ้นของแรงดันภายในกล้ามเนื้อซึ่งเกิดจากของเหลวที่อยู่ภายในหลอดเลือด (intravascular fluid) หรือของเสียจากกระบวนการต่างๆ ภายใน

เซลล์มีการเคลื่อนที่มาคั่งอยู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ของกล้ามเนื้อ ทำให้แรงดันภายในเซลล์เพิ่มขึ้น และส่งผลต่อการกระตุ้น free nerve ending ทำให้รู้สึกถึงความเจ็บปวด (Nosaka and Clarkson, 1996) สำหรับปัจจัยที่สองนั้นเกิดจากการที่เซลล์กล้ามเนื้อที่มีการเสียหายปล่อยสารเคมีบางชนิด เช่น bradykinin, serotonin และ histamine ไปกระตุ้นเส้นประสาทนำเข้า Type III และ Type IV เพื่อส่งเป็นข้อความเกี่ยวกับความเจ็บปวดไปยังประสาทส่วนกลาง (O'Connor and Cook, 1999)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ ปลายขาด้านหลังน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากขณะที่ร่างกายอยู่ในน้ำจะมีแรงดันของน้ำช่วยทำให้ของเหลวที่อยู่ส่วนปลายของร่างกายกลับสู่ส่วนกลางร่างกายได้ง่ายขึ้น ดังนั้นสารต่างๆ ที่คั่งอยู่ในส่วนของกล้ามเนื้อที่มีการเสียหายจึงเคลื่อนย้ายไปกับการไหลเวียนของเลือดได้มากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้แรงดันของน้ำยังส่งผลให้ของเหลวที่อยู่ช่องว่างระหว่างเซลล์และเนื้อเยื่อ (interstitial space) เคลื่อนเข้าสู่ช่องว่างภายในทางเดินเลือด (intravascular space) เพิ่มขึ้น จึงช่วยลดการบวม และลดแรงดันของเซลล์กล้ามเนื้อ (Wilcock *et al.*, 2006) ระหว่างเคลื่อนไหวอยู่ในน้ำจะมีแรงที่กระทำต่อระบบกล้ามเนื้อน้อยกว่าอยู่บนบกเนื่องจากแรงพยุงตัวของน้ำจึงทำให้รู้สึกผ่อนคลายและลดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังลงได้ สอดคล้องกับ Takahashi *et al.* (2005) ที่พบว่าการออกกำลังกายในน้ำจะช่วยให้การไหลเวียนเลือดบริเวณรอบนอก และช่วยให้ของเหลวภายในเซลล์เนื้อเยื่อที่มีการเสียหายมีการไหลเวียนได้ดีขึ้น จึงช่วยให้กระบวนการรักษาการเสียหายของเนื้อเยื่อเร็วขึ้น

ตอนที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านระบบประสาทกล้ามเนื้อในการวิจัยนี้ใช้การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและนำเสนอใน 2 ตัวแปร เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Felici *et al.* (1997) และ Merletti *et al.* (1995) คือ ตัวแปรแรกมาจากความถี่ของคลื่น (frequency) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับอัตราสัญญาณที่มาตรฐานหน่วยยนต์ ในที่นี้จะนำเสนอเป็นค่า “median frequency; MDF” คือค่าที่อยู่ตรงกลางระหว่างแถบคลื่นความถี่ต่ำและแถบความถี่สูง อีกรูปแบบหนึ่งของการนำเสนอคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ คือ ขนาดหรือความสูงของคลื่น (amplitude) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับจำนวนหน่วยยนต์ที่ถูกกระตุ้น (motor unit recruitment) ในงานวิจัยนี้นำเสนอด้วยค่า “root mean square; RMS” โดยทั้ง 2 ค่าดังกล่าวได้มาจากกลุ่มกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ซึ่งแยกออกเป็นกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุดเป็นเวลา 5 วินาที และที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด 3 ระดับ คือ 50%MVIC 70%MVIC และ 80%MVIC ระดับละ 20 วินาที โดยค่าที่บันทึกได้จะแยกเป็นค่าความถี่ของการเกิดคลื่นไฟฟ้า คือ MDF และขนาดของการเกิดคลื่นไฟฟ้า คือ RMS เปลี่ยนค่าดังกล่าวให้อยู่ในรูปของค่าปกติ (normalize) หรือคิดเป็นร้อยละ ดังนี้

1. ค่า MDF และ RMS ที่การออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุดเป็นเวลา 5 วินาที เปลี่ยนเป็นค่าปกติหรือคิดเป็นร้อยละได้จากการกำหนดให้ค่าเริ่มต้นก่อนการฝึกเป็นค่าอ้างอิง หลังจากนั้นเปลี่ยนค่าที่บันทึกได้หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ให้เป็นร้อยละโดยเทียบกับค่าก่อนการฝึก นำค่าร้อยละไปวิเคราะห์ผล

2. ทำคลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด 3 ระดับ ระดับละ 20 วินาที โดยจะตัดค่าที่บันทึกได้ในช่วง 2 วินาทีแรก และ 2 วินาที สุดท้ายออก จะเหลือช่วงเวลาเท่ากับ 16 วินาที และดำเนินการดังนี้

- 2.1 ทำการหาค่า MDF และ RMS ทุกๆ 1 วินาที จะได้เท่ากับ 16 ค่าในแต่ละตัวแปร

- 2.2 เปลี่ยนเป็นค่าปกติหรือคิดเป็นร้อยละได้จากการกำหนดให้ค่าเริ่มต้นก่อนการฝึกเป็นค่าอ้างอิง

- 2.3 เปลี่ยนค่าที่บันทึกได้หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ให้เป็นร้อยละโดยเทียบกับค่าก่อนการฝึก

- 2.4 นำข้อมูลที่ได้ไปเข้าสมการถดถอย หลังจากนั้นนำค่าจุดตัดและค่าความชันจากสมการถดถอยไปวิเคราะห์ผล

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติและนำมาสรุปข้อมูลลงตารางที่ 9 ถึง 16 ดังนี้

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	90.39 $\pm$ 1.98 ^{*,#,a}	116.92 $\pm$ 1.51 ^a	119.14 $\pm$ 2.77 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	96.52 $\pm$ 2.95 ^{*,#,b}	107.67 $\pm$ 2.14 ^{*,a,b}	115.69 $\pm$ 1.13 ^a
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	95.23 $\pm$ 0.98 ^{*,#,a,b}	102.16 $\pm$ 1.06 ^{*,b,d}	110.55 $\pm$ 1.33 ^{a,b,d}
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	87.9 $\pm$ 2.37 ^{*,#,a,g}	102.87 $\pm$ 1.36 ^b	108.3 $\pm$ 1.86 ^{a,b,d}
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	84.86 $\pm$ 4.00 ^{*,#,a,g}	99.42 $\pm$ 1.13 ^{b,d}	106.48 $\pm$ 2.37 ^{a,b,d}
<u>MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	93.45 $\pm$ 1.17 ^{*,#,a}	109.08 $\pm$ 1.89 ^a	106.77 $\pm$ 1.21 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	98.2 $\pm$ 1.58 ^{*,#,b}	106.4 $\pm$ 1.31 ^a	107.37 $\pm$ 1.30 ^a
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	95.89 $\pm$ 2.12 [*]	97.56 $\pm$ 1.24 ^{*,b,d}	103.15 $\pm$ 1.16 ^{a,d}
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	94.83 $\pm$ 1.02 ^{*,a}	99.6 $\pm$ 1.72 ^{b,d}	101.18 $\pm$ 2.19 ^d
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	93.4 $\pm$ 1.42 ^{a,d}	98.35 $\pm$ 2.32 ^{b,d}	99.74 $\pm$ 1.66 ^{b,d}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 158.33 ± 15.29 , 140.17 ± 16.15 และ 116.17 ± 8.05 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ค่าร้อยละ MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่าทุกกลุ่ม โดยพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าหลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมงลดลงน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยที่หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมงมากกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยหลังการฝึก 24 ชั่วโมงเป็นต้นไปจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นการลดลงน้อยกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที จนกระทั่งหลังการฝึก 96 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยหลังการฝึก 24 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด และจะเริ่มลดลงเมื่อหลังการฝึก 48 ชั่วโมงเป็นต้นไป โดยมีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 30 นาทีและ 48 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

2. ค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 126.67 ± 18.38 , 134.17 ± 13.91 และ 143.33 ± 19.96 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง ทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) และหลังการฝึก 72 ชั่วโมงกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ทุกกลุ่มมีค่าไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมงลดลงน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมงมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยพบว่าหลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าลดลงน้อยกว่าหลังการฝึก 30 นาที และ 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมงมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยพบว่าหลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าลดลงน้อยกว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)			
ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	106.4 $\pm$ 1.10 ^{*,#,a}	96.39 $\pm$ 2.57	93.71 $\pm$ 1.04 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	102.84 $\pm$ 2.11 ^{*,#}	94.71 $\pm$ 1.83 ^a	93.52 $\pm$ 2.38 ^a
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	101.51 $\pm$ 2.07 [*]	99.67 $\pm$ 1.48 ^d	95.61 $\pm$ 2.04
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	114.43 $\pm$ 2.08 ^{*,a,b,d,g}	109.25 $\pm$ 2.60 ^{*,a,b,d,g}	98.47 $\pm$ 1.84 ^b
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	120.73 $\pm$ 1.30 ^{*,a,b,d,g,h}	122.69 $\pm$ 1.96 ^{*,a,b,d,g,h}	107.43 $\pm$ 3.19 ^{b,d,g,h}
<u>RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	114.76 $\pm$ 3.55 ^{*,#,a}	99.38 $\pm$ 2.06	100.76 $\pm$ 1.96
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	103.30 $\pm$ 2.29 ^{*,b}	98.29 $\pm$ 2.58	99.44 $\pm$ 2.55
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	106.26 $\pm$ 2.25 ^{*,a}	104.49 $\pm$ 2.20 ^d	102.25 $\pm$ 1.62
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	117.56 $\pm$ 2.12 ^{*,a,d,g}	118.26 $\pm$ 3.14 ^{*,a,b,d,g}	107.47 $\pm$ 2.73 ^a
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	120.27 $\pm$ 2.46 ^{a,d,g}	125.64 $\pm$ 2.67 ^{*,a,b,d,g}	113.2 $\pm$ 3.03 ^{a,b,d}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 307.17 ± 31.38 , 249 ± 27.64 และ 257.33 ± 21.42 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$) หลังการฝึก 48 ชั่วโมงกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมเพียงกลุ่มเดียว ($p<0.05$) และหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง ทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยที่หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 72 และ 96 ชั่วโมงมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยที่หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมงน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยที่หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 และ 72 ชั่วโมง ($p<0.05$)

2. ค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 343 ± 45.68 ,

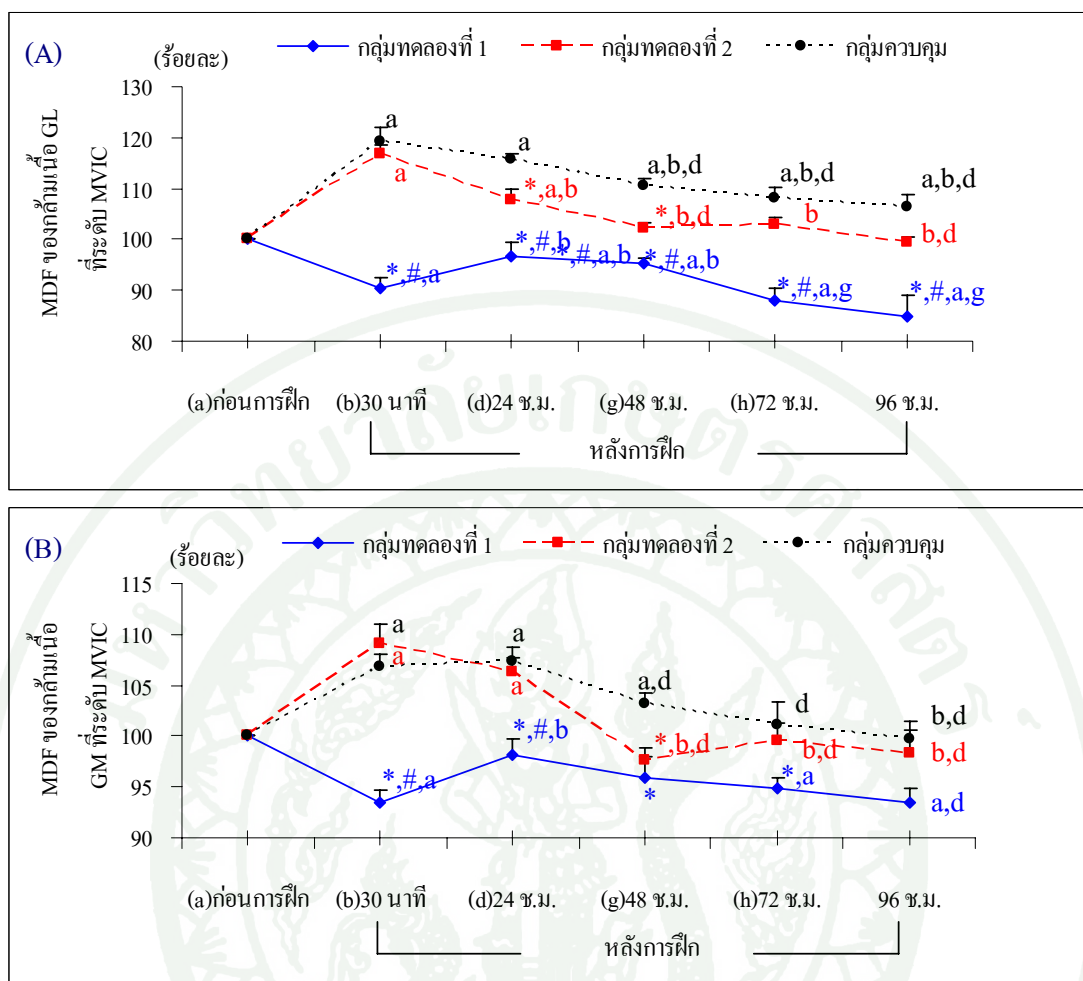
270.17 $\pm$ 47.73 และ 299.5 $\pm$ 46.78 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) และหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) ส่วนหลังการฝึก 96 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยที่หลังการฝึก 24 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมงมากกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) อีกทั้งพบว่ามีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 และ 48 ชั่วโมง ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 48 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง มากกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

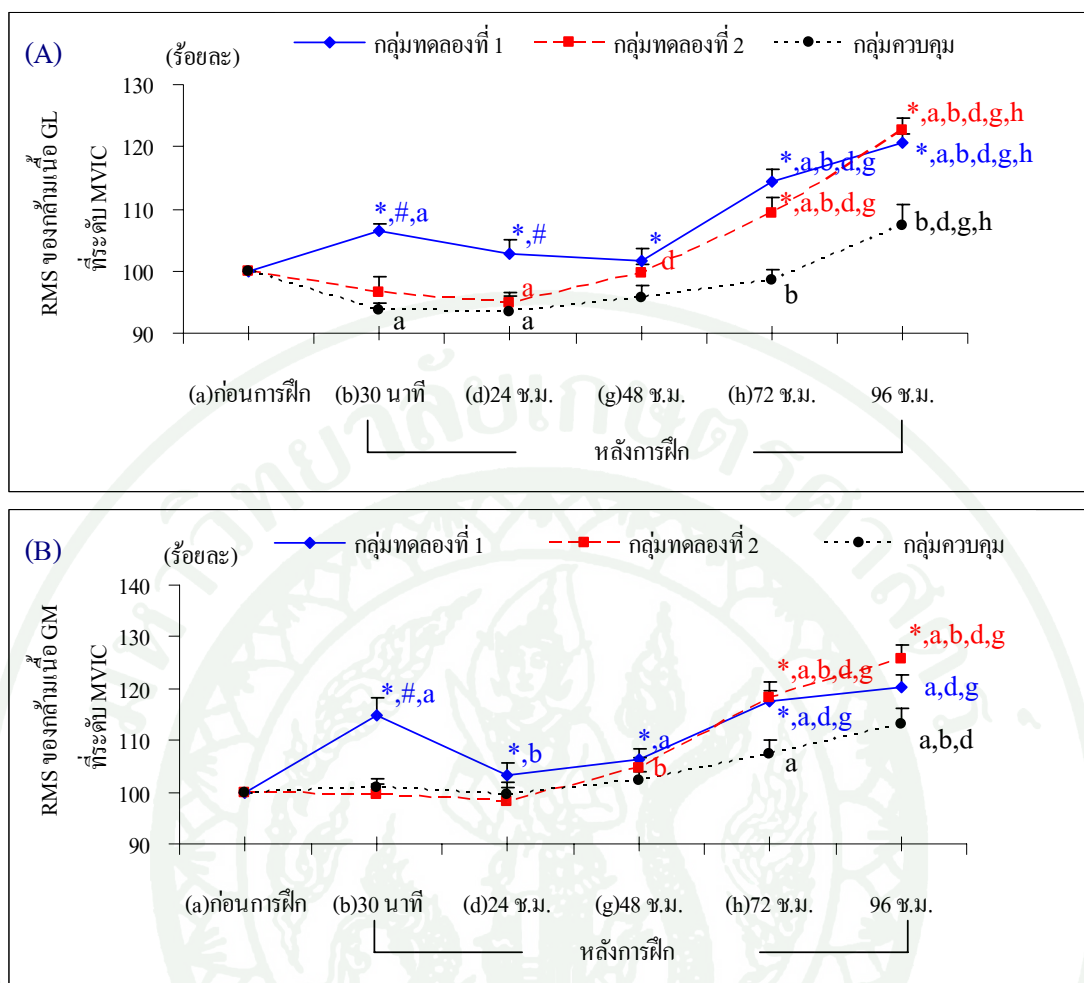


หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 9 ร้อยละ MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 10 ร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากภาพที่ 9 และภาพที่ 10 แสดงค่าร้อยละ MDF และค่า RMS ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม จะพบว่าค่า MDF และค่า RMS มีการแปรผันในทางกลับกัน คือ เมื่อค่า MDF ลดต่ำลง จะส่งผลให้ค่า RMS สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่า MDF และ RMS ตรงข้ามกับกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม กล่าวคือ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่า MDF ลดลงจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลาของการทดสอบ อีกทั้งยังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับ ค่า RMS ที่พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการฝึกในทุกช่วงเวลาของการทดสอบ อีกทั้งยังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ค่า MDF จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของเส้นใยกล้ามเนื้อ (action potential conduction velocity; APV) โดยเฉพาะเส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวเร็ว ดังที่ Friden and Lieber (2001) ได้รายงานเกี่ยวกับการตัดชิ้นเนื้อมาวิเคราะห์ (biopsy) หลังการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกจะส่งผลให้ Z-band ของเส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิด IIB มีการเสียหายมากกว่าชนิด I และชนิด IIA นอกจากนี้ Felici *et al.* (1997); Day *et al.* (1998) พบว่าความถี่ของการเกิดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกซึ่งประเมินจากค่า “mean frequency” และ “median frequency” ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sbriccoli *et al.* (2001) พบว่าหลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกจะส่งผลให้ค่า MDF ลดลงประมาณร้อยละ 13-24 ส่วนค่า RMS ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลที่ได้ในตารางที่ 9 ถึง 10 และ ภาพที่ 9 ถึง 10 เนื่องจากเป็นค่าที่ได้ขณะกล้ามเนื้อมีการหดตัวสูงสุด ซึ่ง Felici (2006) ได้กล่าวว่า ขณะที่กล้ามเนื้อออกแรงหดเกร็งสูงสุด (MVIC) หรือออกแรงเต็มความสามารถนั้น ขนาดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ซึ่งแสดงถึงการระดมหน่วยยนต์เพื่อการทำงานจะลดลงเร็วกว่าค่าอัตราการกระตุ้นหน่วยยนต์ แสดงถึงความล่าช้าในการระดมหน่วยยนต์มีมากกว่า และหากการหดตัวของกล้ามเนื้อยังคงมีอย่างต่อเนื่องจะมีการชดเชยโดยเพิ่มอัตราการกระตุ้นหน่วยยนต์ขึ้นมาแทนที่ จึงจะพบได้ว่าเมื่อขนาดของคลื่นไฟฟ้าลดลงจะถูกชดเชยด้วยความถี่ของการเกิดคลื่นไฟฟ้ากลับเพิ่มขึ้นแทน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Komi and Viitasalo (1997); Berry *et al.* (1998) ที่พบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีการเพิ่มขึ้นหลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนในเรื่องดังกล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าขณะออกแรงหดตัวสูงสุดหลังจากการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกมีสาเหตุจากปัจจัยใดเป็นหลัก

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	105.68 $\pm$ 7.96	100.47 $\pm$ 3.02	108.07 $\pm$ 8.23
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	105.17 $\pm$ 7.31	100.52 $\pm$ 3.19	101.30 $\pm$ 3.52
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	105.18 $\pm$ 6.50	101.96 $\pm$ 5.90	111.24 $\pm$ 10.20
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	102.39 $\pm$ 7.14	96.86 $\pm$ 5.44	94.65 $\pm$ 3.57
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	105.36 $\pm$ 8.36	96.76 $\pm$ 5.60 ^g	96.21 $\pm$ 4.77
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.30 $\pm$ 0.18	-0.51 $\pm$ 0.28	-0.44 $\pm$ 0.30
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	0.01 $\pm$ 0.22	-0.10 $\pm$ 0.16	-0.26 $\pm$ 0.19
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.17 $\pm$ 0.27	-0.17 $\pm$ 0.22	-0.52 $\pm$ 0.58
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.19 $\pm$ 0.23	-0.07 $\pm$ 0.30	-0.10 $\pm$ 0.29
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.19 $\pm$ 0.22	-0.18 $\pm$ 0.19	-0.39 $\pm$ 0.15

ตารางที่ 11 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	112.81 ± 10.22	97.40 ± 6.14	93.98 ± 4.13
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	113.94 ± 13.29	93.30 ± 4.37	91.87 ± 3.02
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	112.03 ± 7.76	96.15 ± 5.52	93.39 ± 3.03
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	110.53 ± 8.64	92.96 ± 8.01	90.60 ± 3.82
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	111.62 ± 10.2	90.83 ± 8.02	91.42 ± 4.52
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.75 ± 0.21 ^a	-0.80 ± 0.63	0.05 ± 0.30
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.57 ± 0.63	-0.05 ± 0.35	-0.02 ± 0.26
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.79 ± 0.36	-0.16 ± 0.25	0.04 ± 0.45
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.85 ± 0.46	-0.18 ± 0.37	-0.28 ± 0.17
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.79 ± 0.27	-0.11 ± 0.37	-0.01 ± 0.17

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 50% MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50% MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติ

ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 148.87 ± 14.04 , 162.93 ± 8.17 และ 154.16 ± 24.67 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -0.65 ± 0.19 , -0.77 ± 0.30 และ -0.83 ± 0.36 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

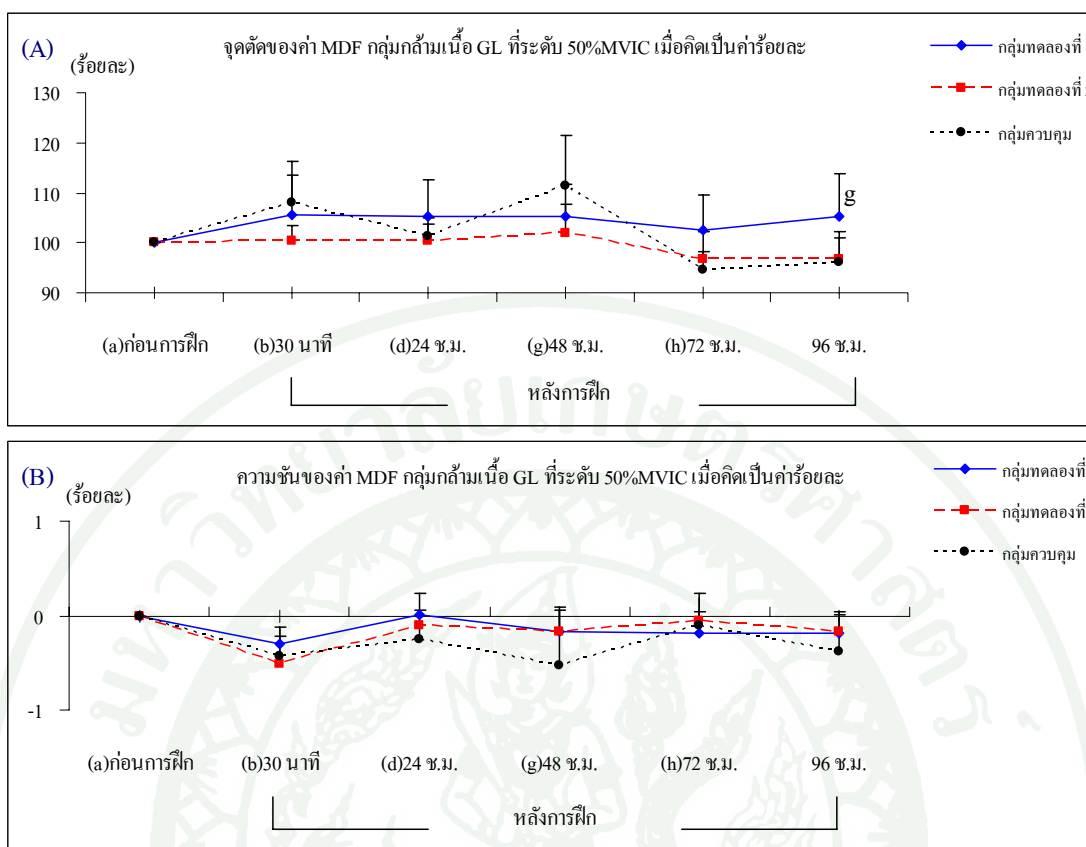
จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าทุกกลุ่มที่ค่าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 144.1 ± 20.03 , 172.48 ± 10.65 และ 179.58 ± 19.87 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าทุกกลุ่มมีค่าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

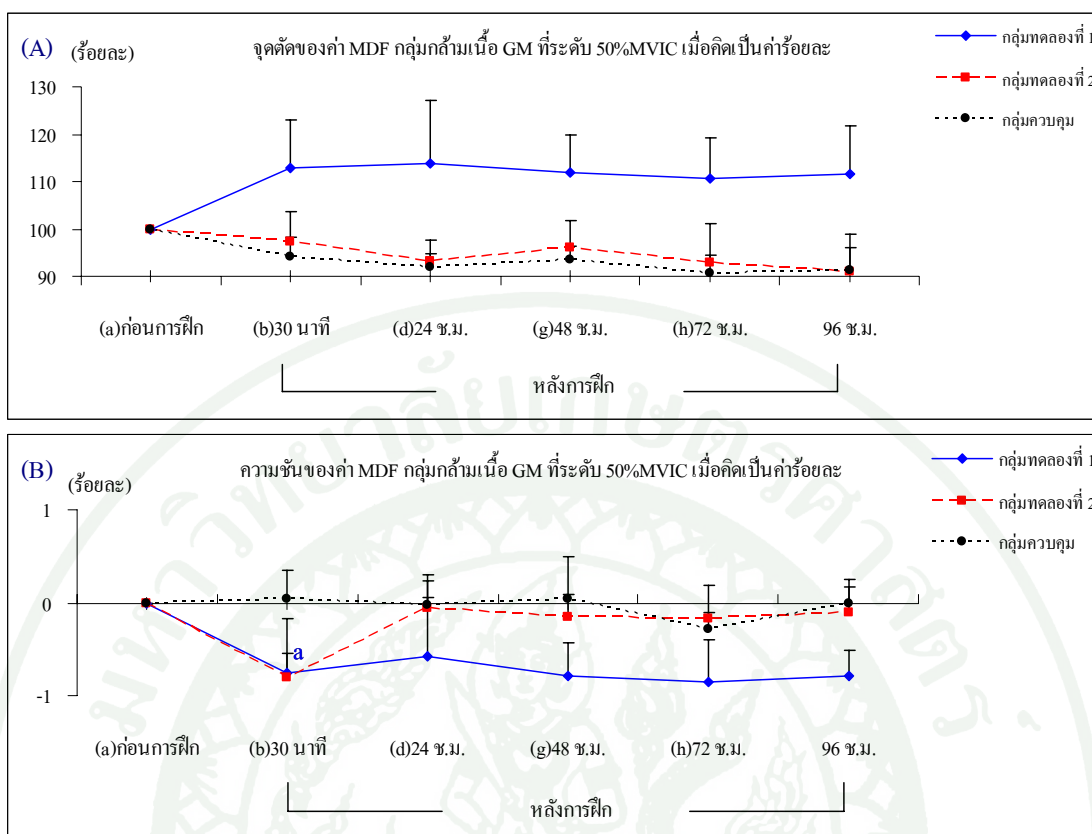
4. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -0.60 ± 0.23 , -1.18 ± 0.49 และ -1.17 ± 0.21 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที เปลี่ยนแปลงลดลงต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 11 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 12 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	92.50 $\pm$ 5.80	125.27 $\pm$ 10.36	112.36 $\pm$ 6.66
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	80.10 $\pm$ 10.26	130.01 $\pm$ 18.45	140.72 $\pm$ 23.95
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	79.66 $\pm$ 6.75 ^a	112.35 $\pm$ 11.51	100.05 $\pm$ 14.97
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	84.21 $\pm$ 8.51 [#]	123.76 $\pm$ 11.55	105.30 $\pm$ 10.75
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	88.53 $\pm$ 11.81 [#]	145.89 $\pm$ 23.23	99.18 $\pm$ 0.82
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	0.57 $\pm$ 0.43	0.98 $\pm$ 0.69	-0.65 $\pm$ 0.65
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.03 $\pm$ 0.27	0.15 $\pm$ 0.34	-2.19 $\pm$ 1.38
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	0.37 $\pm$ 0.33	1.26 $\pm$ 1.34	-0.93 $\pm$ 0.59
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	0.50 $\pm$ 0.52	0.75 $\pm$ 0.60	-0.92 $\pm$ 1.39 ^d
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	0.55 $\pm$ 0.52	-0.16 $\pm$ 0.45	0.14 $\pm$ 0.14

ตารางที่ 12 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	84.57 ± 4.81 ^a	119.21 ± 17.43	104.88 ± 11.56
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	75.15 ± 7.78 ^a	126.89 ± 17.86	114.61 ± 8.32
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	72.03 ± 5.14 ^a	103.85 ± 8.57	98.42 ± 12.24
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	78.94 ± 7.82 ^{#,a}	122.5 ± 11.48	90.83 ± 15.42
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	77.53 ± 8.39 ^a	136.74 ± 26.88	100.98 ± 11.51
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	1.06 ± 0.39 ^a	1.58 ± 1.20	0.50 ± 0.47
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.16 ± 0.20 ^b	-0.46 ± 0.75	-0.27 ± 0.53
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	0.85 ± 0.36 ^d	1.48 ± 1.27	0.11 ± 0.54
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	0.72 ± 0.32 ^d	0.22 ± 0.50	-0.04 ± 0.48
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	1.30 ± 0.40 ^{a,d}	-0.44 ± 0.86	0.06 ± 0.48

หมายเหตุ # แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ใน
วงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 50%MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 125.77 ± 12.99 , 83.89 ± 9.16 และ 85.98 ± 21.69 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ภายหลังการฝึก 72 และ 96 ชั่วโมง น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.61 ± 0.63 , 0.36 ± 0.22 และ 0.79 ± 0.42 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มควบคุม ที่มีค่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$)

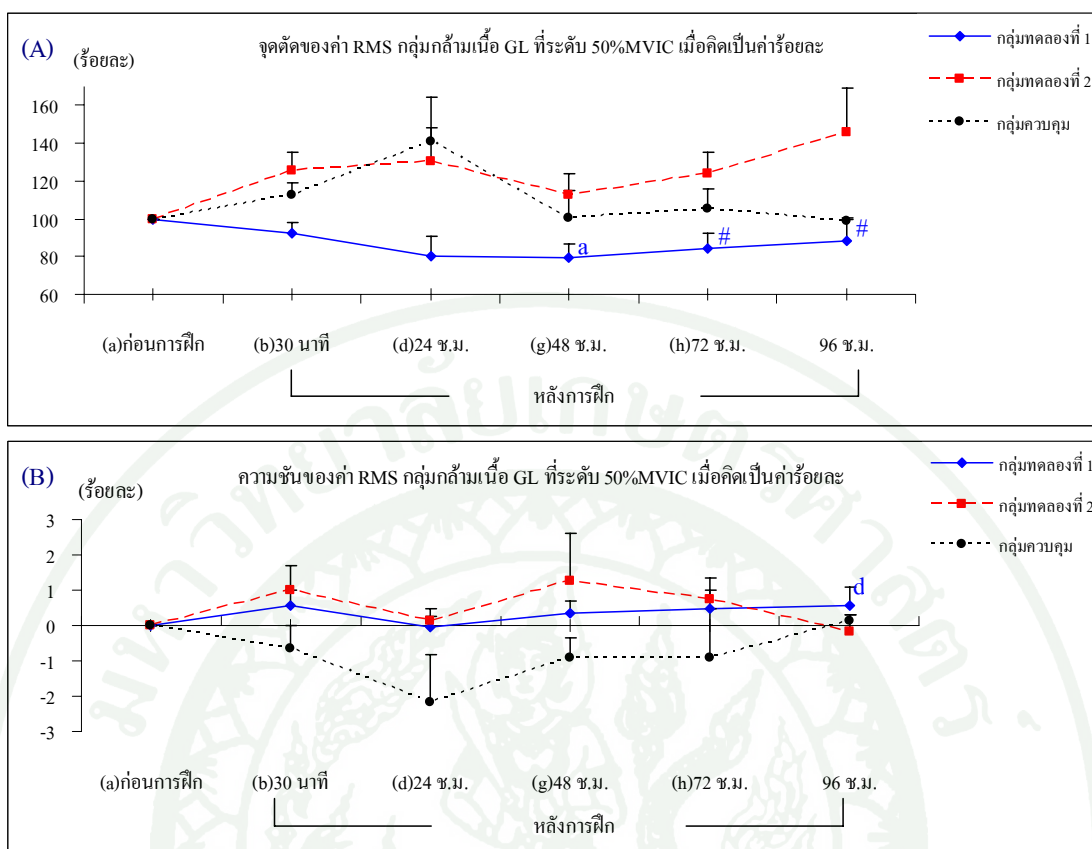
3. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่า

เท่ากับ 155.09 ± 20.56 , 96.56 ± 12.06 และ 115.34 ± 21.21 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ภายหลังการฝึก 72 ชั่วโมง น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$)

4. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.20 ± 0.57 , 0.56 ± 0.55 และ 0.50 ± 0.40 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p > 0.05$)

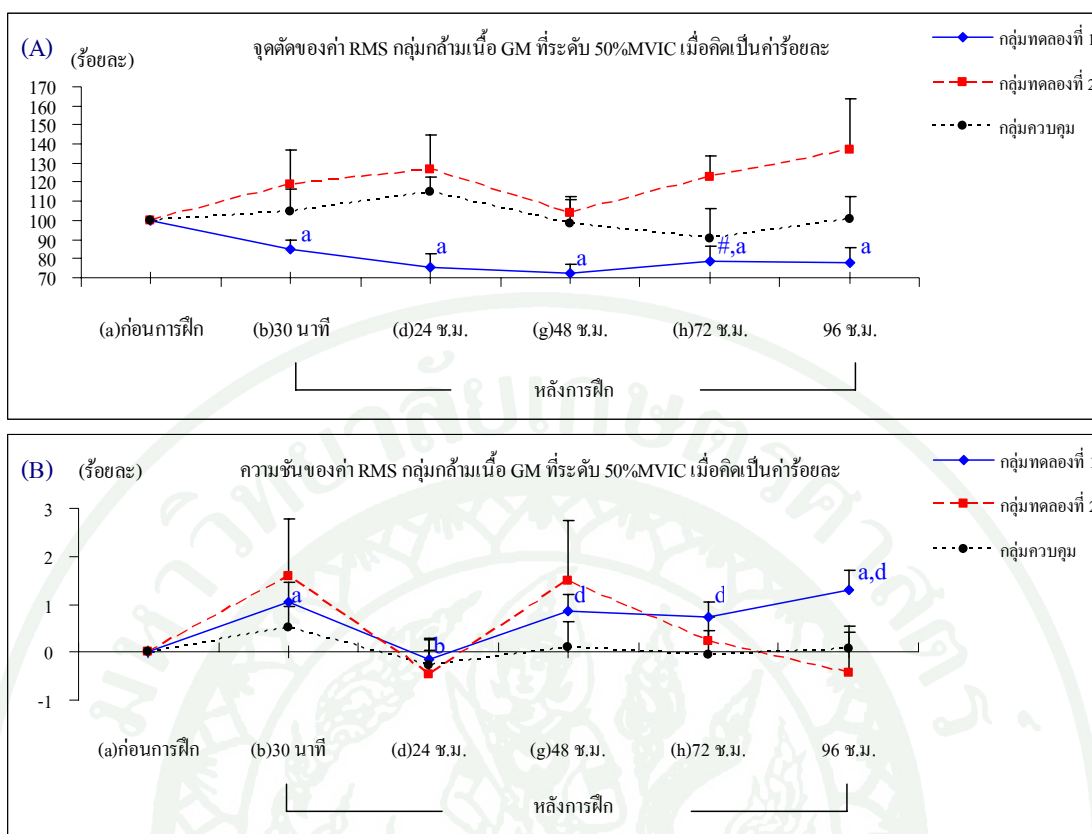
จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 96 ชั่วโมงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงต่างจากหลังการฝึก 30 นาที และหลังจากการฝึก 48 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง



หมายเหตุ # แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 13 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



หมายเหตุ # แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 14 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50%MVIC ต่อเนื่องเป็นเวลา 16 วินาที ที่เปลี่ยนเป็นค่าปกติหรือค่าร้อยละ ไปคำนวณเป็นค่าจุดตัดและค่าความชันในสมการถดถอยและวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลตามตารางที่ 11 ถึง 12 และภาพที่ 11 ถึง 14 อภิปรายผลได้ดังนี้

1. ค่าร้อยละจุดตัด MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM จะมีความแปรผันกับค่าร้อยละจุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM คือ เมื่อค่า MDF สูงขึ้นค่า RMS จะลดลง ซึ่งพบได้ในกลุ่มทดลอง

ที่ 1 เพียงกลุ่มเดียว ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมจะมีผลตรงกันข้าม คือ ค่า MDF จะมีค่าต่ำลง ส่วนค่า RMS จะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อจะมีความเกี่ยวข้องกับการระดมหน่วยยนต์และอัตราการระดมหน่วยยนต์เพื่อให้การหดตัวของกล้ามเนื้อสามารถคงอยู่ได้ในระดับของงานที่เป็นเป้าหมายซึ่งการผันแปรระหว่างค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านความล้าของกล้ามเนื้อและการเสียหายของกล้ามเนื้อเป็นหลัก (Felici, 2006) สำหรับผลของกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม จะมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ค่า MDF จะลดลงหลังจากการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อมีการเสียหาย (Felici *et al.*, 1997; Day *et al.*, 1998; Ahmad *et al.*, 2007) ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 ที่พบว่าค่า MDF มีค่าสูงขึ้นนั้นอาจเนื่องจากการคลายอ่อนด้วยการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดในน้ำมีผลช่วยให้การฟื้นตัวจากการเสียหายเร็วขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติของน้ำที่เกี่ยวกับแรงพยุงตัวจึงทำให้น้ำหนักร่างกายลดลงเมื่ออยู่ในน้ำ การไหลเวียนของเลือดในส่วนที่กล้ามเนื้อมีการเสียหายเพิ่มขึ้น รวมถึงอุณหภูมิของน้ำที่ช่วยทำให้เกิดการผ่อนคลาย (Bates and Henson 1996; Takahashi *et al.*, 2006)

2. ค่าร้อยละความชัน MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM จะมีความแปรผันในทางกลับกันกับค่าร้อยละจุดตัด MDF กล่าวคือ เมื่อค่าจุดตัด MDF เพิ่มขึ้น ค่าความชัน MDF จะลดลง ซึ่งค่าความชันของ MDF เป็นตัวบ่งบอกถึงอัตราการลดลงของอัตราในการกระตุ้นหน่วยยนต์ ซึ่งการลดลงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับของความล้าและการเสียหายของกล้ามเนื้อเป็นสำคัญ ส่วนค่าร้อยละความชัน RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ 50% MVIC มีการแปรผันไม่แน่นอนกับค่าร้อยละจุดตัด RMS ซึ่งจะพบได้ว่ามีทั้งแปรผันในทางกลับกันและแปรผันในทางเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากค่า RMS เองจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้การทำงานคงที่ตามเป้าหมายที่กำหนด อีกทั้งค่า RMS ยังมีความเกี่ยวข้องกับการระดมหน่วยยนต์ชนิดหดตัวช้าและหดตัวเร็ว ความแปรผันของค่าความชันจึงไม่แน่นอนตาม ซึ่งสอดคล้องกับ Ahmad *et al.* (2007) ที่กล่าวว่า จุดตัดและความชันของค่า RMS ที่ ระดับ 50% MVIC ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงไม่เหมาะในการใช้เป็นตัวแปรอธิบายถึงการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อจากการเสียหาย

3. จากผลที่ได้พบค่าร้อยละจุดตัดและค่าร้อยละความชัน MDF และ RMS มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่กว้างจึงส่งผลให้ไม่เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มอีกทั้งระดับการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 50% MVIC เป็นการออกแรงที่ระดับต่ำ อาจยังไม่กระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วซึ่งมีการเสียหายเป็นหลักหลังจากการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	95.70 $\pm$ 2.97	96.38 $\pm$ 4.23	99.17 $\pm$ 5.83
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	98.78 $\pm$ 3.54 ^b	97.95 $\pm$ 5.13	95.20 $\pm$ 2.72
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	94.84 $\pm$ 3.47	99.34 $\pm$ 6.91	98.94 $\pm$ 2.88
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	95.33 $\pm$ 4.05	95.09 $\pm$ 6.01	89.59 $\pm$ 11.35
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	97.20 $\pm$ 2.12	96.02 $\pm$ 6.70	101.49 $\pm$ 12.40
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.58 $\pm$ 0.17 ^a	-0.15 $\pm$ 0.26	0.22 $\pm$ 0.59
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.29 $\pm$ 0.33	-0.05 $\pm$ 0.32	0.35 $\pm$ 0.45
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.24 $\pm$ 0.15 ^b	0.03 $\pm$ 0.34	-0.02 $\pm$ 0.30
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.05 $\pm$ 0.23 ^b	0.00 $\pm$ 0.33	0.26 $\pm$ 0.61
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.4 $\pm$ 0.22 ^h	-0.26 $\pm$ 0.34 ^{g,h}	-0.27 $\pm$ 0.50

ตารางที่ 13 (ต่อ)

(หน่วย: ไร่ยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	104.73 ± 10.37	91.75 ± 2.58 ^a	93.53 ± 2.44
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	105.49 ± 10.77	92.89 ± 3.26	88.39 ± 4.72
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	101.79 ± 7.41	92.36 ± 4.80	92.98 ± 4.44
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	105.01 ± 5.69	89.12 ± 3.97 ^a	83.53 ± 8.71
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	102.91 ± 6.66	94.53 ± 7.09	91.55 ± 3.32
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.48 ± 0.46	-0.18 ± 0.25	0.03 ± 0.34
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	0.23 ± 0.51 ^b	-0.10 ± 0.21	0.40 ± 0.54
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.05 ± 0.45	0.28 ± 0.28	-0.40 ± 0.18
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	0.02 ± 0.37	0.23 ± 0.32	0.41 ± 0.52
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.39 ± 0.31	-0.34 ± 0.22	-0.20 ± 0.47

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับ
อยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความ
ชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC
สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 158.28 ± 10.61 , 157.45 ± 10.78 และ 153.16 ± 23.57 เอิร์ดซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -0.93 ± 0.31 , -1.23 ± 0.54 และ -1.5 ± 0.92 เอิร์ดซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีอย่างน้อยหนึ่งช่วงเวลาหลังการฝึกที่ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถสรุปได้ดังนี้

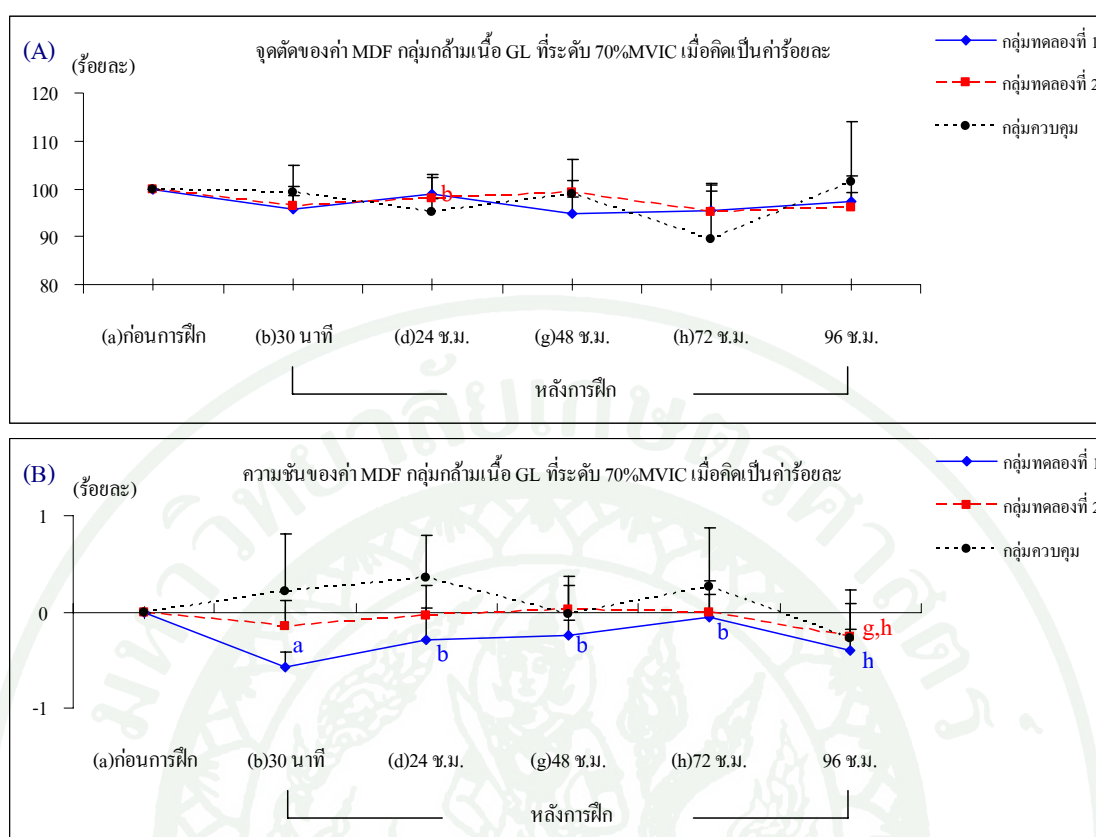
- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าหลังการฝึก 30 นาที เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) หลังการฝึก 48 และ 72 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) และหลังการฝึก 96 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ($p<0.05$)
- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 48 และ 72 ชั่วโมง ($p<0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 147.47 ± 21.09 , 158.55 ± 14.74 และ 178.63 ± 21.06 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

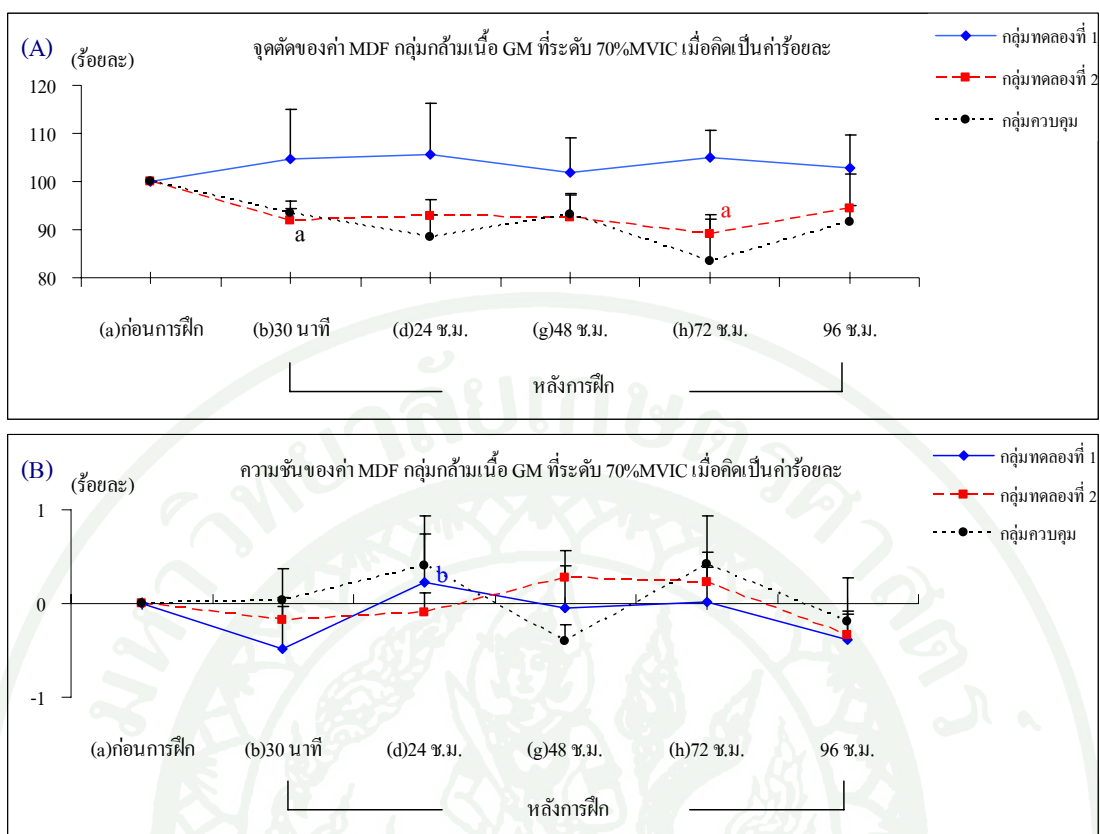
4. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -1.65 ± 0.60 , -1.47 ± 0.50 และ -1.56 ± 0.48 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 15 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 16 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	106.67 $\pm$ 14.17	121.44 $\pm$ 5.69 ^a	116.52 $\pm$ 6.38
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	97.36 $\pm$ 4.48	129.89 $\pm$ 15.64	123.48 $\pm$ 9.13
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	96.93 $\pm$ 8.10	125.72 $\pm$ 16.34	100.07 $\pm$ 13.30
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	97.15 $\pm$ 9.43 ^{*,#}	129.82 $\pm$ 9.72 ^a	130.56 $\pm$ 11.51
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	96.04 $\pm$ 9.90	127.2 $\pm$ 17.32	96.45 $\pm$ 14.21
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.31 $\pm$ 0.35	-0.74 $\pm$ 0.20 ^a	0.62 $\pm$ 0.47
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.20 $\pm$ 0.54	-0.50 $\pm$ 0.40	-0.58 $\pm$ 0.70 ^b
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.63 $\pm$ 0.59	-0.83 $\pm$ 0.54	0.88 $\pm$ 1.01
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.72 $\pm$ 0.71	-0.25 $\pm$ 0.45	-0.98 $\pm$ 0.89 ^b
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.27 $\pm$ 0.45	-0.19 $\pm$ 0.73	0.4 $\pm$ 0.47

ตารางที่ 14 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	104.50 ± 14.77	118.33 ± 4.16 ^a	112.90 ± 10.69
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	81.38 ± 8.17	123.82 ± 12.65	111.00 ± 11.83
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	91.68 ± 7.32	117.64 ± 11.32	109.14 ± 4.79
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	94.34 ± 6.34 [*]	118.03 ± 9.35	129.62 ± 11.68
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	93.38 ± 8.90	110.58 ± 14.32	101.33 ± 6.64
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	0.91 ± 0.65	-0.52 ± 0.46	0.47 ± 0.60
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	0.47 ± 0.86	-0.41 ± 0.43	-0.17 ± 0.93
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	0.59 ± 0.91	-0.54 ± 0.50	-0.20 ± 0.68
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.04 ± 0.66	0.09 ± 0.54	-1.02 ± 1.18
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	0.85 ± 0.70	0.81 ± 0.83	1.00 ± 0.68

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 179.18 ± 21.44 , 149.80 ± 27.52 และ 120.80 ± 27.28 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ภายหลังการฝึก 72 ชั่วโมง น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที และหลังการฝึก 96 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.05 ± 1.04 , -0.22 ± 0.84 และ 0.86 ± 0.37 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

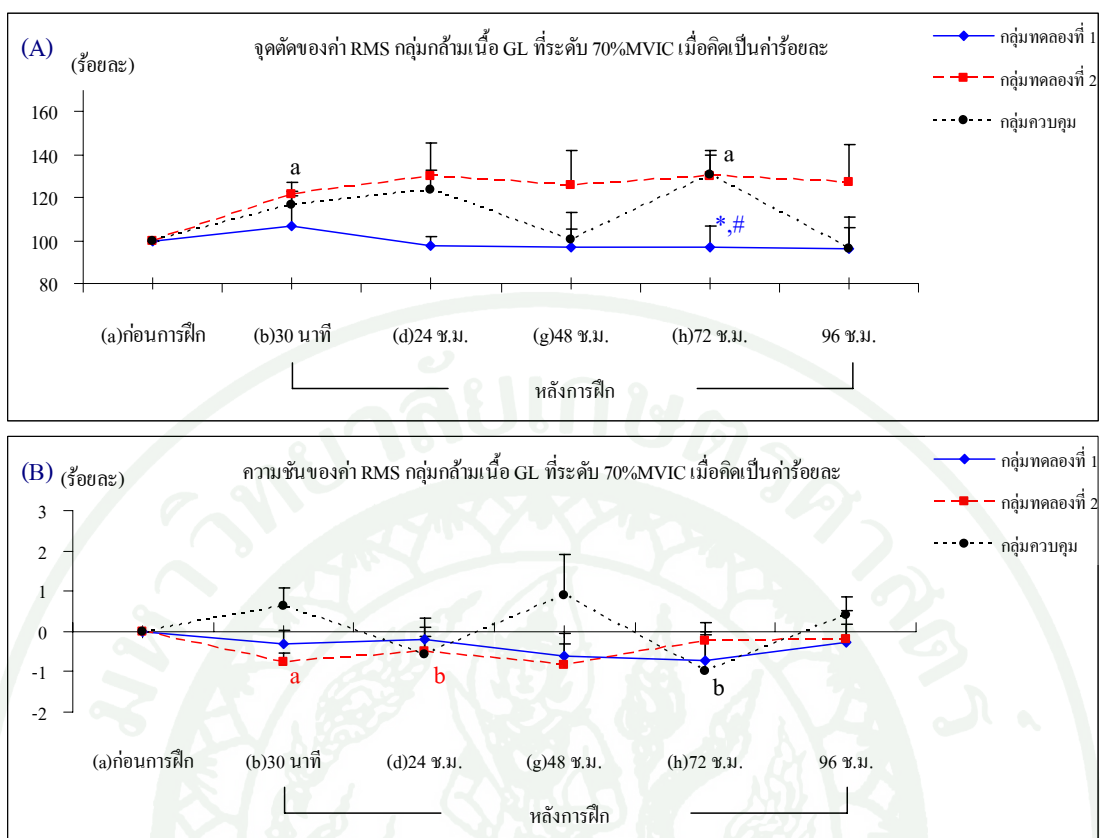
จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าหลังการฝึก 30 นาที เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) และภายในกลุ่มควบคุม มีค่าหลังการฝึก 24 และ 72 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 199.65 ± 20.60 , 177.55 ± 43.46 และ 157.05 ± 26.67 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ภายหลังการฝึก 72 ชั่วโมง น้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที เพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$)

4. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.52 ± 0.81 , -0.92 ± 1.36 และ 0.90 ± 0.82 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าทุกกลุ่มมีค่าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$)

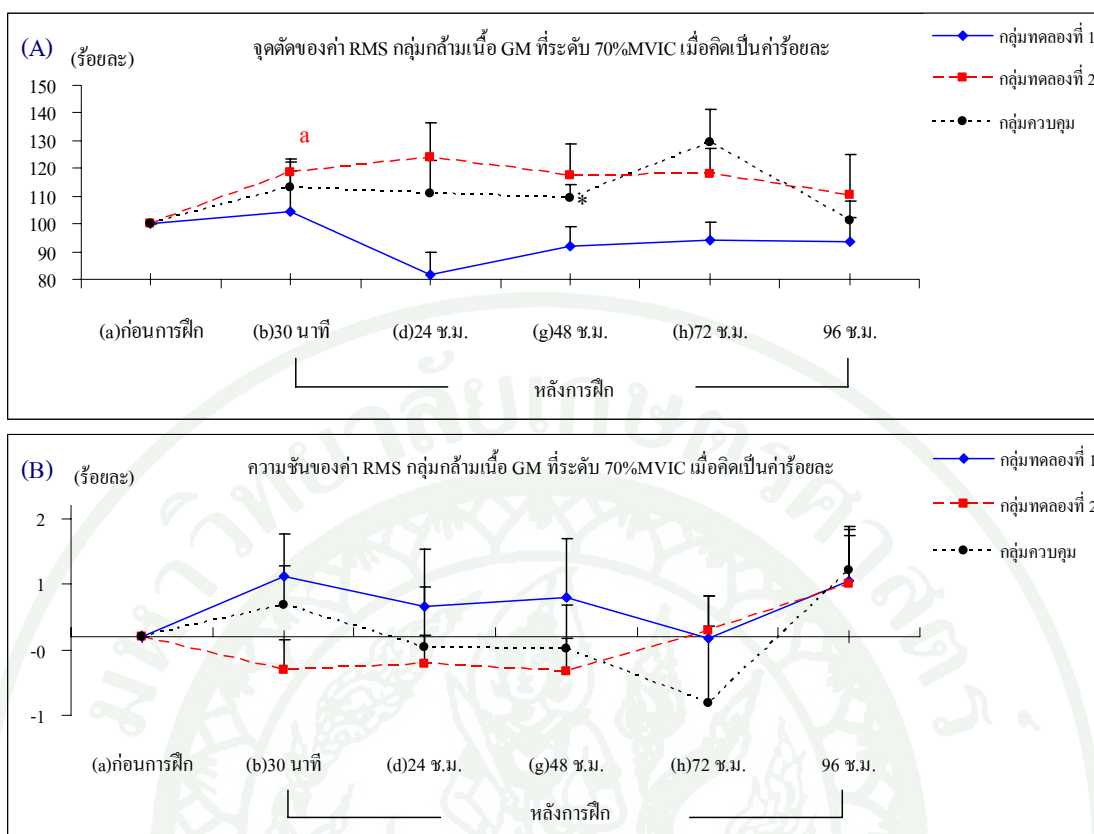


หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 17 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 18 ร้อยละจุดตัด (A) และความผัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ต่อเนื่องเป็นเวลา 16 วินาที ที่เปลี่ยนเป็นค่าปกติหรือค่าร้อยละ ไปคำนวณเป็นค่าจุดตัด และค่าความผันในสมการถดถอยและวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลตามตารางที่ 13 ถึง 14 และภาพที่ 15 ถึง 18 อภิปรายผลได้ดังนี้

1. ค่าร้อยละจุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีการลดลงจากก่อนการฝึก แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ค่า MDF จะลดลงหลังจากการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อมีการเสียหาย (Felici *et al.*, 1997; Day *et al.*, 1998; Ahmad *et al.*, 2007) ส่วนค่าร้อยละจุดตัด MDF กล้ามเนื้อ GM ของกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าลดลงซึ่งจะมีความสอดคล้องกับการลดลงในกล้ามเนื้อ GL ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการฝึกในทุกช่วงของการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลิ่วร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำมีผลช่วยให้กระบวนการฟื้นตัวและลดการเสียหายของกล้ามเนื้อเร็วขึ้น แต่ที่ส่งผลเฉพาะกล้ามเนื้อ GM เพียงอย่างเดียวนั้นอาจเนื่องจากขณะที่ทำการฝึกพลัยโอเมตริกกล้ามเนื้อ GL มีการทำงานมากกว่ากล้ามเนื้อ GM จึงเกิดการเสียหายที่มาก ดังเช่น Kroon and Naciji (1991) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของ MDF ที่แตกต่างกันในแต่ละงานวิจัยนั้นอาจเนื่องจากระดับการเสียหายของกล้ามเนื้อที่ต่างกัน รวมถึงประสบการณ์ในการฝึกและระดับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ต่างกันก็เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้การเสียหายของกล้ามเนื้อมีระดับต่างกัน (Tofas *et al.*, 2008)

2. ค่าร้อยละจุดตัด RMS จะแปรผันตามค่าร้อยละจุดตัด MDF คือ เมื่อค่า MDF เพิ่มขึ้น ค่า RMS จะมีค่าลดลง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามค่า RMS ก็ยังเป็นค่าที่ไม่เหมาะในการนำมาเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อเพราะมีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนดังเช่นงานวิจัยของ Ahmadi *et al.* (2007) ที่กล่าวว่า จุดตัดและความชันของค่า RMS ที่ระดับ 70% MVIC ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงไม่เหมาะในการใช้เป็นตัวแปรอธิบายถึงการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อจากการเสียหาย

3. ค่าร้อยละความชัน MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM และค่าร้อยละความชัน RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM มีความแปรผันในทางกลับกันกับค่าร้อยละจุดตัด MDF และค่าจุดตัด RMS กล่าวคือ เมื่อค่าจุดตัด MDF เพิ่มขึ้น ค่าความชัน MDF จะลดลง ทั้งนี้การผันแปรดังกล่าวอาจเนื่องจากการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ที่ระดับ 70% MVIC เป็นการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วซึ่งเกิดการเสียหายมากที่สุดหลังจากการฝึก จึงเห็นการลดลงที่ชัดเจนมากกว่าการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% MVIC สอดคล้องกับ Felici *et al.* (1997) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับความหนักและเบาของการหดตัวกล้ามเนื้อ กล่าวคือ เมื่อต้องออกแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อมากจะมีการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่าความถี่ของคลื่นไฟฟ้าเพราะสัมพันธ์กับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	99.19 $\pm$ 9.42	93.39 $\pm$ 2.39 ^a	102.27 $\pm$ 6.57
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	108.00 $\pm$ 9.22 ^b	98.46 $\pm$ 4.04	102.96 $\pm$ 5.60
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	100.37 $\pm$ 7.45	100.45 $\pm$ 6.45	98.01 $\pm$ 8.11
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	104.45 $\pm$ 10.48	98.80 $\pm$ 3.12	94.10 $\pm$ 6.13
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	107.39 $\pm$ 8.82	98.36 $\pm$ 5.84	98.28 $\pm$ 4.44
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	0.21 $\pm$ 0.13	0.22 $\pm$ 0.4	-0.58 $\pm$ 0.14 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.22 $\pm$ 0.24	0.03 $\pm$ 0.23	-0.39 $\pm$ 0.30
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	0.22 $\pm$ 0.34	0.13 $\pm$ 0.34	-0.07 $\pm$ 0.41
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.06 $\pm$ 0.26	-0.15 $\pm$ 0.25	-0.37 $\pm$ 0.35
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.23 $\pm$ 0.25 ^b	-0.23 $\pm$ 0.33	-0.63 $\pm$ 0.42

ตารางที่ 15 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	102.63 ± 9.88	91.29 ± 3.58	92.87 ± 4.11
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	109.98 ± 9.36	93.22 ± 4.27	94.58 ± 2.01
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	99.22 ± 4.16	94.05 ± 4.44	85.28 ± 6.47
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	111.24 ± 9.42 [*]	95.74 ± 3.90 ^b	87.06 ± 1.32 ^a
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	106.17 ± 8.57	96.24 ± 5.22	91.71 ± 3.78
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.09 ± 0.32	0.04 ± 0.45	-0.51 ± 0.28
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.48 ± 0.42	-0.04 ± 0.24	-0.11 ± 0.17
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	0.25 ± 0.45	0.18 ± 0.29	0.7 ± 0.94
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.71 ± 0.39	-0.16 ± 0.28 ^g	-0.38 ± 0.16
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.46 ± 0.29	-0.15 ± 0.43	-0.41 ± 0.24

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับ
อยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 80%MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 145.19 ± 16.19 , 151.86 ± 10.16 และ 144.96 ± 20.57 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง มากกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) และภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าหลังการฝึก 30 นาที น้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -1.07 ± 0.17 , -1.40 ± 0.32 และ -1.17 ± 0.47 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

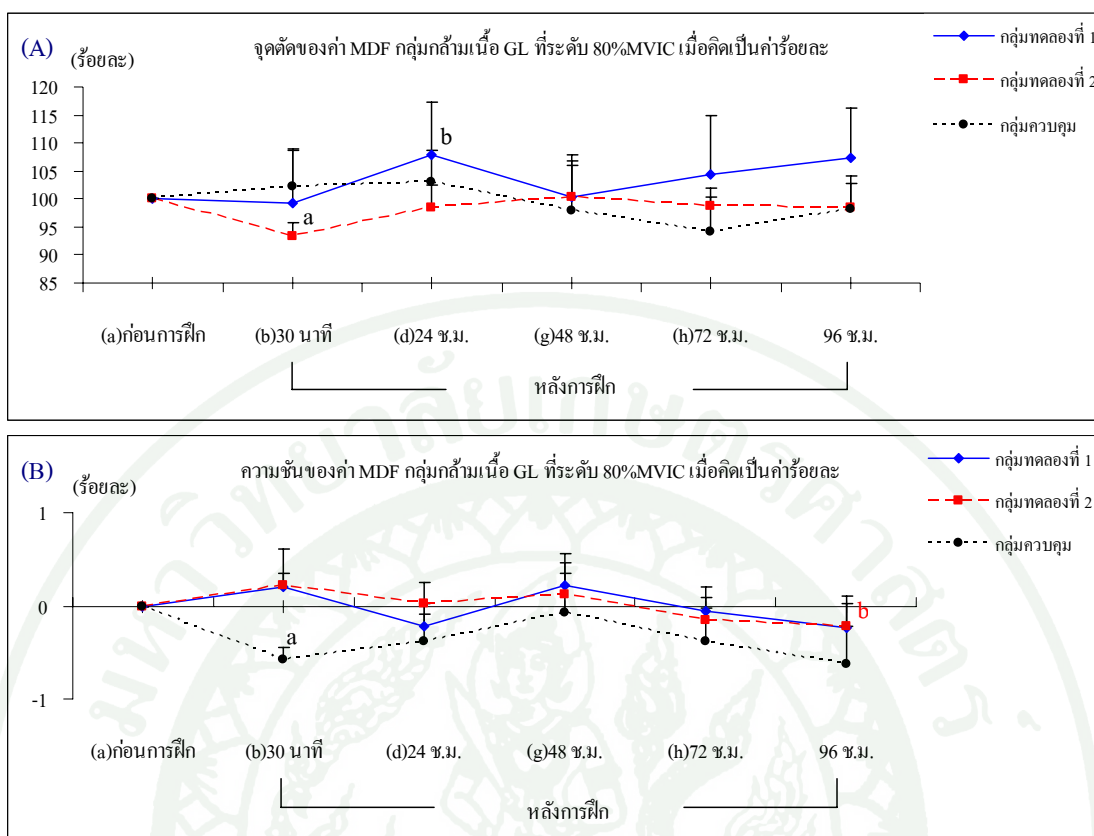
จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าภายในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีค่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) และภายในกลุ่มควบคุม มีค่าหลังการฝึก 30 นาที เปลี่ยนแปลงลดลงต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 136.88 ± 19.68 , 150.37 ± 11.10 และ 179.13 ± 19.70 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าภายหลังการฝึก 72 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC มากกว่ากลุ่มควบคุม ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$) และกลุ่มควบคุม มีค่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

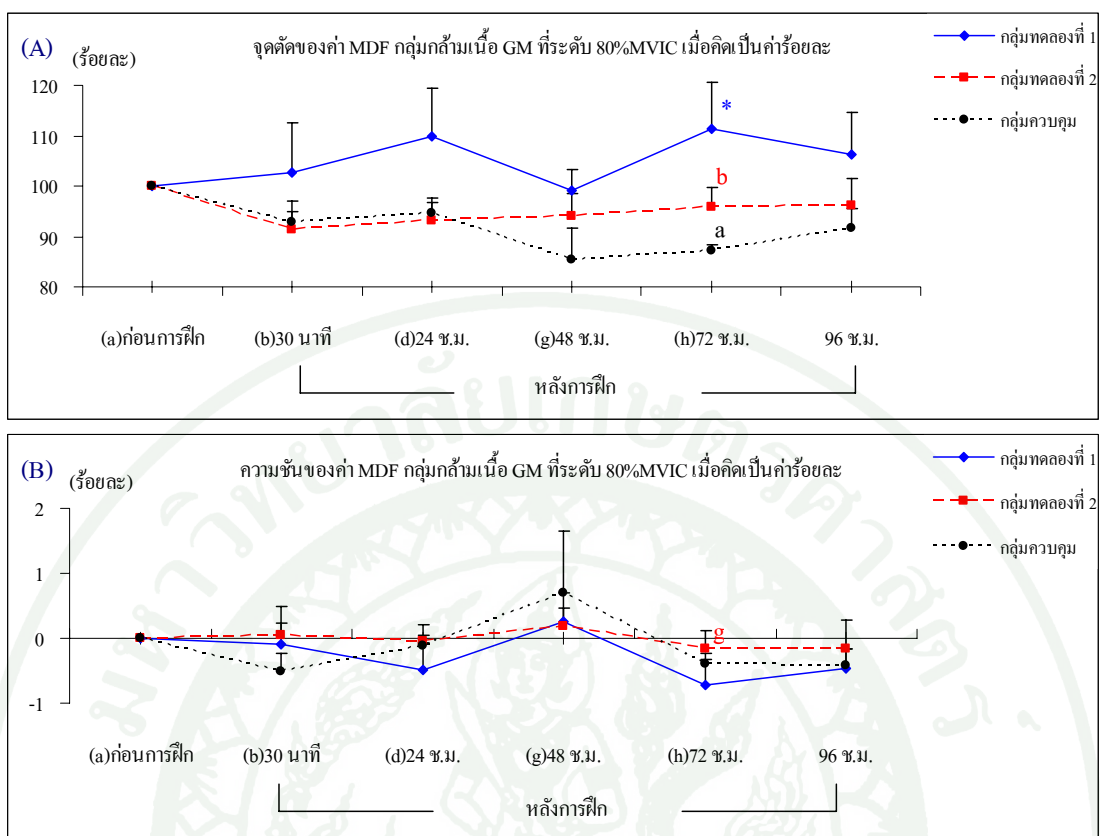
4. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -0.93 ± 0.31 , -1.43 ± 0.39 และ -1.40 ± 0.08 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึก 72 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงลดลงต่างจากหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ($p<0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 19 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 20 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	111.42 $\pm$ 14.09	104.81 $\pm$ 5.92	132.12 $\pm$ 8.99 ^a
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	93.99 $\pm$ 19.00	121.72 $\pm$ 13.81	129.27 $\pm$ 20.36
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	101.33 $\pm$ 13.98	113.22 $\pm$ 16.01	118.53 $\pm$ 14.80
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	102.16 $\pm$ 16.18	117.55 $\pm$ 11.47	133.51 $\pm$ 12.68
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	98.86 $\pm$ 13.35	113.78 $\pm$ 15.94	118.34 $\pm$ 16.54
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-1.07 $\pm$ 1.01	-0.92 $\pm$ 0.53	-0.56 $\pm$ 1.02
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.81 $\pm$ 0.78	-1.43 $\pm$ 0.98	-1.26 $\pm$ 1.22
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.85 $\pm$ 0.74	-1.26 $\pm$ 0.95	0.84 $\pm$ 0.54
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-1.28 $\pm$ 0.96	-0.78 $\pm$ 0.82	-1.41 $\pm$ 0.80
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	0.02 $\pm$ 0.85	-0.19 $\pm$ 0.79	0.14 $\pm$ 0.62

ตารางที่ 16 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	103.56 ± 15.56	104.53 ± 6.15	123.63 ± 13.35
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	82.49 ± 8.66	117.71 ± 11.36	108.17 ± 7.36
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	92.44 ± 3.68	111.89 ± 13.60	110.39 ± 4.31
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	91.47 ± 9.24	119.04 ± 14.62	102.51 ± 17.30
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	95.76 ± 10.53	108.16 ± 12.65	104.78 ± 7.75
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(b) หลังการฝึก 30 นาที	-0.44 ± 1.13	-0.68 ± 0.65	-0.42 ± 1.37
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.06 ± 0.37	-1.29 ± 0.98	-0.18 ± 0.91
(g) หลังการฝึก 48 ชั่วโมง	-0.39 ± 0.58	-0.95 ± 1.09	0.87 ± 0.49
(h) หลังการฝึก 72 ชั่วโมง	-0.47 ± 0.58	-0.84 ± 0.87	-0.51 ± 0.52
หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	0.61 ± 0.89	0.19 ± 0.69	0.49 ± 0.88

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับ
อยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความ
ชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 80% MVIC
สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80% MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่ม
ตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติ
ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่า
เท่ากับ 218.07 ± 28.95 , 174.92 ± 26.09 และ 136.26 ± 32.49 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้

พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มควบคุม ที่มีค่าหลังการฝึก 30 นาที เพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติ ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.16 ± 1.48 , 0.30 ± 0.92 และ 1.83 ± 0.32 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

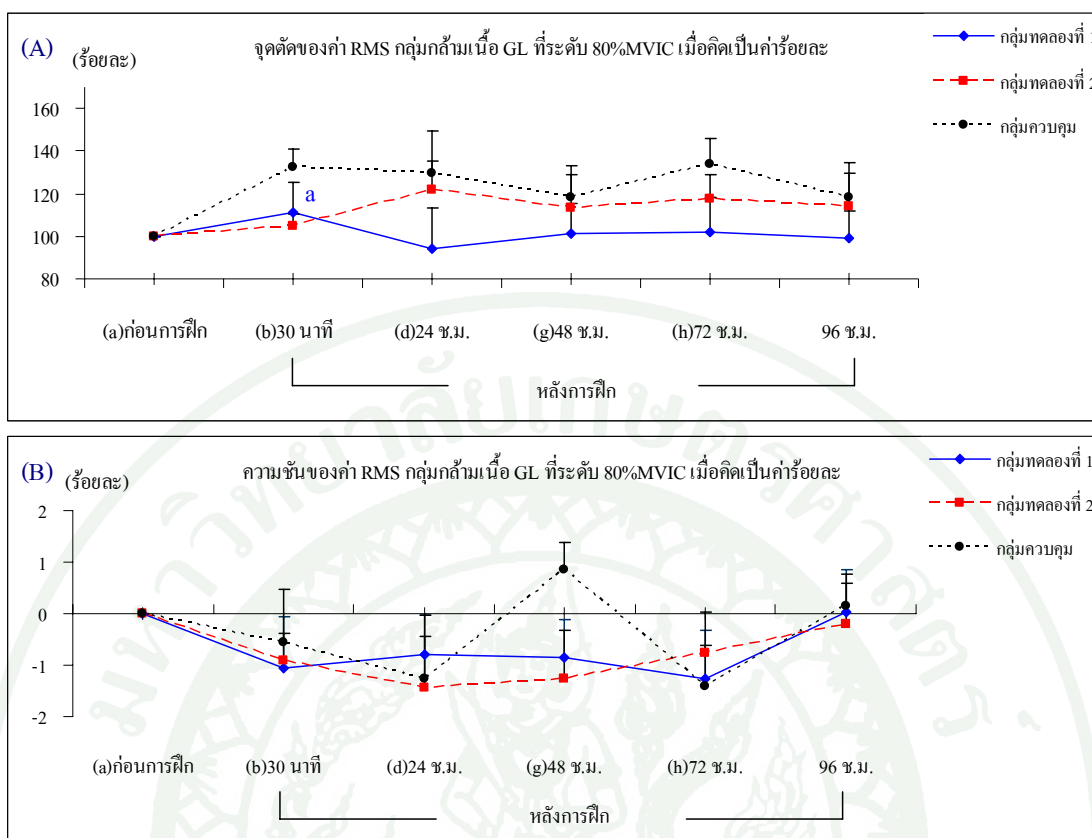
จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 80%MVIC ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าทุกกลุ่มมีค่าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติ ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 234.64 ± 30.41 , 187.86 ± 31.02 และ 175.21 ± 26.83 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละจุดตัด RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 50%MVIC ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าทุกกลุ่มมีค่าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

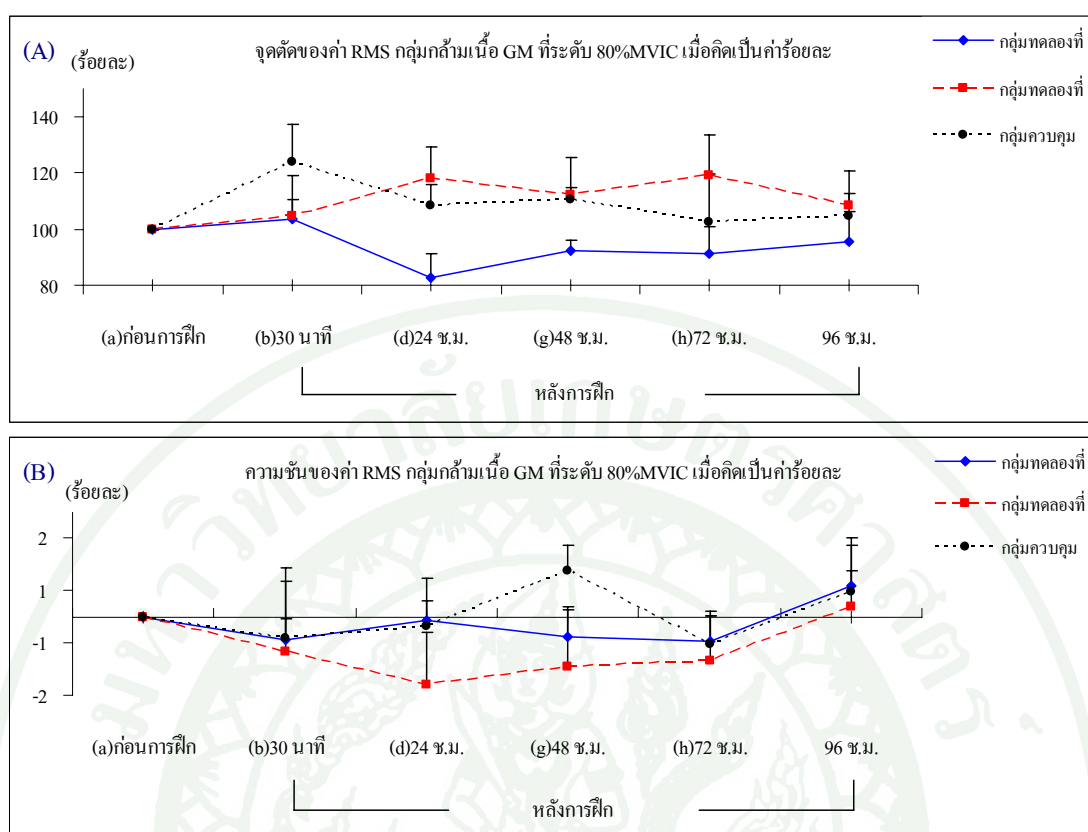
4. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.30 ± 2.01 , 0.39 ± 0.98 และ 1.57 ± 1.19 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ทุกช่วงเวลาหลังการฝึกไม่ต่างกัน ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละความชัน RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 80%MVIC ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าทุกกลุ่มมีค่าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 21 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับ หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง



ภาพที่ 22 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

จากข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 80% MVIC ต่อเนื่องเป็นเวลา 16 วินาที แล้วนำค่า MDF และค่า RMS ที่เปลี่ยนเป็นค่าปกติหรือค่าร้อยละไปคำนวณเป็นค่าจุดตัด และค่าความชันในสมการถดถอยและวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลตามตารางที่ 15 ถึง 16 และภาพที่ 19 ถึง 22 อภิปรายผลได้ดังนี้

1. ค่าร้อยละจุดตัด MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM ของกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ลดลงจากก่อนการฝึก แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ค่า MDF จะลดลงหลังจากการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหาย (Felici *et al.*, 1997; Day *et al.*, 1998; Ahmad *et al.*, 2007) ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการฝึกในทุกช่วงของการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการคลายอ่อนด้วยการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

ในน้ำมีผลช่วยให้กระบวนการฟื้นตัวและลดการเสียหายของกล้ามเนื้อเร็วขึ้น คล้ายกับการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC

2. ค่าร้อยละจุดตัด RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM หลังการฝึก 30 นาที ของทุกกลุ่มจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากการฝึก 24 ชั่วโมง เป็นต้นไป มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 1 เพียงกลุ่มเดียวที่มีค่าลดลง ทั้งนี้การที่ค่า RMS เพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยการลดลงของค่าจุดตัด MDF เนื่องจากการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับความหนักมาก ประกอบกับกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมีการเสียหายหลังจากการฝึก จึงทำให้ค่า MDF ลดลงมากกว่าการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 50% และ 70% MVIC นอกจากนี้ขณะทดสอบกลุ่มตัวอย่างมีความยากลำบากในการรักษาระดับการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ 80% MVIC ได้อย่างต่อเนื่องจะมีการลดลงและเพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ จึงทำให้ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับความหนักนี้ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นตัวชี้บ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการฝึก รวมถึงอุปสรรคถึงการเปลี่ยนแปลงจากการมีกิจกรรมการคลายอุ่นหลังจากการเสียหายของกล้ามเนื้อ

ส่วนที่ 2 รายงานผลและวิจารณ์ของการศึกษาที่ 2 เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ในวันที่ 2 วันที่ 5 ของการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และ วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในของแต่ละกลุ่ม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยของการศึกษาที่ 2 เป็นนักกีฬาฟุตบอล สังกัดชมรมกีฬาฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพศชาย อายุ 18-22 ปี และนิสัยทั่วไปที่ไม่ใช่นักกีฬาชมรมกีฬาฟุตบอล แต่มีประสบการณ์ในการเล่นฟุตบอลหรือเคยเป็นนักกีฬาฟุตบอล และยังคงเล่นกีฬาฟุตบอลเป็นประจำอย่างน้อยวันละ 1-2 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อสัปดาห์ ที่มีคุณสมบัติผ่านตามข้อกำหนดเบื้องต้น ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมการวิจัยโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน หลังจากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 10 คน แต่ละกลุ่มจะฝึกโปรแกรมฝึกฟุตบอล 1 ชั่วโมง 30 นาที (วันอังคาร วันพุธ และวันศุกร์) และโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก 45 นาที ก่อนการฝึกโปรแกรมฟุตบอล(วันจันทร์ และวันพฤหัสบดี) ตามตารางการฝึกซ้อมปกติของชมรมฟุตบอล โดยช่วงของการคลายอุ่นภายหลังเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกของทุกวันแต่ละกลุ่มจะได้รับกิจกรรมที่ต่างกัน คือ กลุ่มทดลองที่ 1 คลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำ กลุ่มทดลองที่ 2 คลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และกลุ่มควบคุม คลายอุ่นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เมื่อฝึกครบ 6 สัปดาห์แล้ว ทุกกลุ่มทำการฝึกโปรแกรมฟุตบอลอย่างเดียวกันปกติต่ออีก 7 วัน ทำการวัดตัวแปรอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายของแต่ละกลุ่มในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ นำผลไปคำนวณทางสถิติเพื่อตอบสนองมติฐานการวิจัยโดยรายงานผลและวิจารณ์ได้ดังนี้

สำหรับตัวแปรอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย โดยประเมินจากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการศึกษาที่ 2 นี้จะประเมินจากค่า MDF และ RMS ที่ระดับการออกแรงสูงสุด และจุดตัดและความชันของค่า MDF และ RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC เนื่องจากผลการศึกษาที่ 1 พบว่าเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงหลังกล้ามเนื้อเกิดการเสียหายได้ดีกว่าที่ระดับ 50%MVIC และ 80%MVIC

ตอนที่ 8 อายุและลักษณะทางกายภาพ

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

รายการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
อายุ (ปี)	20.10 $\pm$ 0.23	20.50 $\pm$ 0.70	21.10 $\pm$ 0.53
น้ำหนัก (กก.)	64.50 $\pm$ 3.20	67.30 $\pm$ 3.47	64.10 $\pm$ 1.93
ส่วนสูง (ซม.)	172.80 $\pm$ 1.81	175.20 $\pm$ 1.38	173.70 $\pm$ 1.77
ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)	21.48 $\pm$ 0.69	21.91 $\pm$ 1.07	21.23 $\pm$ 0.51

จากข้อมูลพื้นฐานพบว่า แต่ละกลุ่ม มีอายุและลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีอายุระหว่าง 20.10 ถึง 21.10 ปี น้ำหนักระหว่าง 64.10 ถึง 67.30 กิโลกรัม ส่วนสูงระหว่าง 172.80 ถึง 175.20 เซนติเมตร และดัชนีมวลกายระหว่าง 21.23 ถึง 21.91 กก./ม² ดังแสดงในตารางที่ 17 ทั้งนี้ข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการแสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกและการฝึกซ้อมโปรแกรมฟุตบอลของแต่ละกลุ่มไม่มีความได้เปรียบเสียเปรียบกันอันเนื่องจากรูปร่างและน้ำหนักตัว ทั้งนี้เพราะผู้ที่มือน้ำหนักตัวมากจะมีผลต่อแรงที่มากกระทำต่อกล้ามเนื้อและข้อต่อในขณะที่ปฏิบัติมากกว่าผู้ที่มือน้ำหนักตัวน้อยกว่า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะส่งผลต่อการเสียหายของกล้ามเนื้อที่มากกว่าได้

ตอนที่ 9 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด

ในงานวิจัยนี้ใช้ระดับ CK และ LDH ในเลือดเป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมที่แสดงถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกที่ส่งผลกระทบต่อระดับ CK ในเลือด และจากการมีปฏิสัมพันธ์นี้จึงทำให้ต้องแยกดำเนินการวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับ CK ในเลือด ที่เป็นผลมาจากวิธีการคลายอุ่นต่างกัน และผลที่มาจากช่วงเวลาหลังการฝึกต่างกัน ส่วนระดับ LDH ในเลือด พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อระดับ LDH ในเลือด แต่พบว่าผลการทดสอบหลังการฝึก (เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกันจะมีอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของระดับ LDH และสรุปข้อมูลลงในตารางที่ 18 ดังนี้

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ระดับ CK และ LDH ในเลือดของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: ยูนิต/ลิตร)			
ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>CK</u>			
(a) ก่อนการฝึก	160.60 $\pm$ 5.93	156.80 $\pm$ 6.65	158.90 $\pm$ 6.59
(c) หลังการฝึก 12 ชั่วโมง	326.90 $\pm$ 9.22 ^{*,a}	333.00 $\pm$ 13.15 ^{*,a}	383.90 $\pm$ 19.29 ^a
(i) หลังการฝึก 84 ชั่วโมง	349.00 $\pm$ 9.84 ^{*,a,c}	352.40 $\pm$ 15.19 ^{*,a}	508.00 $\pm$ 21.51 ^{a,c}
(t) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 6	162.50 $\pm$ 6.67 ^{*,#,c,i}	193.10 $\pm$ 10.71 ^{*,c,i}	228.10 $\pm$ 12.85 ^{a,c,i}
(u) วันที่ 3 หลังการ ฝึกครบ 6 สัปดาห์	156.90 $\pm$ 9.14 ^{c,i}	160.40 $\pm$ 5.69 ^{c,i,t}	177.00 $\pm$ 7.64 ^{a,c,i,t}
วันที่ 7 หลังการฝึก ครบ 6 สัปดาห์	125.70 $\pm$ 7.24 ^{*,c,i,t,u}	137.20 $\pm$ 4.58 ^{*,a,c,i,t,u}	166.60 $\pm$ 6.72 ^{c,i,t,u}

ตารางที่ 18 (ต่อ)

(หน่วย: ยูนิต/ลิตร)			
ช่วงเวลา	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
การทดสอบ			
<u>LDH</u>			
(a) ก่อนการฝึก	298.30 ± 9.56	280.40 ± 24.85	281.90 ± 17.83
(c) หลังการฝึก			
12 ชั่วโมง	306.50 ± 7.30	287.70 ± 23.37	289.20 ± 17.08
(i) หลังการฝึก			
84 ชั่วโมง	303.90 ± 5.47	293.20 ± 22.40	304.10 ± 15.58 ^{a,c}
(t) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 6	285.20 ± 7.83 ^{c,i}	281.11 ± 25.98	294.00 ± 17.81 ^a
(u) วันที่ 3 หลังการ			
ฝึกครบ 6 สัปดาห์	275.70 ± 7.85 ^{a,c,i}	263.40 ± 21.92 ^{c,i}	288.78 ± 14.87 ⁱ
วันที่ 7 หลังการฝึก			
ครบ 6 สัปดาห์	269.80 ± 8.33 ^{a,c,i}	261.20 ± 19.91 ^{c,i,t}	278.10 ± 16.13 ^{c,i,t,u}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานระดับ CK และ LDH ในเลือด สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของระดับ CK ในเลือดก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 160.60 ± 5.93 , 156.80 ± 6.65 และ 158.90 ± 6.59 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นค่าปกติที่อยู่ในเลือด ตามค่าอ้างอิงมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาลจันทบุรีเวช ภาควิชาการแพทย์ทหารอากาศ จังหวัดนครปฐม คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 24 ถึง

195 ยูนิต/ลิตร สอดคล้องกับ Ehlers *et al.* (2002) กล่าวว่า เพศชายค่าปกติจะอยู่ระหว่าง 55 ถึง 170 ยูนิต/ลิตร และเพศหญิงจะมีค่าปกติอยู่ระหว่าง 30 ถึง 135 ยูนิต/ลิตร ส่วนหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มควบคุมจะมีระดับ CK ในเลือดเพิ่มมากขึ้นกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ($p < 0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ระดับ CK ในเลือดของกลุ่มควบคุมยังคงมีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ($p < 0.05$) และกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีระดับ CK ในเลือดอยู่ระดับปกติ โดยมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับ CK ในเลือด ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลง ระดับ CK ในเลือดเหมือนกัน คือ หลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) เมื่อการฝึกครบ 6 สัปดาห์ จนกระทั่งวันที่ 7 ของการหยุดการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกพบว่าระดับ CK ในเลือดมีค่าไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p > 0.05$) ทั้งนี้มีค่าส่วนใหญ่ลดลงหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีระดับ CK ในเลือดต่างจากก่อนการฝึกตั้งแต่หลังการฝึก 12 ชั่วโมง จนถึงวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ($p < 0.05$) โดยค่ามากที่สุดจะเกิดขึ้นหลังการฝึก 84 ชั่วโมง

2. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของระดับ LDH ในเลือดก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 298.30 ± 9.56 , 280.40 ± 24.85 และ 281.90 ± 17.83 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นค่าปกติที่อยู่ในเลือด ตามค่าอ้างอิงมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาลจันทบุรีเวช ภาควิชาการแพทย์ทหารอากาศ จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 240 ถึง 480 ยูนิต/ลิตร สอดคล้องกับ Ehrman *et al.* (2009) กล่าวว่าค่าปกติระดับ LDH ในเลือดมีค่าอยู่ระหว่าง 105 ถึง 333 ยูนิต/ลิตร แสดงให้เห็นว่าก่อนการฝึกกลุ่มตัวอย่างไม่มีอาการเสียหายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นเช่นเดียวกับหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ระดับ LDH ในเลือดระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ยังคงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับ LDH ในเลือด ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีระดับ LDH ในเลือดหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) เมื่อฝึกครบสัปดาห์ที่ 6 พบว่ามีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง ($p<0.05$) ส่วนวันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ พบว่าระดับ LDH ในเลือด น้อยกว่าก่อนการฝึกและทุกช่วงเวลาที่ผ่านมา ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีระดับ LDH ในเลือดของหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) ส่วนวันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ระดับ LDH ในเลือดมีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีระดับ LDH ในเลือดของหลังการฝึก 12 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p>0.05$) ส่วนหลังการฝึก 84 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) ทั้งนี้พบว่าวันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ระดับ LDH ในเลือดมีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 12 และ 84 ชั่วโมง ($p<0.05$)

จากภาพที่ 23 เป็นการนำข้อมูลระดับ CK และ LDH ในเลือดไปทำเป็นค่าร้อยละและวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ร้อยละระดับ CK ในเลือด (ภาพที่ 23 A) หลังการฝึก 12 ชั่วโมงของทุกกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา คือหลังการฝึกพลัยโอเมตริกจะส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหาย (Tofas *et al.*, 2008) ส่วนหลังการฝึก 84 ชั่วโมง พบว่าทุกกลุ่มยังคงมีระดับ CK สูงขึ้น ซึ่งต่างจากงานวิจัยของ Howatson *et al.* (2007) ที่ทำการศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกช้าหลังจากการฝึกอย่างหนักในครั้งแรกพบว่าการเสียหายของกล้ามเนื้อลดลง โดยระหว่างการฝึกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ไม่มีกิจกรรมใดๆ ส่วนการวิจัยในครั้งนี้ จะมีโปรแกรมการฝึกซ้อมฟุตบอลร่วมด้วย ระหว่างการฝึกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ของสัปดาห์ ซึ่งการเคลื่อนไหวในกีฬาฟุตบอลจะมีรูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีการยืดยาวออกและหดสั้นเข้าของกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่อง เช่น การวิ่ง การกระโดด และการเตะลูกบอล เป็นต้น (Reisman *et al.*, 2005) และจากการศึกษาของ Lazarim *et al.* (2009) พบว่าหลังการแข่งขันฟุตบอลของนักกีฬาฟุตบอลอาชีพของประเทศบราซิลในรายการชิงแชมป์แห่งชาติ จะมีค่าของระดับ CK ที่ 97.5 และ 90 เปอร์เซ็นต์ไทล์ มีค่าเท่ากับ 1,338 และ 975 หน่วย/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนไหวในกีฬาฟุตบอลส่งผลต่อการเสียหายของกล้ามเนื้อ จากเหตุผลดังกล่าวเมื่อมีการฝึกพลัยโอเมตริกซ้ำจึงส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายเพิ่มมากขึ้น แต่จะพบว่าการฝึกของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีร้อยละระดับ CK ในเลือดหลังการฝึก 84 ชั่วโมง น้อยกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบของกิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการเคลื่อนไหวช่วยบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อทั้งนี้อาจเนื่องจากกิจกรรมการเคลื่อนไหวจะเป็นการกระตุ้นการไหลเวียนเลือดไปยังกล้ามเนื้อที่เสียหาย จึงทำให้กระบวนการรักษาเร็วขึ้น (Takahashi *et al.*, 2006)

หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะมีค่าร้อยละระดับ CK ในเลือดลดลงสู่สภาวะปกติ โดยเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากความสามารถในการปรับตัวของระบบกล้ามเนื้อที่ทนต่อการเสียหายและมีกระบวนการฟื้นตัวที่เร็วขึ้น รวมถึงอาจมีความเกี่ยวข้องกับระยะเวลาการฝึก 6 สัปดาห์จะทำให้ระบบกล้ามเนื้อและกระบวนการฟื้นตัวของร่างกายมีการพัฒนาขึ้น ดังที่ Howatson *et al.* (2007) พบว่า หลังการฝึกพลัยโอเมตริกหรือกิจกรรมการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก จะมีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น รวมถึงกระบวนการป้องกันจากการเสียหายของกล้ามเนื้อจากการฝึกที่ก่อให้เกิดการเสียหายซ้ำๆ กันด้วยการปรับตัวให้มีความแข็งแรงและความมั่นคงของ

เส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Chen (2003) พบว่า การออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกซ้ำเป็นครั้งที่ 2 มีผลทำให้การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อเร็วขึ้น รวมถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อลดลง

2. ร้อยละระดับ LDH ในเลือด (ภาพที่ 23 B) มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับระดับ CK ในเลือด กล่าวคือ หลังการฝึก 84 ชั่วโมง ทุกกลุ่มจะมีร้อยละระดับ LDH ในเลือดเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือหลังการฝึก 12 ชั่วโมง ส่วนหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไป จะพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าลดลงมากกว่าก่อนการฝึก ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าสูงมากกว่าก่อนการฝึก ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่ากิจกรรมการคลายอุ่นที่เป็นการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะการวิ่งในน้ำช่วยกระบวนการฟื้นตัวและลดการเสียหายของกล้ามเนื้อได้ดี เพราะการที่ร้อยละระดับ LDH ยังคงมีค่าสูง เป็นการแสดงให้เห็นถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อที่มีอยู่และยังมีการเสียหายที่มากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มควบคุมที่ไม่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหวในช่วงของการคลายอุ่น มีเพียงกิจกรรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามร้อยละระดับ LDH ในเลือดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดของทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 102.42 ถึง 108.78 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละระดับ CK ในเลือดในช่วงเวลาที่เพิ่มมากที่สุดของทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 218.41 ถึง 320.37 ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของ LDH จะมีขนาดใหญ่กว่า โมเลกุลของ CK ทำให้การผ่านออกมานอกเซลล์และเข้าสู่กระแสเลือดมีปริมาณน้อย (Su *et al.*, 2010)

ตอนที่ 10 การเปลี่ยนแปลงด้านความอ่อนตัว

การเปลี่ยนแปลงด้านความอ่อนตัวจะแยกเป็นความอ่อนตัวที่ได้จากการวัดความอ่อนตัวโดยรวมที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของข้อต่อหลายส่วน ได้แก่ การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง และการวัดความอ่อนตัวจากช่วงการเคลื่อนไหวข้อต่อเดียว ในการวิจัยครั้งนี้วัดความอ่อนตัวของการเคลื่อนไหวข้อเท้า โดยพิจารณาจากช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าที่สามารถทำได้ในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของวิธีการคลายอุ่นไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาหลังการฝึก แต่พบว่าผลการทดสอบหลังการฝึก (เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกัน จะมีอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน ส่วนช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าได้รับผลกระทบจากการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึก และจากการมีปฏิสัมพันธ์นี้จึงทำให้ต้องแยกดำเนินการวิเคราะห์ความแตกต่างของช่วงการ

เคลื่อนไหวน้ำเข้าในทางข้อเท้าที่เป็นผลมาจากวิธีการคลายอุณหภูมิต่างกัน และผลที่มาจากช่วงเวลาหลังการฝึก นำข้อมูลจากการวิเคราะห์สรุปลงในตารางที่ 19 และ 20 ดังนี้

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลัง ด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: เซนติเมตร)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(a) ก่อนการฝึก	14.00 $\pm$ 2.28	11.80 $\pm$ 1.76	16.00 $\pm$ 1.96
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	13.70 $\pm$ 2.03	11.60 $\pm$ 1.98	14.80 $\pm$ 1.97
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	14.40 $\pm$ 2.05	12.00 $\pm$ 1.99	15.10 $\pm$ 2.00
(m) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 1	14.80 $\pm$ 1.95	13.80 $\pm$ 1.67 ^{a,d,k}	17.00 $\pm$ 1.99
(o) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 2	14.40 $\pm$ 1.92	14.00 $\pm$ 1.64 ^{a,d,k}	15.33 $\pm$ 2.15 ^m
(p) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 3	14.20 $\pm$ 2.28	13.10 $\pm$ 1.96	16.00 $\pm$ 2.25
(r) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	13.60 $\pm$ 2.17	12.10 $\pm$ 1.71 ^m	13.30 $\pm$ 2.10 ^m
(s) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5	13.70 $\pm$ 2.12	12.30 $\pm$ 1.55 ^o	15.30 $\pm$ 1.92 ^m
(t) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 6	14.30 $\pm$ 1.94	12.70 $\pm$ 1.55	14.50 $\pm$ 1.63 ^{a,m}

ตารางที่ 19 (ต่อ)

(หน่วย: เซนติเมตร)

ช่วงเวลา	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
การทดสอบ			
(u) วันที่ 3 หลังการ			
ฝึกครบ 6 สัปดาห์	14.70 ± 1.81	13.90 ± 1.64 ^{a,d,k,r}	15.78 ± 1.95 ^{r,t}
วันที่ 7 หลังการฝึก			
ครบ 6 สัปดาห์	15.40 ± 1.89 ^{a,d,k,t,u}	15.00 ± 1.37 ^{a,d,k,m,p,r,s}	16.40 ± 1.93 ^{r,s}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

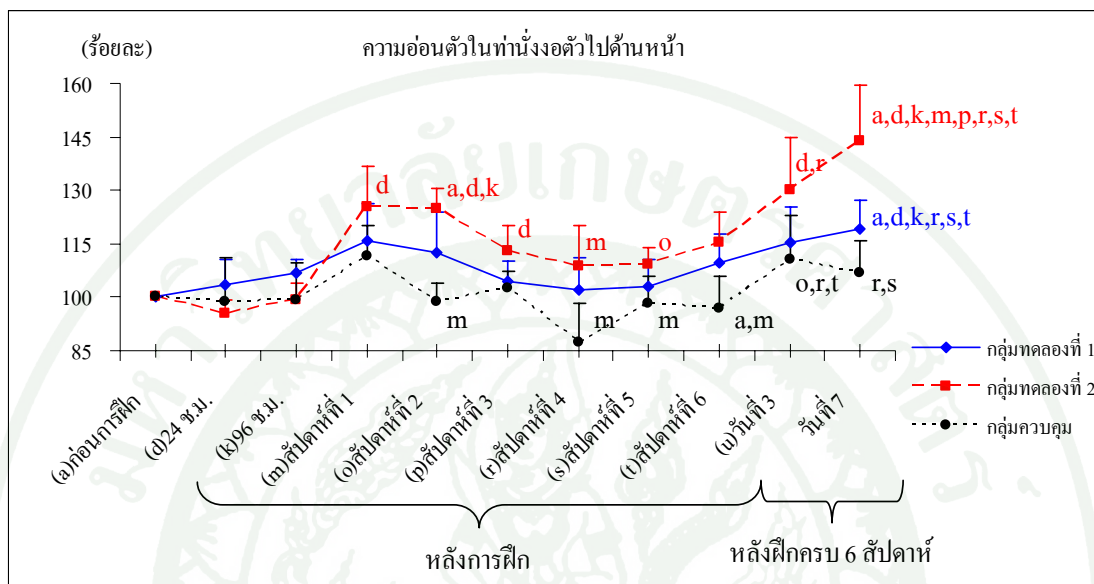
จากตารางที่ 19 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหน้าก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 14.00 ± 2.28 , 11.80 ± 1.76 และ 16.00 ± 1.96 เซนติเมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหน้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ยังคงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหน้า ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีเพียงค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหน้า ของวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มากกว่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหน้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 มากกว่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p>0.05$) และพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าลดลงน้อยกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ($p<0.05$) นอกจากนี้ ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหน้า วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ($p<0.05$) และจะมากที่สุดในวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ โดยพบว่าแตกต่างจากทุกช่วงเวลาตั้งแต่ก่อนการฝึก ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าความอ่อนตัวในทำนองทั่วไปด้านหน้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 4 5 และ 6 น้อยกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ($p<0.05$) และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในวันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ โดยต่างจากการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 5 ($p<0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 24 ร้อยละความอ่อนตัวในทำนองทั่วไปด้านหน้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

ภาพที่ 24 แสดงค่าร้อยละความอ่อนตัวในทำนองทั่วไปด้านหน้า จะพบว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ในทุกช่วงเวลาของการทดสอบ เนื่องจากการฝึกซ้อมโปรแกรมฟุตบอลส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความล้าอันเนื่องจากการฝึกอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการฝึกพลัยโอเมตริกเป็นรูปแบบการฝึกที่ส่งผลต่อการเสียหายของกล้ามเนื้อ จะทำให้กล้ามเนื้อมีความตึงตัวมากขึ้น การใช้กิจกรรมการคลายอุ่นโดยการวิ่งเหยาะ ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อของกลุ่มทดลองที่ 2 และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียวของกลุ่มควบคุม จึงไม่เพียงพอต่อการลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับ Friden *et al.* (1983) ที่พบว่าการยืด

เหยียดกล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกายส่งผลให้เกิดความตึงเครียดของกล้ามเนื้อมากขึ้นรวมถึงอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อได้ ส่วนกิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อของกลุ่มทดลองที่ 1 สามารถช่วยให้การดึงตัวของกล้ามเนื้อลดลงด้วยคุณสมบัติของน้ำที่มีแรงพยุงตัวจึงเป็นการลดแรงที่กระทำกับกล้ามเนื้อและโครงสร้างของร่างกายได้ (Pinto *et al.*, 2010) อีกทั้งอุณหภูมิของน้ำที่เย็นกว่าการคลายอุ่นบนบกจึงมีผลต่อการลดการส่งสัญญาณจาก muscle spindle จึงทำให้ความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง (Meeusen and Lievens, 1986) แต่อย่างไรก็ตามการวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังจะมีความเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อที่ใช้ในการฝึกพลัยโอเมตริกเล็กน้อยเพราะการฝึกพลัยโอเมตริกจะใช้รูปแบบของการกระโดดซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเป็นส่วนใหญ่ แต่การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังจะมีความเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังประมาณร้อยละ 60 และที่เหลือจะเป็นกล้ามเนื้อหลัง และไหล่ (Sinclair and Tester, 1993)

โดยภาพรวมของร้อยละความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่าสูงขึ้นแต่จะลดลงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการฝึกซ้อมโปรแกรมการฝึกฟุตบอลและพลัยโอเมตริกต่อเนื่องติดต่อกัน 3 สัปดาห์ จะส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการล้าและมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อมากขึ้น แต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไป ร้อยละความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหลังจะมีค่าเพิ่มเป็นลำดับ โดยมีค่ามากที่สุดในช่วงวันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีกิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริก มีเพียงการฝึกโปรแกรมฟุตบอลและการคลายอุ่นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียวทุกกลุ่ม ช่วงดังกล่าวจะมีความสอดคล้องกับรูปแบบหนึ่งของการฝึก คือ การลดงานในการฝึก หรือเรียกว่า “การเทปเปอร์ (taper)” ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สภาพร่างกาย และจิตใจได้พักจากการฝึกซ้อมที่หนัก การเทปเปอร์เป็นช่วงเวลาที่ใช้ปรับเปลี่ยนการฝึกซ้อมก่อนการแข่งขันโดยจะเป็นระยะเวลาสั้นๆ และมุ่งเน้นการลดลงของความหนักของการฝึกซ้อม ลดความกดดันทางด้านสรีรวิทยา และ จิตวิทยาจากการฝึกซ้อมประจำวัน มีผลทำให้สมรรถนะในการเล่นกีฬามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการลดการฝึกซ้อม 1 สัปดาห์ก่อนการแข่งขัน (McNeely and Sandler 2007; Wilson and Wilson 2008)

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ช่วงการเคลื่อนไหวจ้ำเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวจ้ำเท้าในท่างอข้อเท้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: องศา)

ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ช่วงการเคลื่อนไหวจ้ำเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า</u>			
(a) ก่อนการฝึก	36.10 $\pm$ 1.42	33.80 $\pm$ 1.46	36.60 $\pm$ 1.48
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	40.30 $\pm$ 1.75 ^a	39.80 $\pm$ 1.43 ^a	40.90 $\pm$ 1.39 ^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	44.30 $\pm$ 1.27 ^{a,d}	41.30 $\pm$ 1.21 ^a	42.50 $\pm$ 1.38 ^{a,d}
(m) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 1	43.30 $\pm$ 1.52 ^{a,d}	41.60 $\pm$ 1.36 ^a	42.20 $\pm$ 1.58 ^{a,d}
(o) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 2	42.80 $\pm$ 1.50 ^a	40.50 $\pm$ 1.43 ^a	40.00 $\pm$ 1.73 ^{k,m}
(p) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 3	43.80 $\pm$ 1.40 ^{a,d}	41.80 $\pm$ 1.44 ^a	41.63 $\pm$ 2.05 ^{a,k}
(r) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	41.30 $\pm$ 1.48 ^{a,k}	38.30 $\pm$ 1.26 ^{a,k,m}	40.00 $\pm$ 0.91 ^{a,k,m}
(s) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5	44.50 $\pm$ 1.38 ^{a,d,r}	41.10 $\pm$ 1.35 ^{a,r}	42.60 $\pm$ 1.53 ^{a,d,o,p,r}

ตารางที่ 20 (ต่อ)

(หน่วย: องศา)

ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(t) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 6	44.40 ± 0.95 ^{a,d,r}	41.56 ± 1.41 ^{a,r}	43.20 ± 1.35 ^{a,o,r}
(u) วันที่ 3 หลังการ ฝึกครบ 6 สัปดาห์	45.30 ± 1.25 ^{a,d,r}	43.10 ± 1.07 ^{a,d,o,r}	43.33 ± 1.28 ^{a,d,o,r}
วันที่ 7 หลังการฝึก ครบ 6 สัปดาห์	44.70 ± 1.09 ^{a,d,r}	42.20 ± 1.07 ^{a,d,r}	42.20 ± 1.15 ^{a,o,r}
<u>ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้า</u>			
(a) ก่อนการฝึก	15.50 ± 0.69 [#]	12.70 ± 0.79 [*]	14.70 ± 0.56
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	16.40 ± 0.67 ^{*,#,a}	14.00 ± 0.58 ^a	14.50 ± 0.50
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	16.70 ± 0.67 ^a	14.90 ± 0.64 ^a	14.80 ± 0.53
(m) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 1	15.20 ± 0.63	13.30 ± 0.78 ^{d,k}	14.10 ± 0.38 ^a
(o) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 2	15.90 ± 0.75	14.30 ± 0.26 ^{d,k}	14.40 ± 0.58
(p) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 3	15.80 ± 0.74	13.60 ± 0.37	13.90 ± 0.95
(r) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	15.70 ± 0.62	14.50 ± 0.58 ^{a,m}	14.60 ± 0.43 ^m
(s) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5	17.10 ± 0.57 ^{*,#,a,m,p}	14.30 ± 0.68 ^{a,o}	14.80 ± 0.39 ^m

ตารางที่ 20 (ต่อ)

(หน่วย: องศา)

ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(t) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 6	17.90 ± 0.71 ^{*,#,a,d,m,p}	15.00 ± 0.63 ^a	15.80 ± 0.53 ^{d,k,m,o,r}
(u) วันที่ 3 หลังการ ฝึกครบ 6 สัปดาห์	18.20 ± 0.33 ^{*,#,a,d,k,m,p,s}	15.20 ± 0.70 ^{a,d,r}	16.10 ± 0.43 ^{d,k,m,o,r}
วันที่ 7 หลังการฝึก ครบ 6 สัปดาห์	19.60 ± 0.43 ^{*,#,a,d,k,m,p,s,u}	16.30 ± 0.54 ^{a,d,k,m,p,r,s,t,u}	16.20 ± 0.39 ^{d,k,m}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าที่สามารถทำได้ในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 36.10 ± 1.42 , 33.80 ± 1.46 และ 36.60 ± 1.48 องศา ตามลำดับ เช่นเดียวกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ยังคงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน คือ มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า เพิ่มขึ้นเป็นลำดับโดยพบว่าตั้งแต่หลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าต่าง

จากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) และจะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 โดยต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

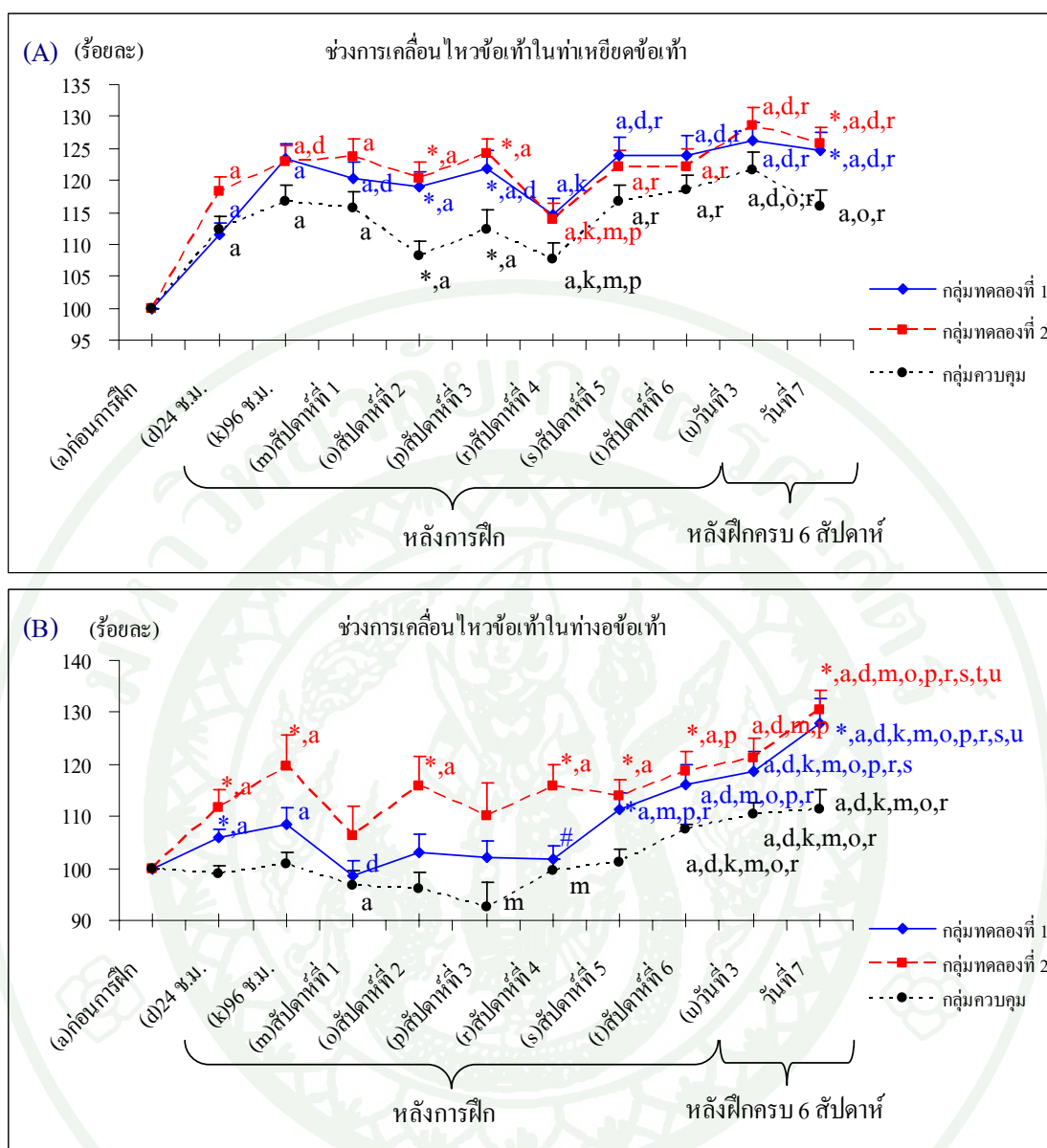
2. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 15.50 ± 0.69 , 12.70 ± 0.79 และ 14.70 ± 0.56 องศา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ($p > 0.05$) จนกระทั่งหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไปจะเริ่มมีค่ามากขึ้นโดยพบว่าต่างจากก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) แต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 พบว่ามีค่าลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$) หลังจากนั้นจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึกตั้งแต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป ($p < 0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 เพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) และพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไป จะมีค่าต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$)



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 25 ร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (A) และ ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

ภาพที่ 25 แสดงร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (A) และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (B) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวในการเล่นฟุตบอล ได้แก่ การวิ่ง การกระโดด สำหรับค่าปกติของช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าอยู่ระหว่าง 40-50 องศา และช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าเท่ากับ 20 องศา (Hayward, 2008) สำหรับนักกีฬาฟุตบอลนั้นมีการศึกษาของ Ostojic and Stojanovic (2007) ที่ทำการสำรวจช่วงการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพและสมัครเล่นของประเทศ Serbia พบว่า มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าเท่ากับ 12.9 ± 3.9 องศาและ 13.4 ± 3.7 องศาตามลำดับ ซึ่งการดึงตัวของกล้ามเนื้อจะเกี่ยวกับช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้า ดังที่ Takahashi *et al.* (2006) พบว่ากล้ามเนื้อจะมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นมากกว่ากล้ามเนื้อมัดอื่น เพราะอยู่ใกล้พื้นมากที่สุดและมีช่วงการดูดซับแรงกระแทกจากพื้นเล็กน้อย นอกจากนี้การฝึกพลัยโอเมตริกยังมีผลให้กลุ่มกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังมีการดึงตัวที่มากขึ้น (Cornu *et al.*, 1997) ดังนั้นการวัดช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในทั้ง 2 ท่าจึงมีความสอดคล้องกับการทดสอบความอ่อนตัวเพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงความดึงตัวของกล้ามเนื้อหลังจากการฝึกพลัยโอเมตริก มากกว่าการวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า จะเห็นได้จากร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า (ภาพที่ 25 B) ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีกิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการเคลื่อนไหวจึงช่วยบรรเทาการดึงตัวของกล้ามเนื้อหลังจากการฝึก ดังที่อภิปรายไว้ในการศึกษาที่ 1 ส่วนค่าร้อยละที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเนื่องจากการคลายอุ่นของทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีกิจกรรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อร่วมกับการเคลื่อนไหว ซึ่งการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นประจำจะช่วยพัฒนาความอ่อนตัวให้ดีขึ้นได้ ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีแนวโน้มของค่าร้อยละที่มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 นั้นอาจเนื่องจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อบนบกจะมีความมั่นคงในท่าทางการปฏิบัติ จึงทำให้ยืดได้ตรงกลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายมากกว่า รวมถึงควบคุมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อให้หยุดนิ่งในจุดที่ไม่สามารถจะยืดต่อไปได้หรือจุดที่มีความรู้สึกเจ็บเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับหลักของการยืดกล้ามเนื้อเพื่อพัฒนาความอ่อนตัว ดังที่ (Hayward, 2006) กล่าวไว้ คือ การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่จะต้องยืดไปถึงจุดที่รู้สึกเจ็บและหยุดนิ่งไว้ประมาณ 10 – 30 วินาที

สำหรับค่าร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (ภาพที่ 25 A) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม สูงกว่าก่อนการฝึก โดยกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ตามลำดับ ทั้งนี้การทำงานของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหน้าจะมีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวที่เป็นการวิ่ง การกระโดด ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักในกีฬาฟุตบอล รวมถึงการฝึกพลัยโอเมตริก น้อยกว่ากลุ่มกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง จึงทำให้ความดึงตัวและการเสียหายจากการฝึกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และไม่ส่งผลให้ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในการเล่นเหยียดข้อเท้าลดลง

ดังนั้นการอ้างถึงกิจกรรมการคลายอุ่นลักษณะใดที่มีผลต่อการช่วยบรรเทาการตึงตัวของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริกจะกล่าวถึงเฉพาะผลที่ได้จากการทดสอบช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้า เพราะมีความเกี่ยวข้องกับทั้งการเคลื่อนไหวในกีฬาฟุตบอลและการฝึกพลัยโอเมตริกมากที่สุด โดยรูปแบบของค่าร้อยละช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าตลอดช่วง 6 สัปดาห์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกสัปดาห์ ยกเว้นหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 3 ที่มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการฝึกซ้อมที่มีความต่อเนื่องจะส่งผลต่อความตึงตัวของกล้ามเนื้อทำให้ความสามารถในการเคลื่อนไหวข้อเท้าลดลง อย่างไรก็ตามเป็นเพียงการลดลงชั่วคราว ซึ่งเข้าหลักการชดเชยที่มากกว่าปกติ (overcompensation) กล่าวคือ เมื่อมีการฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องจะส่งผลต่อการตึงตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้ความสามารถลดลง การลดลงเพื่อให้ร่างกายมีกระบวนการปรับตัวที่ดีขึ้น สำหรับช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการฝึกจะเป็นรูปแบบของการเทปเปอร์ จึงมีค่าสูงกว่าช่วงอื่นๆ

ตอนที่ 11 การเปลี่ยนแปลงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

การเปลี่ยนแปลงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่อง Isokinetic ที่มุมในการงอข้อเท้า 30 องศา เป็นระยะเวลา 5 วินาที นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของวิธีการคลายอุ่นไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาหลังการฝึก แต่พบว่าผลการทดสอบหลังการฝึก(เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกันจะมีอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง และสรุปลงในตารางที่ 21 ดังนี้

ตารางที่ 21 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: นิวตัน/เมตร)			
ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(a) ก่อนการฝึก	92.10 $\pm$ 3.59	104.70 $\pm$ 5.76	89.10 $\pm$ 4.97
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	103.90 $\pm$ 3.35 ^a	111.75 $\pm$ 6.28 [*]	94.30 $\pm$ 4.33
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	107.10 $\pm$ 2.89 ^{a,d}	105.70 $\pm$ 4.54	97.40 $\pm$ 4.44 ^a
(m) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 1	100.50 $\pm$ 3.10 ^{a,k}	107.50 $\pm$ 5.48	95.40 $\pm$ 5.81
(o) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 2	103.70 $\pm$ 4.47 ^a	110.50 $\pm$ 6.99	95.29 $\pm$ 4.74
(p) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 3	103.20 $\pm$ 4.86 ^a	109.25 $\pm$ 6.73	93.13 $\pm$ 5.37
(r) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	100.50 $\pm$ 4.44 ^a	110.45 $\pm$ 7.06	94.78 $\pm$ 4.87 ^a
(s) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5	101.90 $\pm$ 3.49 ^a	106.30 $\pm$ 4.98	95.00 $\pm$ 4.35
(t) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 6	107.80 $\pm$ 3.76 ^{a,d,m,r,s}	108.56 $\pm$ 4.03	99.40 $\pm$ 5.32 ^a
(u) วันที่ 3 หลังการ ฝึกครบ 6 สัปดาห์	108.60 $\pm$ 3.57 ^{a,d,m,r}	114.90 $\pm$ 5.31 ^{a,k,s}	101.44 $\pm$ 4.47 ^a
วันที่ 7 หลังการฝึก ครบ 6 สัปดาห์	111.00 $\pm$ 3.99 ^{a,d,m,o,r,s}	120.10 $\pm$ 5.10 ^{*,a,d,k,m,o,p,s,t,u}	103.90 $\pm$ 4.17 ^{a,d,m,p,r}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

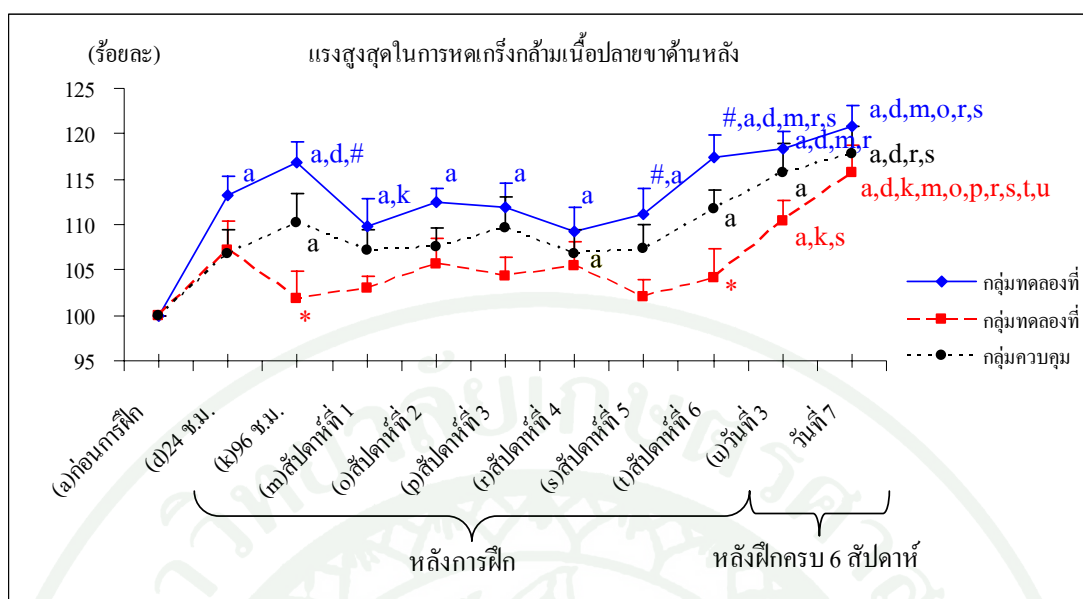
ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 21 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 92.10 ± 3.59 , 104.70 ± 5.76 และ 89.10 ± 4.97 นิวตัน/เมตร ตามลำดับ แต่พบว่ามีเพียงหลังการฝึก 24 ชั่วโมง และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกช่วงเวลา ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ตั้งแต่หลังการฝึก 24 ชั่วโมงจนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์เพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับและแตกต่างจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลา ($p<0.05$) ทั้งนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 6 สัปดาห์และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 4 และ 5 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังของ วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนการฝึก แตกต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่ามากกว่าทุกช่วงเวลา ($p<0.05$)



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 26 ร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

จากภาพที่ 26 แสดงร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง พบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากกล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวช้ามีการทำงานเพิ่มมากขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้กล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวเร็วมีการเสียหายเพิ่มมากขึ้น (Friden *et al.*, 1983) ประกอบกับการดึงตัวของกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับแรงเชิงมุม (Cornu *et al.*, 1997) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงหลังการฝึก 96 ชั่วโมงอาจมาจากกล้ามเนื้อมีความตึงตัวจากการฝึกพลัยโอเมตริกในวันก่อนหน้าที่จะทำการทดสอบ แต่ความตึงตัวมีความเหมาะสมที่จะทำให้แรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะพบได้เฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุมเท่านั้น เมื่อพิจารณากิจกรรมการคลายอุ่นของทั้งสองกลุ่มพบว่าไม่มีแรงที่กระทำกับกล้ามเนื้อจนทำให้การเสียหายเพิ่มขึ้น ต่างจากกลุ่มควบคุมที่ใช้กิจกรรมการวิ่งเหยาะซึ่งมีแรงกระทำต่อกล้ามเนื้อขณะที่วิ่งจึงอาจเป็นผลให้กล้ามเนื้อมีการเสียหาย และแรงดึงตัวภายใน

กล้ามเนื้อมีมากขึ้นไปจนเป็นผลให้แรงที่ได้จากการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังลดลง จึงเป็นการยืนยันว่าการวิ่งในน้ำลึกร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ สามารถบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อได้ รวมถึงส่งผลให้ความตึงตัวของกล้ามเนื้อไม่เพิ่มมากขึ้นไป ในประเด็นนี้สามารถพิจารณาจากผลการทดสอบช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้า (ภาพที่ 25 B) ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถจะเชื่อมโยงเกี่ยวกับความตึงตัวของกล้ามเนื้อมาประกอบการอภิปรายผล เพราะหากกล้ามเนื้อมีความตึงตัวมากขึ้นจะทำให้ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าลดลง ซึ่งพบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมงกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีช่วงการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น ส่วนกลุ่มควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่หลังการฝึก 96 ชั่วโมง จะพบว่ามีกลุ่มทดลองที่ 2 เพียงกลุ่มเดียวที่มีช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีความตึงตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้หากพิจารณาการเสียหายของกล้ามเนื้อมาประกอบการอภิปรายผล สามารถพิจารณาได้จากระดับ CK และ LDH ในเลือด (ภาพที่ 23 A, B) ซึ่งเป็นตัวแปรในการบ่งชี้ถึงการเสียหายที่โครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อ เพราะการที่มีระดับ CK และ LDH อยู่ในเลือดมากกว่าแสดงว่าเกิดการเสียหายที่เซลล์กล้ามเนื้อมากจึงทำให้เอนไซม์ดังกล่าวหลุดออกมาสู่ภายนอกเซลล์และเข้าสู่กระแสเลือดได้ ซึ่งพบว่า กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละระดับ CK และ LDH เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม ด้วยเหตุผลของกิจกรรมการเคลื่อนไหวในกีฬาฟุตบอล และการฝึกพลัยโอเมตริกที่ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหาย เมื่อใช้กิจกรรมการเคลื่อนไหวด้วยการวิ่งเหยาะช้าหลังจากการฝึก จึงส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายเพิ่มมากขึ้นได้

สำหรับหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 จะพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม มีแนวโน้มร้อยละแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังลดลง ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าคงที่ แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่ามากกว่าก่อนการฝึก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการฝึกซ้อม ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการออกแรงลดลง แต่หลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเริ่มลดลง อีกครั้งหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 5 อาจเป็นวงจรรอบของการฝึกที่ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความล้า แต่หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มสูงสุดเมื่อเข้าสู่วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากหยุดโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก จึงทำให้กล้ามเนื้อมีการปรับตัวเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 12 การเปลี่ยนแปลงด้านพลังกล้ามเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงด้านพลังกล้ามเนื้อในการวิจัยครั้งนี้ประเมินจากความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter - movement jump นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึกไม่มีผลกระทบต่อความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter-movement jump แต่พบว่าผลการทดสอบความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump หลังการฝึก (เวลาหลังการฝึก) ต่างครั้งกันจะมีอย่างน้อย 1 คู่ ที่ต่างกัน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump และสรุปข้อมูลลงในตารางที่ 22 ดังนี้

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter-movement jump ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: เซนติเมตร)

ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ความสูงของการทำ Drop jump</u>			
(a) ก่อนการฝึก	30.90 $\pm$ 0.61 [*]	31.66 $\pm$ 1.15	34.14 $\pm$ 1.01
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	30.13 $\pm$ 0.84	29.55 $\pm$ 1.04 ^a	30.87 $\pm$ 1.22 ^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	28.88 $\pm$ 0.96 ^a	28.23 $\pm$ 0.55 ^a	29.98 $\pm$ 1.32
(m) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 1	30.96 $\pm$ 1.35	29.84 $\pm$ 0.81	30.40 $\pm$ 1.10
(o) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 2	31.56 $\pm$ 1.20 ^k	31.04 $\pm$ 0.58 ^{d,k}	31.08 $\pm$ 1.54
(p) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 3	30.73 $\pm$ 1.09	30.35 $\pm$ 0.82 ^d	30.44 $\pm$ 1.54 ^a

ตารางที่ 22 (ต่อ)

(หน่วย: เซนติเมตร)			
ช่วงเวลา	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
การทดสอบ			
(r) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 4	28.55 ± 1.01 ^{a,o,p}	28.25 ± 0.89 ^{a,o,p}	30.78 ± 0.76 ^a
(s) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 5	28.80 ± 0.93	28.58 ± 0.62 ^{a,o,p}	29.32 ± 0.93
(t) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 6	30.05 ± 0.74	29.26 ± 1.06 ^r	30.08 ± 0.83
(u) วันที่ 3 หลังการ			
ฝึกครบ 6 สัปดาห์	32.34 ± 0.62 ^{a,d,k,p,r,s,t}	30.33 ± 0.49 ^{k,s}	31.41 ± 1.45
วันที่ 7 หลังการฝึก			
ครบ 6 สัปดาห์	33.73 ± 0.66 ^{a,d,k,m,p,r,s,t,u}	31.26 ± 0.68 ^{d,k,m,r,s,t}	32.31 ± 0.89 ^s
<u>ความสูงของการทำ Counter-movement jump</u>			
(a) ก่อนการฝึก	35.58 ± 0.95	36.64 ± 1.59	38.13 ± 0.88
(d) หลังการฝึก			
24 ชั่วโมง	34.92 ± 0.83	35.31 ± 1.56	36.02 ± 0.82 ^a
(k) หลังการฝึก			
96 ชั่วโมง	33.22 ± 0.68 ^{a,d}	32.95 ± 1.41 ^a	33.85 ± 1.13 ^{a,d}
(m) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 1	34.62 ± 1.02	34.45 ± 1.42 ^a	34.87 ± 1.17 ^a
(o) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 2	36.47 ± 0.62 ^{k,m}	36.52 ± 1.15 ^{k,m}	35.34 ± 1.30
(p) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 3	36.13 ± 0.79 ^{d,k}	35.75 ± 1.08 ^{k,m}	34.39 ± 1.28 ^a
(r) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 4	34.52 ± 0.56 ^{o,p}	33.28 ± 1.20 ^{a,o}	34.02 ± 1.33 ^a

ตารางที่ 22 (ต่อ)

(หน่วย: เซนติเมตร)			
ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(s) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5	35.17 ± 1.16	34.07 ± 1.21 ^a	33.59 ± 1.27 ^a
(t) หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 6	35.29 ± 0.95 ^k	33.43 ± 1.14 ^{a,o,p}	34.31 ± 1.24 ^a
(u) วันที่ 3 หลังการ ฝึกครบ 6 สัปดาห์	36.29 ± 0.91 ^{k,r}	35.38 ± 0.96 ^k	34.74 ± 1.21
วันที่ 7 หลังการฝึก ครบ 6 สัปดาห์	37.73 ± 0.93 ^{a,d,k,m,r,s,t}	37.01 ± 1.14 ^{k,m,r,s,t,u}	36.39 ± 1.00 ^r

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 22 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความสูงของการทำ Drop jump และความสูงของการทำ Counter - movement jump สามารถอธิบายและวิจารณ์ผลได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความสูงของการทำ Drop jump ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 30.90 ± 0.61 , 31.66 ± 1.15 และ 34.14 ± 1.01 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ พบว่าระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างความสูงของการทำ Drop jump ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีความสูงของการทำ Drop jump หลังการฝึก 96 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับก่อนการฝึก

($p>0.05$) และลดลงต่างจากก่อนการฝึกอีกครั้งหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ($p<0.05$) เมื่อฝึกครบสัปดาห์ที่ 6 จะพบว่าวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึกและหลังการฝึกในทุกช่วงเวลา ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีความสูงของการทำ Drop jump หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นโดยหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 3 เพิ่มขึ้นกว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) ทั้งนี้จะมีการลดลงอีกครั้งหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 5 โดยพบว่าต่างจากก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 5 ($p<0.05$) เมื่อฝึกครบสัปดาห์ที่ 6 จะพบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 4 5 และ 6 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีความสูงของการทำ Drop jump หลังการฝึก 24 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ลดลงน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) แต่พบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 30 นาที ($p<0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความสูงของการทำ Counter - movement jump ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 35.58 ± 0.95 , 36.64 ± 1.59 และ 38.13 ± 0.88 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และ วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ พบว่าระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างความสูงของการทำ Counter - movement jump ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

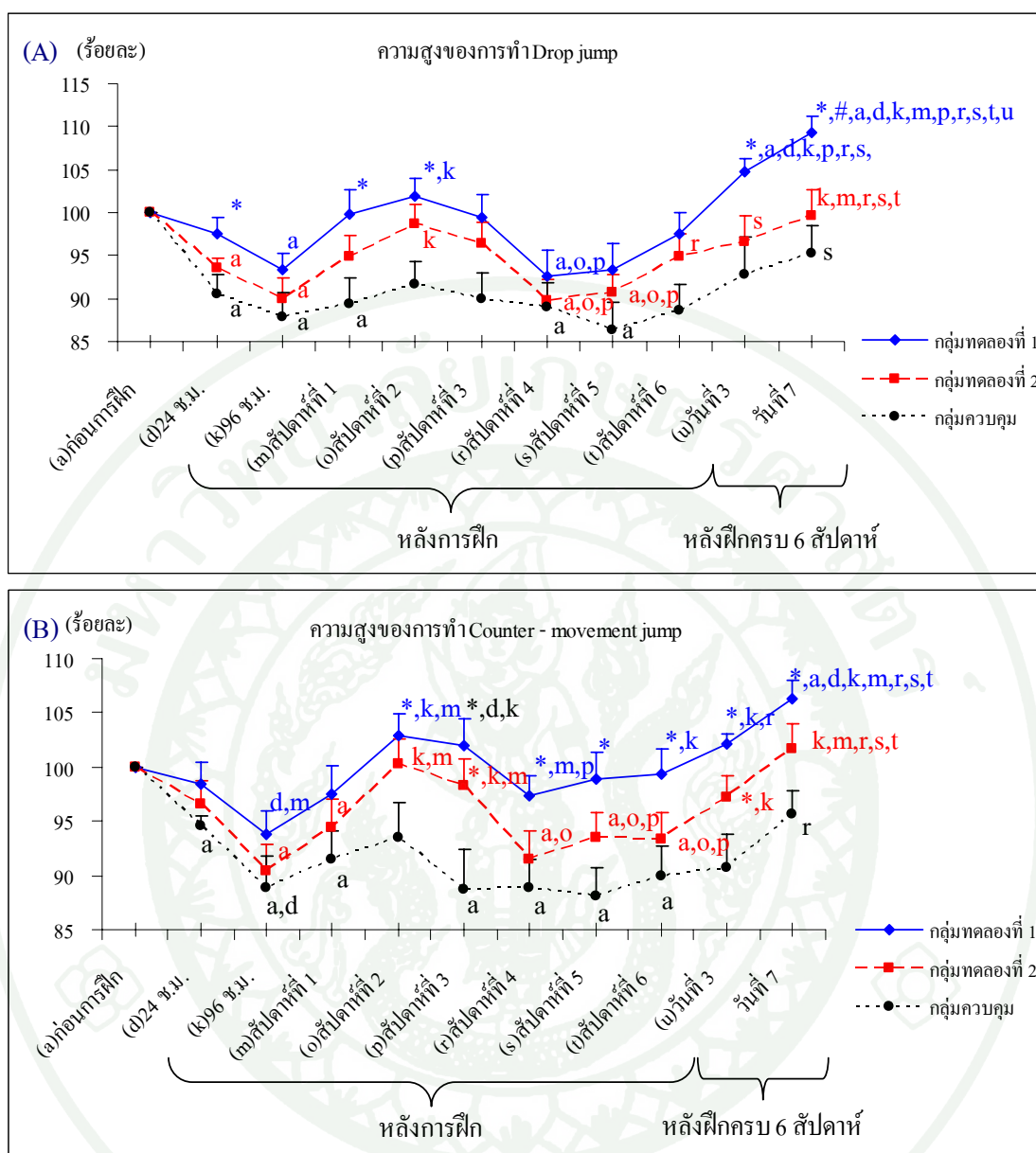
- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีความสูงของการทำ Counter - movement jump หลังการฝึก 96 ชั่วโมง ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ จะมีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ($p<0.05$) เมื่อฝึกครบสัปดาห์ที่ 6 จะพบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 4 5 และ 6 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีความสูงของการทำ Counter - movement jump หลังการฝึก 96 ชั่วโมงและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 3 เพิ่มขึ้นกว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมงและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ($p<0.05$) แต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 5 และ 6 มีค่าลดลงกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 หลังการ

ฝึกครบสัปดาห์ที่ 6 โดยต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ($p<0.05$) ทั้งนี้พบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ จะมีค่ามากที่สุดโดยต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 4 5 6 และ วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีความสูงของการทำ Counter - movement jump หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 3 4 5 และ 6 น้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่า วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ($p<0.05$)





หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 27 ร้อยละความสูงของการทำ Drop jump (A) และ ความสูงของการทำ Counter-movement jump (B) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

จากภาพที่ 27 แสดงร้อยละความสูงของการทำ Drop jump (A) และความสูงของการทำ Counter-movement jump (B) เป็นรูปแบบของการทดสอบพลังกล้ามเนื้อ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อแบบวงจรการยืดยาวและหดสั้นเข้า (stretch-shortening cycle; SSC) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการเคลื่อนไหวจริงในชีวิตประจำวันและการเคลื่อนไหวในการเล่นกีฬามากกว่าการหดตัวแบบหดเกร็ง แบบหดสั้นเข้า และการหดตัวแบบยืดยาวออก สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกก่อนหดตัวสั้นเข้า มีความเกี่ยวข้องกับการประกอบต่างๆ ที่จะทำให้เกิดแรง คือ องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ (contractile component) ได้แก่ โปรตีนแอกติน และมายโอซิน องค์ประกอบที่ไม่ได้ใช้ในการหดตัว หรือเป็นโครงสร้างแบบยืดหยุ่น (elastic component) เช่น เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เอ็นกล้ามเนื้อ หลอดเลือด เส้นประสาท เป็นต้น จะแพร่กระจายอยู่ในกล้ามเนื้อ โดยจะเรียงตัวขนานหรือเรียงตัวเป็นอนุกรมกับองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีการสะสมพลังงานเพื่อเพิ่มแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือ series elastic component จะทำหน้าที่ต่อต้านการหดตัวของกล้ามเนื้อ และ parallel elastic component จะทำหน้าที่ต้านทานการยืดออกของกล้ามเนื้อและมีส่วนทำให้เกิดแรงดึง (tension) ของกล้ามเนื้อในระยะพัก (ชัยเลิศ, 2547; Brooks *et al.*, 2005) การฝึกพลัยโอเมตริก รวมถึงกิจกรรมการเคลื่อนไหวในกีฬาฟุตบอลจะมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบวงจรการยืดออกและหดสั้นเข้า ดังนั้น การเสียหายที่เกิดขึ้น ไม่เฉพาะแต่ส่วนที่เป็น contractile component เท่านั้น แต่รวมถึงส่วนที่เป็น elastic component ด้วย ดังที่ Morgan and Allen (1999); Skurvydas *et al.* (2006) กล่าวว่า ความสามารถหรือแรงที่ใช้ในการกระโดดแนวตั้งไม่ได้เกิดจากกลไกการจับกันระหว่าง actin และ myosin เท่านั้น แต่ยังมีความเกี่ยวข้องกับการโปรตีนระดับย่อยที่ทำหน้าที่ในการสร้างความมั่นคงของ sarcomere และเชื่อมระหว่าง filament กับ sarcomere ได้แก่ titin, nebulin, integrin, dystrophin และ desmin มีการสร้างพลังงานแบบยืดหยุ่นในขณะที่กล้ามเนื้อยืดตัวออก เมื่อมีการหดตัวของกล้ามเนื้อจะทำหน้าที่ส่งต่อแรงในลักษณะพลังงานแบบยืดหยุ่น ซึ่งการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกจะส่งผลต่อการเสียหายในส่วนต่างๆ เหล่านี้ด้วย เมื่อทำการทดสอบ Drop jump และ Counter-movement jump ซึ่งต้องอาศัยการสะสมพลังงานแบบยืดหยุ่น (elastic energy) จากส่วนที่เป็น elastic component จึงทำให้ความสามารถในการปฏิบัติลดลง สอดคล้องกับ Brook *et al.* (2005) ได้กล่าวว่า พลังงานแบบยืดหยุ่นมีส่วนสำคัญในการเพิ่มแรงขณะที่กล้ามเนื้อมีการทำงานแบบวงจรการยืดออกและหดสั้นเข้าอย่างรวดเร็ว เช่น การกระโดด หรือการขว้าง กล่าวคือ เมื่อ elastic component ถูกยืดจะเกิดการสะสมพลังงานศักย์ เมื่อมีการหดตัวสั้นเข้าจะทำให้พลังงานศักย์ถูกปล่อยออกมาและมีผลเพิ่มแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อให้กับส่วนที่เป็น contractile component ซึ่งจากการทดสอบแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อจะเกี่ยวกับ contractile component เป็นส่วนใหญ่ (Friden and Lieber, 2001) เมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็ง

กล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังจากช่วงเวลาหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น คือร้อยละ 116.90, 110.25 และ 101.92 ตามลำดับ (ภาพที่ 26) ส่วนความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump ในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 87.82 ถึง 93.35 และ 88.92 ถึง 93.74 ตามลำดับ เป็นการแสดงถึงการเสียหายที่กล้ามเนื้อ และเอ็นกล้ามเนื้อจะทำให้ความสูงของการกระโดดลดลง สอดคล้องกับ Avela and Komi (1998) ที่พบว่าเมื่อกำลังกล้ามเนื้อเกิดการล้า จะส่งผลต่อการลดความสามารถในการทำงานที่ต้องอาศัยการยืดตัวออกและหดตัวสั้นเข้าของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว

จากการทดลองนี้พบว่าทั้งค่าร้อยละและความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump ลดลงหลังการฝึก 24 ชั่วโมง แสดงถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการฝึกพลัยโอเมตริกมิใช่เกิดเฉพาะที่เส้นใยกล้ามเนื้อหรือส่วนที่เป็น contractile component และหน่วยยนต์ชนิดหดตัวเร็วเท่านั้น แต่มีผลต่อการเสียหายที่เอ็นกล้ามเนื้อด้วย สำหรับการลดลงของค่าร้อยละความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump จะมากที่สุดหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ซึ่งก่อนหน้าการทดสอบ 1 วันจะมีการฝึกพลัยโอเมตริกซ้ำเป็นวันที่ 2 เป็นผลให้เกิดการเสียหายของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจะพบว่ากิจกรรมคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อของกลุ่มทดลองที่ 1 มีผลช่วยบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อได้ จึงมีค่าการลดลงน้อยกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ของกลุ่มทดลองที่ 1 และ 2 จะมีการเพิ่มขึ้นแต่ยังอยู่ระดับต่ำและใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นก่อนการฝึก แสดงให้เห็นว่าการฝึกพลัยโอเมตริกมีผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบวงจรการยืดออกและหดสั้นเข้า โดยเฉพาะกลุ่มควบคุม ซึ่งจะต่างจากผลการทดสอบแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง (ภาพที่ 26) ที่เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดเกร็ง (isometric contraction) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 5 จะมีค่าลดลงอีกครั้ง เนื่องจากความล้าของกล้ามเนื้อจากการฝึกอย่างต่อเนื่อง แต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไปจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการฝึกพลัยโอเมตริกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อจากการทดสอบ Drop jump และ Counter-movement jump ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Miller *et al.*, (2006) ที่ใช้การฝึกพลัยโอเมตริก 6 สัปดาห์สามารถพัฒนาความคล่องแคล่วว่องไวในนักกีฬาได้ นอกจากนี้งานวิจัยของ Reymont *et al.* (2006) ที่พบว่าการฝึกพลัยโอเมตริก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์สามารถเพิ่มความสูงของการกระโดดแนวตั้งขาเดียวในนักกีฬาสอกกีได้ แต่ไม่เพียงพอต่อการลดเวลาในการวิ่ง 10 เมตร 40 เมตร และเพิ่มความสูงของการกระโดดแนวตั้งสองขาได้

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าหลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ และหยุดโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก เหลือเพียงโปรแกรมการฝึกฟุตบอลเพียงอย่างเดียว ส่วนกิจกรรมการคลายอุ่นใช้การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ พบว่า วันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีค่าความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหยุดโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จะมีผลต่อการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

การเปลี่ยนแปลงความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรวัดมีค่าตั้งแต่ 1 คือ “ไม่รู้สึกเจ็บระบบ” จนถึง 7 คือ “เจ็บระบบมากที่สุด” นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อได้รับผลกระทบจากการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการคลายอุ่นและช่วงเวลาหลังการฝึก และจากการมีปฏิสัมพันธ์นี้จึงทำให้ต้องแยกดำเนินการวิเคราะห์ความแตกต่างความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อที่เป็นผลมาจากวิธีการคลายอุ่นต่างกัน และผลที่มาจากช่วงเวลาหลังการฝึก และนำมาสรุปข้อมูลลงในตารางที่ 23 ดังนี้

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) ความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: หน่วย)			
ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(a) ก่อนการฝึก	1.00 $\pm$ 0.00	1.00 $\pm$ 0.00	1.00 $\pm$ 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	2.20 $\pm$ 0.25 ^a	2.50 $\pm$ 0.22 ^a	2.20 $\pm$ 0.25 ^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	2.20 $\pm$ 0.20 ^a	2.30 $\pm$ 0.34 ^a	2.40 $\pm$ 0.27 ^a

ตารางที่ 23 (ต่อ)

(หน่วย: หน่วย)			
ช่วงเวลา การทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
(m) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 1	$1.20 \pm 0.20^{d,k}$	$1.00 \pm 0.00^{d,k}$	$1.20 \pm 0.20^{d,k}$
(o) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 2	$1.20 \pm 0.20^{d,k}$	$1.10 \pm 0.10^{d,k}$	$1.13 \pm 0.13^{d,k}$
(p) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 3	$1.00 \pm 0.00^{d,k}$	$1.00 \pm 0.00^{d,k}$	$1.00 \pm 0.00^{d,k}$
(r) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 4	$1.50 \pm 0.17^{a,k,p}$	$1.80 \pm 0.20^{a,d,m,o,p}$	1.44 ± 0.24
ต (s) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 5	$1.50 \pm 0.17^{a,k,p}$	$2.00 \pm 0.26^{a,o,p}$	1.40 ± 0.16
(t) หลังการฝึก			
สัปดาห์ที่ 6	1.50 ± 0.22	1.89 ± 0.42	1.90 ± 0.41
(u) วันที่ 3 หลังการ			
ฝึกครบ 6 สัปดาห์	$1.10 \pm 0.10^{d,k}$	$1.20 \pm 0.20^{d,k}$	$1.22 \pm 0.22^{d,k}$
วันที่ 7 หลังการฝึก			
ครบ 6 สัปดาห์	$1.00 \pm 0.00^{d,k,r,s}$	$1.00 \pm 0.00^{d,k,r,s}$	$1.00 \pm 0.00^{d,k}$

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

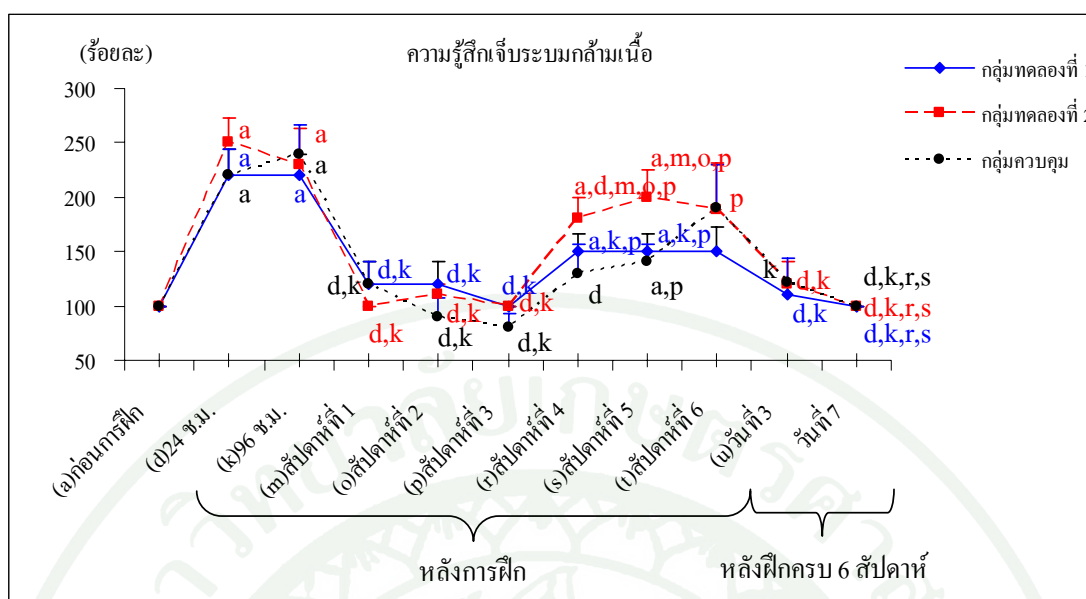
ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 23 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานความรู้สึกรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.00 ± 0.00 , 1.00 ± 0.00 และ 1.00 ± 0.00 หน่วย ตามลำดับ นอกจากนี้หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ พบว่าระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน คือความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 จะมีค่าลดลงโดยเป็นการลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$) แต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 5 จะมีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึกอีกครั้ง และมากกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ($p < 0.05$) ทั้งนี้ค่าดังกล่าวยังคงน้อยกว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$) เมื่อการฝึกเข้าสู่วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$) และจะมีค่าเท่ากับก่อนการฝึกในวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ($p > 0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 จะมีค่าลดลงโดยเป็นการลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$) เมื่อการฝึกเข้าสู่วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p < 0.05$) และจะมีค่าเท่ากับค่าก่อนการฝึกในวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ($p > 0.05$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 28 ร้อยละความรู้สึเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

ภาพที่ 28 แสดงร้อยละความรู้สึเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง พบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 จะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง โดยความรู้สึเจ็บระบบกล้ามเนื้อเกิดจากระบวนการอักเสบของกล้ามเนื้อหลังการฝึก จึงมีผลต่อการกระตุ้นประสาทรับรู้ความเจ็บปวด ทำให้ประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของร้อยละระดับ CK และ LDH ในเลือดที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 23) แต่ระดับความรู้สึเจ็บระบบกล้ามเนื้อจะลดลงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 โดยเพิ่มขึ้นอีกครั้งช่วงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 5 และ 6 ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงด้านความแข็งแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังสูงสุด (ภาพที่ 26) และความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump (ภาพที่ 27) ซึ่งเกิดจากการเสียหายของกล้ามเนื้อหรือมีความล้าสะสมจากการฝึกต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายสัปดาห์ แต่หลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 หรือในช่วงหยุดโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกจะมีค่าลดลงกลับสู่ระดับปกติ คือ ไม่รู้สึเจ็บระบบกล้ามเนื้อ

ตอนที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านระบบประสาทกล้ามเนื้อในการศึกษาที่ 2 นี้ใช้การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กลุ่มกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุดเป็นเวลา 5 วินาที และที่ระดับ 70%MVIC เป็นเวลา 20 วินาที นำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลตามการศึกษาที่ 1 วิเคราะห์ผลทางสถิติ และสรุปข้อมูลลงตารางที่ 24 ถึง 27 ดังนี้

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	93.72 $\pm$ 1.33 ^{*,#,a}	110.75 $\pm$ 1.83 ^{*,a}	106.25 $\pm$ 1.30 ^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	98.03 $\pm$ 1.54 ^{*,#,d}	106.15 $\pm$ 1.90 ^{a,d}	103.66 $\pm$ 1.29 ^a
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	96.70 $\pm$ 1.64 [#]	105.36 $\pm$ 2.12 ^{*,a}	99.70 $\pm$ 1.46 ^d
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	107.33 $\pm$ 2.19 ^{a,d,k,m}	109.87 $\pm$ 1.86 ^{*,a}	102.15 $\pm$ 1.39 ^d
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	108.87 $\pm$ 2.39 ^{#,a,d,k,m}	101.55 $\pm$ 0.78 ^{d,o}	104.09 $\pm$ 1.47 ^a
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	101.07 $\pm$ 1.35 ^{d,o,p}	101.05 $\pm$ 1.45 ^{d,k,o}	104.17 $\pm$ 2.08
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	99.02 $\pm$ 1.43 ^{*,d,o,p,r}	101.68 $\pm$ 1.47 ^{*,d,o}	106.24 $\pm$ 1.69 ^{a,m}
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	95.31 $\pm$ 2.66 ^{o,p}	100.29 $\pm$ 1.73 ^{d,o}	101.37 $\pm$ 1.78
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	97.93 $\pm$ 2.13 ^{o,p}	99.25 $\pm$ 1.77 ^{d,k,m,o}	100.66 $\pm$ 1.82 ^{d,s}

ตารางที่ 24 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	95.87 ± 2.01 ^{o,p}	98.79 ± 1.58 ^{d,k,m,o}	97.93 ± 1.69 ^{d,k,p,r,s}
<u>MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	95.25 ± 1.31 ^{*,#,a}	106.33 ± 1.83 ^a	103.90 ± 1.07 ^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	94.89 ± 1.84 ^{*,#,a}	107.12 ± 1.49 ^{*,a}	101.05 ± 0.96
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	92.38 ± 2.09 ^{*,#,a}	103.25 ± 1.61	100.95 ± 1.26
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	96.62 ± 1.84 ^{*,#}	105.59 ± 1.96 ^a	102.11 ± 1.50
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	98.06 ± 1.29 ^d	102.17 ± 2.11	103.19 ± 1.87
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	93.80 ± 2.02 ^{*,#,a,m}	107.97 ± 2.14 ^a	103.41 ± 1.85
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	92.84 ± 2.15 ^{*,#,a,p}	106.27 ± 1.50 ^a	104.07 ± 1.66 ^a
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	93.02 ± 1.78 ^{*,#,a,p}	103.29 ± 1.04 ^a	99.61 ± 1.88 ^d
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	94.12 ± 1.70 ^{a,p}	100.21 ± 1.72 ^{d,k,o,r,s}	96.01 ± 0.93 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	92.10 ± 2.03 ^{a,p}	98.45 ± 5.23	95.89 ± 0.95 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 108.90 ± 7.28 , 121.70 ± 10.89 และ 117.60 ± 14.94 เฮอร์ซ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ค่าร้อยละ MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 ยังคงมีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ($p<0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนช่วงเวลาอื่นไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ลดลงน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) และพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึกและช่วงเวลาก่อนหน้านั้น ($p<0.05$) หลังจากนั้นเริ่มมีค่าลดลงโดยจะลดลงตามลำดับจนกระทั่งวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ โดยพบว่ามีค่าน้อยกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนถึงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 มากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่าตั้งแต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ถึงหลังสัปดาห์ที่ 6 เริ่มมีค่าลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมงและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ($p<0.05$) ส่วนวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง สัปดาห์ที่ 1 และ 2 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุมมีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง สัปดาห์ที่ 3 และ 5 มากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าลดลงต่างจากหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ($p<0.05$) ส่วนวันที่ 7

หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง สัปดาห์ที่ 3 4 และ 5 ($p<0.05$)

2. ค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 123.40 ± 10.76 , 107.20 ± 9.45 และ 102.60 ± 3.73 เฮอร์ซ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 4 5 และ 6 พบว่ามีค่าร้อยละ MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) ส่วนหลังการฝึก 96 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ลดลงน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ โดยทั้งหมดมีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 4 5 และ 6 มากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่าวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์มีค่าน้อยกว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง สัปดาห์ที่ 2 4 และ 5 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และ 6 มากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าวันที่ 3 และ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึกจนถึงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ($p<0.05$)

ตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) RMS ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	123.62 $\pm$ 1.76 ^{*,#,a}	105.42 $\pm$ 2.08 ^a	101.55 $\pm$ 1.28
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	128.86 $\pm$ 2.16 ^{*,#,a}	96.10 $\pm$ 2.20 ^d	99.69 $\pm$ 1.36
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	123.83 $\pm$ 1.76 ^{*,#,a,k}	94.59 $\pm$ 2.12 ^{*,a,d}	104.71 $\pm$ 1.74 ^{a,k}
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	118.30 $\pm$ 1.48 ^{*,#,a,d,k,m}	103.83 $\pm$ 1.79 ^{k,m}	102.37 $\pm$ 1.48
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	121.18 $\pm$ 1.13 ^{*,#,a,o}	110.88 $\pm$ 2.21 ^{*,a,k,m,o}	97.66 $\pm$ 1.09 ^m
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	132.65 $\pm$ 2.64 ^{*,#,a,d,m,o,p}	112.67 $\pm$ 2.06 ^{*,a,d,k,m,o}	97.48 $\pm$ 2.13 ^{d,m}
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	133.74 $\pm$ 2.34 ^{*,#,a,d,m,o,p}	113.06 $\pm$ 2.48 ^{*,a,d,k,m,o}	95.92 $\pm$ 1.05 ^{a,d,k,m,o}
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	137.74 $\pm$ 2.08 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,s}	121.67 $\pm$ 2.26 ^{*,a,d,k,m,o,p}	110.04 $\pm$ 1.87 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	138.06 $\pm$ 1.89 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,s}	123.01 $\pm$ 2.10 ^{*,a,d,k,m,o,p}	111.41 $\pm$ 1.55 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	141.59 $\pm$ 2.45 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,r,s}	125.72 $\pm$ 2.40 ^{*,a,d,k,m,o,p}	112.68 $\pm$ 2.12 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}

ตารางที่ 25 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	115.55 ± 1.83 ^{*,#,a}	109.16 ± 1.87 ^{*,a}	101.94 ± 0.77 ^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	123.19 ± 1.75 ^{*,#,a,d}	103.07 ± 1.95	103.01 ± 0.80 ^a
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	124.91 ± 1.67 ^{*,#,a,d}	93.77 ± 1.98 ^{*,a,d,k}	103.77 ± 1.53 ^a
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	116.22 ± 1.02 ^{*,#,a,k,m}	93.61 ± 1.46 ^{*,a,d,k}	102.12 ± 1.62
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	111.43 ± 1.3 ^{*,a,k,m,o}	107.41 ± 2.16 ^{*,a,m,o}	100.54 ± 2.20
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	117.86 ± 1.02 ^{*,#,a,k,m,p}	105.74 ± 1.60 ^{*,a,m,o}	100.11 ± 0.61 ^{d,k,m}
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	132.23 ± 2.06 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,r}	106.00 ± 2.00 ^{*,a,m,o}	98.70 ± 0.94 ^{d,k,m}
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	137.28 ± 1.25 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,r,s}	108.03 ± 2.02 ^{a,m,o}	110.41 ± 1.41 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	132.15 ± 1.72 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,r,s,t}	119.16 ± 1.89 ^{a,d,k,m,o,p,r,s,t}	118.96 ± 1.79 ^{a,d,k,m,o,p,r,s,t}
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	136.30 ± 1.51 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,r,s,u}	121.30 ± 1.94 ^{a,d,k,m,o,p,r,s,t}	119.85 ± 1.76 ^{a,d,k,m,o,p,r,s,t}

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 25 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 302.70 ± 41.37 , 341.90 ± 44.81 และ 377.80 ± 50.16 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมงและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$) และตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC ที่เหมือนกัน คือ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่ามีความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเป็นลำดับต่อเนื่อง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ MVIC หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 น้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยที่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่ามีความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเป็นลำดับต่อเนื่อง ($p<0.05$)

2. ค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 338.30 ± 50.47 , 406.10 ± 60.30 และ 438.50 ± 43.24 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าทุกกลุ่ม ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าทุกกลุ่ม ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) นอกจากนี้หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ถึง 5 พบว่ากลุ่ม กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าทุกกลุ่ม ส่วนกลุ่ม

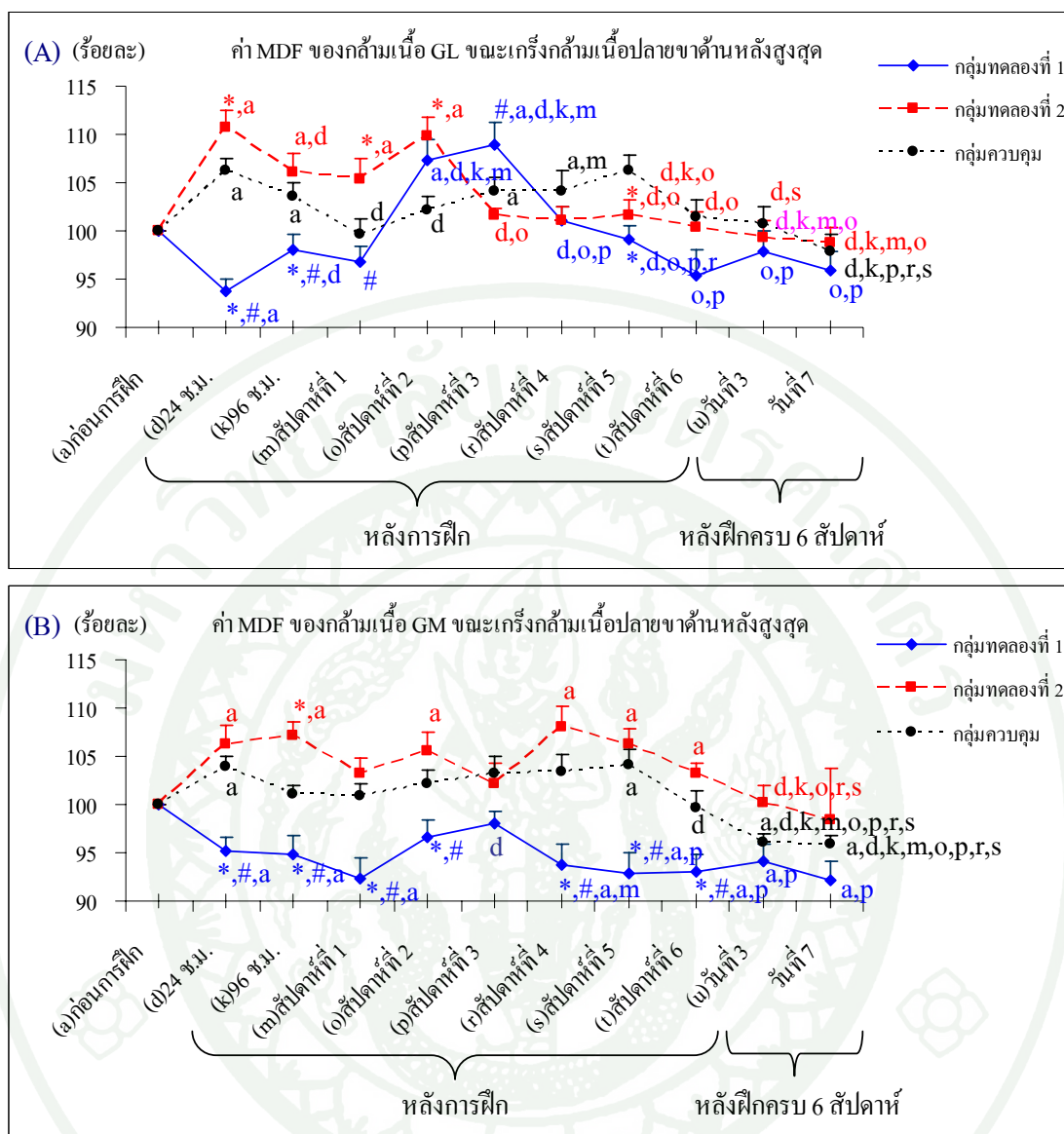
ทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่ามีค่าแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเป็นลำดับต่อเนื่อง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง มากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) แต่พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก และหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง ($p<0.05$) นอกจากนี้ตั้งแต่หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่ามีค่าแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเป็นลำดับต่อเนื่อง ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 มากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 5 มีค่าน้อยลงกว่าหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ($p<0.05$) ทั้งนี้ค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ MVIC วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึก และทุกช่วงเวลา ($p<0.05$)

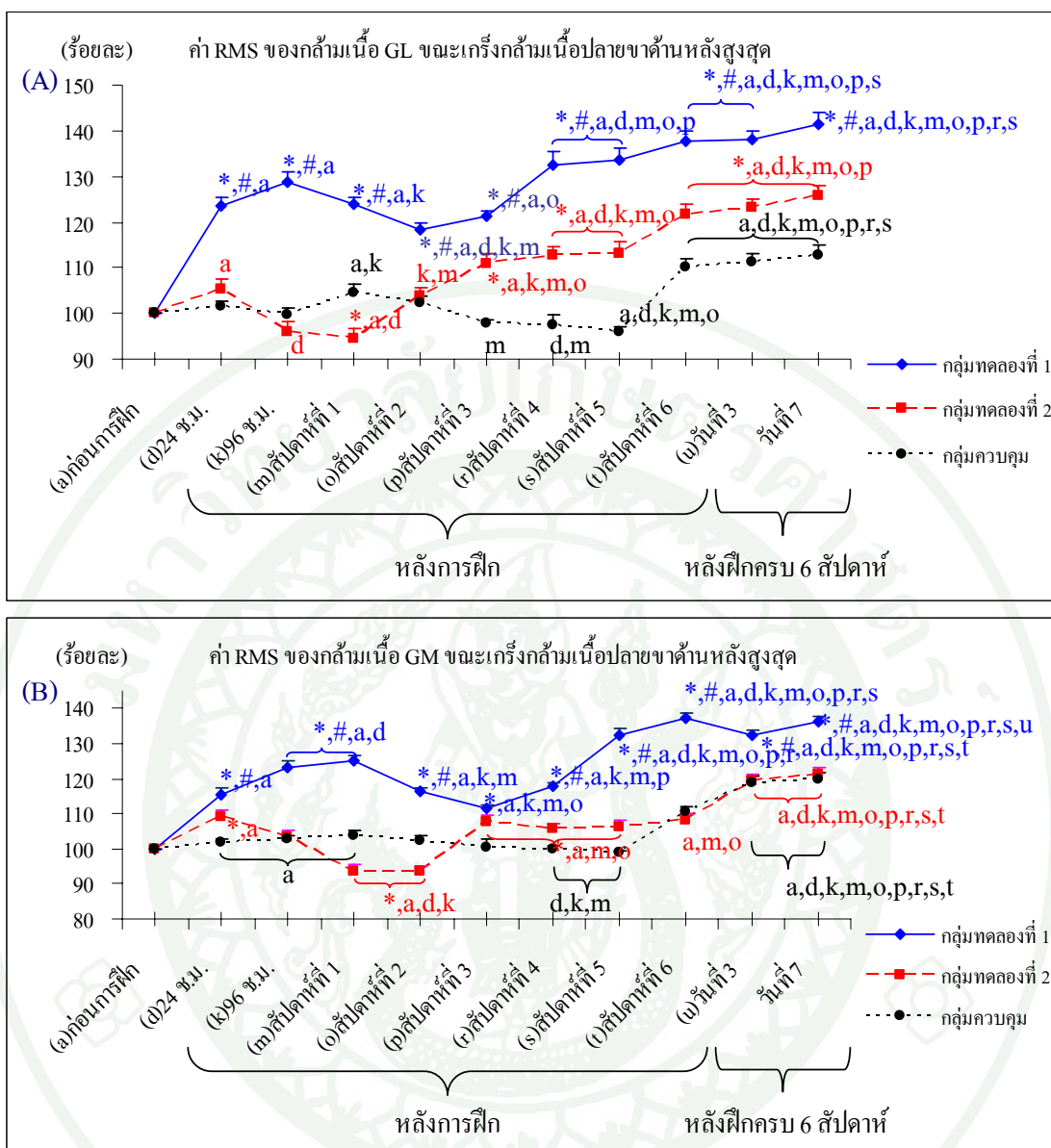


หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 29 ร้อยละ MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาต้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 30 ร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL (A) และ GM (B) ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

จากภาพที่ 29 และภาพที่ 30 แสดงค่าร้อยละ MDF และค่า RMS ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะแยกการอธิบายเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วงสัปดาห์แรก จะพบว่ารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ GL และ GM จะเหมือนกัน จึงสรุปผลร่วมกัน คือ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ MDF ลดลง และค่าร้อยละ RMS เพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละ MDF และค่า RMS เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการระดมหน่วยยนต์ยังคงมีอยู่ (Day *et al.*, 1998) นั่นคือหลังการฝึกพลัยโอเมตริกในงานวิจัยนี้มีผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียหายไม่มาก ซึ่งสอดคล้องกับระดับ CK และ LDH ในเลือด (ตารางที่ 18) หลังการฝึกที่มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าปกติเล็กน้อยเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มเช่นกัน (ภาพที่ 26) และจากการที่กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าการระดมหน่วยยนต์ รวมถึงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ มากกว่ากลุ่มอื่น แสดงว่ากิจกรรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำส่งผลให้การฟื้นตัวจากกล้ามเนื้อเสียหายได้เร็วขึ้น สำหรับการเพิ่มขึ้นของร้อยละ DMF ในกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม นั้น เนื่องจากการเสียหายของกล้ามเนื้อมีมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ดังจะเห็นได้จากค่า RMS มีร้อยละของการเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 1 เมื่อต้องออกแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับสูงสุดจึงต้องชดเชยด้วยการเพิ่มอัตราการระดมหน่วยยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Enoka (1995) พบว่ากล้ามเนื้อสามารถเพิ่มแรงในการหดตัวได้ถึงร้อยละ 300 ถึง 1500 หากเพิ่มอัตราการระดมกล้ามเนื้อจนถึงระดับสูงสุด นอกจากนี้ Felici (2006) ได้กล่าวว่า ขณะที่กล้ามเนื้อออกแรงหดเกร็งตัวที่ระดับสูงสุด (MVIC) ขนาดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ซึ่งแสดงถึงจำนวนหน่วยยนต์ที่ถูกระดมเพื่อการทำงานจะลดลงเร็วกว่าค่าอัตราการระดมหน่วยยนต์ และหากการหดตัวของกล้ามเนื้อยังคงต่อเนื่องยังส่งผลให้อัตราการระดมหน่วยยนต์เพิ่มมากขึ้น

2. ช่วงสัปดาห์ที่ 2 ถึง 5 จะพบว่าค่าร้อยละ MDF ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงไม่ไปในทิศทางเดียวกัน ดังจะเห็นได้จากกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL เพิ่มสูงขึ้น ส่วนกลุ่มกล้ามเนื้อ GM มีค่าต่ำกว่าก่อนการฝึกเช่นเดียวกับช่วงสัปดาห์ที่ 1 การเพิ่มขึ้นของร้อยละ MDF ในกลุ่มกล้ามเนื้อ GL อาจเนื่องจากกล้ามเนื้อมีการเสียหายหรือมีความล้าจากการฝึกมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มกล้ามเนื้อ GL มีความเกี่ยวข้องกับการออกแรงในการเคลื่อนไหวและเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็วในโปรแกรมการฝึกฟุตบอล ซึ่งไม่สามารถควบคุมรูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อได้ จึงทำให้กล้ามเนื้อ GL มีการทำงานมากกว่า

กล้ามเนื้อ GM ส่วนค่า RMS ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงลดลงจากสัปดาห์แรกแต่ยังคงมีค่าสูงกว่าก่อนการฝึก อาจเนื่องจากมีความล้าเกิดขึ้นมากขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับค่าร้อยละ MDF และ RMS ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะมีแปรผันแตกต่างกันเพื่อชดเชยให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวเพื่อให้ได้แรงสูงสุด ดังการเปลี่ยนแปลงแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อของทุกกลุ่มที่ยังคงมีค่าสูงกว่าก่อนการฝึก (ภาพที่ 26) ทั้งนี้ลักษณะการทำงานที่ชดเชยกันดังกล่าวเข้าหลักของการพัฒนาเพื่อจะทำให้แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น คือ การประสานสัมพันธ์ของหน่วยยนต์ (motor unit coordination) (Brooks *et al.*, 2005)

3. ช่วงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 จะพบว่ารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ GL และ GM จะเหมือนกัน และทุกกลุ่มมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ไปในทางเดียวกัน คือ ค่าร้อยละ MDF ลดลง และร้อยละ RMS เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงจะมากที่สุดเมื่อวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ โดยพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของร้อยละ MDF ลดลงมากที่สุด และร้อยละ RMS เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาได้จะเป็นกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมตามลำดับ สอดคล้องกับ Hortobagyi *et al.* (1996) พบว่าการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกจะส่งผลให้คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นมากกว่าการฝึกแบบกล้ามเนื้อหดตัวแบบหดสั้นเข้า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงร้อยละแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อ (ภาพที่ 26) ดังที่ Brooks *et al.* (2005) กล่าวว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นหลังการฝึกในช่วง 4 ถึง 6 สัปดาห์ เป็นผลจากการปรับตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวนการระดมหน่วยยนต์ สำหรับอัตราการระดมหน่วยยนต์จะเกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดแรง เช่น การเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว การวิ่งเร็ว และการกระโดดเป็นต้น ดังนั้นการออกแรงสูงสุดจึงไม่แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการระดมหน่วยยนต์ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 26 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	98.43 $\pm$ 2.64 [#]	107.17 $\pm$ 1.76 ^a	102.52 $\pm$ 1.87
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	98.46 $\pm$ 3.31	103.22 $\pm$ 1.53	101.22 $\pm$ 1.67
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	97.52 $\pm$ 1.75 [#]	104.06 $\pm$ 1.45	100.20 $\pm$ 1.32
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	99.66 $\pm$ 1.72 [#]	105.15 $\pm$ 1.46 ^a	101.40 $\pm$ 0.81
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	98.53 $\pm$ 3.53	104.72 $\pm$ 2.26	104.20 $\pm$ 1.89
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	98.53 $\pm$ 1.74	101.89 $\pm$ 1.98	103.83 $\pm$ 2.81 ^{a,d}
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	95.50 $\pm$ 2.46 ^{*,#}	104.97 $\pm$ 2.84	103.63 $\pm$ 1.82
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	96.96 $\pm$ 2.37 ^{*,#}	106.13 $\pm$ 1.75 ^a	104.67 $\pm$ 2.48
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	94.54 $\pm$ 3.09 ^{*,#}	104.72 $\pm$ 1.42 ^a	102.70 $\pm$ 2.59 ^{a,d,o}
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	95.10 $\pm$ 2.74 ^a	102.92 $\pm$ 2.33	99.97 $\pm$ 1.88 ^{s,u}

ตารางที่ 26 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ความชื้นของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.08 ± 0.08	-0.21 ± 0.17	-0.21 ± 0.21
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.03 ± 0.31	-0.11 ± 0.12	-0.33 ± 0.09^a
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	-0.24 ± 0.11	-0.31 ± 0.15	-0.30 ± 0.11
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	-0.12 ± 0.09	-0.15 ± 0.11	-0.27 ± 0.07^a
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	-0.27 ± 0.09	-0.27 ± 0.11	$-0.43 \pm 0.14^{a,m}$
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	-0.01 ± 0.20	$-0.23 \pm 0.18^{a,k,s}$	-0.28 ± 0.08^a
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	-0.14 ± 0.09	-0.18 ± 0.12	-0.31 ± 0.13^a
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	$-0.32 \pm 0.11^\#$	$-0.63 \pm 0.07^{a,k,s}$	-0.45 ± 0.06^a
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	-0.19 ± 0.20	-0.25 ± 0.23	-0.41 ± 0.14
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	-0.33 ± 0.13	-0.56 ± 0.11	-0.46 ± 0.11

ตารางที่ 26 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	91.15 ± 3.00 ^{*,#,a}	108.33 ± 2.77 ^a	103.63 ± 3.13
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	85.29 ± 2.43 ^{*,#,a}	106.68 ± 2.73 [*]	99.05 ± 2.31
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	88.34 ± 3.12 ^{*,#,a}	109.69 ± 2.81 ^{*,a,k}	108.04 ± 2.24 ^{a,d,k}
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	83.65 ± 2.03 ^{*,#,a}	113.01 ± 2.57 ^{*,a}	103.15 ± 2.26 ^{a,k}
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	92.90 ± 3.10 ^{*,#}	111.04 ± 2.52 ^a	108.90 ± 3.17 ^k
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	93.38 ± 2.11 ^{*,#,k,o}	109.08 ± 2.43 ^a	107.72 ± 1.85 ^{a,k}
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	89.84 ± 3.15 ^{*,#,a}	114.84 ± 2.59 ^a	108.44 ± 1.70 ^{a,k}
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	91.02 ± 3.02 ^{*,#,a}	116.22 ± 1.47 ^{a,d,k,p,r}	110.99 ± 1.67 ^{a,k,o}
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	91.94 ± 2.47 ^{*,#,a,k,o}	115.95 ± 2.16 ^{*,a,d,k,p,r}	107.18 ± 2.46
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	90.78 ± 2.60 ^{*,#,a}	112.95 ± 1.52 ^{a,k,p,r,t}	106.53 ± 2.99 ^k

ตารางที่ 26 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.25 ± 0.12	-0.29 ± 0.17	-0.35 ± 0.15^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.10 ± 0.19	-0.28 ± 0.19	-0.40 ± 0.11
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	-0.15 ± 0.16	-0.19 ± 0.13	-0.32 ± 0.26
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	$-0.22 \pm 0.15^{*,\#}$	-0.63 ± 0.09^a	-0.68 ± 0.07^a
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	-0.18 ± 0.18	$-0.59 \pm 0.08^{a,m}$	$-0.56 \pm 0.24^{a,k}$
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	-0.32 ± 0.11	-0.62 ± 0.18^a	-0.32 ± 0.34
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	-0.25 ± 0.16	-0.43 ± 0.14	-0.36 ± 0.20
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	-0.15 ± 0.19^s	-0.47 ± 0.13^a	$-0.48 \pm 0.08^{a,o}$
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	$-0.26 \pm 0.19^{k,t}$	-0.52 ± 0.08^a	-0.29 ± 0.09^a
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	-0.33 ± 0.16	-0.67 ± 0.29	-0.44 ± 0.17^a

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 26 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 127.66 ± 7.83 , 129.09 ± 9.31 และ 124.29 ± 9.09 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ($p<0.05$) ส่วนหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และ 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สามารถสรุปได้ดังนี้

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีเพียงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ที่มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ลดลงแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ที่มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$)

-ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และพบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์มีค่าลดลงต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -0.45 ± 0.04 , -0.59 ± 0.06 และ -0.53 ± 0.07 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามีเพียงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ที่กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และ

กลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงภายในกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีอย่างน้อยหนึ่งช่วงเวลาหลังการฝึกที่ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถสรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 6 แตกต่างจากก่อนการฝึก หลังการฝึก 96 ชั่วโมง และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ($p < 0.05$)
- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 4 5 และ 6 แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) ทั้งนี้ยังพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ยังมีค่าแตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ($p < 0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 135.97 ± 12.58 , 118.95 ± 10.99 และ 115.48 ± 6.17 เฮอร์ตซ์ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC น้อยกว่าทุกกลุ่ม ($p < 0.05$) ทั้งนี้ยังพบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สามารถสรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC ทุกช่วงเวลาน้อยกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) ยกเว้นหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่ไม่ต่างจากก่อนการฝึก ($p > 0.05$)
- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง ทุกช่วงเวลาแตกต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) โดยเฉพาะหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ที่พบว่ามีค่าแตกต่างตามลำดับช่วงเวลา ($p < 0.05$)
- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 4 5 และ 6 มากกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$)

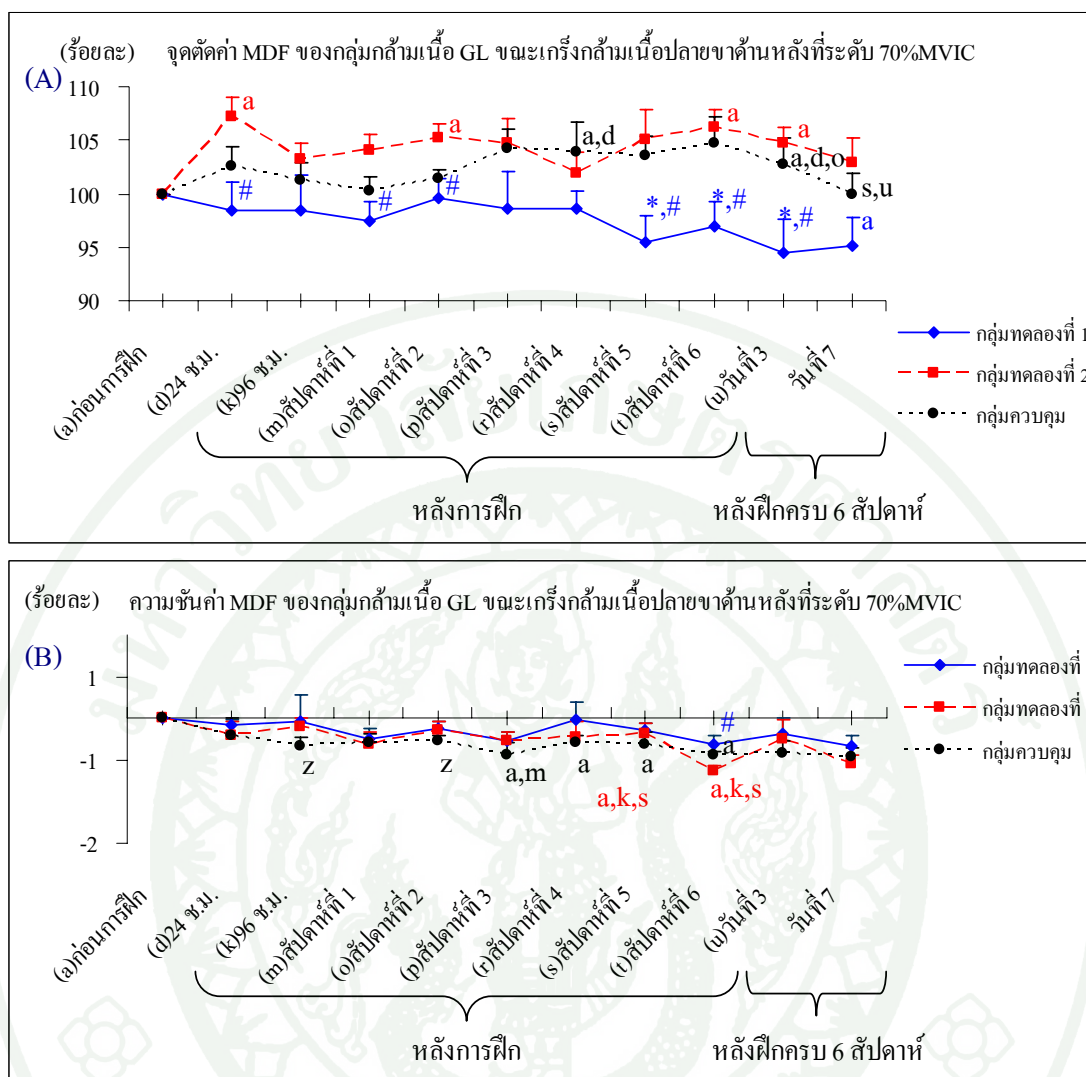
4. ค่าความชันของค่า MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ -0.51 ± 0.05 , -0.58 ± 0.06 และ -0.69 ± 0.08 เอิร์ตซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามีเพียงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 มีค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 ต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ($p<0.05$) และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมงและหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ($p<0.05$)

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยเฉพาะหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ($p<0.05$)

-ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าความชันของค่าร้อยละ MDF ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) ทั้งนี้พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีค่าต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ($p<0.05$)

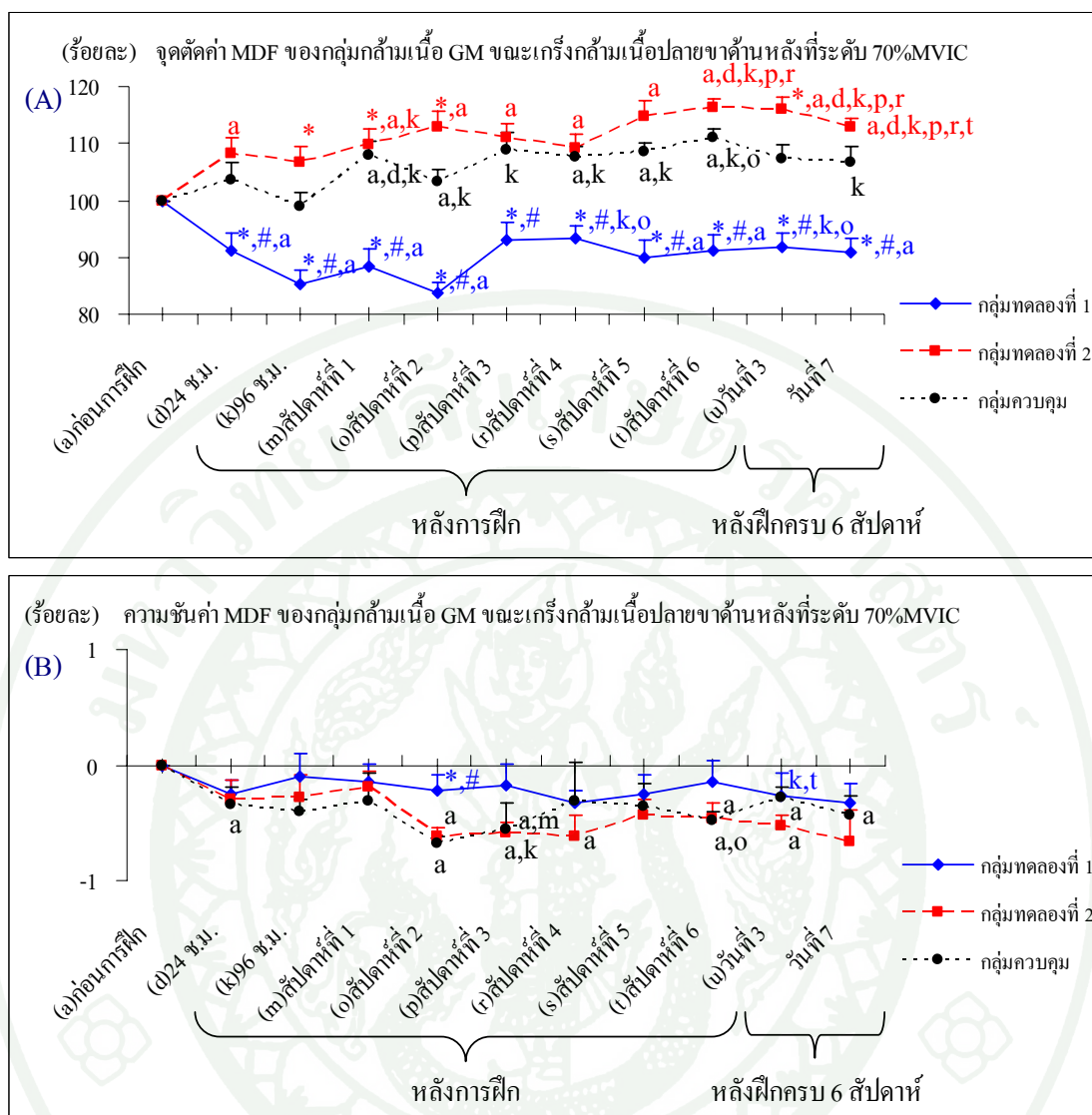


หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 31 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 32 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า MDF กลุ่มกล้ามเนื้อ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

ตารางที่ 27 ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\bar{x} \pm S.E.$) จุดตัดและความชันของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยคิดเป็นค่าร้อยละระหว่างก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

(หน่วย: ร้อยละ)			
ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	109.02 $\pm$ 7.51	91.23 $\pm$ 5.72	91.83 $\pm$ 8.08
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	115.76 $\pm$ 2.32 ^{*,#,a}	89.2 $\pm$ 2.36 ^a	93.35 $\pm$ 2.35
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	105.26 $\pm$ 1.73 ^{*,#,k}	86.49 $\pm$ 1.98 ^a	93.52 $\pm$ 3.43 ^a
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	103.68 $\pm$ 2.18 ^{*,#,k}	81.31 $\pm$ 2.68 ^{*,a}	90.55 $\pm$ 2.73 ^a
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	112.35 $\pm$ 1.65 ^{*,#,a,m}	101.62 $\pm$ 1.65 ^{k,m,o}	97.33 $\pm$ 0.95
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	110.16 $\pm$ 1.99 ^{*,a}	105.42 $\pm$ 1.24 ^{a,k,m,o,p}	102.67 $\pm$ 2.51
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	107.48 $\pm$ 1.36 ^{*,#,a,k}	102.25 $\pm$ 1.70 ^{*,k,m,o}	95.89 $\pm$ 0.81 ^{a,o}
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	104.04 $\pm$ 1.17 ^{*,#,a,k,p,s}	98.59 $\pm$ 0.74 ^{*,k,m,o,r}	94.93 $\pm$ 1.51 ^a
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	106.55 $\pm$ 1.81 ^{*,a,k}	101.87 $\pm$ 2.14 ^{k,m,o,t}	97.42 $\pm$ 1.63
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	110.74 $\pm$ 1.84 ^{*,#,a,o,t}	102.94 $\pm$ 2.76 ^{k,m,o}	101.09 $\pm$ 2.13 ^o

ตารางที่ 27 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.37 ± 0.17	-0.65 ± 0.28	-0.66 ± 0.34
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.20 ± 0.38	-0.33 ± 0.17	-0.54 ± 0.28
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	-0.15 ± 0.24	-0.06 ± 0.28	-0.20 ± 0.24
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	-0.17 ± 0.33	-0.03 ± 0.22	-0.34 ± 0.13
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	-0.34 ± 0.18	-0.49 ± 0.12^a	-0.56 ± 0.12
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	-0.49 ± 0.07^a	-0.56 ± 0.19	$-0.61 \pm 0.27^{a,m}$
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	$-0.74 \pm 0.14^{a,m}$	$-0.97 \pm 0.23^{a,k}$	-0.60 ± 0.22
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	$-0.66 \pm 0.09^{*,\#,a}$	$-0.99 \pm 0.13^{a,k,m,o,p}$	$-1.03 \pm 0.08^{a,m,o}$
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	-0.56 ± 0.19	$-0.81 \pm 0.12^{a,o,t}$	$-0.77 \pm 0.13^{a,o,p}$
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	$-0.21 \pm 0.12^{*,s,t}$	-0.58 ± 0.26	$-0.88 \pm 0.14^{a,o}$

ตารางที่ 27 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)			
ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>จุดตัดของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	103.16 ± 1.15 ^{*,#}	88.26 ± 2.74 ^a	92.73 ± 2.60
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	112.40 ± 2.10 ^{*,#,a,d}	98.34 ± 2.30	95.50 ± 2.36
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	112.09 ± 1.69 ^{*,#,a,d}	87.76 ± 3.15 ^{a,m}	91.81 ± 2.25
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	115.11 ± 1.96 ^{*,#,a,d}	82.89 ± 1.64 ^{*,a,d,m}	92.49 ± 2.08 ^a
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	107.03 ± 2.17 ^{*,#,a,k,m,o}	89.82 ± 1.75 ^{*,a,m,o}	100.11 ± 1.16 ^{m,o}
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	112.47 ± 3.03 ^{*,#,a,p}	90.87 ± 2.21 ^{a,m}	98.20 ± 2.67
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	125.55 ± 1.40 ^{*,#,a,d,k,m,o,p,r}	88.14 ± 2.39 ^{*,a,o}	95.11 ± 1.90
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	118.55 ± 1.29 ^{*,#,a,d,m,p}	97.07 ± 2.73 ^{*,d,o}	109.25 ± 1.27 ^{a,d,k,m,o,p,r,s}
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	121.37 ± 1.94 ^{*,#,a,d,m,p,r}	92.66 ± 2.69 ^o	97.84 ± 2.71
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	118.41 ± 2.77 ^{*,#,a,d,p}	90.00 ± 1.63 ^{*,a,o}	107.5 ± 2.15 ^{a,d,k,m,o,r,s}

ตารางที่ 27 (ต่อ)

(หน่วย: ร้อยละ)

ช่วงเวลาการทดสอบ	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
<u>ความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70% MVIC</u>			
(a) ก่อนการฝึก	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
(d) หลังการฝึก 24 ชั่วโมง	-0.18 ± 0.09	-0.30 ± 0.12	-0.31 ± 0.09^a
(k) หลังการฝึก 96 ชั่วโมง	-0.38 ± 0.14^a	-0.45 ± 0.17	-0.47 ± 0.08^a
(m) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1	-0.25 ± 0.28	$-0.26 \pm 0.26^{a,d}$	-0.44 ± 0.09^a
(o) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2	-0.46 ± 0.08^a	-0.52 ± 0.08^a	-0.61 ± 0.13^a
(p) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3	-0.36 ± 0.11^a	-0.38 ± 0.13	-0.44 ± 0.13
(r) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4	-0.38 ± 0.29	-0.41 ± 0.21	-0.59 ± 0.17
(s) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5	-0.46 ± 0.15^a	$-0.63 \pm 0.14^{a,p}$	-0.62 ± 0.26
(t) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6	-0.39 ± 0.08^a	-0.54 ± 0.09^a	-0.67 ± 0.19^s
(u) วันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	-0.56 ± 0.14^a	-0.57 ± 0.12^a	-0.59 ± 0.22
วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์	-0.52 ± 0.09^a	-0.58 ± 0.07^a	-0.56 ± 0.08^a

หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานค่าร้อยละจุดตัดและความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC สรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 185.86 ± 23.95 , 215.64 ± 27.92 และ 225.72 ± 24.23 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ หลังการฝึก 96 ชั่วโมงจนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC มากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) อีกทั้งพบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 5 6 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 5 และ 6 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าต่างจากกลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สามารถสรุปได้ดังนี้

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ที่มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$)

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 และ 2 น้อยกว่าก่อนการฝึก ($p<0.05$) และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 จะมีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่ามากกว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ($p<0.05$)

-ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 5 และ 6 ลดลงต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$)

2. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.62 ± 0.07 , 0.63 ± 0.05 และ 0.72 ± 0.07 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ

70%MVIC ต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์กลุ่มทดลองที่ 1 ต่างจากกลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GL ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สามารถสรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 5 และ 6 แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่มีค่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 5 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) โดยเฉพาะหลังการฝึกสัปดาห์ 6 มีค่าต่างจากหลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ($p<0.05$)

- ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 6 และ วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ แตกต่างจากก่อนการฝึก ($p<0.05$) และมีบางช่วงเวลามีค่าต่างจากช่วงเวลาอื่น ($p<0.05$)

3. ค่าจุดตัดของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 202.63 ± 25.40 , 245.61 ± 34.19 และ 253.43 ± 28.46 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ หลังการฝึก 24 ชั่วโมงจนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC มากกว่าทุกกลุ่ม ($p<0.05$) อีกทั้งพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 5 6 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สามารถสรุปได้ดังนี้

- ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 96 ชั่วโมงจนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก

($p < 0.05$) โดยพบว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 มีค่ามากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่ามีหลายช่วงเวลาที่มียค่าต่างจากช่วงเวลาอื่น ($p < 0.05$)

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 24 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์น้อยกว่าก่อนการฝึก ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่ามีหลายช่วงเวลาที่มียค่าต่างจากช่วงเวลาอื่น ($p < 0.05$)

-ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าจุดตัดของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ลดลงต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ มีค่ามากขึ้นต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่ามีหลายช่วงเวลาที่มียค่าต่างจากช่วงเวลาอื่น ($p < 0.05$)

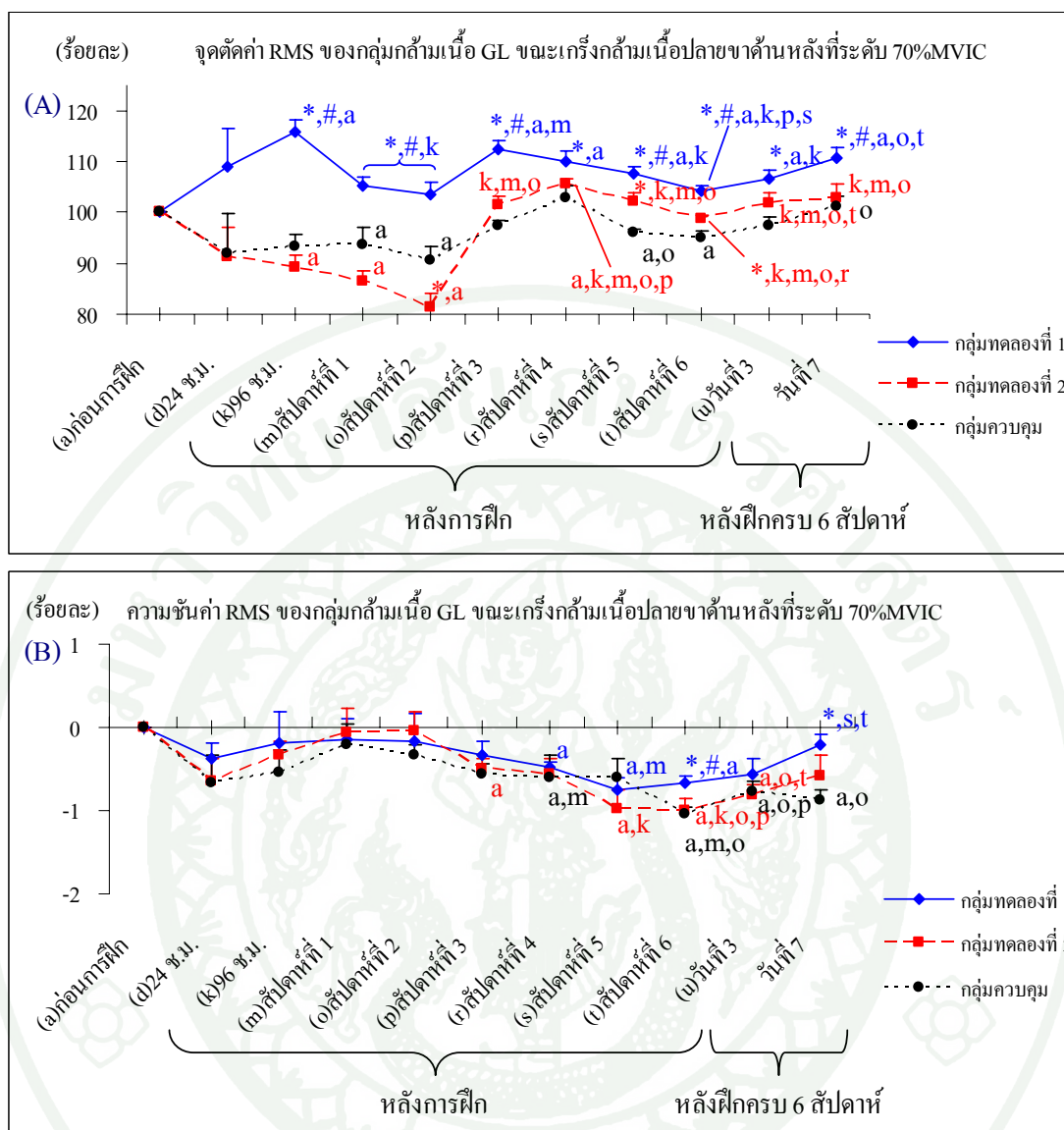
4. ค่าความชันของค่า RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าปกติเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งนี้พบว่าก่อนเปลี่ยนเป็นค่าปกติระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.63 ± 0.08 , 0.67 ± 0.05 และ 0.56 ± 0.05 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าทุกช่วงเวลาหลังการฝึก ค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มไม่ต่างกัน ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC ระหว่างก่อนการฝึกกับหลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม สรุปได้ดังนี้

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 5 6 และ วันที่ 3 วันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$)

-ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 5 6 และวันที่ 3 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$)

-ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าความชันของค่าร้อยละ RMS ของกล้ามเนื้อ GM ที่ระดับ 70%MVIC หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ต่างจากก่อนการฝึก ($p < 0.05$)



หมายเหตุ * แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรที่เส้นกราฟ หมายถึง แตกต่างจากช่วงเวลาการทดสอบที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ในวงเล็บภายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 33 ร้อยละจุดตัด (A) และความชัน (B) ของค่า RMS กลุ่มกล้ามเนื้อ GL ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 2 3 4 5 6 และวันที่ 3 วันที่ 7 หลังฝึกครบ 6 สัปดาห์

จากข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับ 70% MVIC ต่อเนื่องเป็นเวลา 16 วินาที ที่เปลี่ยนเป็นค่าปกติหรือค่าร้อยละ ไปคำนวณเป็นค่าจุดตัด และค่าความชันในสมการถดถอยและวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ผลตามตารางที่ 26 และ 27 และภาพที่ 31 ถึง 34 พบว่าจุดตัดและความชันของค่า MDF กล้ามเนื้อ GL และ GM มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน เช่นเดียวกับจุดตัดและความชันของค่า RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละจุดตัด MDF และ RMS ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีทิศทางตรงกันข้าม คือ ค่าร้อยละจุดตัด MDF จะลดลงจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลา ส่วนค่าร้อยละจุดตัด RMS มีการเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลาของการทดสอบ สำหรับกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมจะมีผลตรงกันข้าม คือ ค่าร้อยละจุดตัด MDF จะเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลาการทดสอบ ส่วนค่าร้อยละจุดตัด RMS มีการลดลงในช่วงสัปดาห์แรกมากที่สุดและจะค่อยเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไป ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmadi *et al.* (2007) ที่พบว่าค่าจุดตัด MDF ที่ระดับการออกแรง 50% MVIC และ 80% MVIC หลังการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกลดลง ทั้งนี้มีรูปแบบของการทดลองที่ต่างจากงานวิจัยนี้ คือ เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังการฝึกโดยไม่มีกิจกรรมการคลายอุ่น และระดับการออกแรงที่ 80% MVIC จะคำนวณจากค่า MVIC ของการทดสอบแต่ละครั้ง ซึ่งงานวิจัยนี้จะคำนวณจากค่า MVIC ที่ได้จากก่อนการฝึก แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละจุดตัด MDF และ RMS จากการออกแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC ต่อเนื่องเป็นเวลา 16 วินาที ของการศึกษานี้ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ขณะออกแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อสูงสุด (ภาพที่ 29 และ 30) เนื่องเป็นระดับการออกแรงที่ใกล้เคียงกัน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงและการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละจุดตัด MDF และ RMS มีความเกี่ยวข้องกับระดับการเสียหายของกล้ามเนื้อ กล่าวคือหากกล้ามเนื้อมีการเสียหายมากจะไม่สามารถระดมหน่วยยนต์เพิ่มขึ้นได้จึงต้องมีการเพิ่มอัตราการระดมหน่วยยนต์เพื่อเป็นการชดเชยและรักษาระดับการออกแรงให้ได้ตามระดับที่กำหนด ซึ่งในที่นี้คือการออกแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC ต่อเนื่องเป็นเวลา 16 วินาที ดังที่ Day *et al.* (1998) กล่าวว่าค่าที่ค่า RMS ไม่เปลี่ยนแปลง หรือมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกแสดงถึงความสามารถระดมหน่วยยนต์ยังคงมีอยู่ ซึ่งจะอธิบายได้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีการเสียหายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นน้อยกว่า หรือการฟื้นตัวจากการเสียหายได้เร็วกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

สำหรับค่าร้อยละจุดตัด MDF ที่ลดลงในกลุ่มทดลองที่ 1 ไม่ได้หมายความว่าความถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวเร็ว เหมือนเช่นการศึกษาของ Ahmad *et al.* (2007) ที่พบว่าค่าจุดตัด MDF หลังการออกกำลังกายแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออกลดลง เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับการเสียหายของเส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวเร็ว ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าร้อยละเป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงหลังจากการฝึก จึงเป็นภาพรวมของอัตราการระดมหน่วยยนต์ ที่ไม่สามารถแยกเป็นช่วงความถี่สูงและต่ำที่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์เพื่อจะใช้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงว่ามาจากการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวเร็วหรือช้า

2. การเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละความชัน MDF และ RMS ใช้เพื่อการอธิบายถึงอัตราการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของค่า MDF และ RMS จากการทดสอบแต่ละช่วงเวลา พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีค่าร้อยละความชัน MDF หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 4 และ 5 ลดลงมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่าถึง ขณะออกแรงในการหดเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ 70% MVIC เป็นเวลา 16 วินาที มีอัตราการระดมหน่วยยนต์ลดลง การลดลงมากแสดงถึงกล้ามเนื้อเกิดความล้ามากซึ่งในงานวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องกับการเสียหายของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการฝึกพลัยโอเมตริกและโปรแกรมการฝึกฟุตบอล แสดงว่ากิจกรรมคลายอุ่นของกลุ่มทดลองที่ 1 ช่วยให้กระบวนการฟื้นตัวจากการเสียหายของกล้ามเนื้อเร็วขึ้น ส่วนค่าร้อยละความชัน RMS ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลของการวิ่งในน้ำลึกหลังการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย แยกออกเป็น 2 การศึกษา การศึกษาแรกเป็นการศึกษาการตอบสนองของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย จากการคลายอุ่นด้วยวิธีการต่างกันภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก คือ กลุ่มทดลองที่ 1 คลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึก ร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ กลุ่มทดลองที่ 2 คลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และกลุ่มควบคุม คลายอุ่นด้วยการนั่งพักร่วมกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ โดยมีระยะเวลาของการศึกษา 1 สัปดาห์ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายจากโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก ร่วมกับโปรแกรมการฝึกฟุตบอล (วันจันทร์ และวันพฤหัสบดี) และฝึกโปรแกรมฟุตบอล (วันอังคาร วันพุธ และวันศุกร์) โดยใช้กิจกรรมคลายอุ่นเช่นเดียวกับการศึกษาที่ 1 ภายหลังการฝึกซ้อมในแต่ละวัน ทั้งนี้ติดตามการเปลี่ยนแปลงในช่วงของโปรแกรมการฝึกซ้อมเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และหลังหยุดโปรแกรมการฝึกเป็นเวลา 3 วัน และ 7 วัน สรุปผลการวิจัยจากการศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2 ร่วมกันเกี่ยวกับการตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย โดยแยกตามตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังนี้

1. ระดับ CK และ LDH ในเลือด

ในภาพรวมของการศึกษาที่ 1 และ 2 พบว่าระดับ CK และ LDH ในเลือด หลังการฝึก พลัยโอเมตริกเพิ่มมากที่สุด ระหว่าง 36 ถึง 84 ชั่วโมง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 288.10 ถึง 508.00 ยูนิต/ลิตร และ 295.70 ถึง 335.70 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้จะพบว่ากลุ่มควบคุม มีระดับ CK ในเลือดเพิ่มมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนระดับ LDH ของทั้ง 3 กลุ่มไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อมีการฝึกพลัยโอเมตริกซ้ำเป็นวันที่ 2 ภายในสัปดาห์แรกของการฝึกพบว่า กลุ่มควบคุมจะมีระดับ CK และ LDH เพิ่มมากขึ้นกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มทดลองที่ 1 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าหลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ และหลังหยุดโปรแกรมการฝึกเป็นเวลา 3 วัน และ 7 วัน กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีระดับ CK และ LDH ในเลือดน้อยกว่าก่อนการฝึก โดยเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1 ที่พบว่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อ

มีการปรับตัวต่อการฝึกซ้ำได้ดีในกลุ่มที่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหวโดยเฉพาะการวิ่งในน้ำลึกซึ่งไม่มีแรงกระทำกับกล้ามเนื้อและเอ็นขณะมีการเคลื่อนไหว

2. ความอ่อนตัว ได้แก่ ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า โดยแยกสรุปผลในแต่ละตัวแปรดังนี้

2.1 ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า หลังการฝึก 30 นาที ของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม มีค่าลดลง ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นเพียงเล็กน้อยและไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม และระหว่างก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจากหลังการฝึกพลัยโอเมตริกกลุ่มตัวอย่างจะทำการคลายอุ่นก่อนที่จะทำการทดสอบ จึงทำให้ผลของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากการวิ่งเหยาะส่งผลให้กล้ามเนื้อมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น แต่หลังจากการฝึก 24 ชั่วโมงเป็นต้นไปจะพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก และเพิ่มมากที่สุดในวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ส่วนกลุ่มควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกช่วงเวลาของการทดสอบ

การเปลี่ยนแปลงความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้าอาจเป็นตัวแปรที่ไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวบ่งชี้ของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายหลังจากการฝึกพลัยโอเมตริก เพราะรูปแบบของการทดสอบจะเป็นการวัดความยืดหยุ่นตัวของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวข้อต่อหลายส่วน ที่สำคัญได้แก่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง และกล้ามเนื้อหลัง แต่การฝึกพลัยโอเมตริกซึ่งใช้รูปแบบของการกระโดดเป็นหลัก มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเป็นส่วนใหญ่

2.2 ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและงอข้อเท้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าลดลงในช่วงแรก คือ หลังการฝึก 30 นาที และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังการฝึก 48 ชั่วโมง ถึง 96 ชั่วโมง ทั้งนี้พบว่ามีเพียงช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้าของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ในทุกช่วงเวลาลงการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการเปลี่ยนแปลงจะพบได้ในการศึกษาที่ 1 เท่านั้น ส่วนการศึกษาที่ 2 พบว่าหลังการฝึก 24 ชั่วโมง จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าของทุกกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับ 0.05 ส่วนช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้าของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึก โดยพบว่า หลังการฝึก 24 และ 96 ชั่วโมง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สำหรับการเปลี่ยนแปลงช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าจะไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม และมีแนวโน้มที่กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม จะมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากในแต่ละกลุ่มมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ จึงช่วยให้ความยืดหยุ่นตัวของกล้ามเนื้อดีขึ้นอีกทั้งการฝึกพลัยโอเมตริกที่ใช้รูปแบบการกระโดดจะอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเป็นส่วนใหญ่ ความตึงตัวจึงเกิดที่กลุ่มกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังซึ่งจะมีผลต่อการทดสอบช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าข้อเท้ามากกว่า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้า โดยเฉพาะการงอข้อเท้าแสดงให้เห็นว่าการมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวในช่วงการคลายอุ่น สามารถรักษาระดับช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าให้อยู่ระดับปกติและพัฒนาให้ดีขึ้นได้

3. แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

จากการศึกษาพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของการศึกษาที่ 1 ไม่เปลี่ยนแปลงหลังการฝึกพลัยโอเมตริก รวมถึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทุกวันที่ทำการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำช่วยบรรเทาการเสียหายของกล้ามเนื้อได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกวันที่ทำการทดสอบเนื่องจากการปรับตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่เพิ่มมากขึ้น โดยพบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมมีค่าลดลงมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 หลังการฝึก 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนการศึกษาที่ 2 จะพบว่า แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าสูงขึ้นในทุกช่วงเวลาจากก่อนการฝึก ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 จะมีค่าสูงขึ้นหลังการฝึก 24 ชั่วโมง และพบว่าหลังการฝึก 96 ชั่วโมง มีค่าลดลงจากกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อย่างไรก็ตามหลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ ทุกกลุ่มจะมีค่าแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังเพิ่มขึ้น โดยแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. พลังกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความสูงของการทำ Drop jump และ Counter- movement jump

การทดสอบพลังกล้ามเนื้อโดยการประเมิน จากความสูงของการทำ Drop jump และ Counter- movement jump มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน โดยพบว่าหลังจากการฝึก 30 นาที กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม มีค่าลดลงจากก่อนการฝึก ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นเพียงเล็กน้อยและไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม และระหว่างก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจากหลังการฝึกพลัยโอเมตริก กลุ่มตัวอย่างจะทำการคลายอุ่นก่อนที่จะทำการทดสอบ จึงทำให้ผลของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากการวิ่งมีรูปแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกและหดสั้นเข้าซึ่งมีความสอดคล้องกับการกระโดดทั้ง 2 แบบ จึงเป็นลักษณะการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีความพร้อมที่จะปฏิบัติกิจกรรมมากกว่าเพื่อการผ่อนคลาย สำหรับการเปลี่ยนแปลงหลังการฝึก 24 ชั่วโมง พบว่าผลที่ได้จากการศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2 กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีค่าลดลง แต่มีเพียงการศึกษาที่ 2 เท่านั้นที่ กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีค่าลดลงแตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนหลังการฝึก 96 ชั่วโมง พบว่าการศึกษาที่ 1 กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการฝึกแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่การศึกษาที่ 2 จะให้ผลตรงกันข้ามคือ กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าพลังกล้ามเนื้อจากการกระโดดทั้ง 2 แบบ ลดลงต่ำกว่าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม การเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้ามนี้อาจเนื่องจากรูปแบบการทดลองที่ต่างกันคือ การศึกษาที่ 1 จะฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริกในวันแรกและไม่มีการฝึกซ้ำจึงส่งผลให้การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อดีขึ้น ส่วนการศึกษาที่สองมีการฝึกพลัยโอเมตริกพร้อมกับโปรแกรมฟุตบอล 2 วันต่อสัปดาห์ รวมถึงมีโปรแกรมการฝึกฟุตบอลอย่างเดียว 3 วันต่อสัปดาห์ จึงส่งผลให้กล้ามเนื้อมีการเสียหายมากกว่า ผลที่ได้จากการทดสอบจึงลดลง

การเปลี่ยนแปลงพลังกล้ามเนื้อจากการกระโดดทั้ง 2 แบบ ของการศึกษาที่ 2 ในช่วงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 และ 3 พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 5 มีค่าลดลงอีกครั้ง แต่หลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไปทุกกลุ่มเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 วันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5. ความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

จากการศึกษาพบว่าความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังมีค่ามากที่สุดหลังการฝึก 48 ชั่วโมง สำหรับการศึกษาที่ 1 โดยพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนการศึกษาที่ 2 พบว่าค่าสูงมากที่สุดจะอยู่ในช่วงหลังการฝึก 24 ถึง 96 ชั่วโมง แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้การที่ความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง ของการศึกษาที่ 2 มีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน และมีระยะเวลาในการเกิดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อที่นานกว่านั้น เนื่องจากรูปแบบของการฝึกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีแนวโน้มที่มีค่าความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อที่ต่ำกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม การเปลี่ยนแปลงค่าความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง จะมีค่าลดลง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ถึง 4 และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และ 6 หลังจากนั้นจะเริ่มลดลงเช่นเดียวกับก่อนการฝึก ในวันที่ 3 และวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์

6. การเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุด และที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด โดยแยกสรุปเป็นประเด็นดังนี้

6.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากกล้ามเนื้อ GL และ GM ขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อสูงสุด จะมีการผันแปรกันบางช่วงเวลาหลังการฝึก ส่วนขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันในทุกช่วงเวลาหลังการฝึก ทั้งนี้ อาจมีความเกี่ยวข้องกับระดับความล้าและการเสียหายของกล้ามเนื้อ

6.2 ค่า MDF และ RMS จะมีการแปรผันกัน คือหากค่า MDF เพิ่มขึ้น ค่า RMS จะลดลง

6.3 ค่า MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับสูงสุด สรุปได้ดังนี้

6.3.1 ช่วงสัปดาห์ที่ 1 ของการศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2 พบว่า ค่า MDF ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าลดต่ำลงจากก่อนการฝึก ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมจะมีค่า MDF เพิ่มขึ้น โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม หลังการฝึก 30 นาที หลังการฝึก 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ทั้งนี้สอดคล้องกับระดับการเสียหายของกล้ามเนื้อที่พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีการเสียหายของกล้ามเนื้อมากกว่าเมื่อเทียบกับระดับ CK และ LDH ในเลือดที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่า RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับสูงสุด ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ของการศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2 จะมีผลตรงกันข้ามกับที่กล่าวไว้ข้างต้น

6.3.2 หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 1 จนถึงวันที่ 7 หลังการฝึกครบ 6 สัปดาห์ พบว่าค่า MDF ระหว่างกล้ามเนื้อ GL และ GM มีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นรูปแบบเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นการชดเชยการทำงานระหว่างมัดกล้ามเนื้อเพื่อตอบสนองต่อการทำงานที่ระดับสูงสุด การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความเชื่อมโยงถึงค่า RMS ที่แปรผันตามค่า MDF ด้วยเช่นกัน

6.4 ค่าจุดตัด MDF และ RMS ขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลังที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด สรุปได้ดังนี้

6.4.1 จากการศึกษาที่ 1 พบว่า จุดตัด MDF และ RMS ที่ระดับ 50%MVIC ของกลุ่มกล้ามเนื้อ GL และ GM ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้รวมถึงช่วงเวลาหลังการฝึกภายในของแต่ละกลุ่มที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่นกัน ส่วนที่ระดับ 80%MVIC ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มแต่พบว่าในช่วงเวลาหลังการฝึกภายในของแต่ละกลุ่ม ต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับจุดตัด MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GM ที่ระดับการออกแรง 70%MVIC ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มแต่จะพบว่า จุดตัด RMS กล้ามเนื้อ GL ของกลุ่มทดลองที่ 1 หลังการฝึก 72 ชั่วโมง ต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยสรุปแล้วจุดตัด MDF และ RMS ที่ระดับ 70%MVIC มีแนวโน้มที่จะนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการฝึกได้ดี

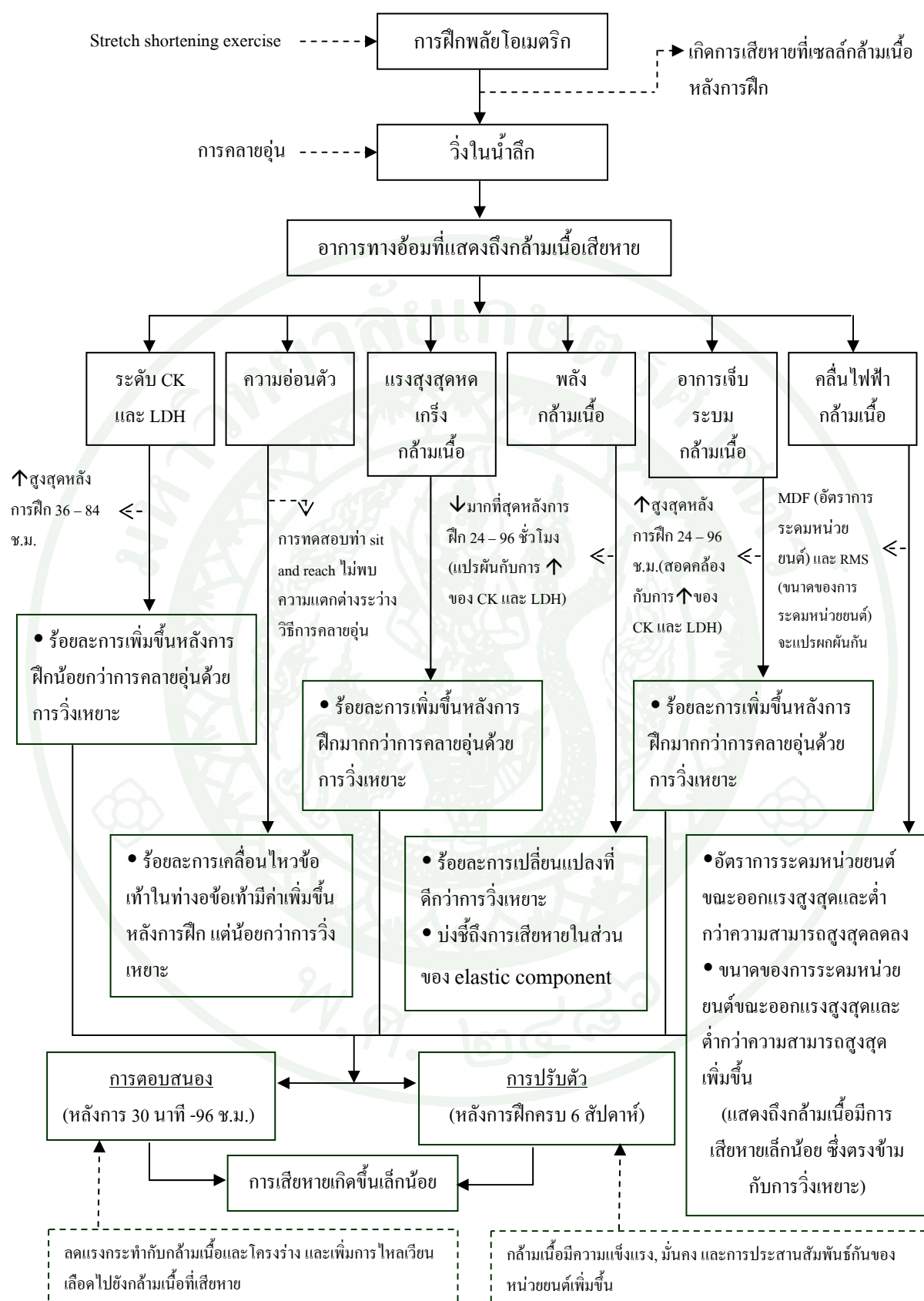
6.4.2 จากการศึกษาที่ 1 พบว่า ความชัน MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ 50%MVIC, 70%MVIC ก่อนข้างคงที่ โดยจะมีค่าอยู่ใกล้ศูนย์และมีแนวโน้มไปทางบวก ส่วนความชัน MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ 80%MVIC จะมีแนวโน้มไปทางลบ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีความเกี่ยวข้องกับระดับของการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ที่การออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ 80%MVIC เป็นการทำงานเกือบสูงสุด เมื่อกล้ามเนื้อมีการเสียหายจึงไม่สามารถจะคงระดับการทำงานตามที่กำหนดได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงมีทิศทางไปทางลบ

6.4.3 จากการศึกษาที่ 2 พบว่า จุดตัดของค่า MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM ที่ระดับ 70%MVIC ของกลุ่มทดลองที่ 1 มีทิศทางตรงกันข้าม คือ จุดตัดของค่า MDF จะลดลงจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลา ส่วนจุดตัดของค่า RMS มีการเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลาของการทดสอบ สำหรับกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมจะมีผลตรงกันข้าม คือจุดตัดค่า MDF จะเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกในทุกช่วงเวลาการทดสอบ ส่วนจุดตัดของค่า RMS มีการลดลงในช่วงสัปดาห์แรกมากที่สุดและจะค่อยเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไป การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้กลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกช่วงเวลาหลังการฝึก

6.4.4 จากการศึกษานี้ พบว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีค่าความชันของค่า MDF หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 2 3 4 และ 5 ลดลงมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนความชันของค่า RMS ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

จากสรุปผลการวิจัยดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปเป็นแผนผังความคิดรวบยอดได้ดังนี้





ภาพที่ 35 แผนผังสรุปผลการวิจัย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัยครั้งนี้

1. การวิจัยครั้งนี้มีการแบ่งกลุ่มตัวแปรอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหายจำนวน 6 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด (ระดับ CK และ LDH) ความอ่อนตัว (ความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า ช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่างอข้อเท้า) แรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง พลังกล้ามเนื้อ (ความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump) ความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง และการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับการออกแรงสูงสุด และที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด) เพื่อให้ครอบคลุมการอธิบายถึงกลไกการเสียหายของกล้ามเนื้อ ซึ่งบางตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ยังไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสียหายของกล้ามเนื้อที่ดีพอ เช่น การประเมินความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้าที่มีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของข้อต่อหลายส่วน ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะของการปฏิบัติกิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริกที่ใช้การกระโดดเป็นส่วนใหญ่จึงควรศึกษาเกี่ยวกับการวัดความอ่อนตัวในรูปแบบอื่นเพิ่มเติม นอกจากนี้การวัดการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อจากการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อควรมีการศึกษาในรูปแบบที่สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวในลักษณะเดียวกับการฝึกพลัยโอเมตริกจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มเติมมากยิ่งขึ้น

2. การฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อมีการเสียหายในงานวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาพลังกล้ามเนื้อให้กับนักกีฬาฟุตบอล จึงออกแบบให้มีความเฉพาะกับโปรแกรมการฝึกซ้อมและสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่างตามหลักและทฤษฎีการฝึกซ้อม ซึ่งยังอาจไม่ครอบคลุมกับรูปแบบการฝึกซ้อมกับนักกีฬาที่มีความสามารถในระดับสูงกว่านี้

3. งานวิจัยนี้ไม่มีการควบคุมเกี่ยวกับการรับประทานอาหาร การจดบันทึกอาหารที่รับประทาน รวมถึงการประเมินสภาวะทางโภชนาการของกลุ่มตัวอย่างขณะเข้าโปรแกรมการฝึก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการฟื้นตัวจากการเสียหายของกล้ามเนื้อได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย **SPSS for Windows**. พิมพ์ครั้งที่ 6, ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ชัยเลิศ พิชิตพรชัย. 2547. กล้ามเนื้อ, น. 113-153. ใน วัฒนา วัฒนาภา สุพัตรา โล่ห์สิทธิวัฒน์ และ สุพรพิมพ์ เจียสกุล, บรรณาธิการ. **สรีรวิทยา ๑. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์-ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล**, กรุงเทพฯ.
- เต็มศรี ชำนิจารกิจ. 2544. **สถิติประยุกต์ทางการแพทย์**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บัวรอง ลือเฉลิมวงศ์. 2539. ระบบหายใจ, 164-206. ใน เลียงชัย ลัมลือมวงศ์, บรรณาธิการ. **สรีรวิทยา. คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล**, กรุงเทพฯ.
- ราตรี เรืองไทย และ กนกทิพย์ สว่างใจธรรม. 2548. การออกกำลังกายในน้ำ. 58-66 ใน ฝ่ายจัดทำหนังสือและสูจิบัตร, บรรณาธิการ. การแข่งขันว่ายน้ำคลองครบรอบ 27 ปี สระจุฬารัตนวลัยลักษณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. โรงพิมพ์พีเอสปริ้นท์, นนทบุรี.
- สยาม เพ็ญเพ็ชร. 2551. ผลของการนวดด้วยน้ำแข็ง การนวดด้วยน้ำแข็งร่วมกับการแช่น้ำและการนวดด้วยน้ำแข็งร่วมกับการออกกำลังกายในน้ำ ที่มีต่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อภายหลังระบมของกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุริยา ณ นคร. 2538. **แนวทางใหม่: การออกกำลังกายในน้ำยุคโลกาภิวัตน์**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- Ahmadi, S., P. J. Sinclair, N. Foroughi and G. M. Davis. 2007a. Electromyographic activity of the biceps brachii after exercise-induced muscle damage. **Journal of Sports Science and Medicine** 6: 461-470.

- Ahmadi, S., P. J. Sinclair, N. Foroughi and G. M. Davis. 2007b. Electromyographic activity of the biceps brachii after exercise-induced muscle damage. **Journal of Sports Science and Medicine** 6: 461-470 Cited C. Berry, Moritani, T. and Tolson, H. 1990. Electrical activity and soreness in muscle after exercise. *American Journal of Physiology, Medicine and Rehabilitation* 1969, 1960-1966.
- _____, _____, _____ and _____. 2007c. Electromyographic activity of the biceps brachii after exercise-induced muscle damage. **Journal of Sports Science and Medicine** 6: 461-470 Cited J. Friden, Sjostrom, M. and Ekblom, B. 1983. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. **International Journal of Sports Medicine** 1984, 1170 –1176.
- Allen, D. G. 2001. Eccentric muscle damage : mechanisms of early reduction of force. **Acta Physiol Scand** 171: 311-319.
- Avela, J. and P. V. Komi. 1998. Reduced stretch reflex sensitivity and muscle stiffness after long-lasting stretch-shortening cycle exercise in human. **Eur J Appl Physiol** 78: 403-410.
- Balnave, C. D. and D. G. Allen. 1995. Intracellular calcium and force in single mouse muscle fibres following repeated contractions with stretch. **J Physiol** 488: 25-36.
- Barnett, A. 2006a. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796.
- _____. 2006b. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited M. Suzuki, T. Umeda, S. Nakaji, et al. 2004. Effect of incorporating low intensity exercise into the recovery period after a rugby match. **Br J Sports Med** 2038: 2436-2440.

- Barnett, A. 2006c. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited J. Bangsbo, T. Graham, L. Johansen, et al. 1994. Muscle lactate metabolism in recovery from intense exhaustive exercise: impact of light exercise. **J Appl Physiol** 1977: 1890-1895.
- _____. 2006d. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited K.N. Lane, H. A. Wenger. 2004. Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 2024 hours. **J Strength Cond Res** 2018: 2855-2860.
- _____. 2006e. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited M. Yamane, H. Teruya, M. Nakano et al. 2006. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. **Eur J Appl Physiol** 2096: 2572-2580.
- _____. 2006f. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited B. FM. Peeze , H. Kuipers and J. Heymans. 1989. Exercise induced focal skeletal muscle fibre degeneration and capillary morphology. **J Appl Physiol** 1966: 2857-2865.
- _____. 2006g. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited N. D. Gill, C. M.Beaven, C. Cook. 2006. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. **Br J Sports Med** 2040: 2260-2263.
- _____. 2006h. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? **Sports Med** 36 (9): 781-796 Cited J. R. Staples, D. B. Clement and J. E. Taunton. 1999. Effects of hyperbaric oxygen on a human model of injury. **Am J Sports Med** 1927: 1600-1605.

- Bates, A. and N. Hanson. 1996. **Aquatic Exercise Therapy**. 2 ed. PA: W. B. Saunders, Philadelphia.
- Beaudoin, C. M. and J. W. Blum. 2005. Flexibility and running economy in female collegiate track athletes. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness** 45 (3): 295.
- Bishop, D. 2003. Warm up I potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. **Sports Med** 33 (6): 439-454.
- Bove, A. A. 2002. Medical disorders related to diving. **Jornal of Intensive Care Medicine** 17: 75-86.
- Brancaccio, P., G. Lippi and N. Maffulli. 2010. Biochemical markers of muscular damage. **Clin Chem Lab Med** 48 (6): 757-767.
- Broman, G., M. Quintana, T. Lindberg, E. Jansson and L. Kaijser. 2006. High intensity deep water training can improve aerobic power in elderly women. **Eur J Appl Physiol** 98: 117-123.
- Brooks, G. A., T. D. Fahey and K. M. Baldwin. 2005. **Exercise Physiology Human Bioenergetic and Its Applications**. 4 ed. Humankinetic.
- Brown, E. L., V. A. Ferrigno and J. C. Santana. 2000. **Training For Speed, Agility, and Quickness**. Human Kinetics Publishers, Inc., USA.
- Bushman, B. A., M. G. Flynn, F. F. Andres, C. P. Lambert and M. S. Taylor. 1997. Effect of 4 weeks of deep-water run training on running performance. **Med Sci Sports Exerc** 29: 694-712.

- Butts, N., M. Tucker and C. Greeting. 1991. Physiological responses to maximal treadmill and deep water running in men and women. **Am J Sports Med** 19: 612-614.
- Chen, T. C. 2003. Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. **Eur J Appl Physiol** 89: 115–121.
- _____ and S. S. Hsieh. 2001. Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation. **Med Sci Sports Exerc** 33 (10): 510–511.
- Cheung, K., P. A. Hume and L. Maxwell. 2003. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. **Sports Med** 33 (2): 145-164.
- Chleboun, G. S., J.N. Howell, R. R. Conaster and J. J. Giesey. 1998. Relationship between muscle swelling and stiffness after eccentric exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 30: 529-535.
- Chu, D. A. 1992. **Jumping into Plyometrics**. Human Kinetics Publishers, Inc., USA.
- Chu, K. S. and E. C. Rhodes. 2001a. Physiological and cardiovascular changes associated with deep water running in the young : possible implications for the elderly. **Sports Med** 31 (1): 33-46.
- _____ and _____. 2001b. Physiological and cardiovascular changes associated with deep water running in the young : possible implications for the elderly. **Sports Med** 31 (1): 33-46 Cited H., Lollgen, Nieding G.V, Horres R. 1980. Respiratory and hemodynamic adjustment during head out water immersion. **Int J Sports Med** 1981: 1925-1934.
- Clarkson, P. M. 1992. Exercise-induced muscle damage-animal and human models. **Med Sci Sports Exerc.** 24 (5): 510-511.

Clarkson, P. M. and M. J. Hubal. 2002. Exercise-induced muscle damage in humans.

American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation 81 (Suppl): S52–S69.

_____ and S. P. Sayers. 1999. Etiology of exercise-induced muscle damage. **J Appl Physiol** 24 (234-248).

Coffey, V., M. Leveritt and N. Gill. 2004. Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. **Journal of Science and Medicine in Sport** 7 (1): 1-10.

Cornu, C., M.-I. A. Silveira and F. Goubel. 1997. Influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint. **Eur J Appl Physiol** 76: 282-288.

Dawson, B., S. Gow, S. Modra, D. Bishop and G. Stewart. 2005. Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. **Journal of Science and Medicine in Sport** 8 (2): 210-221.

Day, S. H., A. E. Donnelly, S. J. Brown and R. B. Child. 1998. Electromyogram activity and mean power frequency in exercisedamaged human muscle. **Muscle and Nerve** 21: 961-963.

Derion, T., H. Guy and K. Tsukimoto. 1992. Ventilation-perfusion relationships in the lung during head-out water immersion. **J. Appl. Physiol.** 72: 64-72.

Dintiman, G. B., R. D. Ward and T. Tellez. 1998. **Sports Speed**. Human Kinetics Publishers, Inc., USA.

Ehlers, G. G., T. E. Ballt and I. Liston. 2002. Creatine kinase levels are elevated during 2-a- day practices in collegiate football players. **J Athl Train** 37 (2): 151-156.

- Ehrman, J. k., P. M. Gordon, P. S. Visich and S. J. Veteyian. 2009. **Clinical Exercise Physiology**. 2 ed. Human kinetic.
- Enoka, R. M. 1995. Morpological features and activation paterns of motor units. **J Clin Neurophysiol** 12: 538-559.
- Eston, R. and D. Peters. 1999. Effects of cold water immersion on the symptoms of exerciseinduced muscle injury. **Journal of Sports Science** 17: 231-238.
- Farhi, L. and D. Linnarsson. 1997. Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 C. **Respir Physiol** 30: 35-50.
- Felici, F. 2006. Neuromuscular responses to exercise investigated through surface EMG. **Journal of Electromyography and Kinesiology** 16 (6): 578-585.
- Felici, F., C. Lorenzo and S. Paola. 1997. Surface EMG modifications after eccentric exercise. **Journal of Electromyography and Kinesiology** 7 (3): 193-202.
- Friden, J. and R. L. Lieber. 2001. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fible components. **Acta Physiol Scand** 171: 321-326.
- García-López, D., J. A. d. Paz, R. Jiménez-Jiménez, G. Bresciani, F. D. Souza-Teixeira and J. A. Herrero. 2006. Early explosive force reduction associated with exercise-induced muscle damage. **J Physiol Biochem** 62 (3): 163-170.
- Gehring, M., B. Keller and B. Brehm. 1997. Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runner. **Med Sci Sports Exerc** 29: 1374-1378.

- Hasson, S., W. Barnes, M. Hunter and J. Williams. 1989. Therapeutic effect of high speed voluntary muscle contractions on muscle soreness and muscle performance. **Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy** 10: 499-504.
- Heyward, V. H. 2006. **Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription**. 5 th ed. Human Kinetics Publishers, Inc., USA.
- Hilbert, J. E., G. A. Sforzo and T. Swensen. 2003. The effect of massage on delayed onset muscle soreness. **Br J Sports Med** 37: 72-75.
- Hinds, T., I. McEwan and J. Perkes. 2004. Effect of massage on limb and skin blood flow after quadriceps exercise. **Med Sci Sports Exerc** 36: 1308-1321.
- Hoffman, J. 2002. **Physiological Aspects of Sport Training and Performance**. Human Kinetics Publishers, Inc., USA.
- Hortobagyi, T., T. P. Hill, J. A. Houmard, D. D. Fraser, N. J. Lambert and R. G. Israel. 1996. Adaptative responses to muscle lengthening and shortening in humans. **J Appl Physiol** 80: 765-772.
- Howatson, G., K. V. Someren and T. Hortobagyi. 2007. Repeated Bout Effect after Maximal Eccentric Exercise. *Int J sport Med*. 28: 557-563.
- Howatson, G. and K. A. V. Someren. 2008a. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. **Sports Med** 38 (6): 483-503.
- _____ and _____. 2008b. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. **Sports Med** 38 (6): 483-503 Cited R.B.,Armstrong, Ogilvie R.W, Schwane J.A. 1983. Eccentric exercise induced injury to rat skeletal muscle. *J Appl Physiol* 1954: 1980-1990.

- Ishikawa, M., E. Dousset, J. Avela, H. K. I. inen, J. Kallio and V. Linnamo. 2006. Changes in the soleus muscle architecture after exhausting stretch-shortening cycle exercise in humans. **Eur J Appl Physiol** 97: 298–306.
- Keller, T. S., A. M. Weisberger, J. L. Ray, S. S. Hasan, R. G. Shiavi and D. M. Spengler. 1996. Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. **Clinical Biomechanics** 11 (5): 253-259.
- Kobayashi, Y., T. Takeuchi, T. Hosoi, H. Yoshizaki and J. A. Loepky. 2005. Effect of a marathon run on serum lipoproteins, and lactate dehydrogenase in recreation runners. **Research Quarterly for Exercise and Sport** 76 (4): 450 – 455.
- Komi, P. V. 2000. Stretch-shortening cycle : A powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics** 33: 1197-1206.
- Kroon, G. and M. Naeije. 1991. Recovery of the human biceps electromyogram after heavy eccentric, concentric or isometric exercise. **J Appl Physiol** 63: 444–452.
- Lanier, A. B. 2003. Use of nonsteroidal anti-inflammatory drugs following exercise-induced muscle injury. **Sports Med** 33 (3): 177-186.
- Lattier, G., G. Y. Millet and A. Martin. 2004. Fatigue and recovery after high-intensity exercise. Part 2: recovery interventions. **Int J Sports Med** 25: 509-515.
- Lazarim, F. L., J. M. F. Antunes-Neto, F. O. C. d. Silva, L. a. A. S. Nunes, A. Bassini-Cameron and L.-C. A. Cameron. 2009. The upper values of plasma creatine kinase of professional soccer players during the Brazilian National Championship. **Journal of Science and Medicine in Sport** 12: 85-90.

- Lieber, R. L. and J. Fridén. 2002. Morphologic and mechanical basis of delayed-onset muscle Soreness. **Am Acad Orthop Surg** 10 (1): 67-73.
- Marginson, V., A. V. Rowlands, N. P. Gleeson and R. G. Eston. 2005. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. **J Appl Physiol** 99: 1174–1181.
- Martin, V., M. Guillaume Y., L. Griegory and P. Loic. 2004. Effects of recovery modes afer knee extensor muscles eccentric contractions. **Med Sci Sports Exerc** 36 (11): 1907-1915.
- Mayo, J. J. 2000. Practical guidelines for the use of deep-water running. **National Strength and Conditioning Association** 22 (1): 26–29.
- McNeely, E. and D. Sandler. 2007. Tapering for endurance athletes. **Strength and Conditioning Journal** 29 (5): 18–24.
- Meeusen, R. and P. Lievens. 1986. The use of cryotherapy in sports injuries. **Sports Medicine** 3: 398-414.
- Mekjavic, I. B., J. A. Exner, P. Tesch and O. Eiken. 2000. Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delayed onset muscle soreness. **Med Sci Sports Exerc** 32 (3): 558-563.
- Merletti, R. and P. D. Torino. 1999. Standards for reporting EMG Data. **International Society of Electrophysiology and Kinesiology**.
- Meyer, R. I. 1990. Practice Setting for kinesiotherapy-aquatics. **Klinical Kinesiology** 44 (1): 12-13.

- Michaud, T. J., J. R. Zayas, F. Andres, M. G. I. Lynn and C. Lambert. 1995. Comparative exercise responses of deep-water and treadmill running. **J Strength Cond Res** 9: 104-109.
- Miller, M. G., J. J. Herniman, M. D. Ricard, C. C. Cheatham and T. J. Michael. 2006. The effects of a 6-week plyometric training program on agility. **Journal of Sports Science and Medicine** (5): 459-465.
- Morgan, D. L. and D. G. Allen. 1999. Early events in stretch-induced muscle damage. **J. Appl. Physiol.** 87 (6): 2007-2015.
- Nakanishi, Y., T. Kimura and Y. Yokoo. 1999. Maximal physiological responses to deep water running at thermoneutral temperature. **Appl Human Sci** 18 (2): 31-35.
- Nakanishi, Y., T. Kimura and Y. Yokoo. 1999. Physiological responses to maximal treadmill and deep water running in the young and the middle aged males. **Appl Human Sci** 18 (3): 81-86.
- Nosaka, K. and P. M. Clarkson. 1996. Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors. **Int J Sports Med** 17: 120-127.
- O' Conner, P. J. and D. B. Cook. 1999. Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. **Exerc Sport Sci Rev** 27: 119-166.
- Ostojic, S. M. and M. D. Stojanovic. 2007a. Range of motion in the lower extremity: elite vs. non-elite soccer players. **Serbian Journal of Sports Sciences** 1 (2): 74-78.

- Ostojic, S. M. and M. D. Stojanovic. 2007b. Range of motion in the lower extremity: elite vs. non-elite soccer players. **Serbian Journal of Sports Sciences** 1 (2): 74-78 *Cited A.*, Sinclair and G. Tester. 1993. The sit and reach test: what does it actually measure? **Aus Coun Health Phys Edu Rec Nat J** 1945: 1998–1913.
- Ostrowski, K., T. Rohde, M. Zacho, S. Asp and B. K. Pedersen. 1998. Evidence that interleukin-6 is produced in human skeletal muscle during prolonged running. **Journal of Physiology** 508 (3): 949-953.
- Park, K. S., J. K. Choi and Y. S. Park. 1999. Cardiovascular regulation during water immersion. **Appl Human Sci** 18 (6): 233-241.
- Pinto, S. S., G. V. Liedtke, C. L. Alberton, E. M. d. Silva, E. L. Cadore and L. F. M. Kruel. 2010. Electromyographic signal and force comparisons during maximal voluntary isometric contraction in water and on dry land. **Eur J Appl Physiol** 110: 1075–1082.
- Proske, U. and D. L. Morgan. 2001. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **J Physiol** 537: 333-345.
- Quinn, T. J., D. R. Sedory and B. S. Fisher. 1994. Physiological effects of deep water running following a land-based training program. **Research Quarterly for Exercise and Sport** 65: 386-394.
- Radcliffe, J. C. and R. C. Farentionor. 1999. **Hight-Power Plyometrics**. Human Kinetics Publishers, Inc., USA.
- Reilly, T., C. N. Dowzer and N. T. Cable. 2003a. The physiology of deep-water running. **Journal of Sports Science** 21: 959 – 972.

- Reilly, T., C. N. Dowzer and N. T. Cable. 2003b. The physiology of deep-water running. **Journal of Sports Science** 21: 959 – 972 Cited S.J., Rudzki and M.J. Cunningham. 1999. The effect of a modified physical training programme in reducing injury and medical discharge rates in Australian Army recruits. **Military Medicine** 1164: 1648-1652.
- Reisman, S., L. D. Walsh and U. Proske. 2005. Warm-up stretches reduce sensations of stiffness and soreness after eccentric exercise. **Med Sci Sports Exerc** 37 (6): 929-236.
- Reyment, C. M., M. E. Bonis, J. C. Lundquist and B. S. Tice. 2006. Effects of a four week plyometric training program on measurements of power in male collegiate hockey players. **J Undergrad Kin Res** 1 (2): 44-62.
- Sayers, S., P. Clarkson and J. Lee. 2000. Activity and immobilization after eccentric exercise: I Recovery of muscle function. **Medicine & Science in Sports & Exercise** 32 (9): 1587-1592.
- Sbriccoli, P., F. Felici, A. Rosponi, A. Aliotta, V. Castellano, and C. Mazzù. 2001. Exercise induced muscle damage and recovery assessed by means of linear and non-linear sEMG analysis and ultrasonography. **Journal of Electromyography and Kinesiology** 11 (2): 73-83.
- Skurvydas, A., S. Sipaviciene, G. Krutulyte, A. Gailiuniene, A. Stasiulis, and G. Mamkus. 2006. Dynamics of indirect symptoms of skeletal muscle damage after stretch-shortening exercise. **Journal of Electromyography and Kinesiology** 16 (6): 629-636.
- Smith, L. L. 2004. Tissue trauma : the underlying cause of overtraining syndrome ? **Journal of Strength and Conditioning Research** 18 (1): 185 – 193.

- Stiskal, D. 2003. **Aquatics and physical Therapy: Clinical and Community Approaches for Persons with Arthritis**. Available source: <http://www.aquaticpt.org/events/8648/pdf>, December 5, 2008.
- Su, Q.-S., J.-G. Zhang, R. Dong, B. Hua and J.-Z. Sun. 2010. Comparison of changes in markers of muscle damage induced by eccentric exercise and ischemia/reperfusion. **Scand J Med Sci Sports** 20: 748–756.
- Svedenhag, J. and J. Seger. 1992. Running on land and in water: Comparative exercise physiology. **Med Sci Sports Exerc** 24: 1155-1160.
- Szymanski, D. J. 2001. Recommendations of the avoidance of delayed – onset muscle soreness. **National Strength and Conditioning Association** 23 (4): 7–13.
- Takahashi, J., K. Ishihara and J. Aoki. 2006. Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. **Journal of Sports Science** 24 (8): 835-842.
- Takarada, Y. 2003. Evaluation of muscle damage after a rugby match with special reference to tackle plays. **Br J Sports Med** (37): 416 – 419.
- Takekura, H., N. Fujinami, T. Nishizawa, H. Ogasawara and N. Kasuga. 2001. Eccentric exercise-induced morphological changes in the membrane systems involved in excitation-contraction coupling in rat skeletal muscle. **Journal of Physiology** 533: 571-583.
- Tiidus, P. M. 1997. Manual massage and recovery of muscle function following exercise: A literature review. **Journal of Sports Physical Therapy** 25: 107-112.

- Tofas, T., A. Z. Jamurtas, I. G. Fatouros, M. G. Nikolaidis, Y. Koutedakis and E. A. Sinouris. 2008. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. **J Strength Cond Res** 22 (2): 490-496.
- Vaile, J., A. J. Blazeovich and N. Gill. 2004. The effect of contrast therapy on symptoms of delayed onset of muscle soreness. **Unpublished**. Waikato Institute of Technology Hamilton, New Zealand.
- Viitasalo, J., T. Kaappola, R. Korjus, T. Levola and M. Mononen. 1995. Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. **Eur J Appl Physiol** 71: 431-438.
- Vincent, H. K. and K. R. Vincent. 1997. The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle function following resistance exercise. **Int J Sports Med** 18: 431-437.
- Warren, G. L., D. A. Hayes, D. A. Lowe and R. B. Armstrong. 1993. Mechanical factors in the initiation of eccentric contraction-induced injury in rat soleus muscle. **J Physiol** 464: 457-475.
- Warren, G. L., D. A. Lowe and R. B. Armstrong. 1999. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. **Sports Med** 27 (1): 43-59.
- Warren, G. L., D. A. Lowe, D. A. Hayes, C. J. Karwoski, B. M. Prior and R. B. Armstrong. 1993. Excitation failure in eccentric contraction-induced injury of mouse soleus muscle. **J Physiol** 468: 487-499.
- Wilber, R., R. Moffatt, B. Scott, D. T. Lee and N. Cucuzzo. 1996. Influence of water run training on the maintenance of aerobic performance. **Med Sci Sports Exerc** 28: 1056-1062.

Wilcock, I., M. Cronin and W. A. Hing. 2006. Water immersion, active recovery and passive recovery effects on explosive exercise and blood plasma fraction. **Journal of Sports Sciences** 11: 95-101.

Wilder, R. P., D. Brennan and D. E. Schotte. 1993. A standard measure for exercise prescription for aqua running. **American Journal of Sports Medicine** 21: 45-48.

Wildman, R. and B. Miller. 2004. **Sports and Fitness Nutrition**. Belmont, CA: Wadsworth/Thomson.

Wilson, J. M. and G. J. Wilson. 2008. A Practical approach to the taper. **Strength and Conditioning Journal** 30 (2): 10-17.





ที่ สธ 0327/ 1048



กระทรวงสาธารณสุข

ถนนติวานนท์ จังหวัดนนทบุรี 11000

๒๔ พฤษภาคม 2553

เรื่อง อนุมัติให้ดำเนินการวิจัย

เรียน คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สิ่งที่ส่งมาด้วย
1. หนังสืออนุมัติ ฉบับภาษาไทย จำนวน 1 ฉบับ
 2. หนังสืออนุมัติ ฉบับภาษาอังกฤษ จำนวน 1 ฉบับ
 3. รายชื่อคณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคน กระทรวงสาธารณสุข จำนวน 1 ฉบับ

ตามที่ นายอภิรักษ์เกียรติ ยืนทอง ซึ่งเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย เรื่อง "ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางข้อต่อที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย (Ref. no.78/2552)" ได้เสนอโครงการดังกล่าวให้คณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคน กระทรวงสาธารณสุข พิจารณาอนุมัติ นั้น

ในการนี้ กระทรวงสาธารณสุข โดยคณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคน กระทรวงสาธารณสุข อนุมัติให้ดำเนินการตามโครงการดังกล่าวได้ อนึ่งคณะกรรมการฯ ขอแจ้งเกี่ยวกับหน้าที่ และความรับผิดชอบของผู้วิจัย ภายหลังได้รับการอนุมัติ โดยต้องดำเนินการตามหลักเกณฑ์ของคณะกรรมการฯ และจะต้องแจ้งหรือรายงานสถานะ(status) ให้คณะกรรมการฯ ทราบทุกปีและเมื่อเกิดเหตุการณ์ ต่อไปนี้ทุกครั้ง ได้แก่

1. เมื่อโครงการวิจัยยุติลง ซึ่งอาจจะเป็นการดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์ หรืออาจจะไม่สามารถดำเนินการวิจัยต่อไปได้ พร้อมทั้งแจ้งสาเหตุของการยุติโครงการวิจัยให้ทราบด้วย
2. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในโครงการวิจัยต้องระบุให้ชัดเจนว่า มีการเปลี่ยนแปลงอะไร อย่างไร พร้อมเหตุผลที่ต้องเปลี่ยนแปลง
3. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัยหรือเพิ่มเติมคณะผู้วิจัย ต้องส่งประวัติของคนที่เปลี่ยนแปลงพร้อมเหตุผลให้คณะกรรมการฯ ทราบด้วย
4. เมื่อมีอาการไม่พึงประสงค์เกิดขึ้นในโครงการวิจัย ขอให้ผู้วิจัยวิเคราะห์สถานการณ์การเกิดอาการไม่พึงประสงค์ที่ร้ายแรง relate, possible/likely, probably related, fatal กับโครงการวิจัยที่ทํานองรับผิดชอบอย่างไร รวมทั้งขอทราบมาตรการในการดูแลป้องกันอาสาศมัครในประเทศไทยด้วย ภายใน 10 วันหลังจากได้รับทราบข้อมูล

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายทองสรรค์ สุธารธรรม)

ประธานคณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคน

กรมการแพทย์

สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคน



คณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคน
กระทรวงสาธารณสุข

โครงการวิจัย : ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนองและการปรับตัวของ
อาการทางข้อต่อที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

รหัสโครงการ : Ref. no. 78/2552

ผู้ดำเนินการวิจัย : นายอภิรักษ์ เทียนทอง

สถานที่ดำเนินการวิจัย : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารที่อนุมัติ :

1. โครงร่างการวิจัยฉบับภาษาไทย วันที่ 2 เมษายน 2553
2. เอกสารคำแนะนำ ฉบับวันที่ 2 เมษายน 2553
3. ใบยินยอม ฉบับวันที่ 2 เมษายน 2553
4. แบบบันทึกข้อมูลผลการทดสอบ ฉบับวันที่ 2 เมษายน 2553
5. แบบสอบถามข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง ฉบับวันที่ 2 เมษายน 2553

คณะกรรมการพิจารณาศึกษาวิจัยในคน กระทรวงสาธารณสุข ได้พิจารณาโครงการแล้ว คณะกรรมการฯ พิจารณานุมัติในแง่จริยธรรมให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องข้างต้นได้ ทั้งนี้โดยยึดตามเอกสารฉบับภาษาไทยเป็นหลัก อนึ่ง ท่านต้อง รายงานสถานะของโครงการให้คณะกรรมการฯ ทราบทุกปี เพื่อขออนุมัติดำเนินโครงการต่อจนกว่าจะหมดอายุโครงการ

..... ประธานกรรมการ
(นายทนงสรวงศ์ สุทธาธรรม)

..... กรรมการและเลขานุการ
(นายปรกรณ์ สิริยง)

รับรองตั้งแต่วันที่ 12 พฤษภาคม 2553 ถึงวันที่ 11 พฤษภาคม 2554

ใบยินยอมด้วยความสมัครใจ

การวิจัยเรื่อง ผลของการวิ่งในน้ำลึกภายหลังการฝึกพลัยโอเมตริก: การตอบสนองและการปรับตัวของอาการทางอ้อมที่แสดงถึงกล้ามเนื้อเสียหาย (The Effects of Deep Water Running after Plyometric Training: Response and Adaptation of Indirect Symptoms of Muscle Damage)

วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตรายหรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยหรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด และมีความเข้าใจดีแล้ว

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบัง ซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้โดยสมัครใจและการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการเป็นนักศึกษาของข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าเป็นความลับและจะเปิดเผยได้เฉพาะในรูปที่เป็นสรุปผลการวิจัย หรือการเปิดเผยข้อมูลต่อผู้มีหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนและกำกับดูแลการวิจัย

ผู้วิจัยรับรองว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่คิดมูลค่า และจะได้รับการชดเชยรายได้ที่สูญเสียไประหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนเงินทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้น และรายละเอียดเกี่ยวกับการรักษาพยาบาลหรือเงินชดเชยดังกล่าวข้าพเจ้าสามารถติดต่อได้ที่

นายอภิรักษ์ เทียนทอง ที่อยู่ 19/18 ซ. นนทบุรี 20 ม. 1 ต.บางกระสอ อ.เมือง
จ.นนทบุรี 11000 หมายเลขโทรศัพท์ 081-6629481

โดยบุคคลที่รับผิดชอบเรื่องนี้ คือ

1. นายอภิสิทธิ์ เทียนทอง ที่อยู่ 19/18 ซ. นนทบุรี 20 ม. 1 ต.บางกระสอ อ.เมือง
จ.นนทบุรี 11000 หมายเลขโทรศัพท์ 081-6629481

2. ผศ.ดร.ราตรี เรืองไทย ที่อยู่ 37/216 ซ.ลาดปลาเค้า 62 ถนนสุขุมวิท บางเขน กรุงเทพฯ 12200
หมายเลขโทรศัพท์ 089-6115181

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบ
ยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ ข้าพเจ้าได้รับสำเนาหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัยที่ข้าพเจ้า
ได้ลงนามและวันที่ฉบับนี้เก็บไว้ 1 ชุด

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2553

ลงนาม.....พยาน

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2553

ลงนาม.....พยาน

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2553

แบบบันทึกข้อมูลผลการทดสอบ

รหัสอาสาสมัคร _____ อายุ _____ ปี น้ำหนัก _____ ก.ก. ส่วนสูง _____ ซม.

- กลุ่มที่ ☐ 1. ควมคุม (ยึดกล้ามเนื้อ)
- ☐ 2. ทดลองที่ 1 (วิ่งในน้ำ/ยึดกล้ามเนื้อในน้ำ)
- ☐ 3. ทดลองที่ 2 (วิ่งเหยาะๆ/ยึดกล้ามเนื้อ)
-

พารามิเตอร์ที่วัด	การทดสอบครั้งที่.....	
	/...../.....	
1) ชีพจรขณะพัก (ครั้ง/นาที)		
2) ความรู้สึกเจ็บระบมกล้ามเนื้อ		
3) ค่า CK (U/L)		
4) ค่า LDH (U/L)		
5) ความอ่อนตัว	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
5.1 Sit and reach (ซม.)		
5.2 Ankle extension (องศา)		
5.3 Ankle flexion (องศา)		
6) ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
6.1 MVIC gastronemius (N.M.)		
7) คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับ	<u>uV</u>	<u>HZ</u>
7.1 100% MVIC		
7.2 50% MVIC		
7.3 70% MVIC		
7.4 80% MVIC		
8) Drop jump 40 cm	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
8.1) Jump high (cm.)		
9) Counter movement jump	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
9.1) Jump high (cm.)		



โปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก

หน่วยการฝึก	เวลา (นาท)	กิจกรรม/ท่าฝึก
อบอุ่นร่างกาย	15	• วิ่งเหยาะ (70% HRmax) 5 นาที • Angling 5 เมตร และวิ่งเร็ว 15 เมตร จำนวน 2 เที้ยว พักระหว่างเที้ยว 1 นาที • High knee 5 เมตร และวิ่งเร็ว 15 เมตร จำนวน 2 เที้ยว พักระหว่างเที้ยว 1 นาที • Butt kick 5 เมตร และวิ่งเร็ว 15 เมตร จำนวน 2 เที้ยว พักระหว่างเที้ยว 1 นาที • วิ่งเร็ว 20 เมตร จำนวน 2 เที้ยว พักระหว่างเที้ยว 1.30 นาที
พลัยโอเมตริก	30	• Double leg jump 10 ครั้ง ปฏิบัติ 2 ชุด แต่ละชุดพัก 1.30 นาที (แต่ละครั้งกระโดดให้ไกลที่สุด) พัก 3 นาทีแล้วฝึกทำต่อไป • Single leg hop ข้างละ 10 ครั้ง (แต่ละครั้งกระโดดให้ไกลที่สุด) ปฏิบัติ 4 ชุด แต่ละชุดพัก 1.30 นาที หลังจากนั้นสลับข้าง เมื่อครบทั้ง 2 ข้าง พัก 3 นาทีแล้วฝึกทำต่อไป • Drop jump 10 ครั้ง (แต่ละครั้งกระโดดให้สูงที่สุด) แต่ละครั้งของการกระโดดพัก 6 วินาที ปฏิบัติ 3 ชุด แต่ละชุดพัก 3 นาที

ภาพกิจกรรมการเคลื่อนไหวในช่วงอบอุ่นร่างกาย

Angling



การปฏิบัติ

- วิ่งซอยเท้าเร็วช่วงสั้นๆ เน้นที่จังหวะเหยียดข้อเท้า (plantar flexion) และบริเวณ ball of foot ของเท้าสัมผัสพื้น โดยใช้เวลาน้อยที่สุดแต่มีแรงกดลงไปมากที่สุด

High knee



การปฏิบัติ

- ลำตัวเอนไปด้านหลังเล็กน้อย ศีรษะตั้งตรง วิ่งยกเข่าขึ้นท่ามุม 90 องศา หรือสูงมากกว่าขณะทำการเดินเร็ว
- ขณะปฏิบัติต้องแกว่งแขนให้สัมพันธ์กับการแกว่งขาอย่างเป็นจังหวะ
- จุดรับน้ำหนักของร่างกายอยู่ที่ปลายเท้าบริเวณ ball of foot
- ปฏิบัติจนครบระยะทาง 5 เมตร หลังจากนั้นวิ่งเร็วต่ออีก 15 เมตร

Butt kick



การปฏิบัติ

- คล้ายการวิ่งด้วยความเร็วปกติ แต่ขณะที่วิ่งขาข้างที่แกว่งจะดึงส้นเท้าไปสัมผัสที่ก้น เข่าอและดึงขึ้นไปด้านหน้า
- ลำตัว ศีรษะตั้งตรง มองไปด้านหน้า
- แกว่งแขนและขาเร็วเป็นจังหวะสัมพันธ์กัน
- ปฏิบัติจนครบระยะทาง 5 เมตร หลังจากนั้นวิ่งเร็วต่ออีก 15 เมตร

ภาพท่าฝึกในช่วงโปรแกรมพลัยโอเมตริก

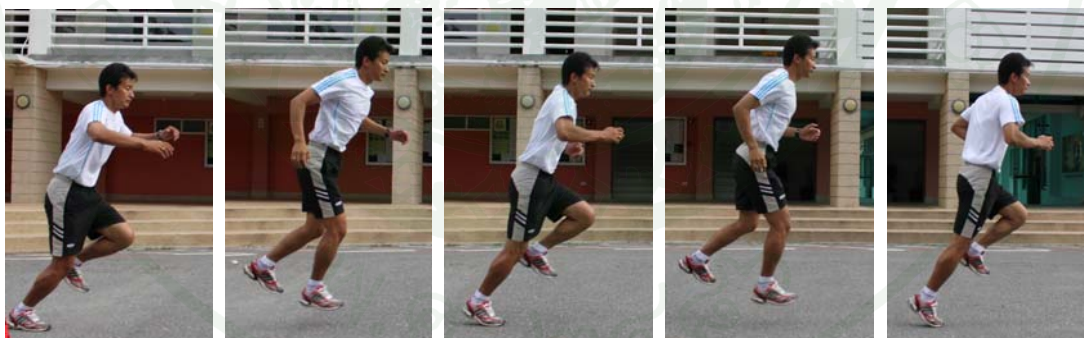
Double leg jump



การปฏิบัติ

- ยืนแยกเท้ากว้างประมาณช่วงไหล่
- แกว่งแขนไปด้านหลังพร้อมย่อขาลงให้ต้นขาขนานกับพื้น (ก้มตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย)
- จังหวะที่แขนแกว่งไปด้านหลังจนสุดรีบแกว่งกลับมาด้านหน้าให้เร็วที่สุดพร้อมกับยืดขาขึ้นไปด้านหน้าและถีบเท้าเพื่อให้กระโดดไปด้านหน้าให้ได้ระยะทางมากที่สุด
- เมื่อทำทั้ง 2 ข้างสัมผัสพื้น ให้ปฏิบัติตามลำดับเช่นเดิมอย่างต่อเนื่องจนครบ 10 ครั้ง โดยไม่มีการหยุดพักระหว่างครั้งที่ปฏิบัติ

Single leg hop



การปฏิบัติ

- ยืนยกขาหนึ่งข้าง
- แกว่งแขนพร้อมถีบเท้าเพื่อเขย่งไปด้านหน้าให้ได้ระยะทางมากที่สุด
- บริเวณ ball of foot ของปลายเท้าจะเป็นส่วนที่สัมผัสพื้น
- ปฏิบัติต่อเนื่องจนครบ 10 ครั้ง โดยไม่มีการหยุดพักระหว่างครั้งที่ปฏิบัติ
- เมื่อปฏิบัติครบ 4 ชุด สลับข้างปฏิบัติ

Drop jump



การปฏิบัติ

- ยืนอยู่บนกล่อง มือจับที่เอว
- ก้าวขาข้างที่ถนัดออกด้านหน้าตัวกล่อง ข้อเท้าทำมุมปกติ (ฝ่าเท้าขนานกับพื้น)
- ปล่อยให้ร่างกายตกลงจากกล่อง (ไม่กระโดดลง)
- ขณะอยู่ในอากาศกระดูกปลายเท้าขึ้นเล็กน้อย เมื่อเท้าใกล้สัมผัสพื้นให้กดเท้าลง (ปลายเท้าบริเวณ ball of foot) และถีบขึ้นเท้าด้วยความแรงและเร็วเพื่อให้ตัวลอยขึ้นด้านบนให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ (เวลาที่เท้าสัมผัสพื้นต้องสั้นที่สุด)
- หลังจากลอยตัวในอากาศและเท้าสัมผัสพื้นอีกครั้ง ให้หยุดนิ่งประมาณ 1-2 วินาที
- เดินกลับขึ้นไปยืนบนกล่องอีกครั้งภายในเวลา 4 วินาที เพื่อปฏิบัติซ้ำจนครบ 10 ครั้ง



ภาคผนวก ค
โปรแกรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึก การวิ่งเหยาะ และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
สำหรับการศึกษาที่ 1 และการศึกษาที่ 2

โปรแกรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึก

กลุ่มทดลองที่ 1 คลายอุ่นด้วยการวิ่งในน้ำลึกโดยความลึกของน้ำที่เท้าไม่สามารถสัมผัสพื้นได้ ขณะปฏิบัติระดับน้ำจะอยู่ระดับเดียวกับไหล่และใช้เข็มขัดโฟมคาดไว้ที่เอวเพื่อช่วยในการลอยตัว ส่วนท่าทางการเคลื่อนไหวเช่นเดียวกับการวิ่งบนบก ที่ความหนัก 40% HRR (heart rate reserve) เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำอีก 10 นาที รวมเวลาของการคลายอุ่น 25 นาที สูตรการคำนวณความหนักของการวิ่งในน้ำดังต่อไปนี้

$$\text{ชีพจรเป้าหมาย} = \{[(220 - \text{อายุ}) - \text{ชีพจรขณะพัก}] \times \% \text{ความหนัก} + \text{ชีพจรขณะพัก}\} - 10$$

ตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างอายุ 21 ปี ชีพจรขณะพักเท่ากับ 72 ครั้ง/นาที ดังนั้นอัตราการเต้นชีพจรเป้าหมายเท่ากับ 113 ครั้ง/นาที แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถควบคุมให้ชีพจรขณะวิ่งในน้ำเท่ากับที่คำนวณได้ตลอด จึงกำหนดให้อัตราการเต้นชีพจรขณะวิ่งในน้ำอยู่ในช่วง ± 5 คือ กลุ่มตัวอย่างจะวิ่งในน้ำโดยให้อัตราการเต้นชีพจรอยู่ระหว่าง 108 – 118 ครั้ง/นาที

โปรแกรมการฝึกวิ่งในน้ำมีขั้นตอนดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างมีเวลาในการเปลี่ยนชุดว่ายน้ำและล้างตัว 5 นาที หลังเสร็จการฝึกโปรแกรมพลัยโอเมตริก
2. กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งในน้ำโดยควบคุมการเคลื่อนไหวเพื่อให้อัตราการเต้นชีพจรอยู่ในช่วงที่คำนวณได้ของแต่ละบุคคล เป็นเวลา 15 นาที
3. กลุ่มตัวอย่างทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในน้ำ (ภาพประกอบ) เป็นเวลา 10 นาที
4. กลุ่มตัวอย่างมีเวลาอาบน้ำและเปลี่ยนเป็นชุดฝึกอีกครั้งเพื่อทำการทดสอบตัวแปรต่างๆ หลังการคลายอุ่น 5 นาที

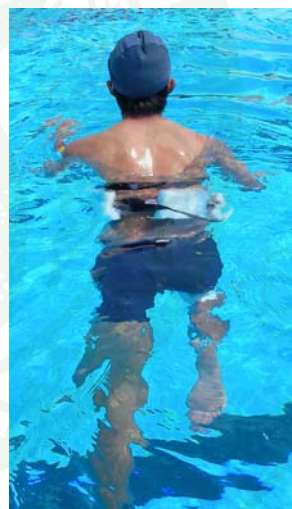
รายละเอียดของท่าทางการวิ่งในน้ำมีดังต่อไปนี้

1. หลังเหยียดตรง โนม์ลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย และไม่มีการเคลื่อนไหวของลำตัวช่วย เพื่อให้มีการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า
2. แกว่งแขนและขาเป็นปกติเหมือนการวิ่งบนบก โดยให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปด้านหน้า ไม่ย่อตัวอยู่กับที่
3. จังหวะของการก้าวขาเป็นปกติเหมือนการวิ่งบนบก โดยจังหวะที่มีการดึงหน้าขาขึ้น พยายามให้มุมระหว่างสะโพกและต้นขาอยู่ในช่วง 45-70 องศา
4. จังหวะของการแกว่งแขนเป็นปกติเหมือนการวิ่งบนบก โดยรักษามุมของศอกให้งอ ประมาณ 90 องศา ตลอดการปฏิบัติ
5. ฝ่ามืออยู่ในระนาบหน้าหลัง หลีกเลี่ยงการแบมือเพื่อดันน้ำ หรือลักษณะพุน้ำแบบสุนัข (dog paddling)

ภาพการวิ่งในน้ำ



ด้านข้าง



ด้านหลัง

ทำการยืดเหยียดในน้ำ

ช่วงที่ 1 ยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (dynamic stretching)



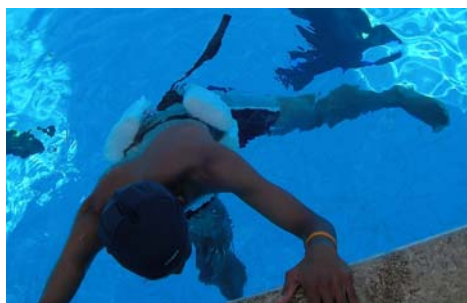
ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ยกขาข้างที่อยู่ด้านนอกให้สะโพกทำมุม 90 องศา กับลำตัว มุมเข่า 90 องศา
2. เหยียดเข่าออกช้าๆ จนกระทั่งข้อเข่าเหยียดสุดช่วงการเคลื่อนไหว และงอเข่ากลับท่าเริ่มต้น
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



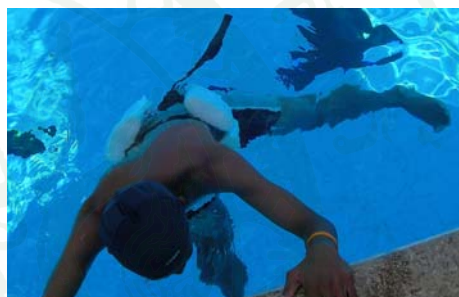
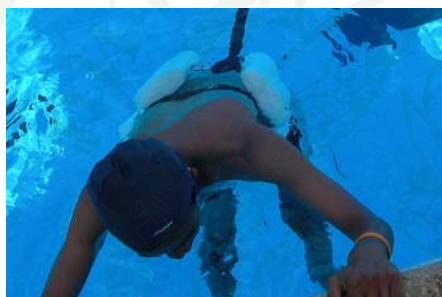
ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ยกขาข้างที่อยู่ด้านนอกให้สะโพกทำมุม 90 องศา กับลำตัว เหยียดเข่าออกให้สุดช่วงการเคลื่อนไหว
2. งอเข่ากลับช้าๆ จนกระทั่งไม่สามารถงอเข้าไปได้อีก
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



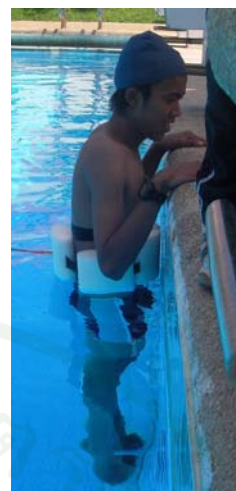
ยึดกลัมน้ำตื้นด้านใน

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง กางขาออกด้านข้างโดยที่เข่าเหยียดออกให้มากที่สุด
2. หุบขาลงช้าๆ จนกระทั่งขา 2 ข้างชิดกัน
4. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



ยึดกลัมน้ำตื้นด้านนอก

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน
2. กางขาออกช้าๆ จนกระทั่งไม่สามารถเหยียดออกได้อีก
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้ออ่อน

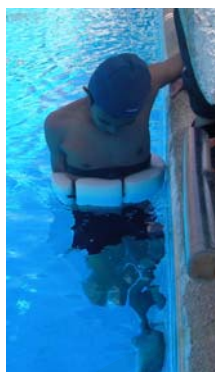
1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน ปลายเท้าเป็นจุดหมุน
2. เขย่งปลายเท้าขึ้นจนสุดหลังจากนั้นกดส้นเท้าลงให้ระดับต่ำกว่าปลายเท้า
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง

ช่วงที่ 2 ยืดเหยียดแบบอยู่กับที่ (static stretching)



ยืดกล้ามเนื้อก้นและต้นขาด้านหลัง

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน
2. งอเข่าและยกขาที่อยู่ด้านนอก ใช้มือช่วยในการดึงให้หน้าขาติดลำตัวมากที่สุด
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ



ยึดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน
2. งอเข่าโดยใช้ส้นเท้าติดกัน ใช้มือจับที่ข้อเท้าช่วยในการดึงส้นเท้าติดกันให้มากที่สุด
3. เมื่อไม่สามารถยึดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ



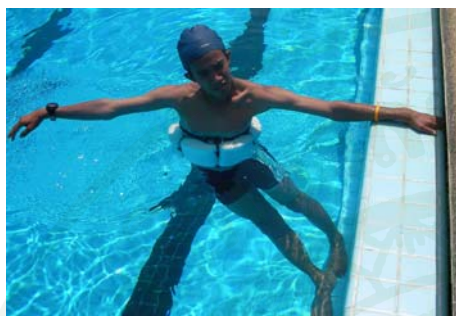
ยึดกล้ามเนื้อน่อง

1. ยืนจับขอบสระลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน ปลายเท้าเป็นจุดหมุน
2. กดส้นเท้าลงให้ระดับต่ำกว่าปลายเท้า
3. เมื่อไม่สามารถยึดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที



ยึดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ก้น และต้นขาด้านหลัง

1. มือจับขอบสระ งอเข่า 2 ข้างและดันผนังสระไว้
2. กดหน้าอกเข้าไปหาหน้าขา ขณะเดียวกันยืดตัวไปด้านหลังให้แขนเหยียดตรง
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที



ยึดกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้าง

1. ยืนหันข้างเข้าหาขอบสระ มือจับขอบสระ ขา 2 ข้างเหยียดตรง
2. เอนตัวออกด้านนอกพร้อมกับยกแขนเหนือศีรษะ ขณะเดียวกันเอียงศีรษะเข้าหาขอบสระ
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ



ยึดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง และขาด้านหลัง

1. มือจับขอบสระ ฝ่าเท้าทั้ง 2 ข้างสัมผัสผนังสระ
2. ดันตัวไปด้านหลัง และพยายามเหยียดขาให้ออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่ส้นเท้าไม่ยกออก
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที



ฝึกกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและก้น

1. มือจับขอบสระ ย่อขาลงเหมือนนั่งเก้าอี้
2. ยกขาขวาโดยให้ส่วนของข้อเท้าวางอยู่บนบริเวณเข่า เข่าขวาไม่จี้นพยายามกดลงให้อยู่ระดับเดียวกับต้นขาซ้าย
3. ค่อยๆ หย่อนก้นลงช้าๆ พยายามให้ใกล้กับส้นเท้าซ้ายให้มากที่สุด
4. เมื่อไม่สามารถย่อลงได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ

โปรแกรมการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะ

กลุ่มทดลองที่ 2 คลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะ ที่ความหนัก 40% HRR (heart rate reserve) เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นยืดเหยียดอีก 10 นาที รวมเวลาของการคลายอุ่น 25 นาที สูตรการคำนวณความหนักของการวิ่งเหยาะ ดังต่อไปนี้

$$\text{ชีพจรเป้าหมาย} = \{[(220 - \text{อายุ}) - \text{ชีพจรขณะพัก}] \times \% \text{ความหนัก} + \text{ชีพจรขณะพัก}\}$$

ตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างอายุ 21 ปี ชีพจรขณะพักเท่ากับ 72 ครั้ง/นาที ดังนั้นอัตราการเต้นชีพจรเป้าหมายเท่ากับ 123 ครั้ง/นาที แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถควบคุมให้ชีพจรขณะวิ่งเหยาะเท่ากับที่คำนวณได้ตลอด จึงกำหนดให้อัตราการเต้นชีพจรขณะวิ่งเหยาะ อยู่ในช่วง ± 5 คือ กลุ่มตัวอย่างจะวิ่งเหยาะ โดยให้อัตราการเต้นชีพจรอยู่ระหว่าง 118 – 128 ครั้ง/นาที

หลังจากการวิ่งเหยาะ เสร็จ กลุ่มทดลองที่ 2 ทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อตามโปรแกรมยืดเหยียดกล้ามเนื้อต่อไปนี้

ทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อบนบก

ช่วงที่ 1 ยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (dynamic stretching)



ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง

1. ยืนจับเสา ลำตัวตั้งตรง ยกขาข้างที่อยู่ด้านนอกให้สะโพกทำมุม 90 องศา กับลำตัว มุมเข่า 90 องศา
2. เหยียดเข่าออกช้าๆ จนกระทั่งข้อเข่าเหยียดสุดช่วงการเคลื่อนไหว และงอเข่ากลับท่าสู่เริ่มต้น
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

1. ยืนจับเสา ลำตัวตั้งตรง ยกขาข้างที่อยู่ด้านนอกให้สะโพกทำมุม 90 องศา กับลำตัว เหยียดเข่า ออกให้สุดช่วงการเคลื่อนไหว
2. งอเข่ากลับช้าๆ จนกระทั่งไม่สามารถงอเข้าไปได้อีก และเหยียดเข่าออกกลับสู่ท่าเริ่มต้น
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



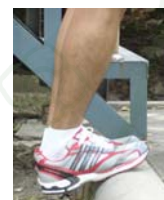
ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านใน

1. ยืนจับเสา ลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน
2. กางขาซ้ายออกซ้ายๆ (เข่าอเล็กน้อย) จนกระทั่งไม่สามารถยกขึ้นด้านบนได้อีก
3. หุบขาซ้ายลงซ้ายๆ เพื่อกลับสู่ท่าเริ่มต้น
4. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านนอก

1. ยืนจับเสา ลำตัวตั้งตรง ขาซ้ายกางออกด้านข้าง
2. หุบขาซ้ายเข้าช้าๆ จนกระทั่งผ่านด้านหน้าขาและไม่สามารถไปต่อได้จึงหยุด
3. กางขาออกช้าๆ เพื่อกลับสู่ท่าเริ่มต้น
4. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้อน่อง

1. ยืนจับราวบันได ลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน ปลายเท้าเป็นจุดหมุน
2. เขย่งปลายเท้าขึ้นจนสุดหลังจากนั้นกดส้นเท้าลงให้ระดับต่ำกว่าปลายเท้า
3. ปฏิบัติ 8 ครั้ง อย่างต่อเนื่อง

ช่วงที่ 2 ยืดเหยียดแบบอยู่กับที่ (static stretching)



ยืดกล้ามเนื้อก้นและต้นขาด้านหลัง

1. ยืนจับเสา ลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน
2. งอเข่าของขาที่อยู่ด้านนอก ใช้มือช่วยในการดึงให้หน้าขาติดลำตัวมากที่สุด
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

1. ยืนจับเสา ลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน
2. งอเข่าของขาที่อยู่ด้านนอก ใช้มือจับที่ข้อเท้าช่วยในการดึงส้นเท้าติดกันให้มากที่สุด
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้อน่อง

1. ยืนจับราวบันได ลำตัวตั้งตรง ขาสองข้างชิดกัน ปลายเท้าเป็นจุดหมุน
2. กดส้นเท้าลงให้ระดับต่ำกว่าปลายเท้า
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที



ยืดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ก้น และต้นขาด้านหลัง

1. มือจับเสา งอเข่า 2 ข้างและดันเสาไว้
2. กดหน้าอกเข้าไปหาหน้าขา ขณะเดียวกันยืดตัวไปด้านหลังให้แขนเหยียดตรง
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที



ยืดกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้าง

1. ยืนหันข้างเข้าหาเสา มือจับเสา ขา 2 ข้างเหยียดตรง
2. เอนตัวออกด้านนอกพร้อมกับยกแขนเหนือศีรษะ ขณะเดียวกันเอียงศีรษะเข้าหาเสา
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ



ยืดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง และขาด้านหลัง

1. มือจับเสา ฝ่าเท้าทั้ง 2 ข้างสัมผัสที่โคนเสา
2. ดันตัวไปด้านหลัง และพยายามเหยียดขาให้ออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่ส้นเท้าไม่ยกออก
3. เมื่อไม่สามารถยืดได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที



ยืดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและก้น

1. มือจับเสา ยกขาซ้ายโดยให้ส่วนของข้อเท้าวางอยู่บริเวณเข่า เข่าซ้ายไม่ชี้ขึ้นพยายามกดลงให้อยู่ระดับเดียวกับต้นขาขวา
2. ค่อยๆ หย่อนก้นลงช้าๆ พยายามให้ใกล้กับเส้นเท้าขวาให้มากที่สุด
3. เมื่อไม่สามารถย่อลงได้แล้ว หรือรู้สึกเจ็บเล็กน้อยให้หยุดนิ่ง 10 วินาที และสลับข้างปฏิบัติ

โปรแกรมการคลายอุ่นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

กลุ่มควบคุม คลายอุ่นด้วยนั่งพับในท่าที่ผ่อนคลาย โดยสามารถเคลื่อนไหวเบาๆ ได้ เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นยืดเหยียดอีก 10 นาที รวมเวลาของการคลายอุ่น 25 นาที สำหรับโปรแกรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อใช้โปรแกรมเดียวกับกลุ่มทดลองที่ 2



แผนการฝึกซ้อมฟุตบอล นักกีฬาฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

สัปดาห์ที่ 1

		จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-Blood Test -Soreness Scale	-	-	-Blood Test -Soreness Scale	REST	-Blood Test -Soreness Scale
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	REST	15.00 PM. TEST 4 ➤Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG) ➤DJ/CMJ
	Plyometric	-plyometric 35'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'-	-	-plyometric 35'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'		
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-PV stabilize+ BW x 3[2'] -game plan 35'[position] x 2[7']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']		
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	TEST 2 ➤Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG) ➤DJ/CMJ	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	TEST 3 ➤Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG) ➤DJ/CMJ		

หมายเหตุ TEST 1 ทำการทดสอบก่อนการฝึก 2 วัน

สัปดาห์ที่ 2

	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-	-	-	REST	-
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	REST 15.00 PM. TEST 5 ➤ Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤ Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+ EMG) ➤ DJ/CMJ
	Plyometric	-plyometric 35'	-	-	-plyometric 35'	-	
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-PV stabili.+ BW x 3[2'] -game plan 35'[position] x 2[7']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']	
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	

สัปดาห์ที่ 3

	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-	-	-	REST	-
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	REST
	Plyometric	-plyometric 35'	-	-	-plyometric 35'	-	
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-PV stabili.+ BW x 3[2'] -game plan 35'[position] x 2[7']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']	
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	

15.00 PM.
TEST 6
➤ Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.)
➤ Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG)
➤ DJ/CMJ

สัปดาห์ที่ 4

	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-	-	-	REST	-
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	REST 15.00 PM. TEST 7 ➤Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+ EMG) ➤DJ/CMJ
	Plyometric	-plyometric 35'	-	-	-plyometric 35'	-	
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-PV stabili.+ BW x 3[2'] -game plan 35'[position] x 2[7']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']	
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	

สัปดาห์ที่ 5

	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-	-	-	REST	-
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	REST
	Plyometric	-plyometric 35'	-	-	-plyometric 35'	-	
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-PV stabili.+ BW x 3[2'] -game plan 35'[position] x 2[7']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']	
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	

15.00 PM.
TEST 8
➤ Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.)
➤ Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG)
➤ DJ/CMJ

สัปดาห์ที่ 6

	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-	-	-	REST	-Blood Test -Soreness Scale
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	REST
	Plyometric	-plyometric 35'	-	-	-plyometric 35'	-	
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-PV stabili.+ BW x 3[2'] -game plan 35'[position] x 2[7']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']	
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_DWR 25' -G2_JOG 25' -G CON_REST 25'	

15.00 PM.
TEST 9
➤ Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.)
➤ Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG)
➤ DJ/CMJ

สัปดาห์ที่ 7

	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
7.00 AM.		-	-Blood Test -Soreness Scale	-	-	REST	-Blood Test -Soreness Scale
17.00 – 19.30 PM.	Warm up	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -sprint 30(max) x 3[3'] -agility without ball x 3[3'] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 130-140-170] -stretching 5' [static > dynamic]	-jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -sprint drill 5'+ with ball 5' -stretching 5'[static > dynamic]	- jog 10'[HR 145] -ladder drill 5' -stretching 5' [static > dynamic]	15.00 PM. TEST 11 ➤Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG) ➤DJ/CMJ
	Plyometric	-	-	-	-	-	
	Condition	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5'] -F-small game 5p 15' x 4[5']	-foot ball tactic & technique 30' -F-small game 5p 15' x 4[5'] [EASY]	-foot ball tactic & technique 30' [EASY]	-game plan 25' [full] x 2 [5']	
	Cool down	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_stretching 25' -G2_stretching 25' -G con_stretching 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_stretching 25' -G2_stretching 25' -G con_stretching 25'	TEST 10 ➤Flex. (sit & reach, ankle exten./flex.) ➤Isometric (MVIC+EMG) & (70%MVIC+EMG) ➤DJ/CMJ	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_stretching 25' -G2_stretching 25' -G con_stretching 25'	<u>แยกตามกลุ่ม</u> -G1_stretching 25' -G2_stretching 25' -G con_stretching 25'	

ภาคผนวก จ

- การวัดระดับ CK และ LDH ในเลือด
- การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า และวัดช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและท่างอข้อเท้า
- การทดสอบแรงสูงสุดของการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- การทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาจากความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump
- การวัดความรู้สึกเจ็บระบมของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
- การหาค่าจุดตัดและความชันของค่า MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM

การวัดระดับ CK และ LDH ในเลือด

อุปกรณ์ตรวจ

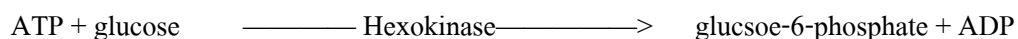
Roche Diagnostics, GmbH Mannheim ประเทศสหรัฐอเมริกา

การเก็บตัวอย่างเลือด

1. ใช้ยางรัดที่ต้นแขนเหนือต่อเส้นเลือดที่จะเจาะเลือด
2. ใช้แอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาดบริเวณเส้นเลือดที่จะเจาะ
3. ทำการเจาะเลือดที่ antecubital vein จำนวน 4 มิลลิลิตร (Ehlers et al., 2002) โดยพยาบาลวิชาชีพ
4. นำเลือดที่เจาะได้ใส่หลอดบรรจุเลือด และบันทึกหมายเลขรหัสกลุ่มตัวอย่างก่อนนำส่งตรวจ
5. นำเลือดส่งตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการ โรงพยาบาลจันทบุรีเบกษา กรมการแพทย์ทหารอากาศ จังหวัดนครปฐม

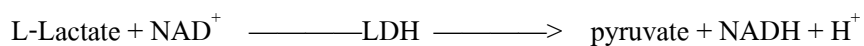
หลักการตรวจ CK

ทำการตรวจวิเคราะห์ได้โดยเครื่อง Automate และสูตรทางปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาระดับของ CK นั้นมีหลักการคือ CK ทำให้ creatine phosphate ทำปฏิกิริยากับ ADP เกิด ATP จากนั้น ATP ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ glucose โดยใช้ Hexokinase ได้สาร glucose-6-phosphate จากนั้น glucose-6-phosphate จะทำปฏิกิริยากับ NAD^+ โดยใช้ G-6-PD ได้ 6-phosphogluconate, H^+ และ NADH อัตราการเกิด NADH จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ CK activity ซึ่งสามารถหาได้โดยการวัดการดูดกลืนแสงที่ 340 nm



หลักการตรวจ LDH

Lactate Dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน L-lactate ไปเป็น pyruvate ในขณะเดียวกัน NAD จะถูกรีดิวซ์ไปเป็น NADH ในกระบวนการนี้



อัตราการเกิด NADH จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ LDH activity ซึ่งสามารถหาได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 340 nm



การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า

อุปกรณ์

เครื่องวัดความอ่อนตัว มีความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร ด้านบนมีแถบวัดระยะติดอยู่ในลักษณะขนานกับพื้น มีความยาวเท่ากับ 60 เซนติเมตร ที่กึ่งกลางของแถบวัดระยะจะมีเลขเป็น “0” โดยระยะทางจาก “0” ออกห่างไปทางปลายเท้ามีค่าเป็นบวก ส่วนระยะจาก “0” เข้าหาลำตัวจะมีค่าเป็นลบ

วิธีการทดสอบ

1. ผู้รับการทดสอบนั่งเหยียดขาตรงไปด้านหน้า ฝ่าเท้าชิดกันตั้งฉากกับพื้นและจรดกับแกนกลางสำหรับยืนเท้า ซึ่งจะตรงกับเลข “0”
2. ผู้รับการทดสอบเหยียดแขนตรงไปด้านหน้าและค่อยๆ ก้มตัวลงใช้ปลายนิ้วจากทั้งสองมือเคลื่อนไปตามแนวแถบวัดระยะไปด้านหน้าจนไม่สามารถก้มลำตัวลงไปได้อีก
3. ผู้รับการทดสอบหยุดนิ่ง 2 วินาที ในตำแหน่งที่ไม่สามารถเคลื่อนมือไปด้านหน้าได้
4. ปฏิบัติ 2 ครั้ง โดยบันทึกค่าที่ได้มากที่สุด

หมายเหตุ ขณะที่ผู้รับการทดสอบก้มตัวพร้อมเหยียดมือไปด้านหน้านั้น เข่าทั้งสองข้างจะต้องไม่งอขึ้น และห้ามผู้รับการทดสอบโยกตัวช่วยขณะที่ก้มตัวลง



ภาพผนวกที่ จ1 การวัดความอ่อนตัวในท่านั่งงอตัวไปด้านหน้า

การวัดช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้าและท่างอข้อเท้า

อุปกรณ์

Goniometer

วิธีการทดสอบ

1. ผู้รับการทดสอบนั่งที่ขอบของโต๊ะ โดยเข่าและข้อเท้าทำมุม 90 องศา
2. ผู้ทำหน้าที่ทดสอบจัดวางเครื่องมือดังนี้
 - 2.1 จุดหมุน (axis) อยู่ตรงตำแหน่ง malleolus
 - 2.2 แขนคงที่ (stationary arm) อยู่กึ่งกลางของกระดูก fibular โดยใช้ส่วนหัวของกระดูก fibular เป็นแนวอ้างอิง
 - 2.3 แขนหมุน (moveable arm) อยู่ขนานกับแนวของกระดูก metatarsal ที่ 5
3. ผู้รับการทดสอบทำการเคลื่อนไหวข้อเท้า ในทิศทางตามผู้ทำหน้าที่ทดสอบบอก ซึ่งได้แก่ การเหยียดข้อเท้า (plantar flexion) และการงอข้อเท้า (dorsiflexion) จนสุดช่วงการเคลื่อนไหว
4. ปฏิบัติท่าละ 2 ครั้ง แล้วจดบันทึกผลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ ๒ การวัดช่วงการเคลื่อนไหวข้อเท้าในท่าเหยียดข้อเท้า (ก) และท่างอข้อเท้า (ข)

ที่มา : Heyward (2006)

การทดสอบแรงสูงสุดของการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

อุปกรณ์

เครื่อง Isokinetic เครื่องหมายการค้า Biodex รุ่น System 3 pro ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการทดสอบ

1. ผู้รับการทดสอบนั่งบนเก้าอี้ทดสอบของเครื่อง Isokinetic
2. ผู้ทำหน้าที่ทดสอบจัดมุมเข้าของผู้รับการทดสอบงอ 130 องศา และใช้แถบรัดที่ต้นขา หลังจากนั้นจัดมุมข้อเท้างอ 90 องศา โดยวางไว้บนที่วางเท้าที่ต่อกับแกนไดนาโม
3. ผู้ทำหน้าที่ทดสอบตั้งรูปแบบการทดสอบเป็น isometric และตั้งมุมการงอข้อเท้าที่ 30 องศา สำหรับออกแรงกดปลายเท้า
4. เมื่อได้ยินสัญญาณเริ่มทดสอบ ผู้รับการทดสอบออกแรงกดปลายเท้าให้ได้แรงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เป็นเวลา 5 วินาที ปฏิบัติ 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 90 วินาที
5. บันทึกค่าที่ได้สูงสุด โดยมีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร

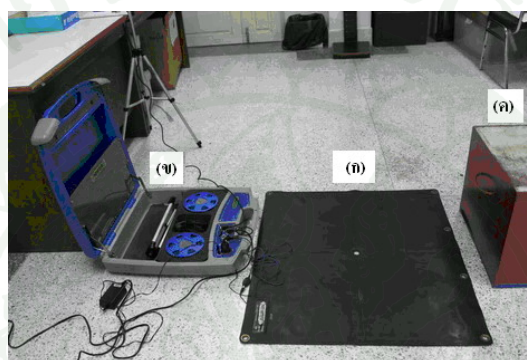


ภาพผนวกที่ จ3 ทดสอบแรงสูงสุดในการหดเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

การทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาจากความสูงของการทำ Drop jump และ Counter-movement jump

อุปกรณ์

1. แผ่นยางวัดความสูงของการกระโดด พร้อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เครื่องหมายการค้า Newtest ประเทศ สหรัฐอเมริกา
2. กล่องสำหรับทดสอบ ขนาดกว้าง 80 ซม. ยาว 60 ซม. และความสูง 40 ซม.



ภาพผนวกที่ ๔4 แผ่นยางวัดความสูงของการกระโดด (ก) อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (ข) และกล่องกระโดด (ค)

วิธีการทดสอบ Drop jump

1. ผู้รับการทดสอบยืนตรงบนกล่อง มือจับที่เอว
2. เมื่อได้ยินสัญญาณบอก “เริ่ม” ทำการก้าวขาข้างใดข้างหนึ่งมาด้านหน้าโดยให้ฝ่าเท้าขนานกับพื้น หลังจากนั้นปล่อยให้ร่างกายลงสู่แผ่นยางวัดความสูงของการกระโดดที่วางด้านหน้ากล่อง โดยขณะที่เท้าสัมผัสแผ่นยางวัดความสูงของการกระโดด (พร้อมกันทั้งสองข้าง) ผู้รับการทดสอบรีบกระโดดขึ้นในแนวตั้งให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ใช้เวลาในการสัมผัสแผ่นยางให้น้อยที่สุด)
3. ปฏิบัติ 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 60 วินาที
4. บันทึกค่าที่ทำได้สูงสุด โดยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร



ภาพผนวกที่ จ5 การทดสอบ Drop jump

วิธีการทดสอบ Counter-movement jump

1. ผู้รับการทดสอบยืนตรงบนแผ่นยางวัดความสูงของการกระโดด มือจับที่เอว
2. เมื่อได้ยินสัญญาณบอก “เริ่ม” ทำการย่อเข่าลงมาที่มุมประมาณ 90 องศา แล้วรีบยืดขึ้นให้เร็วที่สุดพร้อมกับกระโดดขึ้นในแนวตั้งให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. ปฏิบัติ 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 60 วินาที
4. บันทึกค่าที่ทำได้สูงสุด โดยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร



ภาพผนวกที่ จ6 การทดสอบ Counter-movement jump

การวัดความรู้สึกเจ็บระบบของกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

อุปกรณ์

มาตรวัดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ (visual analogue scale) โดยมีสเกลระบุความรู้สึกอยู่ระหว่าง 1 ถึง 7 คือ 1 หมายถึง “ไม่รู้สึกเจ็บระบบ” และ 7 หมายถึง “เจ็บระบบมากที่สุด” (Sayers et al. 2000)

วิธีการทดสอบ

1. ผู้รับการทดสอบยืนตรง ตามองคู่มือมาตรวัดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ
2. ผู้รับการทดสอบยืนเขย่งปลายเท้า 2-3 ครั้ง หลังจากนั้นเดินไปมา เพื่อรับรู้ความรู้สึกเจ็บระบบที่กล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง
3. ผู้รับการทดสอบเลือกตัวเลขที่ตรงกับระดับความรู้สึกที่เกิดขึ้น
4. ปฏิบัติ 2 ครั้ง
5. บันทึกค่าที่ได้สูงสุด โดยมีหน่วยเป็นหน่วย

7	เจ็บระบบมากที่สุด
6	
5	
4	
3	
2	
1	ไม่รู้สึกเจ็บระบบ

ภาพผนวกที่ ๖7 มาตรวัดความรู้สึกเจ็บระบบกล้ามเนื้อ

การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะเกร็งกล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง

อุปกรณ์

1. เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เครื่องหมายการค้า Mega รุ่น 2000ME

ประเทศฟินแลนด์

2. แผ่นอิเล็กโทรด
3. สำลี และแอลกอฮอล์

วิธีการทดสอบ

1. ผู้ทำหน้าที่ทดสอบทำการติดอิเล็กโทรดที่ กล้ามเนื้อปลายขาด้านหลัง มีขั้นตอนดังนี้
 - 1.1 ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์ทำความสะอาดบริเวณที่จะติดอิเล็กโทรด
 - 1.2 หาดำแหน่งที่จะติดอิเล็กโทรดตามวิธีการของ Rainoldi *et al.* (2004) คือ
 - 1.1.2 กล้ามเนื้อ Gastrocnemius lateralis ติดอิเล็กโทรดที่ระยะทางร้อยละ 60 ของระยะทางที่เริ่มจากจุดเกาะ lateral side of the Achilles tendon ถึง lateral side of the popliteus cavity
 - 1.1.3 กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ติดอิเล็กโทรดที่ระยะทางร้อยละ 50 ของระยะทางที่เริ่มจากจุดเกาะ medial side of the Achilles tendon ถึง medial side of the popliteus cavity
 - 1.3 เมื่อหาดำแหน่งตาม 1.2 ได้แล้วให้ใช้ปากกาสีแบบล้างออกยาก (permanent pen) จีดไว้โดยมีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร
 - 1.4 นำอิเล็กโทรดติดชนิดเส้นที่จีดไว้ โดยอิเล็กโทรดติดตามแนวของกล้ามเนื้อ 2 อัน ส่วนอิเล็กโทรดอีก 1 อันติดที่มัดกล้ามเนื้ออื่น (กล้ามเนื้อละ 3 อิเล็กโทรด ตามวิธีการของอุปกรณ์แนะนำ)
 - 1.5 ต่อสายเคเบิลรับสัญญาณกับเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและที่อิเล็กโทรด
 - 1.6 ตั้งค่าที่เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยกำหนดความถี่อยู่ที่ 1000 เฮิร์ตซ์ และรูปแบบการบันทึกเป็น Raw data online
 - 1.7 กดปุ่มบันทึกก่อนที่ผู้รับการทดสอบจะออกแรงกดปลายเท้า
 - 1.8 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Mega รุ่น 2000ME ประเทศฟินแลนด์

2. ผู้รับการทดสอบอยู่บนเก้าอี้ทดสอบของเครื่อง Isokinetic ออกแรงในการกดปลายเท้าตามที่กำหนด คือ

- 2.1 ออกแรงกดปลายเท้าสูงสุด เป็นเวลา 5 วินาที ปฏิบัติ 2 ครั้ง แต่ละครั้งพัก 90 วินาที
- 2.2 นำค่า MVIC จากการทดสอบก่อนการฝึก 2 วัน มาคิดเป็นค่าร้อยละ คือ ร้อยละ 50, 70 และ 80 เพื่อใช้สำหรับการออกแรงกดปลายเท้าขณะบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
- 2.3 ออกแรงกดปลายเท้าที่ระดับ 50% MVIC, 70% MVIC, 80% MVIC (การฝึกครั้งที่ 2 ออกแรงเฉพาะ 70% MVIC) เป็นเวลา 20 วินาที โดยขณะที่ออกแรงกดปลายเท้า ผู้รับการทดสอบจะมองที่จอภาพและออกแรงให้อยู่ในแนวเส้นที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ แต่ละระดับของการออกแรงพัก 90 วินาที

3. นำคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ไปหาค่า MDF และ RMS ด้วยโปรแกรม Mega รุ่น 2000ME



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ ๖๘ การติดอิเล็กโทรดที่กล้ามเนื้อ GL และ GM (ก) ออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อตามระดับที่กำหนด โดยมองจากจอภาพ (ข)

การหาค่าจุดตัดและความชันของค่า MDF และ RMS กล้ามเนื้อ GL และ GM

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ จะแยกออกเป็นความถี่ ของการเกิดคลื่น(frequency) ซึ่ง จะอธิบายถึง อัตราสัญญาณที่กระตุ้นหน่วยยนต์ ในที่นี้จะนำเสนอเป็นค่า “medium frequency; MDF) อีกส่วนคือขนาดของคลื่น (amplitude) จะมีความเกี่ยวข้องกับจำนวนหน่วยยนต์ที่ถูกกระตุ้น (motor unit recruitment) ในที่นี้จะนำเสนอด้วยค่า “root mean square; RMS” ซึ่งหาได้จาก โปรแกรม Mega Win PC-software version 2 สำหรับการหาค่าจุดตัดและความชันของค่า MDF และ RMS มีขั้นตอนดังนี้

1. นำคลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้จากการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด คือ 50% MVIC ,70% MVIC และ 80% MVIC ระดับละ 20 วินาที มาตัดช่วง 2 วินาที แรก และ 2 วินาที สุดท้ายออก จะเหลือช่วงเวลา 16 วินาที ของแต่ละระดับการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อ
2. แบ่งคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อออกเป็น 16 ช่วง ช่วงละ 1 วินาที
3. ใช้โปรแกรม Mega Win PC-software Version 2 เพื่อหาค่า MDF และ RMS ในทุกๆ วินาที จะทำให้ได้ค่า MDF จำนวน 16 ค่า และ RMS จำนวน 16 ค่า
4. นำค่าที่ได้จากข้อ 3 มาหาค่าจุดตัดและความชัน ดังนี้
 - 4.1 บันทึกข้อมูลค่า MDF จำนวน 16 ค่า และ RMS จำนวน 16 ค่า ที่ได้จากก่อนการฝึก 2 วัน เป็นค่าอ้างอิง (reference) คือจะได้ค่า MDF เท่ากับ 100 จำนวน 16 ค่า และค่า RMS เท่ากับ 100 จำนวน 16 ค่า
 - 4.2 นำค่าที่ได้ในข้อ 4.1 ไปวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย เพื่อให้ได้ค่าจุดตัดและความชัน (ค่าจุดตัดและความชันของ MDF และ RMS ที่ได้จะเท่ากับ 100)
 - 4.3 การหาค่าจุดตัดและความชัน MDF และ RMS หลังการฝึก ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 3 และนำไปเปลี่ยนเป็นค่าร้อยละ โดยเทียบกับค่าอ้างอิง (ค่า MDF และ RMS ก่อนการฝึก 2 วัน) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย เพื่อให้ได้ค่าจุดตัดและความชัน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายอภิรักษ์ เทียนทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 มิถุนายน 2516
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยนาท
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ศิลปศาสตรบัณฑิต (พลศึกษา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. ปี พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม.
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน