เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา

ปริญญานิพนธ์

ของ

ณัฐธิดา บังเมฆ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

พฤษภาคม 2547

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ส๓๙๗๔๒
ณ๓๕๑ป
๒๐๓

เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา

บทคัดย่อ

ของ

ณัฐธิดา บังเมฆ

13 มิ.ย. 2547

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
พฤษภาคม 2547

ณัฐธิดา บังเมฆ. (2547). *เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา*. ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: รองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี ขวัญบุญจันทร์, อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ของกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาจากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จากนิสิตชายชั้นปีที่ 2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 15 คน แล้วให้ทั้งหมดออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และ วิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศา ทั้งสองรูปแบบ เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำการทดสอบค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนและสถิติที ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับความชันของการวิ่ง ดังนี้

การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิ่งเท่านั้น

การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นทั้งจากระยะเวลา และจากมัดกล้ามเนื้อเอง

ผลการเปรียบเทียบระหว่างการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 17 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 26

COMPARISON OF LEG FATIGUE BETWEEN FLAT AND INCLINED TREADMILL RUNNING

AN ABSTRACT

BY

NATTHIDA BANGMEK

Presented in partial fulfillment of requirements

For the Master of Science degree in Sport Sciences

at Srinakarinwirot University

May 2004

Natthida Bangmek. (2004). *Comparison of Leg Fatigue Between Flat and Inclined Treadmill Running*. Master thesis, M.Sc. (Sport Sciences). Bangkok : Graduate School, Srinakarinwirot University. Advisor Committee : Assoc. Prof. Dr. Supranee Kwanboonchan, Mr. Tanormsak Senakham.

The major purpose of this experimental research was to comparison of leg fatigue between flat and inclined treadmill running. Fifteen (15) subjects were purposive sampling all of them major in Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Srinakarinwirot University. All subjects were flat treadmill and inclined treadmill running program. The fatigue in gastrocnemius-lateral part muscle, gastrocnemius-medial part muscle , soleus muscle and tibialis anterior muscle of all subjects were tested 30 minute. Statistical analyses using analysis of variance and T-test.

The results indicate that duration and level of inclined treadmill do change leg fatigue. By flat treadmill running, leg fatigue up on the duration of exercise. By inclined treadmill running, leg fatigue up on the duration of exercise and muscle group. The fatigue of gastrocnemius-lateral part muscle between flat and inclined treadmill running were significantly in 10 and 13 minute. The fatigue of gastrocnemius- medial part muscle between flat and inclined treadmill running were significantly in 17 minute. The fatigue of soleus muscle between flat and inclined treadmill running was not significantly. The fatigue of tibialis anterior muscle between flat and inclined treadmill running were significantly in 26 minute. ($p<.05$)

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา

ของ
นางสาวณัฐธิดา บังเมฆ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาภรณ์ หะวานนท์)
วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ.2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี ขวัญบุญจันทร์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(รองศาสตราจารย์ทวีพงษ์ กลิ่นหอม)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์สนธยา สีละมาด)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงเป็นอย่างดี เนื่องด้วยความกรุณาอย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี ขวัญบุญจันทร์ ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ทวีพงษ์ กลิ่นหอม และ อาจารย์สนธยา สีละมาด ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ เสนอแนะ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ และมีคุณค่าทางวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณนิสิตวิทยาศาสตร์การกีฬาชั้นปีที่ 2 ที่กรุณาสละเวลาเข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างด้วยความเต็มใจ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อนึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณมธุรส ดอนจวง คุณศิริพร เทียบเทียม และคุณนงลักษณ์ ยอดมงคล ที่ช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอบคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ผู้วิจัยขอบูชาพระคุณ พ่อครูสม บังเมฆ ที่ให้การอบรมสั่งสอนความรู้ต่าง ๆ คุณพ่อยงยุทธ คุณแม่ทธิดา บังเมฆ บุพการี ผู้ให้ทั้งชีวิต การอบรมเลี้ยงดูและให้โอกาสทางการศึกษาแก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณ คุณณัฐพร บังเมฆ คุณศิริรัตน์ เผื่อนจันทึก และคุณนัฐพล แดงตะโคตร ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนด้วยดีเสมอมา คณประโยชน์ใด ๆ ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด

ณัฐธิดา บังเมฆ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
	ความสำคัญของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
	สมมุติฐานในการวิจัย	5
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	
	เทคนิคการวิ่ง	6
	ระบบกล้ามเนื้อ	12
	ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ	16
	คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	18
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
	งานวิจัยในต่างประเทศ	29
	งานวิจัยในประเทศ	30
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	
	การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	34
	การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	34
	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	35
	การเก็บรวบรวมข้อมูล	36
	การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**	
	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	38
	การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล	39
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	40
5	**สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ**	
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	90
	สมมุติฐานในการวิจัย	90
	วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า	90
	การวิเคราะห์ข้อมูล	91
	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล	92
	อภิปลายผล	96
	ข้อเสนอแนะ	101
บรรณานุกรม		103
ภาคผนวก		108
ภาคผนวก ก.	**โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ**	109
ภาคผนวก ข.	**โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นลาดชัน**	111
ภาคผนวก ค.	**การหาค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด**	113
ภาคผนวก ง.	**หนังสือแสดงความยินยอม**	115
ประวัติย่อผู้วิจัย		117

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง..... 40

2 ค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 15 คน..... 40

3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้า
ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา
และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที..... 42

4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้า
ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา
และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที..... 45

5 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้า
ของกล้ามเนื้อโซเลียส จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา
และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที..... 47

6 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้า
ของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา
และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที..... 49

7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจาก
การวิ่งบนพื้นเรียบและระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกันที่มีต่อ
ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 มัด..... 51

8 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้า
ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ทั้ง 30 นาที..... 52

9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจาก
การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศาและระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกัน
ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 มัด..... 58

10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่าง
ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก
จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 59

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

11 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้า ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 59

12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 65

13 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้า ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 66

14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 72

15 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้า ของกล้ามเนื้อโซเลียส แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 72

16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 78

17 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้า ของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา..... 78

18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจาก การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศาที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้า ของกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 มัด ทั้ง 30 นาที..... 84

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

19 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา นาทีที่ 4 และนาทีที่ 26..... 89

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 ลักษณะกายภาพของกล้ามเนื้อลาย..... 13

2 แสดงค่าที่เครื่องอีเอ็มจี วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ..... 21

3 แสดงความแตกต่างการเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ
เมื่อพิจารณาจากกราฟและค่าความถี่กลาง..... 22

4 แสดงค่าความถี่กลางของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ..... 23

5 ผลของการออกแรงให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมทริค
ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลาง..... 24

6 ตำแหน่งที่ติดอิเลคโทรดที่กล้ามเนื้อกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก
และกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน 26

7 ตำแหน่งที่ติดอิเลคโทรดที่กล้ามเนื้อโซเลียส..... 27

8 ตำแหน่งที่ติดอิเลคโทรดที่กล้ามเนื้อหน้าแข้ง..... 27

9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่อง
ส่วนด้านนอก ในแต่ละระยะเวลา..... 44

10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน
แต่ละระยะเวลา..... 46

11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส
ในแต่ละระยะเวลา..... 48

12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง
ในแต่ละระยะเวลา..... 50

13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลางของกล้ามเนื้อขา
ส่วนล่างในการวิ่งพื้นเรียบ 0 องศา 30 นาที..... 97

14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลางของกล้ามเนื้อขา
ส่วนล่างในการวิ่งพื้นลาดชัน 3 องศา 30 นาที..... 99

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

การออกกำลังกาย หมายถึง การใช้กล้ามเนื้อ และอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายทำงานมากกว่าการเคลื่อนไหวปกติหรืออิริยาบถต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน โดยจุดประสงค์ในการออกกำลังกายนั้น เพื่อให้ร่างกายเกิดความสมบูรณ์แข็งแรง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกาย การใช้ชีวิตประจำวัน ตลอดจนการเล่นกีฬาและที่สำคัญทำให้เกิดการปรับตัวของระบบอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งตรงกับจุดมุ่งหมายของการออกกำลังกาย คือ เพื่อให้เกิดการปรับตัวทางชีวเคมี และปรับปรุงสมรรถภาพทางกาย ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อเฉพาะ ซึ่งเอื้อให้กล้ามเนื้อมีความสามารถในการออกแรง (Force Generating Capacity) มีผลต่อการทำงานของหัวใจ และการปรับตัวของอวัยวะส่วนปลาย ทำให้เกิดความสามารถในการใช้พลังงานและได้รับเลือดมาเลี้ยงทางหลอดเลือดฝอย (Capillary Supply) เพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ซึ่งการพัฒนาการทำงานของระบบหัวใจ ไหลเวียนโลหิต ระบบหายใจ และระบบกล้ามเนื้อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น สามารถที่จะเพิ่มสมรรถภาพการทำงานของร่างกายได้ สอดคล้องกับ เจริญ กระบวนรัตน์ (2542 : 3) กล่าวว่า ทุกครั้งที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว ออกกำลังกาย ระบบการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายย่อมเกิดการปรับตัว และเปลี่ยนแปลงพร้อมกันไปด้วยเสมอ และผลอันเนื่องมาจากการที่ร่างกายออกกำลังกายนี้จะทำให้เนื้อเยื่อบางส่วนของร่างกายถูกทำลาย และสร้างเสริมขึ้นมาใหม่ด้วยขนาด และความแข็งแรงที่มากขึ้นกว่าเดิม กล่าวคือ เมื่อมีการออกกำลังกายจะเกิดการพัฒนาต่อคุณสมบัติของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะเป็นไปในด้านการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการปรับตัวเพื่อตอบสนองและเตรียมพร้อมที่จะรับกับสถานการณ์ความเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านของปริมาณ และความหนักในการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้นในโอกาสต่อไป ดังนั้น คนที่ได้รับการออกกำลังกายบ่อย ๆ จึงมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงมากกว่าคนที่ไม่ได้ออกกำลังกาย

การออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนลู่กล (Treadmill) เป็นการออกกำลังกายที่สามารถปรับความเร็วของสายพานลู่กลให้หมุนเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วที่ต้องการได้ และอีกทั้งยังสามารถปรับองศาของการวิ่งได้อีกด้วย แต่ต้องมีการทำความคุ้นเคยกับลักษณะการเคลื่อนไหวและความเร็วของสายพานลู่กลให้ดีก่อนเพื่อปรับจังหวะการก้าวเท้าวิ่งให้สัมพันธ์กับอัตราความเร็วของสายพานลู่กล หากเกิดเสียจังหวะในการก้าวเท้าวิ่งก็สามารถใช้มือจับราวคู่ที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างของลำตัวได้เพื่อป้องกันการเสียหลัก ซึ่งทำให้มีผลต่อการปรับอัตราความเร็ว และความยาวของช่วงก้าวในการวิ่งให้พัฒนาดีขึ้นได้ เนื่องจากสามารถ

ควบคุมท่าทางและลักษณะการวิ่งอย่างใกล้ชิดได้ (เจริญ กระบวนรัตน์. 2542 : 85) ในการออกกำลังกายโดยการวิ่งนั้น ต้องอาศัยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถภาพทางกาย ทักษะกีฬาและความสามารถทางด้านเทคนิคแต่ละบุคคลเป็นหลัก องค์ประกอบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเคลื่อนไหวคือ ความเร็ว หรือการเร่งความเร็วในบางจังหวะของการเคลื่อนไหว ความสามารถในการเร่งอัตราความเร็ว (Acceleration) ในการวิ่งและการรักษาความเร็วสูงสุดให้คงสภาพอยู่ได้เป็นเวลานาน ซึ่งในแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นฐานของร่างกาย ซึ่งเมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นให้หดตัวซ้ำ ๆ กัน หรือกล้ามเนื้อทำงานเป็นเวลานาน จะพบว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อมัดนั้น ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากกล้ามเนื้อเกิดอาการล้า (Fatigue) เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง การทำงานในลักษณะท่าทางของการวิ่งนั้น ส่งผลให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อได้ อีกทั้งในการวิ่งนั้นเป็นการทำงานที่กล้ามเนื้อสะโพก และขาทำงานอย่างหนักเพื่อที่จะได้ผลในการวิ่งได้อย่างเต็มที่ และจะต้องควบคุมการทรงตัวในขณะอยู่บนลู่วิ่งแบบอยู่กับที่ ภาวะสถิต (Static load) ที่เกิดขึ้นแก่กล้ามเนื้อต่าง ๆ จะทำให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อขาอย่างรวดเร็ว

ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับบทบาทการทำงานของกล้ามเนื้อในกีฬาประเภทต่าง ๆ โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในนักกีฬาวิ่ง พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นในการอธิบายการทำงานของกล้ามเนื้อขา เช่น กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps Muscle) กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstring Muscle) และกล้ามเนื้อสะโพก (Gluteus Muscle) เท่านั้น ทั้งนี้ในความเป็นจริงแล้วยังต้องใช้กล้ามเนื้อหลายส่วนในร่างกาย เช่น ขา น่อง สะโพก หลัง และแขน เนื่องจากเป็นกีฬาที่ต้องมีการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกายเพื่อให้สามารถวิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งการวิ่งนั้นเป็นการออกกำลังกายที่สามารถเคลื่อนไหวได้หลายทิศทาง เนื่องจากการนำเทคโนโลยี เครื่องจักรกลมาใช้เพื่อทุ่นแรงในการออกกำลังกาย จึงสามารถที่จะปรับระดับความเร็ว ความชันของลู่วิ่งได้ตามต้องการ

ดังนั้น จึงเป็นที่น่าสนใจว่าความชันของลู่วิ่งที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อความรู้สึกเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาแตกต่างกันหรือไม่ และที่ผ่านมายังพบว่าไม่มีผู้ใดทำการศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างขณะที่ทำการวิ่งซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่สำคัญสำหรับการวิ่งเช่นกัน

ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิด และมีความสนใจที่จะมุ่งศึกษาเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งในเรื่องของการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาโดยการวิ่ง แต่ยังขาดการศึกษาวิจัย และแนะนำด้านหลักการออกกำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากการวิ่งในรูปแบบพื้นที่ความลาดชันที่แตกต่างกัน เกิดความรู้สึกเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างได้ไม่ต่างกัน ก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่ออกกำลังกาย ผู้ที่คิดจะเริ่มต้นออกกำลังกาย หรือผู้ที่สนใจเรื่องของการออกกำลังกาย เกิดความรู้ และความเข้าใจในการที่จะพัฒนา ปรับปรุงรูปแบบการฝึก และการเลือกชนิดในการออกกำลังกายได้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ที่มีต่อกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

2. เพื่อเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศาและพื้นลาดชัน 3 องศา ที่มีต่อระยะเวลาการวิ่งทุก ๆ นาที ตลอด 30 นาที ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

ความสำคัญของการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงและความเมื่อยล้าจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกชนิดของการออกกำลังกายที่เหมาะสมต่อตนเอง

3. ผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นนิสิตชายในระดับอุดมศึกษา ชั้นปีที่ 2 จำนวน 30 คน ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตชายในระดับอุดมศึกษา ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 15 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ แบ่งเป็นดังนี้

1.1 การวิ่งบนพื้นเรียบ

1.2 การวิ่งบนพื้นลาดชัน

2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่บอกความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ** (Muscular Fatigue) หมายถึง การประเมินความเมื่อยล้าที่วัดโดยใช้เครื่องมือวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ซึ่งใช้ค่าความถี่กลาง (Median Frequency : MF) เป็นตัวชี้วัด ซึ่งกล้ามเนื้อขาส่วนล่างที่วัดได้แก่ กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และ กล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

2. **คลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ** (Electromyogram) หมายถึง การบันทึกคลื่นไฟฟ้าจากมัดกล้ามเนื้อที่อยู่ในตัวคน เพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นขณะหดตัว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ เนื่องจากการผ่านของอิออนต่าง ๆ เข้าออกเซลล์กล้ามเนื้อในการออกกำลังกาย

3. **ค่าความถี่กลาง** (Median Frequency : MF) หมายถึง ค่าความถี่กลางของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Center Frequency) ที่แบ่งพื้นที่ใต้เพาเวอร์ สเปกตรัม (Power Spectrum) เป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ เมื่อกล้ามเนื้อเมื่อยล้ามากขึ้น ค่าความถี่กลางจะเลื่อนไปถึงช่วงความถี่ต่ำ

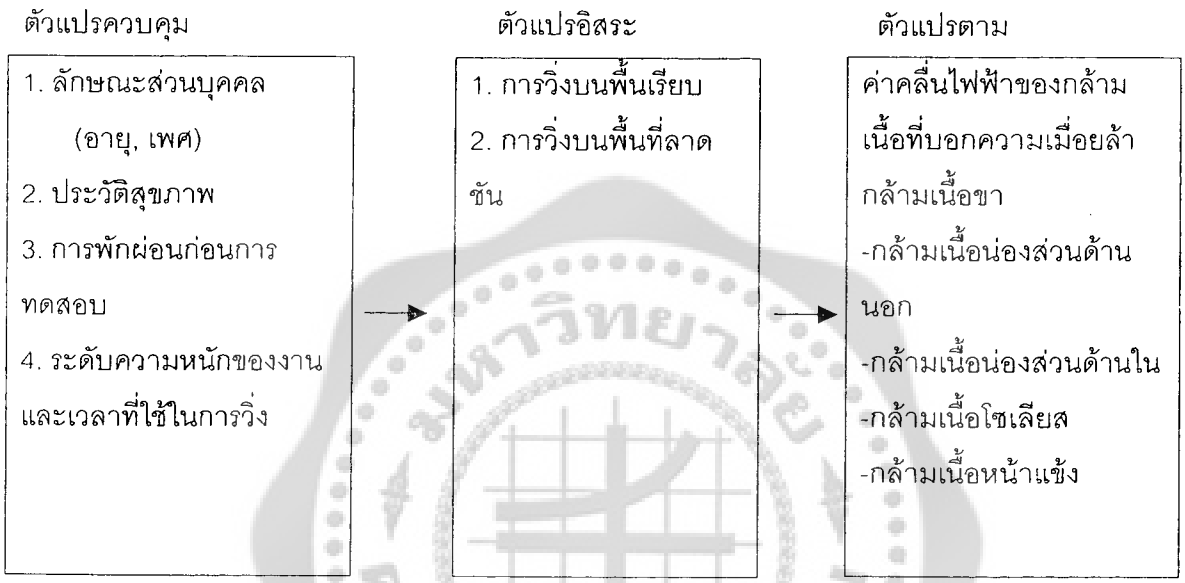
4. **วิธีการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ** หมายถึง การวิ่งบนลู่วิ่ง ที่มีความเอียง 0 องศา

5. **วิธีการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นที่ลาดชัน** หมายถึง การวิ่งบนลู่วิ่ง ที่มีความเอียง 3 องศา

6. **ลู่วิ่ง** (Treadmill) หมายถึง เครื่องมือออกกำลังกายด้วยการวิ่งแบบตั้งอยู่กับที่ โดยสามารถปรับเพิ่มลดระดับความเร็ว และความชันตามที่ผู้วิ่งต้องการได้ การวิ่งบนพื้นเรียบ ใช้ลู่วิ่งที่มีระดับความชัน 0 องศา ความเร็ว 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการวิ่งบนพื้นลาดชัน ใช้ลู่วิ่งที่มีระดับความชัน 3 องศา ความเร็ว 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

7. **ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (อิเลคโทรด)** หมายถึงขั้วรับสัญญาณแบบผิว (Surface Electrode) โดยใช้อิเลคโทรดชนิดซิลเวอร์อิเลคโทรดที่เคลือบด้วยคลอไรด์ (Ag/AgCl) เพื่อรับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ บนผิวหนังเหนือกล้ามเนื้อที่ต้องการ

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมุติฐานในการวิจัย

การวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชันเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างแตกต่างกัน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การวิ่งบนลู่วิ่ง
2. ระบบกล้ามเนื้อ
3. ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ
4. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill Running)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2542 : 85) กล่าวว่า เป็นการฝึกวิ่งโดยวิธีให้นักกีฬาวิ่งบนลู่ ซึ่งสามารถปรับความเร็วของสายพานลู่ให้หมุนเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วตามการ ซึ่งเป็นการฝึกอีกวิธีหนึ่งที่มีผลต่อการปรับอัตราความเร็วและความยาวของช่วงก้าวในการวิ่งให้พัฒนาดีขึ้นได้ นอกจากนี้ ยังช่วยให้ผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถควบคุมดูแลแก้ไขปรับปรุงลักษณะท่าทางการวิ่งของนักกีฬาได้อย่างใกล้ชิดตลอดจนระยะเวลาของการฝึก อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการตรวจสอบและการฝึกสมรรถภาพทางกายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้อย่างดีอีกด้วย

อย่างไรก็ตามเพื่อให้การฝึกสามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุผลตามเป้าหมายมากที่สุดควรจะได้มีการอธิบายแนะนำให้นักกีฬาเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการฝึก ดังต่อไปนี้

1. นักกีฬาควรอบอุ่นร่างกายให้พร้อมก่อนเข้ารับการฝึกบนลู่วิ่ง เช่นเดียวกับที่เคยปฏิบัติเป็นประจำก่อนฝึกซ้อมประจำวัน

2. ก่อนเริ่มการฝึกตามโปรแกรมที่เตรียมไว้อย่างจริงจังควรให้นักกีฬาได้มีโอกาสเรียนรู้ทำความคุ้นเคยกับลักษณะการเคลื่อนไหวและความเร็วของสายพานลู่วิ่งก่อน เพื่อปรับจังหวะการก้าวเท้าวิ่งให้สัมพันธ์กับอัตราความเร็วของสายพานลู่วิ่ง อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์

3. ในขณะที่สายพานลู่วิ่งถูกปรับอัตราความเร่งให้หมุนเร็วขึ้น เพื่อกระตุ้นให้นักกีฬาเพิ่มอัตราความเร็วในการก้าวเท้าวิ่งตามโปรแกรมฝึกนั้น หากนักกีฬาเกิดเสียจังหวะในการก้าวเท้าวิ่งให้ใช้มือทั้งสองจับราวคู่ที่อยู่ทางด้านข้างของลำตัวเพื่อประคองตัวมิให้เสียหลัก ขณะเดียวกันพยายามปรับอัตราความเร็วในการก้าวเท้าวิ่งให้สัมพันธ์กับอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของสายพานลู่วิ่ง

4. เพื่อให้การปรับตั้งความเร็วของสายพานลู่วิ่งเป็นไปอย่างถูกต้องรวดเร็ว และสัมพันธ์กับอัตราในการเร่งความเร็วของนักกีฬาที่เข้ารับการฝึกอย่างแท้จริง จึงควรมีการทดลองปรับตั้งอัตราความเร็วของ

ลู่วิ่งให้สัมพันธ์กับอัตราความเร่งของนักกีฬาอย่างน้อย 6-8 ครั้งล่วงหน้าก่อนเริ่มเข้าโปรแกรมฝึกจริง วิธีนี้นอกจากจะไม่ทำให้เสียเวลาในการฝึกแล้ว ยังช่วยมิให้นักกีฬาต้องเหนื่อยล้ามากเกินไปด้วย

ท่าการวิ่ง

ประโยชน์ บุญสินสุข และ รุ่งทิวา ชาญพิทยานุกูลกิจ (2536 : 37) กล่าวไว้ว่า ตราบใดที่มนุษย์ไม่มีท่าเดินเหมือนกันทุกประการ ตราบนั้นก็ไม่มีนักวิ่งที่วิ่งด้วยท่าทางต่าง ๆ ที่เหมือนกัน ทุกคนมีความยาวของช่วงขาที่ต่างกัน ความกว้างของแต่ละก้าวก็ต่างกัน กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการวิ่งก็ใหญ่ เล็ก แข็งแรงไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะพยายามเลียนแบบ ท่าวิ่งของตนเองนั่นแหละเหมาะสมที่สุดสำหรับตัวเอง แต่ปัญหาย่อมมีสำหรับนักวิ่งใหม่ ๆ คือ ไม่สามารถปล่อยตัวให้ตามสบาย กล้ามเนื้อจึงเกร็งแข็งไปหมด อาทิเช่น ขาเหยียดแข็ง งอเข่า งอสะโพก ไม่ได้ คอและหลังแข็งดังเช่นแผ่นกระดาน มือไม้แข็งอยู่ในท่าหงิกงอหรือกำไว้อย่างแน่นขนัด ข้อศอกงออยู่ตลอดเวลาที่วิ่ง จากการเกร็งของกล้ามเนื้อทั้งตัวนี้ทำให้การวิ่งไม่เป็นเส้นตรง เฉียงไป เฉมา และส่วนใหญ่จะวิ่งปลายเท้าทำให้นิ้วเท้ากระแทกกับพื้นอยู่ตลอดเวลา เกิดอาการปวดแสบแดงร้อนจนวิ่งต่อไปไม่ไหว

ท่าทางในการวิ่งบนลู่วิ่งมีลักษณะที่สำคัญซึ่งแตกต่างไปจากการวิ่งระยะสั้นและการวิ่งระยะไกลบ้างเล็กน้อย (เจริญ กระบวนรัตน์. 2545 : 180) คือ

1. จังหวะในการก้าวเท้าของการวิ่งบนลู่วิ่งช้ากว่าการวิ่งระยะสั้น
2. ความยาวของช่วงก้าวในการวิ่งบนลู่วิ่ง สั้นกว่าการวิ่งระยะสั้น
3. มุมของลำตัวในขณะวิ่งควรทำมุมกับพื้น ประมาณ 85 องศา
4. ความสูงของเข่าที่ยกขึ้นในขณะที่วิ่งจะต่ำกว่าการวิ่งระยะสั้น
5. แรงถีบเท้าส่งตัวในการวิ่ง น้อยหรือเบากว่าการวิ่งระยะสั้น
6. การวางเท้าลงสู่พื้นขณะวิ่งจะลงด้วยปลายเท้าบริเวณส่วนที่อยู่ใกล้กับอุ้งเท้าก่อน
7. การแกว่งแขนเบาและช้ากว่าการวิ่งระยะสั้น

การแกว่งแขน (Arm Action)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2545 : 56) กล่าวว่า ลักษณะของการแกว่งแขนในการวิ่ง เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวิ่ง ช่วยให้เกิดความสมดุลและการทรงตัวที่ดี ช่วยเสริมแรงส่งตัว และความเร็วในการวิ่งให้เกิดความสัมพันธ์กลมกลืนต่อเนื่องกันในขณะวิ่ง นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อหัวไหล่และลำตัวบางส่วนได้อีกด้วย สำหรับมุมการเคลื่อนไหวของหัวไหล่และลักษณะการแกว่งแขนนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการวิ่ง ยิ่งนักวิ่งเร่งความเร็วในการวิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่าใด มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อหัวไหล่และแขนก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ส่งผลให้เกิดแรงในการแกว่งแขนส่งตัวเพื่อการวิ่งมากยิ่งขึ้น ลักษณะดังกล่าวนี้หากนักวิ่งมีทักษะพื้นฐานในการแกว่งแขน

อย่างถูกต้อง จะช่วยให้เกิดความได้เปรียบและช่วยประหยัดแรงในการวิ่ง ที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้น ยังมีส่วนช่วยในการรักษาและประคองความเร็วสูงสุดในช่วงสุดท้ายของการเร่งความเร็วไว้ได้ โดยไม่เกิดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อลำตัวและหัวไหล่

จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย (Center of Gravity)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2545 : 57) กล่าวว่า ความแตกต่างของระดับจุดศูนย์ถ่วง ของร่างกายในขณะวิ่ง จะเกิดขึ้นมากกว่าในขณะเดินประมาณ 5-6 เซนติเมตร ส่วนปฏิกิริยาของแรงดันย้อนกลับทุกจังหวะที่เท้าสัมผัสพื้น ไม่ว่าจะเป็นการวิ่งหรือการเดินก็ตาม จะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือประมาณ 2 เท่าของน้ำหนักตัว แต่เนื่องจากการเดินหรือการวิ่งเหยาะ ๆ จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาของแรงดันย้อนกลับระหว่างเท้ากับพื้นในแนวดิ่งเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เกิดแรงกระแทก แรงเสียดทาน ตลอดจนแรงส่งตัวขึ้นในแนวตั้งมากกว่าแนวเฉียงหรือแนวนอน เป็นผลให้การเคลื่อนที่ไม่อาจทำได้รวดเร็ว การที่จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงต่ำในขณะวิ่ง ย่อมมีผลกระทบต่อความสมดุลและความมั่นคงในการทรงตัวตลอดจนความเร็วในการวิ่ง การแกว่งปลายแขนให้เฉียงเข้าหาด้านในของลำตัว และการปรับมุมลำตัวให้โน้มไปข้างหน้าเล็กน้อย จึงเป็นการช่วยปรับระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและช่วยควบคุมจุดศูนย์ถ่วงให้อยู่ในแนวหรือระดับที่ต้องการ ทำให้โอกาสที่จะเสียการทรงตัวขณะเร่งความเร็วในการวิ่งน้อยลง ก่อให้เกิดความสัมพันธ์ที่มั่นคงและความเร็วในการวิ่งดียิ่งขึ้น

ตำแหน่งที่เท้าสัมผัสพื้น (Foot Position)

การวางเท้าสัมผัสพื้นในแต่ละช่วงก้าวของการวิ่ง จะมีความแตกต่างไปจากการเดิน ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวนี้ จะปรากฏมากน้อย ขึ้นอยู่กับความเร็วในการวิ่งเป็นสำคัญ ในกรณีที่ใช้ความเร็วในการวิ่งเกือบสูงสุดหรือสูงสุด ตำแหน่งของเท้าที่จะวางสัมผัสพื้นก่อนส่วนอื่น ก็คือ ปลายเท้าบริเวณค่อนมาทางข้างเท้าด้านนอกตรงบริเวณโคนนิ้วก้อย แต่ถ้าเป็นการวิ่งที่ใช้ความเร็วปานกลาง ตำแหน่งของเท้าที่สัมผัสพื้นจะแตกต่างไปจากการวิ่งเร็วเล็กน้อย โดยที่ข้างเท้าค่อนมาทางด้านในตรงบริเวณติดต่อกับอุ้งเท้าจะเป็นส่วนที่สัมผัสพื้นก่อนส่วนอื่น ยิ่งถ้าความเร็วลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งกลายเป็นการวิ่งเหยาะ ๆ ตำแหน่งของการวางเท้าสัมผัสพื้นจะกลายมาเป็นส้นเท้าสัมผัสพื้นก่อนอื่น จากนั้นฝ่าเท้าและปลายเท้าจึงสัมผัสพื้นแล้วส่งตัวให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือในทิศทางที่ต้องการ

ข้อที่น่าสังเกต คือ บริเวณของเท้าที่สัมผัสพื้นนั้น จะค่อย ๆ เปลี่ยนตำแหน่งจากปลายเท้าลดต่ำลงมาตามลำดับ จนกระทั่งถึงส้นเท้าตามความเร็วของการวิ่งที่ลดลง และระยะเวลาที่เท้าสัมผัสอยู่บนพื้นในแต่ละช่วงก้าวของการวิ่งเหยาะ จะกินเวลาน้อยกว่าในการเดินโดยเฉลี่ยประมาณ 0.01 วินาที และอาจมีความแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นหากนักวิ่งใช้ความเร็วในการวิ่งสูงขึ้น

การทำงานของเข่าในขณะวิ่ง (Knee Action)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2545 : 59) กล่าวว่าในการวิ่งที่ถูกต้องตามหลักของการเคลื่อนไหวนั้น ควรยกเข่าขึ้นสูงจนกระทั่งอยู่ระดับเดียวกับสะโพกหรือต้นขา ขนานกับพื้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเหยียดปลายขาก้าวเท้าไปข้างหน้าได้ระยะทางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ถ้าต้องการให้บังเกิดผลดีต่อการวิ่งมากยิ่งขึ้น ปลายเท้าที่ถีบยันพื้นเพื่อส่งตัวไปข้างหน้า ควรตวัดขึ้นมาทางด้านหลังในลักษณะที่ทำมุมขนานกับพื้นหรือสูงเกือบถึงสะโพก ลักษณะดังกล่าวนี้ จะช่วยส่งผลให้เกิดแรงเหวี่ยงเท้าขณะก้าวเท้าได้เร็วมากยิ่งขึ้น ช่วยให้มุมการเคลื่อนไหวในการเหยียดเข่า ก้าวเท้า กว้างและยาวขึ้น แต่ทั้งนี้ นักกีฬาจะต้องได้รับการฝึกจนกระทั่งเกิดความชำนาญ และมีความสัมพันธ์กลมกลืนกันเป็นอย่างดีในทุกจังหวะของการเคลื่อนไหว ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ ถือว่าเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญของนักวิ่งเร็วหรือนักวิ่งระยะสั้นที่มีความแตกต่างไปจากนักวิ่งระยะกลางและระยะไกล

การที่ปลายขาและส้นเท้าถูกเหวี่ยงมาทางด้านหลังและตวัดขึ้นข้างบนอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกือบถึงระดับสะโพกในขณะวิ่งนั้น นับเป็นความได้เปรียบในเรื่องของการใช้แรงอย่างมากและเป็นการผ่อนแรงไปในตัว ทั้งนี้ เพราะจะทำให้ความเร็วของรัศมีในการแกว่งเท้าลดลง เนื่องจากส้นเท้าถูกตวัดขึ้นสูงจนเกือบชิดกันทำให้จังหวะในการกระตุกเข่า ดึงเท้าเตะก้าวมาข้างหน้าสามารถกระทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้นในจังหวะที่ส้นเท้าถูกตวัดสูงสุด เป็นผลให้ความเร็วปลายเท้าขณะเตะเท้ากลับมาก้าววิ่ง สูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ความถี่และความยาวของช่วงก้าวในการวิ่งเพิ่มขึ้น ลักษณะการเคลื่อนไหวดังกล่าวนี้ นับเป็นคุณสมบัติที่ดีของนักวิ่ง อีกประการหนึ่ง

แรงฉุด (Braking Force)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2545 : 59) ได้กล่าวไว้ว่า ปัจจุบันสิ่งที่เกิดเป็นปัญหา และอุปสรรคต่อบรรดานักวิ่งทั้งหลายมากที่สุดคือ แรงฉุดรั้งหรือแรงต้านทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย อันเกิดจากการจัดสัดส่วนของร่างกายในขณะวิ่งไม่ถูกต้อง มีผลทำให้ความเร็วในการวิ่งลดลง หรือทำให้ไม่สามารถวิ่งได้เร็วเท่าที่ควร ด้วยเหตุนี้ บรรดานักวิทยาศาสตร์การกีฬาจึงพยายามศึกษา ค้นคว้าและทำการทดลองเพื่อหาแนวทางและวิธีการแก้ไขปรับปรุงการเคลื่อนไหวให้เกิดประสิทธิภาพในการฝึกซ้อมและการแข่งขันมากยิ่งขึ้น ผลจากการค้นคว้าทดลอง พบว่า การวิ่งจะบังเกิดผลดีมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากการวางเท้าสัมผัสพื้นในขณะวิ่ง อยู่ไม่ห่างจากแนวของจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเมื่อลากเส้นผ่านจุดศูนย์ถ่วงไปตั้งฉากกับพื้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ นักวิ่งควรโน้มลำตัวไปข้างหน้าเล็กน้อย เพื่อเพิ่มความยาวของช่วงก้าว โดยที่การวางเท้ารับน้ำหนักตัวยังคงอยู่ในรัศมีที่ไม่ห่างจากแนวของจุดศูนย์ถ่วงมากนักเมื่อลากเส้นผ่านจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายในแนวดิ่งลงมาตั้งฉากกับพื้น ลักษณะเช่นนี้จะมีผลช่วยให้แรงฉุดรั้งร่างกายหรือแรงต้านทานการเคลื่อนไหวในขณะวิ่งเกิดขึ้นน้อยที่สุด ทั้งนี้ รวมไปถึงการแกว่งแขนจะต้องเป็นไปอย่างถูกต้องและสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนไหวด้วย

การทำงานของสะโพกในขณะวิ่ง (Hip Action)

(เจริญ กระบวนรัตน์. 2545 : 60) ในการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งอย่างรวดเร็วฉับไว เช่นการวิ่งเร็วหรือการวิ่งระยะสั้นนั้นปฏิกิริยาการทำงานของข้อต่อสะโพกจะต้องเป็นไปอย่างรวดเร็วฉับไวด้วย จึงจะสามารถทำให้เกิดแรงบิดหมุนอย่างมหาศาลขึ้นที่ข้อต่อส่วนนี้ ซึ่งจะทำให้การกระตุกเข่า เตะเท้าก้าวไปข้างหน้าสามารถกระทำได้เร็วยิ่งขึ้นแต่ละส่วนของร่างกาย จะต้องประสานกลมกลืนและสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ไม่มีอาการยึดเกร็งของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นที่ส่วนหนึ่งส่วนใดในทุกจังหวะของการเคลื่อนไหว จึงจะทำให้การใช้แรงดังกล่าวเกิดประสิทธิภาพเป็นผลดีต่อการวิ่งอย่างแท้จริง

เวลาของการเคลื่อนไหวขณะที่เท้าสัมผัสพื้นและลอยอยู่ในอากาศ

โดยปกติ ในการวิ่งจะมีการเคลื่อนไหวอยู่จังหวะหนึ่งที่เท้าสองข้างมิได้สัมผัสพื้น ยิ่งถ้าเร่งความเร็วในการวิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่าใด ช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสอยู่บนพื้นก็จะยิ่งน้อยลงไปเท่านั้น เวลาที่ใช้ในการพยุงร่างกายทรงตัวอยู่บนลู่วิ่งจึงสั้นกว่าการเดินมาก การเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ของนักวิ่งเร็วจึงใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในอากาศมากกว่าอยู่บนลู่วิ่ง

มุมของลำตัวในขณะวิ่ง

ในการวิ่งแต่ละประเภท ลักษณะมุมของลำตัวนักวิ่งจะแตกต่างกันไปตามความเร็ว จากการวิจัยพบว่า มุมของลำตัวนักวิ่งระยะสั้นโน้มไปข้างหน้าเล็กน้อยในขณะวิ่ง ประมาณ 5-7 องศา วัดจากแนวดิ่ง นอกจากนี้ ยังพบว่า นักวิ่งระยะสั้นบางคนลำตัวกลับแดะไปข้างหลังในขณะเร่งความเร็วเต็มที่ ลักษณะเช่นนี้อาจเนื่องมาจากความผิดปกติของโครงสร้างร่างกายโดยธรรมชาติ หรือเกิดจากความบกพร่องของสมรรถภาพทางกาย โดยเฉพาะกล้ามเนื้อลำตัวด้านหน้าและด้านหลัง ส่วนมุมลำตัวของนักวิ่งระยะกลางและระยะไกล จะโน้มไปข้างหน้าจากลักษณะปกติเพียงเล็กน้อยหรืออาจจะอยู่ในแนวที่ทำมุมตั้งฉากกับพื้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงมุมของลำตัวยังขึ้นอยู่กับความต้านทานของแรงลมที่เข้าปะทะในขณะวิ่งและสมรรถภาพความสมบูรณ์แข็งแรงนักกีฬาด้วย ที่สำคัญก็คือ ไม่ว่ามุมของลำตัวจะโน้มไปข้างหน้าหรือแดะไปข้างหลังก็ตาม จะต้องไม่เกิดขึ้นจากอาการเกร็งของกล้ามเนื้อที่พยุงลำตัว หากแต่เป็นการโน้มตัวหรือแดะตัวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งไม่มีผลทำให้กล้ามเนื้อพยุงลำตัวและกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบหายใจ ต้องได้รับความกระทบกระเทือนในการทำหน้าที่

ในกล้ามเนื้อของร่างกายนั้น ส่วนที่ทำการวิ่งเป็นกล้ามเนื้อลาย ซึ่งควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อ แตกต่างกับกล้ามเนื้อเรียบที่เป็นส่วนประกอบของอวัยวะภายใน เช่น กระเพาะ ลำไส้ เส้นเลือด เป็นต้น กล้ามเนื้อลายนั้นมีอยู่ 2 ชนิด คือกล้ามเนื้อที่เป็นสีแดง เนื่องจากมีความสามารถในการจับก๊าซออกซิเจนสูง กล้ามเนื้อเหล่านั้นเหมาะสำหรับการทำงานที่ต้องการความต่อเนื่องหรือ แบบแอโรบิค

กล้ามเนื้อลายอีกชนิดซึ่งมีสีขาว กล้ามเนื้อแบบนี้มักทำงานในช่วงเวลาสั้น ๆ ที่ต้องการกำลังและความเร็วหรือการทำงานแบบ แอนแอโรบิค (Anaerobic) หมายความว่าเฉพาะเวลาหดตัวเท่านั้นที่ไม่ต้องการอากาศ หลังจากหดตัวแล้วจะใช้อากาศเพิ่มขึ้นกว่าเดิมมาก ที่จริงในกล้ามเนื้อมัดเดียวกันของมนุษย์ก็มีกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชนิดคละกันอยู่ ดังนั้นการที่กล้ามเนื้อชนิดไหนจะทำงานย่อมขึ้นอยู่กับประเภทของงานหรือกีฬาชนิดนั้นว่าต้องการกำลังความไว หรือความทนทาน

การวิ่งนั้นต้องอาศัยกล้ามเนื้อน่องซึ่งใช้การเขย่งเท้าลง ถีบตัวออกจากพื้น และกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าขึ้นตอนเอาส้นเท้าลงแตะพื้น ในการวิ่งด้วยความเร็วเพื่อแข่งในระยะสั้นนั้น นักกีฬาส่วนใหญ่จะเขย่งเท้าวิ่งจนถึงหลักชัย ซึ่งหมายความว่า ส้นเท้าไม่ลงแตะพื้น และกล้ามเนื้อชนิดขาวจะทำงานมากกว่าชนิดแดงเป็นการทำงานแบบไม่ใช่ออกซิเจน กล้ามเนื้อจะเมื่อยล้า

ส่วนการวิ่งเหยาะ ๆ หรือวิ่งมาราธอนนั้นต้องพยายามวิ่งให้นานที่สุด กล้ามเนื้อขาวจะเมื่อยล้าและหมดแรงในระยะสั้น กล้ามเนื้อชนิดแดงจะทำงานโดยมีอากาศช่วยในการเผาผลาญอาหารตลอดเวลา กล้ามเนื้อไม่เมื่อยล้าง่ายจึงวิ่งได้ทน การวิ่งลักษณะนี้จำเป็นต้องให้เหมือนกับการเดินมากที่สุด คือ เอาส้นลงแตะพื้นก่อนทุกครั้งแล้วจึงวางฝ่าเท้าลงแตะเขย่งเท้าเมื่อก้าวขาอีกข้างหนึ่งไปข้างหน้า กล่าวคือ ใช้ส้นเท้าลงก่อนปลายเท้า การทำงานของเท้าจึงมีทั้งการกระดกขึ้น ลง อย่างเป็นจังหวะต่อเนื่องกันตลอดเวลา การวิ่งแบบนี้จะไม่เมื่อยเร็ว ไม่เหนื่อยง่ายและไม่เป็นตะคริว บ่อยครั้งท่าวิ่งของคนหนึ่งอาจไม่เหมาะกับท่าวิ่งของอีกคนหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของเท้าตลอดจนร่างกายส่วนอื่น ๆ แตกต่างกัน เช่น หน้าแข้ง หัวเข่า ต้นขา สะโพก ลำตัว ทำให้แนวน้ำหนักหรือศูนย์ถ่วงของแต่ละคนแตกต่างกันออกไป กรณีการวิ่งซอยเท้าอยู่กับที่ไม่ว่าจะวิ่งเหยาะ ๆ หรือวิ่งเร็ว ๆ ร่างกายไม่ได้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ท่าการวิ่งจึงเป็นการเขย่งเอาปลายเท้าลงเท่านั้น ในการวิ่งเช่นนี้เรียกว่าไม่มีงานเกิดขึ้น ซึ่งไม่ค่อยมีประโยชน์นัก และนอกจากเหนื่อยง่ายแล้วโอกาสที่ข้อเท้าแพลงมีมาก การวิ่งอยู่กับที่ต้องวิ่งบนสายพาน (Treadmill) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ขณะวิ่งนอกจากเท้าและหัวเข่า จำต้องมีการงอและเหยียดอยู่ตลอดเวลา หัวเข่าจะเหยียดตรงขณะที่ส้นเท้ากระทบกับพื้น และจนคอย ๆ งอตัวเล็กน้อยเมื่อน้ำหนักตัวตกอยู่บนฝ่าเท้า และจะงอมากเมื่อเท้ายกพ้นจากพื้น คนที่หัวเข่างอไม่ได้ จึงมีปัญหาในการวิ่งมากเพราะเวลาวิ่งจะกะโผลกกะเผลก เนื่องจากไม่กล้างอหัวเข่า ศีรษะจึงผลุบ ๆ โผล่ ๆ ไม่ได้อยู่ในแนวระดับเดียวกัน

ส่วนลำตัวนั้นควรจะตรงหรือเอนไปเบื้องหน้าเล็กน้อยทั้งนี้การวิ่งแข่งจะพยายามโน้มตัวไปข้างหน้าให้มากเพื่อให้ศูนย์ถ่วงอยู่ข้างหน้าตลอดเวลาและไม่ต้านลมเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว แต่การวิ่งเหยาะ ๆ ไม่มีปัญหาเหล่านี้ การงอตัวไปข้างหน้านอกจากทำให้ท่าวิ่งไม่สวยงามแล้วยังทำให้กล้ามเนื้อหลังต้องทำงานหนักโดยไม่จำเป็นทำให้หายใจลำบากกว่าตั้งลำตัวให้ตรง

ในนักวิ่งสามารถพัฒนาความเร็วในการวิ่งได้ด้วยการเพิ่มความถี่ในการก้าวเท้า ความยาวของช่วงก้าว ความอ่อนตัว ความแข็งแรงและเทคนิคการวิ่งที่ถูกต้อง โดยการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดขา สามารถพัฒนาได้ด้วยการฝึกวิ่งขึ้นบนเนิน โดยความชันของเนินที่ใช้ฝึกไม่ควรเกิน 3-4 องศา

และในการวิ่งขึ้นเนินนั้น จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของขา การยกเข่า จังหวะ และความเร็วอดทนได้ดียิ่งขึ้น (สนธยา สีละมาด. 2541 : 12)

ระบบกล้ามเนื้อ

ฉัตรศรี เดชะปัญญา และ สกล พงศกร (2536) ได้กล่าวไว้ว่า ระบบกล้ามเนื้อซึ่งจัดเป็นโครงสร้างที่สำคัญของร่างกาย มีน้ำหนัก 40-50% ของน้ำหนักตัว (Total Body Weight) และเป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุดในร่างกาย หน้าที่โดยทั่วไปของกล้ามเนื้อคือ การทำงานโดยได้รับคำสั่งจากระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย (Central and Peripheral Nervous System) ทำให้เราสามารถยืน เดิน วิ่ง พูด ป้องกันอันตรายแก่ร่างกาย หรือทำหลายสิ่งหลายอย่างที่เราต้องการได้ กล้ามเนื้อในร่างกายสามารถแบ่งออกได้ ตามตำแหน่ง ลักษณะที่อยู่ การทำงาน และตามโครงสร้างดังนี้

กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac หรือ Heart Muscle) ประกอบเป็นกล้ามเนื้อหัวใจ ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของอำนาจจิตใจ การหดตัวจะเกิดขึ้นเป็นจังหวะ และสามารถกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าได้เอง

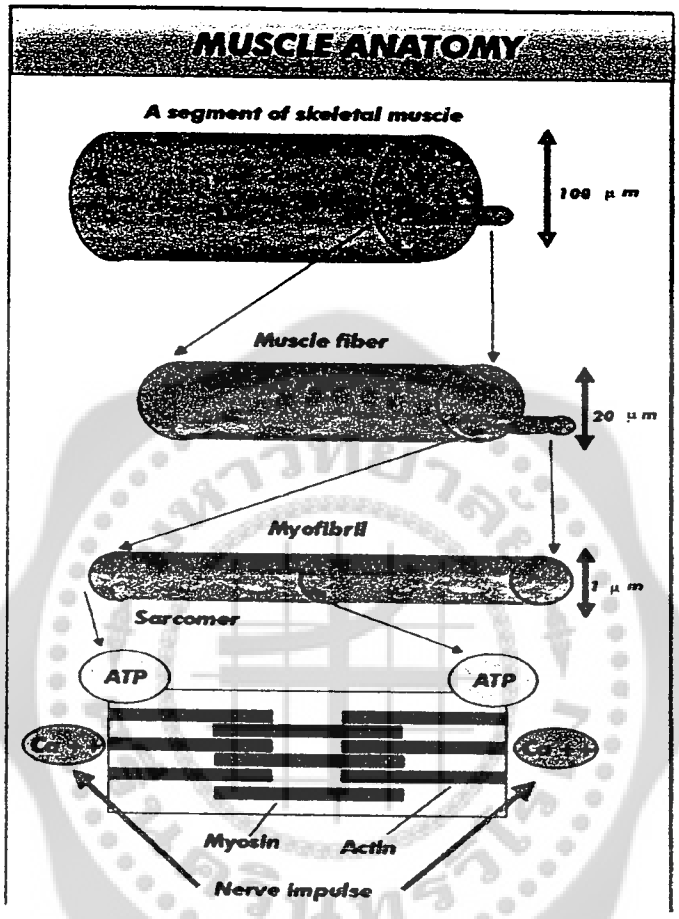
กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscle) พบอยู่ตามอวัยวะภายในที่กลวง เช่น หลอดเลือด กระเพาะอาหาร ลำไส้ ท่อทางเดินปัสสาวะ เป็นต้น

กล้ามเนื้อลาย (Skeletal Muscle) ประกอบขึ้นเป็นกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ของร่างกาย (Somatic Vasculature) พบอยู่ตามแขน ขา และลำตัว มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และการควบคุมท่าทางของร่างกาย

กล้ามเนื้อลาย

ลักษณะโครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อลาย (Structure) กล้ามเนื้อลายจะอยู่รวมกันเป็นมัด ๆ ปลายทั้งสองข้างของกล้ามเนื้อถูกยึดไว้ด้วยเอ็น (Tendon) ซึ่งยึดติดกับกระดูกอีกทีหนึ่ง เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของกระดูก กล้ามเนื้อแต่ละมัดประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle Fiber) เรียงขนานกันเป็นจำนวนมาก ยึดติดกันด้วยเนื้อเยื่อประสาท (Connective Tissue) เส้นใยกล้ามเนื้อถือเป็นโครงสร้างหลัก (Building Block) ของระบบกล้ามเนื้อเช่นเดียวกับประสาท (Neurone) ซึ่งถือเป็นโครงสร้างหลัก (Building Block) ของระบบประสาท ดังนั้นจึงจัดว่าแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อ เทียบเท่ากับหนึ่งเซลล์ ภายในเซลล์มีนิวเคลียสมากมาย ในแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle Fiber) ประกอบไปด้วยหน่วยย่อย ๆ ที่เรียกว่า ไฟปลิ้ว (Fibril หรือ Myofibril) และในแต่ละไฟปลิ้ว (Fibril) จะประกอบด้วยหน่วยที่ย่อยลงไปอีกคือ ฟิลาเม็น (Filament หรือ Myofilament) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อ เซลล์กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติหลายอย่างคล้ายคลึงกับเซลล์ประสาท คือ เป็นเซลล์ที่ไวต่อการกระตุ้น (Excitable Cell) ถูกเร้าได้ด้วยตัวกระตุ้นต่าง ๆ และเมื่อถูกกระตุ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟ

ฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงการส่งผ่านของอิออนที่ผนังเซลล์จนเกิดสัญญาณไฟฟ้า (Action Potential) ส่งไปตามเซลล์ต่าง ๆ แล้วทำให้เกิดการหดตัวตามมา จึงใช้การทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram) เพื่อใช้ในการศึกษาการระดมหน่วยยนต์ (Moter Unit) ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อมาใช้ในการออกกำลังกาย



ภาพประกอบ 1 ลักษณะกายภาพของกล้ามเนื้อลาย

การทำงานของกล้ามเนื้อลาย จะถูกควบคุมโดยระบบประสาทผ่านทางเส้นประสาทยนต์ที่มาเลี้ยงยังกล้ามเนื้อนั้น เมื่อกระตุ้นเส้นประสาทยนต์ ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นประสาทมีผลทำให้เกิดการหลั่งสารสื่อประสาทอเซทิลโคลีนออกจากถุง ซึ่งอยู่บริเวณปลายประสาท อเซทิลโคลีนจะมาจับกับตัวรับความรู้สึกซึ่งอยู่บนผิวเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้มีการเพิ่มการแพร่ผ่านของโซเดียมไอออน มีผลทำให้เกิดดีโพลาไรเซชั่นที่บริเวณรอยต่อประสานระหว่างเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular Junction) เรียกศักย์ไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ (Endplate Potential) ถ้าสัญญาณประสาทที่ส่งมามีมากเพียงพอ จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle Action Potential) เคลื่อนที่

มาตามเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อ แต่เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อจะยื่นเป็นท่อตามขวาง (Transverse Tubule) เข้าไปภายในเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของกล้ามเนื้อจึงเคลื่อนที่มาตามท่อตามขวางมีผลให้เกิดดีโพลาไรเซชั่นของท่อตามขวาง และมีผลต่อซาร์โคพลาสมิกเรคติคูลั่ม (Sarcoplasmic Reticulum) ซึ่งขนาบอยู่ทั้งสองข้างของท่อตามขวาง ให้หลั่งแคลเซียมออกมาจากท่อเทอร์มินัลซิสเตอนา (Terminal Cisterna) ของซาร์โคพลาสมิกเรคติคูลั่ม และไปจับกับโปรตีนโทโปนิน (Troponin) ทำให้เปิดตำแหน่งที่จับของมัยโอซินที่อยู่บนสายของแอ็คติน แคลเซียมไอออน 1 โมเลกุล สามารถเปิดรับตำแหน่งบนแอ็คตินได้ 7 แห่ง หัวไมโอซินจึงสามารถจับกับแอ็คตินได้ เกิดสะพานเรียกว่า ครอสบริดจ์ (Crossbridge) ขณะเดียวกันที่หัวของไมโอซินมีเอ็นไซม์ (Enzyme) ที่สำคัญคือ ไมโอซิน เอทีพีเอส (Myosin ATPase) ซึ่งทำหน้าที่สลาย เอทีพี ให้ได้ เอดีพี ฟอตเฟต และ พลังงาน ซึ่งพลังงานนี้ทำให้เกิดแรงกระชากในการงอหัวไมโอซิน เพื่อที่จะดึงสายแอคตินหรือใยฟิลาเมนต์ให้เคลื่อนที่เข้าสู่แกนกลางของซาร์โคเมียร์ มีผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัวพร้อมเพรียงกัน (กนกพร จันทวร. 2542 :15)

ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายทำให้เกิดการพัฒนาของระบบประสาทกล้ามเนื้อ โดยในส่วนของการพัฒนาระบบประสาทจะเป็นการพัฒนาของระบบประสาทกลไก (Motor Nerve) โดยความสามารถของประสาทรับรู้ (Sensory Nerve) และระบบประสาทกลไกที่ทำหน้าที่สั่งการ และในส่วนการพัฒนาของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับความสามารถของเส้นใยกล้ามเนื้อที่ออกแรงหดตัว โดยปัจจัยทางด้านสรีระ 2 ประการที่เป็นตัวกำหนดความสามารถในการออกแรงหดตัวของกล้ามเนื้อ คือ ขนาดของกล้ามเนื้อและจำนวนของเส้นใยกล้ามเนื้อที่ถูกระดมมาใช้ขณะหดตัวซึ่งจะถูกควบคุมโดยระบบประสาท ถ้าระบบประสาทกลไกส่งสัญญาณประสาทไปยังกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อจะมีการหดตัว แต่เมื่อระบบประสาทกลไกหยุดส่งสัญญาณประสาท การหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะหยุดลง ปัจจัยทางด้านระบบประสาทจะตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยการเพิ่มนี้จะปราศจากการเพิ่มขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อหรือพื้นที่หน้าตัด โดยจะเป็นการเพิ่มขึ้นของกลไกทางด้านระบบประสาท (Neural Mechanism) ซึ่งจะประกอบด้วย การระดมของประสาท (Motor Neural) การเพิ่มการกระตุ้นของหน่วยยนต์ (Motor Unit) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในเส้นใยกล้ามเนื้อจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของหน่วยยนต์ที่มาควบคุมกล้ามเนื้อด้วยสัญญาณไฟฟ้า (Electrical Impulses) ทำให้เกิดการพัฒนาทางสมรรถภาพร่างกายด้านต่าง ๆ ของร่างกายดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ต้นกำเนิดของความต่างศักย์ไฟฟ้า

กล้ามเนื้อลายมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับเซลล์ประสาท ในระยะพัก ค่าความต่างศักย์ภายในเซลล์กล้ามเนื้อจะมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับข้างนอกเซลล์ เนื่องจากปกติภายในเซลล์จะมีสารที่มีประจุลบ กล้ามเนื้อและเส้นประสาทสามารถเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เหมาะสม กล้ามเนื้อมีเยื่อหุ้มเซลล์ที่เป็นเซมิเพอร์มีเอเบิลเมมเบรน (Semipermeable Membrane) คือ

มีคุณสมบัติในการเลือกให้สารต่าง ๆ ผ่านเข้าออกได้ และมีสารอิเล็คโตรไลท์ (Electrolyte) ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ โซเดียม และโปรแตสเซียม อีกทั้งมีกลไกคอยสูบโปรแตสเซียมเข้าไปในเซลล์และผลักโซเดียมออกนอกเซลล์ตลอดเวลา ในภาวะพัก (Resting Stage) นั้นเยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้โปรแตสเซียมผ่านออกนอกเซลล์ได้มากถึง 50 เท่า จึงทำให้โปรแตสเซียมนำประจุบวกออกมาข้างนอกเซลล์ แต่ประจุบวกก็ไม่สามารถกระจายไปได้ไกล เพราะถูกดูดโดยแอนอิออนที่ผ่านเยื่อหุ้มออกมาไม่ได้ จึงเรียงรายอยู่นอกเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นผลให้ภายนอกเซลล์เป็นบวกมากกว่าภายใน เป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane Potential) ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะพัก (Resting Menbrane Potential) สำหรับเซลล์กล้ามเนื้อลายจะมีค่าประมาณ -90 มิลลิโวลต์ (จินตนาภรณ์ วัฒนธร. 2532 : 2-9)

ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน

เมื่อกล้ามเนื้อหรือเส้นประสาทมีการทำงาน จะมีการกระจายของไฟฟ้าออกไปซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการทำงาน คือ เส้นประสาทจะใช้การกระจายของไฟฟ้าไปตามใยประสาทที่เรียกว่า กระแสประสาท ส่วนในกล้ามเนื้อนั้นใช้การกระจายไฟฟ้าไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ เพื่อเป็นการนำคำสั่งที่ได้รับจากประสาทโดยผ่านรอยต่อประสานระหว่างเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular Junction) ให้กระจายไปตามกล้ามเนื้อได้โดยรวดเร็ว และกว้างขวาง จะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้พร้อมเพรียงกัน ไฟฟ้าที่กระจายไปตามกล้ามเนื้อนั้นมีหน้าที่ไปกระตุ้นกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้ออีกต่อหนึ่ง (เรณู พรหมเนตร. 2542 : 13)

เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ของประสาทและกล้ามเนื้อถูกกระตุ้น จะมีการยอมให้โซเดียมผ่านเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้โซเดียมไหลเข้าไปในเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์เป็นลบน้อยลงจนเกิดเป็นบวก ที่เรียกว่า ดีโพลาไรเซชั่น (Depolarization) เมื่อโซเดียมหยุดเข้าไปในเซลล์ หลังจากนั้นโปรแตสเซียมอิออนก็จะวิ่งจากภายในเซลล์ ออกสู่นอกเซลล์ ทำให้ภายในเป็นลบเหมือนเดิม ซึ่งเรียกระยะนี้ว่า รีโพราไรเซชั่น (Repolaization)

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ในแต่ละคนจะมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแตกต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ได้แก่

อายุ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวัยรุ่น และเพิ่มอย่างช้า ๆ เมื่ออายุ 20-30 ปี ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนี้จะมีการลดลงอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องเมื่ออายุเลย 35–45 ปีไปแล้ว

เพศหญิงจะมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน้อยกว่าเพศชายในทุกกลุ่มอายุ

การฝึกฝน กล้ามเนื้อจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น หากได้รับการฝึก (วัฒนา เอียวสกุล. 2541 : 14)

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscular Fatigue) หมายถึงความรู้สึกที่เกิดขึ้นโดยมีการลดประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อเนื่องจากการทำงานเป็นระยะเวลานาน หรือทำงานหนักเกินไป คาร์โพวิค และ ชินนิ่ง (Kapovich and Shining. 1979 : 236-237) ได้แบ่งความเมื่อยล้าออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ ความเมื่อยล้าทางใจ (Mental Fatigue) ซึ่งเกิดขึ้นจากการทำกิจกรรมใด ๆ ซ้ำ ๆ กัน เป็นเวลานานทำให้รู้สึกเบื่อหน่าย ขาดความสนใจในกิจกรรมที่ทำอยู่นั้น และอีกประเภทคือ ความเมื่อยล้าทางกาย (Physical Fatigue) ซึ่งมีสาเหตุมาจากทางกายภาพ (Physical) หรือการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular Work) โดยออสตรานต์ และ โรดอล์ล (Astrand and Rodahl. 1986 : 514) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่าความเมื่อยล้าทางกาย (Physical Fatigue) ว่าเป็นสภาวะที่ร่างกายถูก รบกวนระบบการรักษาสมดุลของร่างกาย (Homeostasis) เนื่องจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะแสดงอาการออกมาสามารถวัดได้ชัดเจน โดยเกิดจากการสะสมของกรดแลคติคในกล้ามเนื้อของคนที่ออกกำลังกายหนัก เนื่องจากมีการเผาผลาญอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic System) เป็นลักษณะของการรบกวนระบบการรักษาสมดุลของร่างกาย ก่อให้เกิดอาการความเมื่อยล้าเฉพาะที่ (Local Fatigue) ซึ่งสอดคล้องกับแกรนด์จีน (Grandjean. 1988 : 14) ที่ได้กล่าวไว้ว่า ความเมื่อยล้าทางกายภาพทำให้เกิดอาการล้า เจ็บปวดของกล้ามเนื้อเนื่องจากใช้กำลังกล้ามเนื้อมากเกินไป

การวัดความรู้สึกความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทางใจโดยใช้แบบสอบถาม หรือการสอบถามนั้นเป็นเรื่องยากเพราะเป็นความรู้สึกที่ซับซ้อนมากและจะแตกต่างกันไปตามระดับและชนิดของกิจกรรม ซึ่งอาจจะเกิดจากความเหนื่อยอ่อน (Tiredness) ที่บริเวณกล้ามเนื้อที่ใช้งาน หรือเกิดจากความง่วงนอนหรือความเบื่อหน่าย ซึ่งมีความแตกต่างกันแล้วแต่เฉพาะบุคคล แต่การวัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทางกายจะสามารถหาค่าที่ชัดเจนกว่าและได้ค่าที่กล้ามเนื้อได้ใช้งานไปโดยตรงถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า (Karpovich and Shining. 1979 : 236-237)

แกรนด์จีน (Grandjean. 1988 : 156-159) กล่าวว่า เมื่อร่างกายเรามีอาการเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อนั้น เราสามารถทราบได้จาก

1. อาการที่พบเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ ความสามารถในการกระทำกิจกรรมนั้น ๆ ลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงด้านชีวเคมี จะเกิดกรดแลคติคและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดมากขึ้น

3. ปรากฏการณ์ทางสรีระไฟฟ้า เมื่อกล้ามเนื้อทำงานจนอ่อนล้าจะเกิดการกระตุ้นทางไฟฟ้าที่ผิวหนัง ซึ่งเป็นผลมาจากระบบประสาทส่วนกลาง

4. คลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (Electromyogram) ของกล้ามเนื้อที่ล้า

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อในผู้ที่ออกกำลังกายโดยการวิ่งมีดังนี้

1. ปัจจัยด้านท่าทางการออกกำลังกาย ในการทำงานหรือการออกกำลังกายซึ่งรวมทั้งท่าทางการวิ่งบนลู่วิ่งซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ลักษณะอยู่กับที่เป็นเวลานาน ประกอบกับความเร็วที่ใช้ในการวิ่งก็เป็นสิ่งสำคัญที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อได้

2. ปัจจัยด้านเกี่ยวกับผู้ออกกำลังกายเอง ปัจจัยด้านนี้นับว่ามีความสำคัญต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้ออย่างมาก เพราะถ้าผู้ที่ออกกำลังกายมีสุขภาพร่างกายที่ไม่แข็งแรงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อได้เร็วกว่า และง่ายกว่าผู้ที่มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง ปัญหายาเสพติด ปัญหาการดื่มสุรา สูบบุหรี่ สภาวะโภชนาการไม่สมบูรณ์ การพักผ่อนไม่เพียงพอ ก็จัดได้ว่าเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความรู้สึกเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ได้เช่นเดียวกันเมื่อออกกำลังกาย

เครื่องมือประเมินความรู้สึกเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

สมพิศ พันธุเจริญศรี (2535 : 17-19) ได้กล่าวว่า หลักของการตอบสนองของระบบประสาทสามารถนำมาใช้ประเมินความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อได้หลายวิธี เช่น การทดสอบความเมื่อยล้าของมือและนิ้วมือ โดยใช้เครื่องกดดี (Tapping Tester) การทดสอบความเมื่อยล้าของส่วนขา โดยใช้เครื่องจี้กระตุกเข่า (Knee Reflex Threshold Tester) การทดสอบความเมื่อยล้าของสมองโดยใช้กระดานสี (Color Calling Table) หรือ การทดสอบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (ทั้งร่างกายและจิตใจ) โดยใช้สัญญาณกระพริบ (Flicker Test) ซึ่งนอกเหนือจากการประเมินความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโดยใช้วิธีทดสอบและอุปกรณ์ที่ทันสมัยอีก 2 รูปแบบ (วัฒนา เอียวสวัสดิ์. 2541 : 18-19) คือ

1. ระดับความเจ็บปวดที่บริเวณกล้ามเนื้อทราปีเซียส (Trapezius) โดยใช้การวัดกล้ามเนื้อแต่ละข้าง ซึ่งคิดจากค่าเฉลี่ย (Mean Tenderness Threshold) ในแต่ละช่วงของกิจกรรม เช่น ก่อนการทำกิจกรรม ขณะทำกิจกรรม และหลังทำกิจกรรม โดยใช้วิธีการเพิ่มความดันในแต่ละส่วนของกล้ามเนื้อจนกระทั่งผู้ถูกทดสอบรู้สึกเจ็บ

2. วิธีการวัดแบบพื้นผิว (Surface Electromyograms) เป็นการตรวจดูการทำงานของระบบประสาท กล้ามเนื้อ ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมควบคู่ไปกับการทำงานของหัวใจ (Electrocardiogram) ซึ่งในทางการกีฬามักจะไม่นิยมใช้เพราะเครื่องมือและเทคนิคในการวัดค่อนข้างยุ่งยาก โดยส่วนมากสำหรับวิธีการวัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักจะเป็นแบบสอบถามอาการความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อและใช้เครื่องสัญญาณกระพริบ (Flicker Test) ส่วนการวัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่ดูการทำงานของกล้ามเนื้อโดยตรงนั้น แกรนด์จีน (Grandjean E. 1988 : 14) กล่าวว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่ไม่เหมาะสมกับการนำแบบสอบถามอาการความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อและใช้เครื่อง

สัญญาณกระพริบ (Flicker Test) มาใช้ เนื่องจากเป็นการศึกษาถึงการทำงานของกล้ามเนื้อเฉพาะที่ ซึ่งไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการแสดงความคิดในการตอบแบบสอบถามเลย

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram)

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ สัญญาณไฟฟ้าที่จดบันทึกได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ ที่เกิดจากการผ่านเข้าออกเซลล์ของอิออนต่าง ๆ ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชั่นไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถวัดโดยใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyograph) โดยจะรับสัญญาณของกระแสประสาทของกระแสไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Electrode) แล้วส่งต่อไปยังแอมปริไฟเออร์ (Amplifier) ของเครื่องมือ เพื่อขยายสัญญาณแล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นภาพแสดงออกทางจอ (Oscilloscope)

ปัจจัยที่มีผลต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

เมื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบผิว (Surface Electrode) จะมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (De Luca. 1997)

1. ปัจจัยภายนอก (Extrinsic Factor)

1.1 ลักษณะของขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Electrode Configulation) ได้แก่ ขนาดของพื้นที่หรือรูปร่างของขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อจำนวนหน่วยยนต์ที่บันทึกได้ในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัว

1.2 ตำแหน่งการวางขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Electrode Location) การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณแบบผิวนั้น ตำแหน่งที่วางขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ามีผลต่อความสูง และความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า ตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการวางขั้วรับคือ บริเวณจุดกึ่งกลางระหว่างจุดมอเตอร์ และรอยต่อระหว่างกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อ เนื่องจากเป็นบริเวณที่ความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีค่ามากสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการวางขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบริเวณอื่น ๆ เช่น บริเวณจุดมอเตอร์ (Motor Point)

2. ปัจจัยภายใน (Internal Factor)

2.1 จำนวนหน่วยยนต์ (The Number of Active Motor Unit) จำนวนหน่วยยนต์ที่ทำงานในขณะกล้ามเนื้อหดตัว มีผลต่อ ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ ถ้าจำนวนหน่วยยนต์ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวมีจำนวนมาก ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อก็จะมากด้วยเช่นกัน

2.2 การไหลเวียนเลือดภายในกล้ามเนื้อ (Blood Flow) มีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารที่เกิด

จากกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) และอุณหภูมิ ทำให้มีผลต่อความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ เมื่อการไหลเวียนภายในร่างกายมีสูงขึ้น ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้จะมากขึ้นด้วย

2.3 ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Fiber Diameter) มีผลต่อความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2.4 ความลึกและความหนาของเนื้อเยื่อ มีผลต่อความสูง และความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เช่น การวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่อยู่ลึกมากจะทำให้ค่าความสูงของคลื่นลดลง และถ้าความหนาของไขมันใต้ผิวหนังมาก จะมีผลทำให้ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้มีค่าน้อยเช่นกัน

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyograph)

ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้า (Electrode) ที่ใช้ในปัจจุบันได้พัฒนามาจากขั้วรับสัญญาณชนิดแทง (Needle Electrode) มาเป็นแบบผิว (Surface Electrode) วิธีใช้ทำได้โดยการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าบนผิวหนังเหนือกล้ามเนื้อที่ต้องการ บันทึกค่าความต่างศักย์ของกล้ามเนื้อระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง คือ ขั้วบวก และขั้วลบ และขั้วอ้างอิง โดยติดอยู่บริเวณปุ่มกระดูก

2. แอมปลิไฟเออร์ (Ampifier) แอมปลิไฟเออร์ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อใช้ขยายศักย์ไฟฟ้าจำนวนน้อย จึงต้องมีลักษณะดังนี้

2.1 มีกำลังขยายสูงและสม่ำเสมอตลอดช่วงของศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการตรวจวัดเนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้มีขนาดน้อยมาก ดังนั้นแอมปลิไฟเออร์จึงต้องมีกำลังขยายสูงและขยายสัญญาณได้สม่ำเสมอ

2.2 มีการตอบสนองต่อความถี่ในช่วงกว้าง เนื่องจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะต้องตรวจวัดศักย์ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็วถึง 100 ไมโครโวลต์ ในเวลา 1 มิลลิวินาที ถ้าไม่สามารถตรวจวัดได้ทัน จะทำให้คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้มีรูปร่างผิดเพี้ยนไปได้ โดยทั่วไปเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้องใช้ช่วงความถี่ 2-10,000 เฮิร์ต ซึ่งเป็นความถี่ที่กว้างมากและสามารถวัดรูปร่างของคลื่นไฟฟ้าได้ครบถ้วน

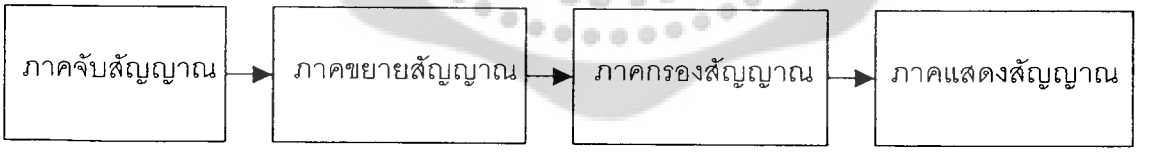
2.3 มีอัตราส่วนของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าต่อกระแสไฟฟ้าที่แอมปลิไฟเออร์สามารถรับได้ (Input Impedance) สูงเพื่อให้กระแสไฟฟ้าซึ่งมีเพียงเล็กน้อยถูกนำไปขยายในแอมปลิไฟเออร์ได้ ไม่ทำให้สัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้มีค่าที่ผิดเพี้ยนไป และมีอัตราส่วนของศักย์ไฟฟ้าที่ส่งออกต่อกระแสไฟฟ้าที่แอมปลิไฟเออร์สามารถส่งออกได้ (Output Impedance) ต่ำ เพื่อให้สามารถขยายสัญญาณความถี่ที่สูง ๆ ได้ดีขึ้น

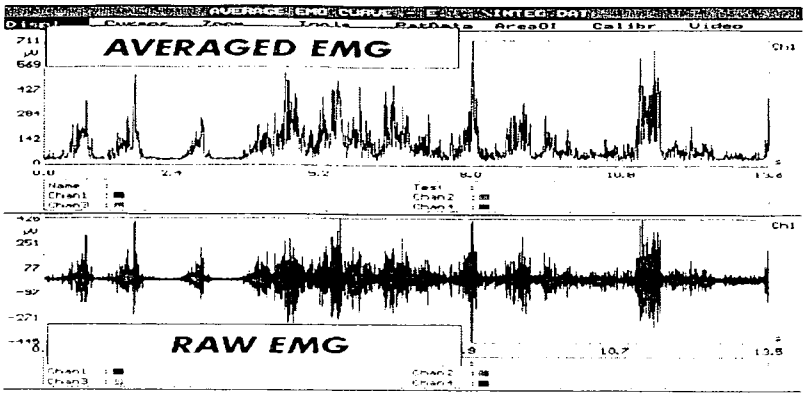
2.4 มีความสามารถในการกำจัดสิ่งรบกวนได้มาก (High Common Mode Rejection Ratio) ขณะทำการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าอาจรับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งอื่นด้วย ถ้าสัญญาณที่ทำการวัดมีค่าน้อยอยู่แล้ว จะเป็นการยากที่จะแยกระหว่างสัญญาณรบกวนและสัญญาณที่ต้องการวัดจริง ดังนั้นแอมปลิไฟเออร์จึงต้องมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้มาก

3. ระบบแสดงและบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เนื่องจากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความถี่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจ จึงไม่สามารถแสดงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อด้วยการใช้ปากกาเขียนลงบนกระดาษ เพราะจะทำให้คลื่นไฟฟ้าที่ได้มีรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไป ดังนั้นจึงต้องแสดงคลื่นไฟฟ้าด้วยจอภาพออสซิสโลสโคป (Oscilloscope)

การวัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องมือวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ขณะที่กล้ามเนื้อมีการทำงานนั้นจะเกิดคลื่นไฟฟ้าบนกล้ามเนื้อ การหดตัวของกล้ามเนื้อจะก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า และจะมากขึ้นถ้ากล้ามเนื้อมีการเกร็งตัวหรือหดตัวมาก ความต่างศักย์ที่วัดได้ที่ผิวหนังของกล้ามเนื้อนี้ จะเป็นผลรวมของการทำงานของหน่วยยนต์ (Motor Unit) หลาย ๆ หน่วย และใช้อธิบายถึงกิจกรรมที่กล้ามเนื้อนั้น ๆ ทำ ความต่างศักย์นี้สามารถวัดได้ตั้งแต่ 1 มิว โวตต์ (μ V) ถึง 5000 มิว โวตต์ (μ V) โดยเครื่องอีเอ็มจี (EMG) นี้จะวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อผ่านทางอิเลคโทรดและสายเคเบิล (A) โดยสามารถวัดได้ทั้งแบบข้อมูลดิบ (Raw EMG) และข้อมูลเฉลี่ย (Averaged EMG) ค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกในหน่วยความจำ (Memory Card) ที่สอดเข้าไปที่ส่วนล่างของตัวเครื่อง (ME3000) และข้อมูลจะถ่ายเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) โดยใช้สายออฟติคอล (Optical Interface) เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป ผลรวมของคลื่นไฟฟ้าสามารถตรวจได้จากเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ แสดงขั้นตอนการตรวจวัดดังนี้





ภาพประกอบ 2 แสดงค่าที่เครื่องอีเอ็มจี (EMG) วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยสามารถวัดได้ทั้งแบบข้อมูลดิบ (Raw EMG) และข้อมูลเฉลี่ย (Averaged EMG)

การตรวจวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มี 4 ขั้นตอน คือ

1. ภาคจับสัญญาณ โดยใช้อิเลคโทรดแบบแผ่นติดที่ผิวหนังตรงกับกล้ามเนื้อที่ต้องการจะวัดการทำงาน

2. ภาคขยายสัญญาณ โดยใช้แอมปลิไฟเออร์ (Ampifier) เป็นตัวขยายสัญญาณที่อิเลคโทรดรับมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

3. ภาคกรองสัญญาณ โดยใช้ฟิเตอร์ (Fiter) เป็นตัวตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป

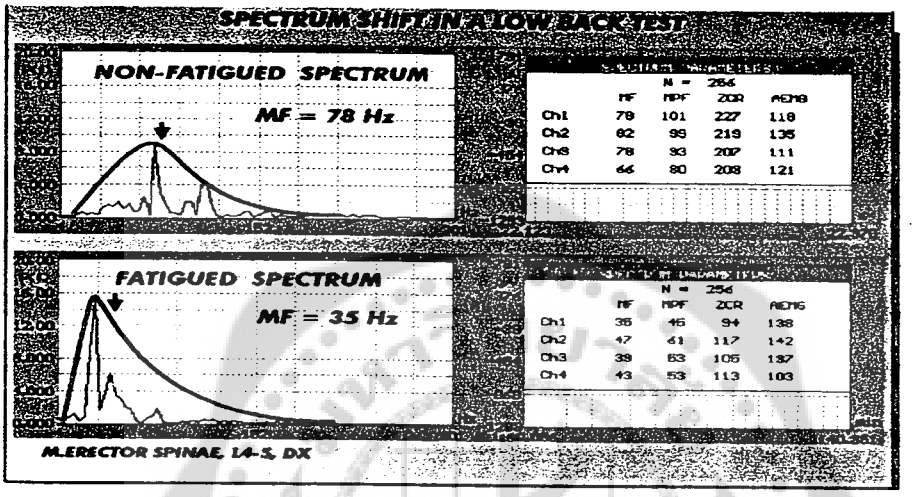
4. ภาคแสดงสัญญาณ โดยใช้คอมพิวเตอร์แสดงค่าผลของการตรวจวัดออกมาเป็นกราฟและตัวเลข

จากหลักการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ กิตติ อินทรานนท์ (2538 : 10) กล่าวว่า เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่กำลังเป็นที่นิยมมาก และใช้เป็นค่ามาตรฐานวิธีหนึ่งในการศึกษาการเคลื่อนไหว การหดตัวของกล้ามเนื้อ ตลอดทั้งการประยุกต์เพื่อใช้ศึกษาความล้าจากการเปลี่ยนแปลงของเมมเบรน ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มเซลล์ในร่างกายทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ในปรายประสาทหรือเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ และก่อนหน้านี้ โอฮาชิ (Ohashi. 1987 : 16) ได้ทดลองนำอัตราการเต้นของหัวใจมาเป็นตัวชี้วัดความล้าเปรียบเทียบกับการใช้ ดัชนีตาราง (EMG Index) โดยทำการทดสอบขณะกล้ามเนื้อออกแรงแบบไอโซเมทริค (Isometric) ระหว่าง 5-50%ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) ปรากฏว่า เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อวัดความล้าได้ชัดเจนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจในกรณีที่มีความล้าเพียงเล็กน้อย

ขณะที่กล้ามเนื้อออกแรงมาก ๆ ร่างกายผลิตพลังงานและออกซิเจนไม่เพียงพอกับความต้องการ ทำให้ภายในเซลล์มีสภาวะเป็นกรด ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อลดลง เกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานช้า และกระแสประสาทที่จะไปยังเซลล์กล้ามเนื้อถูกขัดขวาง นั่นคือ เมื่อร่างกายเกิดความล้า

ว 251175 ล.3

ความเร็วในการนำพลังประสาทจะลดลง แม้ว่าเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อไม่สามารถวัดความเร็วในการนำพลังประสาทได้ แต่สามารถชี้ให้เห็นสภาวะที่ร่างกายเกิดความล้าได้ โดยการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบ รอล์ (Raw EMG ซึ่งมีหน่วยเป็น มิว โวตต์ หรือ μ V) แล้วใช้โปรแกรมเมก้าวิน เปลี่ยนเป็นค่าความถี่กลาง (Median Frequency ซึ่งมีหน่วยเป็น เฮิร์ต หรือ Hz) ค่าความถี่กลางนี้จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการนำพลังประสาท ($f = \lambda V$) ถ้าค่าความถี่ต่ำ ความเร็วในการนำพลังประสาทก็ต่ำด้วย ดังนั้นเมื่อร่างกายเกิดความล้าขึ้น กล้ามเนื้อก็จะมีค่าความถี่กลางต่ำลง



ภาพประกอบ 3 แสดงความแตกต่างการเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อเมื่อพิจารณาจากกราฟและค่าความถี่กลาง (MF)

ในการวัด หรือการประเมินความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้น มาราส (Marras. 1992 : 122-142) ได้กล่าวว่า สามารถพิจารณาจากทั้งการเปลี่ยนแปลงของความสูง (Amplitude) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ หรือการเปลี่ยนแปลงการทำงานของลักษณะคลื่น (Spectral Activity) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของความสูง (Amplitude) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า (μ V) พบว่าการประเมินความล้าของกล้ามเนื้อกรณีใช้อิเลคโทรดชนิดแผ่น มีแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่องในการเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความเมื่อยล้า เมื่อวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้สูงขึ้น จึงสันนิษฐานว่า ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่สูงขึ้นนี้อาจเกิดเนื่องจากงานที่กระทำก่อนการทดสอบครั้งหลัง (Post-test) ทำให้ผลที่ได้มิใช่ค่าที่แท้จริง

2. การเปลี่ยนแปลงการทำงานของลักษณะคลื่น (Spectral Activity) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า ซึ่งวิธีนี้จะลดผลข้างเคียงจากแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle Force) ที่มีผลต่อความล้าได้ การประเมินความ

เปลี่ยนแปลงของลักษณะคลื่น ที่นิยมใช้ มี 2 วิธี คือ อัตราส่วนของความถี่สูงสู่ความถี่ต่ำ (Ratio of High to Low Frequency, HLR) และ ความถี่กลาง (Center Frequency ได้แก่ Median Frequency และ Mean Power Frequency)

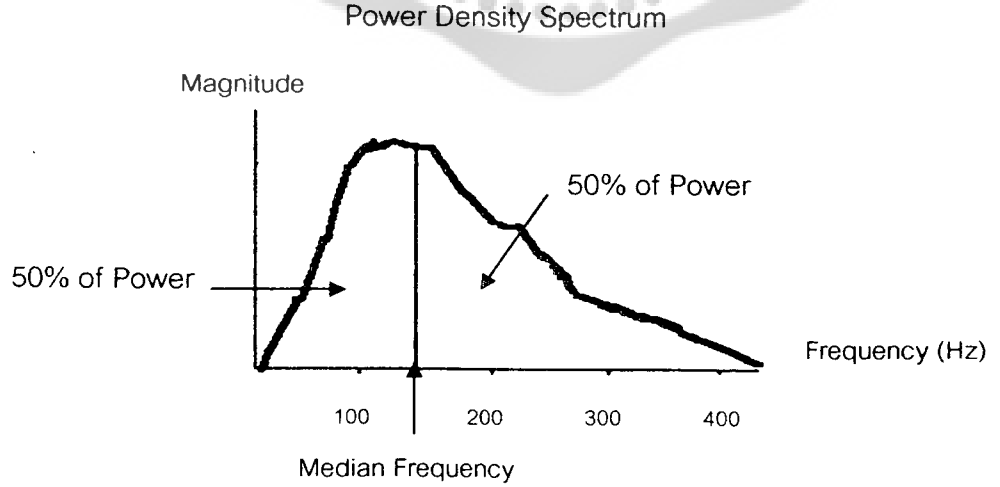
อัตราส่วนของความถี่สูงสู่ความถี่ต่ำ (Ratio of High to Low Frequency, HLR)

ขณะที่เกิดความล้า การเปลี่ยนแปลงของลักษณะคลื่นที่ความถี่สู ๆ จะลดลง และที่ช่วงความถี่ต่ำ ๆ นั้นจะมีสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงขึ้น จากการศึกษาของ ชาร์ฟฟิน (Chaffin.1969 :109-115) พบว่าขณะที่กล้ามเนื้อเกิดอาการล้ามากขึ้น กำลังสเป็คตรัม (Power Spectral) จะเลื่อนมาอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ ๆ จึงเป็นเหตุให้ ค่าความถี่กลางเลื่อนต่ำลงด้วย

แม้ว่าค่าอัตราส่วนของความถี่สูงสู่ความถี่ต่ำ (HLR) จะสามารถชี้วัดความล้าของกล้ามเนื้อได้ดี แต่ก็ยังคงมีปัญหาในการวัดความเปลี่ยนแปลง เพราะเอชเอลอาร์ (HLR) ไม่เพียงแต่จะมีความไวกรณีมีการเปลี่ยนแปลงกำลังสเปคตรัม (Power Spectral) เท่านั้น แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัญญาณซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างผู้ถูกทดสอบ ความยาวของกล้ามเนื้อ และปัจจัยอื่น ๆ ก็ทำให้เอชเอลอาร์ (HLR) เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย และนอกจากนี้ การแบ่งช่วงความถี่ของสเป็คตรัมมีส่วนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

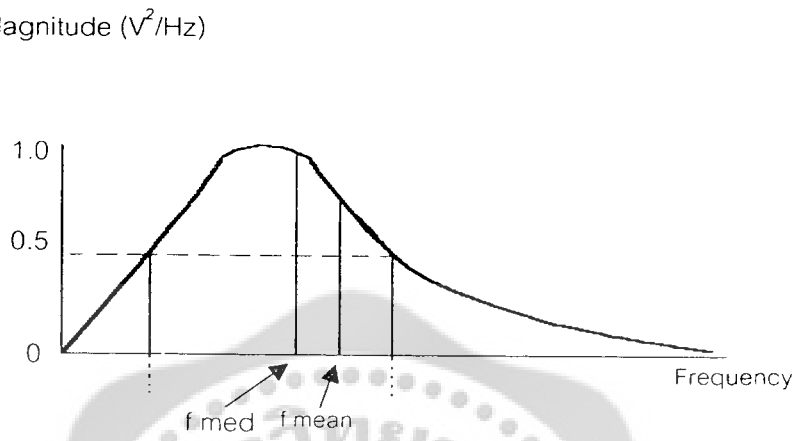
ความถี่กลาง (Center Frequency; Median Frequency, Mean Power Frequency)

ความถี่กลาง เป็นวิธีวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสเปคตรัม ขณะที่กล้ามเนื้อเกิดความล้าที่ได้รับความนิยมสูงสุด (Redfern. 1992 : 104-120) ค่าความถี่กลางจะแบ่งพื้นที่ใต้กำลังสเป็คตรัม (Power Spectral) ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน มีลักษณะดังรูป



ภาพประกอบ 4 แสดงค่าความถี่กลางของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ในการออกแรงให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมทริค (Isometric) เป็นเวลานานขึ้น ทำให้ค่าความถี่กลางลดลงร้อยละ 50 ขณะที่นักวิจัยบางคนกล่าวว่าค่าความถี่กลางที่ลดลงขณะออกแรงให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบไดนามิค (Dynamic) จะมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลางเมื่อเวลาผ่านไปนั้นขึ้นกับระดับการหดตัวของกล้ามเนื้อ



ภาพประกอบ 5 ผลของการออกแรงให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมทริค ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลาง

ขณะที่ออกแรงให้กล้ามเนื้อมีความตึงมากกว่า (เป็นการออกแรงแบบไอโซเมทริค) ค่าความถี่กลางจะเลื่อนไปช่วงความถี่ต่ำได้เร็วกว่า นั่นเป็นเพราะกล้ามเนื้อที่ออกแรงใต้แรงตึงมากกว่าจะเกิดความล้าขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อกล้ามเนื้อนั้นได้พักระยะหนึ่งหลังจากที่ให้ออกแรง ค่าความถี่กลางก็สามารถกลับไปที่ช่วงความถี่สูงได้ ยกเว้นกรณีกล้ามเนื้อนั้นล้าจนกระทั่งหมดแรง

โดยปกติแล้วเครื่องมือวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อนี้มักจะใช้ในการตรวจวัดเกี่ยวกับโรคระบบประสาทกล้ามเนื้อ ต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบผิว ติดลงบนตำแหน่งของกล้ามเนื้อที่ต้องการวัดแทนขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบเข็มซึ่งสามารถใช้ได้ดีในกล้ามเนื้อที่แข็งแรงและกล้ามเนื้อที่อ่อนกำลัง

จอนสัน (Johnson. 1973) ได้กล่าวว่าเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสามารถนำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ และการประสานงานกันของกล้ามเนื้อกับระบบประสาท และมักจะวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการใช้เทคนิคทางชีวกลศาสตร์อื่น ๆ เช่น การศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อขาขณะเดินเป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อขณะเคลื่อนไหว และสามารถนำไปใช้พัฒนาขีดความสามารถของนักกีฬาได้

ออสตรานต์ และ โรดอล์ล (Astrand and Rodahl. 1986 : 514) ได้ชี้ให้เห็นว่าความล้าอาจจะเกิดขึ้นแม้ว่าออกแรงเพียงเล็กน้อย และลักษณะงานที่ทำเป็นพิมพ์เดียวกันหมดมีแนวโน้มที่จะเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Local Muscular Fatigue) มากกว่างานที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางหรือการเคลื่อนไหวมากกว่า แม้ว่างานที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางจะหนักกว่าก็ตาม โรเดอร์ และคณะ (Roder and et al. 1986 : 24-27) กล่าวว่าการทำงานแบบอยู่กับที่เป็นเวลานานจะมีผลทำให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Local Muscular Fatigue) แม้จะทำงานแค่ช่วงสั้น ๆ ก็ตาม และถึงแม้ว่าเป็นการออกแรงแบบปานกลาง ทำงานแบบอยู่กับที่ก็เป็นสาเหตุให้เกิดความเมื่อยล้าและเจ็บปวดเฉพาะที่ได้ และถ้าต้องทำงานซ้ำเช่นเดียวกันนี้ทุก ๆ วันเป็นระยะเวลานานก็อาจเกิดความเจ็บปวดถาวรและความเสื่อมของกล้ามเนื่อนั้น ซึ่งในการวัดหรือประเมินความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องอีเอ็มจี (EMG) นั้นสามารถพิจารณาจากทั้งการเปลี่ยนแปลงของความสูง (Amplitude) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ หรือการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของลักษณะคลื่น (Spectral Activity) โดยพิจารณาความถี่กลาง (Center Frequency) เป็นวิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ขณะที่กล้ามเนื้อเกิดความเมื่อยล้าที่ได้รับความนิยมสูงสุด เมื่อกล้ามเนื้อต้องออกแรงมาก ๆ ร่างกายผลิตพลังงาน และออกซิเจนไม่เพียงพอกับความต้องการทำให้ภายในเซลล์มีสภาวะเป็นกรด ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อลดลง เกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานช้า และกระแสประสาทที่จะไปยังเซลล์กล้ามเนื้อถูกขัดขวาง และสามารถดูได้จากความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงความถี่ต่ำ ๆ ขณะออกแรงให้กล้ามเนื้อทำงาน นอกจากนี้ ไบด้า และสตีเวนสัน (Baida and Stevenson. 1988 : 227-239) ได้กล่าวว่าค่าความถี่กลาง เป็นวิธีที่มีความเชื่อถือได้ในการวัดความเมื่อยล้าเฉพาะที่ (Local Muscle Fatigue)

ดังนั้นการวัดความเมื่อยล้า (จากเครื่อง EMG) ในการวิจัยครั้งนี้ จึงทำการวัด และบันทึกคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านข้าง (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior) เป็นข้อมูลดิบ (Raw EMG Saving Form Law Online) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ความถี่ด้วยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Mega Win ของบริษัท Mega Electronics)

อิเลคโทรดและการติดตั้ง

ขณะที่วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในคนที่เดินหรือวิ่งนั้น จะทำให้อิเลคโทรดชนิดแผ่นที่ติดผิวหนังเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งได้ แต่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการเลือกอิเลคโทรดที่เหมาะสม โดยใช้อิเลคโทรดชนิดซิลเวอร์อิเลคโทรดที่เคลือบด้วยคลอไรด์ (Ag/AgCl) ปิดบนผิวหนังเพื่อเก็บสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อใต้อิเลคโทรด และจุดสำคัญจะต้องติดอิเลคโทรดให้ถูกจุดที่ต้องการ ในการติดอิเลคโทรด ควรใช้แผ่นปิดที่เป็นแถบกาวและตรวจสอบว่าขั้วอิเลคโทรดนั้นมีเจลเคลือบอยู่ตลอดเวลา

และ จะต้องติดอิเลคโทรดจำนวน 3 อันต่อการวัดกล้ามเนื้อ 1 มัด คือ อิเลคโทรดที่ใช้วัด (Measuring Electrode) อิเลคโทดอ้างอิง (Reference Electrode) และอิเลคโทรดขั้วสายดิน (Ground Electrode)

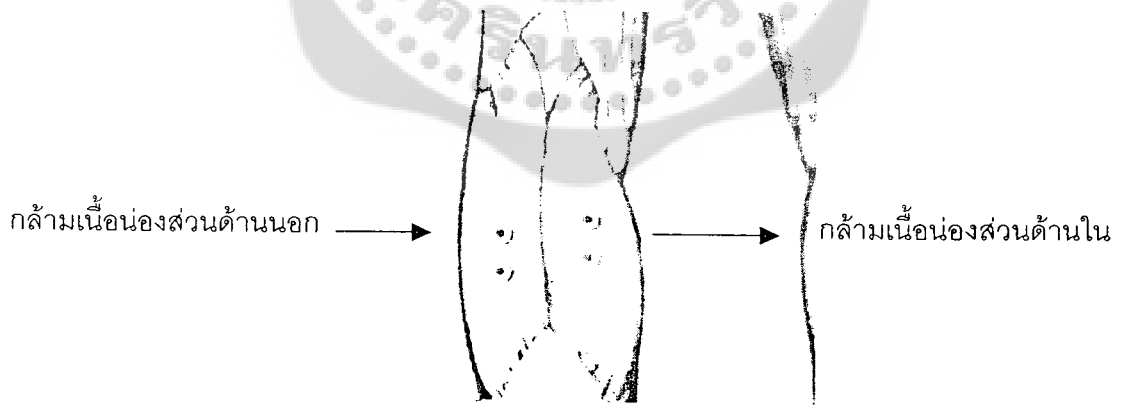
วิธีติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (อิเลคโทรด) เพื่อวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

1. ทำความสะอาดบริเวณกล้ามเนื้อชุดที่จะติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า ด้วยแอลกอฮอลล์ หาตำแหน่งที่จะติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อ (Electical Stimulator รุ่น Phyaction 300)

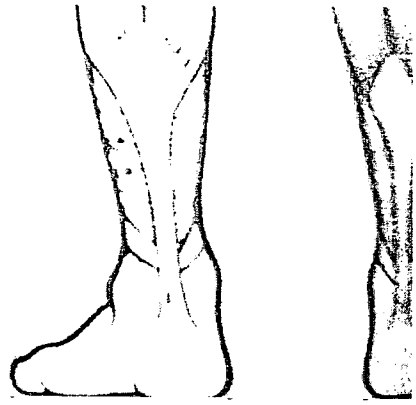
2. นำขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดแผ่น ติดที่จุดที่ทำเครื่องหมายไว้ให้แน่น ต่อสายเข้ากับช่องวัดที่ 1 2 3 และ 4 ของเครื่องอีเอ็มจี (รุ่น ME3000P) โดย ต่อสายช่องวัดที่ 1 และ 2 ที่กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) ต่อสายช่องวัดที่ 3 และ 4 ที่กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และ กล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior) ของขาด้านที่ถนัด

3. ทดสอบการรับสัญญาณของเครื่องมือวัดโดยทดลองส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาผลการตรวจวัด

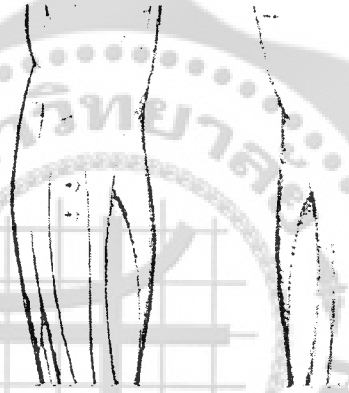
4. ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขาตลอดช่วงเวลาวิ่ง (โดยเลือกพารามิเตอร์ Raw EMG Saving Form Law Online ใช้ความถี่ 1000 Hz ที่เครื่อง ME3000 P แล้วเริ่มสตาร์ท (Start) ที่เครื่อง ME3000 P พร้อมส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาผลการตรวจวัด)



ภาพประกอบ 6 ตำแหน่งที่ติดอิเลคโทรดที่กล้ามเนื้อกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) และกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part)



ภาพประกอบ 7 ตำแหน่งที่ติดอิเลคโทรดที่กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus)



ภาพประกอบ 8 ตำแหน่งที่ติดอิเลคโทรดที่กล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

ค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum Voluntary Contraction : MVC)

การทำงานของกล้ามเนื้อ จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการควบคุมจากระบบประสาท การหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะอยู่ภายใต้อำนาจของจิตใจ กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยงมากมาย เส้นประสาทแต่ละเส้นที่มายังกล้ามเนื้อจะแตกออกเป็นแขนงย่อย ๆ ไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อจำนวนมาก เส้นประสาทยนต์ (Motor Neuron) หนึ่งเซลล์ และกลุ่มของเซลล์กล้ามเนื้อที่ถูกหล่อเลี้ยงด้วยประสาทยนต์นั้น ๆ จะประกอบขึ้นเป็นหนึ่งหน่วยยนต์ (Motor Unit) ขนาดของหน่วยยนต์จะแปรผันไปได้ตามตำแหน่งของกล้ามเนื้อและงานที่กล้ามเนื้อต้องทำ กล้ามเนื้อที่ต้องทำงานละเอียด เช่น กล้ามเนื้อกรอกลูกนัยน์ตา หน่วยยนต์หนึ่งหน่วยประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 4-5 เซลล์ แต่ถ้าเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่ไม่ได้ทำงานละเอียด เช่น กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius) หน่วยยนต์หนึ่งหน่วยจะประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 1000-2000 เซลล์ อัตราส่วนของเซลล์กล้ามเนื้อกับเส้นประสาทยนต์ที่มาเลี้ยงนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของกล้าม

เนื้อ แต่ขึ้นอยู่กับความแม่นยำและความละเอียดของการทำงาน (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กัลยา ปาละวิวัธน์. 2536)

การหดตัวของกล้ามเนื้อลายปกตินั้นเซลล์กล้ามเนื้อจะไม่หดตัวทีละเซลล์ แต่การทำงานของกล้ามเนื้อนั้น เกิดจากการหดตัวอย่างพร้อมเพรียงกันของกลุ่มเซลล์กล้ามเนื้อซึ่งเลี้ยงโดยแขนงของเส้นประสาทยนต์เดียวกัน ที่เรียกว่า หน่วยยนต์ ซึ่งหน่วยยนต์ถือเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดและสามารถกระตุ้นให้เกิดการหดตัวได้ หน่วยยนต์แต่ละหน่วยสามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยความแรงของสิ่งกระตุ้นที่แตกต่างกัน ระดับความแรงของสิ่งกระตุ้นที่ทำให้เห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อ เรียกว่า เทรดโชด์ (Threshold) หน่วยยนต์ที่มีเทรดโชด์ต่ำ จะถูกกระตุ้นก่อน ทำให้มีขนาดแรงตึงในกล้ามเนื้อระดับหนึ่ง ถ้าให้ความแรงของสิ่งกระตุ้นสูงพอ ทุก ๆ หน่วยยนต์จะทำงานพร้อมเพรียงกัน ทำให้ได้แรงตึงที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด เรียกการทำงานร่วมกันของทุก ๆ มอเตอร์ยูนิตนี้ว่า การรวมกันของมอเตอร์ยูนิต (Sammation of Motor Unit หรือ Recruitment of Motor Unit)

การหดตัวเชิงกลของกล้ามเนื้อ สามารถแบ่งได้เป็นหลายแบบโดยอาศัยพื้นฐานที่แตกต่างกันดังนี้

ชนิดของการหดตัวที่เกี่ยวกับความยาว และความตึง

1. การหดตัวแบบไอโซเมทริก (Isometric หรือ Static Contraction) การหดตัวชนิดนี้ความยาวของกล้ามเนื้อคงที่ แต่แรงตึงในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น มุมของข้อต่อไม่เปลี่ยนแปลง การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดนี้ไม่มีงานเกิดขึ้น

2. การหดตัวแบบไอโซโทนิค (Isotonic Contraction)การหดตัวชนิดนี้ความตึงของกล้ามเนื้อคงที่ แต่ความยาวของกล้ามเนื้อลดลง หรือยืดยาวออก

ชนิดการหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ

1. การหดตัวแบบคอนเซนทริก (Concentric Contraction) การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อความยาวของกล้ามเนื้อสั้นเข้า การหดตัวแบบนี้เป็นการหดตัวที่ทำให้ได้งาน (Positive Work)

2. การหดตัวแบบเอคเซนทริก (Eccentric Contraction) การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบนี้เกิดขึ้นในขณะที่กล้ามเนื้อยาวออกไป เป็นการหดตัวเพื่อช่วยพยุงน้ำหนักถ่วงที่เคลื่อนออกไป จึงไม่ได้งานที่เห็นภายนอก (Negative Work) (กนกพร จันทวร. 2542 :15-16)

การหาค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด เพื่อทดสอบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเมื่อหดตัวสูงสุดแล้วจะมีค่าเท่าใด ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเป็นตัววัด และประเมินผลค่าที่ได้เป็นค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ยิ่งค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีค่ามากเท่าใด แสดงว่ากล้ามเนื้อมัดนั้นมีค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อมากเท่านั้น จึงสามารถนำค่าการประเมินมาใช้เพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดที่มีค่าใกล้เคียงกัน มาเป็นกลุ่มตัวอย่างได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในต่างประเทศ

แนค (Nag. 1986) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่างของผู้หญิงชาวอินเดีย อายุระหว่าง 30-39 ปี จำนวน 6 คน โดยให้ทดลองนั่งด้วยท่านั่งต่าง ๆ นาน 30 นาที พบว่าการนั่งเก้าอี้สูง 10 ซม. มีค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่างมากกว่านั่งท่าอื่น ๆ

สตีเฟนน์ (Stephen, C. 2000 : 1146-1155) ได้ศึกษามุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ของการวิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศา ที่ระดับความเร็ว 4.5 เมตรต่อวินาที โดยแบ่งผู้เข้ารับการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มให้วิ่งบนพื้นที่ลาดชันดังต่อไปนี้ กลุ่มที่ 1 วิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศา ด้วยความเร็ว 4.5 เมตรต่อวินาที กลุ่มที่สองวิ่งบนพื้นเรียบที่ระดับความเร็ว 4.5 เมตรต่อวินาที กลุ่มที่ 3 ทำการวิ่งบนพื้นเรียบโดยให้ความถี่ในการก้าวเท้าคล้ายกับวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา จากผลการทดลองพบว่า ความถี่ในการก้าวและระยะเวลาที่ใช้ในการวิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่วิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศา กับกลุ่มที่วิ่งบนพื้นเรียบความเร็ว 4.5 เมตรต่อวินาที แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มวิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศากับกลุ่มที่วิ่งบนพื้นเรียบโดยให้ความถี่ในการก้าวเท้าคล้ายกับวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขณะที่ทำการวิ่ง กล้ามเนื้อน่อง กล้ามเนื้อโซเลียส กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า กล้ามเนื้อสะโพกมีการใช้อย่างมากขณะทำการวิ่ง เมื่อเท้าเริ่มก้าวลงสู่พื้นและจะลอยตัวขึ้น ขณะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังมีการทำงานที่น้อย ส่วนการใช้พลังงานขณะงอสะโพกและเหยียดสะโพกมีค่าที่ดีมาก ซึ่งการทดลองนี้ได้มีข้อเสนอแนะว่าน่าจะมีการลองทำการวัดกล้ามเนื้อหลักสำคัญขณะทำการวิ่งต่อไป

โดเฮอร์ตี้ (Doherty. 2001 : 1953-1958) ได้ศึกษาเรื่องระดับของความพยายามขณะวิ่งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาค่าความเหนื่อย โดยใช้บอร์คสเกลล์ ขณะที่วิ่งระยะสั้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ เพศชายที่ได้รับการฝึกอย่างดี 15 คน ทำการวิ่งบนลู่วิ่งแล้วทำการวัดหาค่าความเหนื่อย ที่เวลาทุก ๆ 30 วินาที จนครบ 120 วินาที พบว่าค่าความเมื่อยล้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงในทิศทางบวก 2 นาทีที่ทำการทดสอบ

บิจเกอร์ (Bijker, G. 2002 : 556-561) ได้ศึกษาความแตกต่างของการทำงานของกล้ามเนื้อขณะทำการวิ่ง และการปั่นจักรยาน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ 11 คน ทำการทดลองทั้งวิ่งและปั่นจักยานทำการวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อน่อง และต้นขาด้านหน้า (Vastus Lateralis and Biceps Femoris) และหาค่าในแต่ละมัดกล้ามเนื้อ แล้วเปรียบเทียบกัน และระหว่างการวิ่ง และการปั่นจักรยาน ผลการทดลองพบว่าในการปั่นจักรยาน กล้ามเนื้อทุกมัดมีความแตกต่างระหว่างค่าคลื่นไฟฟ้ามากกว่าการวิ่ง และในส่วนของการวิ่ง

นั้นกล้ามเนื้อน่องมีค่าความแตกต่างกับกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าน้อยมาก เนื่องจากกล้ามเนื้อทั้งคู่ถูกใช้ไปในปริมาณเท่า ๆ กัน

ดีริค (Derek. 2002 : 662-666) ได้ศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวของการวิ่งเร็วบนลู่วิ่ง ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของการก้าวเท้า และรูปแบบการเคลื่อนไหวของระยางค์ส่วนล่างเมื่อมีการเพิ่มความเร็วขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือ นักวิ่ง 6 คน ทำการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็ว 70เปอร์เซ็นต์ 80เปอร์เซ็นต์ 90เปอร์เซ็นต์ และ 95เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วสูงสุดของแต่ละคน แล้วทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้กล้องวิดีโอ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วที่ช้า ทำให้สามารถมองเห็นลักษณะและรูปแบบการเคลื่อนไหวของระยางค์ส่วนล่างที่เปลี่ยนไปได้ชัดเจนกว่า อีกทั้งความเร็วที่ระดับ 95เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วสูงสุดควรนำมาใช้ทำการฝึกบนลู่วิ่ง เพราะจะทำให้เกิดการพัฒนาได้ดีกว่าความเร็วระดับอื่น ๆ อีกทั้งยังพบความแตกต่างของความถี่ก้าวที่ระดับ 70เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ (P<.01) ระยะเวลาที่เท้าติดพื้นที่ระดับ 70เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ (P<.05)

วิลเลี่ยม (William. 2003 : 29-34) ได้ศึกษาผลของการวิ่งขึ้นเนิน และความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขณะทำการวิ่ง โดยใช้กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักวิ่งระยะไกล 9 คนทำการวิ่ง 3 ระดับ คือ ที่ 65เปอร์เซ็นต์ 75เปอร์เซ็นต์ และ 85เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทำการวิ่งบนลู่วิ่ง 30 นาที ที่ระดับความชัน 3 องศา ทำการวัดหาค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขา และอัตราความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ก่อนการวิ่ง หลังการวิ่ง และหลังการวิ่ง 48 ชั่วโมงผลการทดลองพบว่าการวิ่งขึ้นเนินนั้นจะเกิดความเมื่อยล้าได้ขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาและระดับความหนักในการวิ่ง ซึ่งระยะเวลา 30 นาทีนั้นเพียงพอที่จะเป็นเวลาที่สามารถเห็นผลของการวิ่งและความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อได้ อีกทั้งระดับของความหนักที่มากเกินไปก็จะทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้เร็วขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงแล้ว อัตราความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อก็จะมีค่าน้อยลงจนแทบจะไม่เหลือค่าความเมื่อยล้าอยู่เลย

การวิจัยในประเทศ

วัฒนา เอียวสวัสดิ์ (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่งยืนของพนักงานโรงงานขนมจีนรัตน์พร นิคมขนมจีนฉะเชิงเทรา จำนวน 10 คน โดยใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อขา ร่วมกับใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้า ขณะทำงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง 90 นาที นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน พบว่ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ขณะที่นั่งทำงานบนเก้าอี้กึ่งนั่งกึ่งยืนมีความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน้อยกว่าการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กล้ามเนื้อขาไม่พบความแตกต่างระหว่างการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง อีกทั้งยังพบว่าค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้สามารถให้รายละเอียดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้าอีกด้วย

สนธยา สีละมาด (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องผลของการฝึกวิ่งเร็วบนพื้นราบ ลงเนิน และบนพื้นราบร่วมกับลงเนิน ที่มีต่อความเร็ว ความถี่ในการก้าวเท้าและความยาวของช่วงก้าว ในการวิ่ง 100 เมตร ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คนอายุระหว่าง 20-22 ปี โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ฝึกวิ่งเร็วบนพื้นราบ กลุ่มที่ 2 ฝึกวิ่งลงเนิน และกลุ่มที่ 3 ฝึกวิ่งบนพื้นราบร่วมกับลงเนินที่ระดับ 3 องศา ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของความยาวช่วงก้าวขึ้นอยู่กับระยะเวลาการฝึก โดยกลุ่ม 1 มีความเร็วในการวิ่งเพิ่มขึ้นหลังสัปดาห์ที่ 4 และหลังสัปดาห์ที่ 8 และความถี่ในการก้าวเท้ามีกาพัฒนาดีขึ้นทุกระยะเวลาการฝึก กลุ่มที่ 2 มีความเร็วในการวิ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกระยะเวลาการฝึก กลุ่มที่ 3 มีความเร็วในการวิ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงระยะเวลาการฝึก และความยาวของช่วงก้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 กลุ่ม

สุธิดา อุทะพันธุ์ (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบผลของแผ่นปูพื้นในการบรรเทาความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อของพนักงานโรงงานแปรรูปเนื้อไก่ ที่ทำงานเฉลี่ย 21ชั่วโมงต่อสัปดาห์ จำนวน 10 คน โดยใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อน่อง และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง ร่วมกับใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้า ขณะยืนทำงานบนแผ่นปูพื้นที่ได้จัดไว้ 3 ชนิด ทำการทดสอบเป็นเวลา 8 ชั่วโมงโดยบันทึกค่าที่ได้ในชั่วโมงที่ 2 4 หลังพักเที่ยง และสิ้นสุดการทำงานชั่วโมงที่ 8 ผลการวิจัยพบว่าแผ่นปูพื้นชนิดที่ 2 สามารถบรรเทาความล้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง และกล้ามเนื้อหน้าแข้งได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแผ่นปูพื้นชนิดที่ 1 นั้น สามารถบรรเทาความล้าเฉพาะกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างเท่านั้น สำหรับกล้ามเนื้อน่องนั้น ไม่ว่าจะใช้แผ่นปูพื้นชนิดใดผู้ถูกทดสอบก็เกิดความล้าได้เท่า ๆ กับการยืนบนพื้นคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้ายังไม่สามารถบอกรายละเอียดของความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นได้เท่ากับการใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้

กนกพร จันทวร (2542 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาและหาความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแขนไหล่ และหลัง ส่วนบน ระหว่างนักยกน้ำหนักที่มีทักษะแตกต่างกันและยกน้ำหนักด้วยความหนักที่ต่างกัน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักยกน้ำหนักที่มีทักษะสูงจำนวน 5 คน และนักยกน้ำหนักที่มีทักษะต่ำกว่าจำนวน 9 คน จากนักยกน้ำหนักเยาวชนทีมชาติไทย และนักยกน้ำหนักเยาวชนชายโรงเรียนกีฬาจังหวัดนครศรีธรรมราชตามลำดับ ให้นักยกน้ำหนักทั้งสองกลุ่มยกน้ำหนักในท่าสแนทช์ ด้วยความหนัก 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสูงสุดที่ยกได้เพียง 1 ครั้ง บันทึกภาพการเคลื่อนไหวและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อไว้ แล้ววิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยแบ่งออกเป็น 4 ช่วง เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยค่า ที ที่ระดับ .05

ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อทั้ง 4 ช่วงมีดังนี้ ช่วงที่ 1 นักยกน้ำหนักใช้กล้ามเนื้อหลังส่วนบนในการยกบาร์เบลล์จากพื้นถึงเข่า ช่วงที่ 2 นักยกน้ำหนักใช้กล้ามเนื้อหลังส่วนบน

กล้ามเนื้อไหล่ และกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า ทำงานประสานกันเพื่อยกบาร์เบลล์จากเข่าถึงเอว ช่วงที่ 3 นักยกน้ำหนักใช้กล้ามเนื้อไหล่ กล้ามเนื้อหลังส่วนบน และกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลัง ยกบาร์เบลล์ให้ขูขึ้นเหนือ ศีรษะ ช่วงที่ 4 นักยกน้ำหนักใช้กล้ามเนื้อหลังส่วนบน และกล้ามเนื้อไหล่ตรึงบาร์เบลล์ที่อยู่เหนือศีรษะให้มั่นคง เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่ใช้ยกเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่านักยกน้ำหนักที่มีทักษะสูง มีการทำงานของกล้ามเนื้อไหล่ กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลังเพิ่มมากขึ้นส่วนนักยกน้ำหนักที่มีทักษะต่ำกว่ามีการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อทุกมัด ยกเว้นกล้ามเนื้อหลังส่วนบน นั่นก็คือ เมื่อน้ำหนักที่ใช้ยกมีมากขึ้นและมีทักษะมากขึ้น พบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยแสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อทำงานมากขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องฝึกยกน้ำหนักด้วยน้ำหนักที่สามารถยกได้สูงสุดเมื่อนักกีฬามีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพียงพอเพื่อช่วยให้สามารถใช้กล้ามเนื้อและทักษะที่ถูกต้องในแต่ละช่วงของการยกน้ำหนักท่าสแนทช์

เรณู พรหมเนตร (2542 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาและหาค่าความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสะโพกและกล้ามเนื้อขา ร่วมกับการเคลื่อนไหว 2 มิติของขา ระหว่างนักยกน้ำหนักที่มีทักษะแตกต่างกันและยกน้ำหนักด้วยความหนักที่แตกต่างกัน สุ่มนักยกน้ำหนักที่มีทักษะสูง จำนวน 5 คน และนักยกน้ำหนักที่มีทักษะต่ำกว่า จำนวน 9 คน จากนักยกน้ำหนักเยาวชนทีมชาติไทย และนักยกน้ำหนักเยาวชนชายโรงเรียนกีฬาจังหวัดนครศรีธรรมราชตามลำดับ ให้นักยกน้ำหนักทั้งสองกลุ่มยกน้ำหนักในท่าสแนทช์ ด้วยความหนัก 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสูงสุดที่ยกได้เพียง 1 ครั้ง บันทึกภาพการเคลื่อนไหวและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อไว้ หลังจากนั้นจึงแบ่งคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและภาพการเคลื่อนไหว 2 มิติ ที่บันทึกได้จากการยกท่า สแนทช์ ออกเป็น 4 ช่วง เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยค่า ที ที่ระดับ .05

ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักที่ใช้ยก คลื่นไฟฟ้าและการเคลื่อนไหว 2 มิติ ในแต่ละช่วงมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ช่วงที่1 เริ่มจากท่าเริ่มต้นถึงสิ้นสุดการดึงบาร์เบลล์ในจังหวะที่ 1 พบว่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อสะโพกและกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของทั้งสองกลุ่มมีค่ามากขึ้น ร่วมกับมีการเพิ่มการเหยียดสะโพกและเข่า ผลที่ได้ในช่วงที่ 2 ซึ่งเริ่มจากสิ้นสุดการดึงบาร์เบลล์ในจังหวะหนึ่งถึงสิ้นสุดการดึงบาร์เบลล์ในจังหวะสอง เหมือนกับในช่วงที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่ามีการเหยียดข้อสะโพกและเข่าด้วยความเร็วเชิงมุมที่มากขึ้นด้วย ช่วงที่ 3 เริ่มจากสิ้นสุดการดึงบาร์เบลล์ในจังหวะที่สองถึงการดึงด้วยแขนและนั่งลงรับบาร์เบลล์ พบว่ากลุ่มนักยกน้ำหนักที่มีทักษะสูง มีคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามากขึ้น รวมทั้งการงอสะโพกมีค่ามากขึ้น และลดความเร็วเชิงมุมในการงอเข่า ช่วงที่ 4 เป็นท่าสิ้นสุด เริ่มจากสิ้นสุกท่านั่งรับบาร์เบลล์จนกระทั่งยืนขึ้นพบว่านักยกน้ำหนักที่มีทักษะสูงมีคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามากขึ้น รวมทั้งเหยียดสะโพกและเข่ามากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างนักยกน้ำหนักที่มีทักษะสูงกับนักยกน้ำหนักที่มีทักษะต่ำกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อน้ำหนักที่ใช้ยกมากขึ้นและมีทักษะที่มาก พบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว 2 มิติของขามีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องฝึกยกน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและทักษะในการยกน้ำหนัก

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากต่างประเทศและภายในประเทศ ผู้วิจัยสรุปได้ว่าการวิ่งบนลู่วิ่งแต่ละระดับนั้นสามารถเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน และถ้าสามารถศึกษาในเรื่องของการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อในแต่ละทักษะของการกีฬาและออกกำลังกายได้ก็สามารถทำให้พัฒนาให้สมรรถภาพของร่างกายดีขึ้นได้อีกด้วย ผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรจะมีการศึกษาเรื่องนี้อย่างกว้างขวาง และนำโปรแกรมการฝึกมาใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มบุคคลเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดอย่างแท้จริง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นนิสิตชายในระดับอุดมศึกษา ชั้นปีที่ 2 จำนวน 30 คน ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นนิสิตชายในระดับอุดมศึกษา ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยการคัดเลือกอย่างเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 15 คน จากการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (MVC) ของกล้ามเนื้อ 4 มัดซึ่งได้แก่กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Gastrocnemius-lateral Part, Gastrocnemius-medial Part, Soleus และ Tibialis Anterior) จากกลุ่มประชากร จำนวน 30 คน นำค่าที่ได้มาเรียงลำดับความแข็งแรงของค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (MVC) จากมากไปหาน้อยทั้ง 30 คน หลังจากนั้น ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดทั้ง 4 มัด ที่มีค่าใกล้เคียงกันที่สุดเป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ และวิ่งบนพื้นลาดชันเป็น โปรแกรมการออกกำลังกายสำเร็จรูป

การทดสอบหาความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

1. ศึกษาแบบฝึกและแบบทดสอบต่าง ๆ และสอบถามผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย แล้วนำมาเป็นหลักในการสร้างโปรแกรมการออกกำลังกาย โดยพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1.1 ระยะเวลาในการออกกำลังกาย

1.2 ช่วงระดับความหนักในการออกกำลังกาย

2. สร้างโปรแกรมการออกกำลังกายโดยการวิ่ง แล้วนำไปปรึกษาประธานเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

3. ทำการทดสอบหาคุณภาพของเครื่องมือโดยใช้กลุ่มทดสอบจำนวน 5 คนซึ่งประกอบไปด้วย

3.1 ชั่งน้ำหนัก

3.2 วัดชีพจรขณะพัก

3.3 ทดลองออกกำลังกายด้วยการวิ่งพื้นเรียบ 0 องศา พัก 1 สัปดาห์ แล้วจึงทดลองออกกำลังกายด้วยการวิ่งพื้นเรียบ 3 องศา

3.4 ทดลองบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

3.5 นำโปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งทั้ง 2 รูปแบบมาปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ

4. นำโปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งทั้ง 2 รูปแบบ ไปให้ประธานและกรรมการ เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง

5. นำโปรแกรมออกกำลังกายด้วยการวิ่งทั้ง 2 รูปแบบ มาปรับปรุงแก้ไขตามที่ประธานและกรรมการ ให้คำแนะนำ

6. ทำการทดสอบหาคุณภาพของเครื่องมืออีกครั้ง โดยการทดสอบซ้ำ (test-retest) ในระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยวิธีของเพียร์สัน (Pearson Product-moment Correlation Coefficient) (r = .91)

7. นำโปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งทั้ง 2 รูปแบบไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (รุ่น ME3000P) และโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG Analysis, Megawin V 1.2)

2. ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าชนิดผิว (Surface Electrode)

3. เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อและอุปกรณ์ (Electrical Stimulator รุ่น Phyaction 300)

4. สำลี แอลกอฮอล์ ผ้าพันแผล และ หนังยาง

5. ลู่วิ่ง (Treadmill)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. จัดหาผู้ช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งอธิบายและสาธิตวิธีการต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลให้เข้าใจในรายละเอียดของการทดสอบตลอดจนวิธีการปฏิบัติและการบันทึกผลการทดสอบให้เข้าใจถูกต้องตรงกัน

2. เตรียมอุปกรณ์และสถานที่ในการออกกำลังกาย โดยใช้ห้องฝึกปฏิบัติการอาคารสิรินธร

3. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจากกลุ่มประชากร เพื่อใช้เป็นกลุ่มตัวอย่าง

4. ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัย

5. ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าขณะที่ทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum Voluntary Contraction : MVC) ของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัดซึ่งได้แก่กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Gastrocnemius-lateral Part, Gastrocnemius-medial Part, Soleus และ Tibialis Anterior) ตามภาคผนวก ค. เพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อใกล้เคียงกัน

6. บันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทำการวิ่งโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

6.1 ติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (อิเลคโทรด) เพื่อวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

6.2 ให้กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายด้วยการวิ่งทั้ง 2 รูปแบบ คือออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา หาค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา ทั้ง 4 มัด ตลอดระยะเวลาการวิ่ง หลังจากนั้นพัก 1 สัปดาห์ แล้วทำการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา แล้วหาค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา ทั้ง 4 มัดตลอดระยะเวลาการวิ่ง

7. วิเคราะห์ความเมื่อยล้าที่เกิดจากการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชันจากการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขาทุก 1 นาทีจนถึงนาทีที่ 30 ตามโปรแกรมการวิ่งโดยพิจารณาจากค่าความถี่กลางของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

8. นำค่าจากการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ

สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

สถานที่ในการทำวิจัย

ห้องฝึกปฏิบัติการอาคารสิรินธร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนธันวาคม 2546 ถึง เดือนมกราคม 2547 วันจันทร์-ศุกร์ ช่วงเวลา 16:30-19:30 น.

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติ เปรียบเทียบความเมื่อยล้าของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ในแต่ละช่วงเวลา ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อหา

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด

2. เปรียบเทียบความเมื่อยล้าของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างแต่ละมัดกล้ามเนื้อ โดยใช้ โดยใช้สถิติ ที (Paired Samples T– test)

3. เปรียบเทียบความเมื่อยล้าของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด ภายในแต่ละระยะเวลาการวิ่งของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ว่าแต่ละมัดกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ในช่วงเวลาการวิ่งที่ต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Measurement) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 หากพบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อแต่ละรูปแบบการวิ่งโดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

M	แทน	ค่าเฉลี่ยของคะแนน (Mean)
S	แทน	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน (Standard Deviation)
*	แทน	ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
t	แทน	ค่าทดสอบสถิติแบบ t
F	แทน	ค่าทดสอบสถิติแบบ F
n	แทน	จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง
df	แทน	ระดับของความเป็นอิสระ (Degree of Freedom)
P	แทน	โอกาสของความน่าจะเป็น (Probability)
MS	แทน	ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนกำลังสอง (Mean Squares)
SS	แทน	ผลรวมกำลังสองของค่าเบี่ยงเบน (Sum of Squares)

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา แล้วใช้การทดสอบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เป็นเครื่องมือในการประเมินผลการทดลองเพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ ก่อนการออกกำลังกายด้วยค่าเฉลี่ย (M) และส่วนเบี่ยงมาตรฐาน (S) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (MVC) ของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อแต่ละมัด ที่เกิดจากการใช้ระดับความชันในการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด ที่เกิดจากการใช้ระดับความชันในการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา พื้นลาดชัน 3 องศา และระยะเวลาที่ต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพก่อนการวิ่งของกลุ่มตัวอย่าง ด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ผลแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

	อายุ (ปี)		น้ำหนัก (ก.ก.)		ส่วนสูง (cm)	
	M	S	M	S	M	S
กลุ่มตัวอย่าง n = 15	20	0.00	61.00	6.39	172.80	4.71

จากตาราง 1 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการวิ่ง กลุ่มตัวอย่างมีความคล้ายคลึงกันทางด้านลักษณะทางกายภาพ ดังจะเห็นได้จากค่าเฉลี่ยของอายุ น้ำหนัก และ ส่วนสูง

ตาราง 2 แสดงค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (μ V) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 15 คน

คนที่	กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก	กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน	กล้ามเนื้อโซเลียส	กล้ามเนื้อหน้าแข้ง
1	67.34	61.21	56.00	49.00
2	65.21	62.38	59.30	48.90
3	60.23	64.35	57.20	50.20
4	66.89	59.64	56.90	47.95
5	62.13	58.79	54.60	48.16
6	65.00	63.29	53.26	53.16

ตาราง 2 (ต่อ)

คนที่	กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก	กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน	กล้ามเนื้อโซเลียส	กล้ามเนื้อหน้าแข้ง
7	63.28	65.11	57.30	45.98
8	62.13	57.13	52.19	43.26
9	65.12	61.00	53.40	49.87
10	68.13	61.95	55.12	54.16
11	69.18	59.09	57.16	51.20
12	67.15	59.70	54.16	49.60
13	60.13	62.19	54.95	48.20
14	62.13	61.56	53.26	44.12
15	60.13	59.31	57.20	49.98
M	64.27	61.11	55.46	48.91
S	3.05	2.19	2.01	2.93

จากตาราง 2 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.27 มิวโวตต์ (μ V) ค่าเฉลี่ยการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดกล้ามเนื้อน่องส่วนด่านในมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.11 มิวโวตต์ (μ V) ค่าเฉลี่ยการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดกล้ามเนื้อโซเลียสมีค่าเท่ากับ 55.46มิวโวตต์ (μ V) และค่าเฉลี่ยการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดกล้ามเนื้อหน้าแข้งมีค่าเท่ากับ 48.91 มิวโวตต์ (μ V)

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อแต่ละมัด ที่เกิดจากการใช้ระดับความชันในการวิ่งแตกต่างกัน

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ที่มีต่อกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior) ทั้ง 30 นาที โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) และใช้โปรแกรมเมก้าวิน (Magawin) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ผลแสดงในตาราง 3 4 5 และ 6

ตาราง 3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

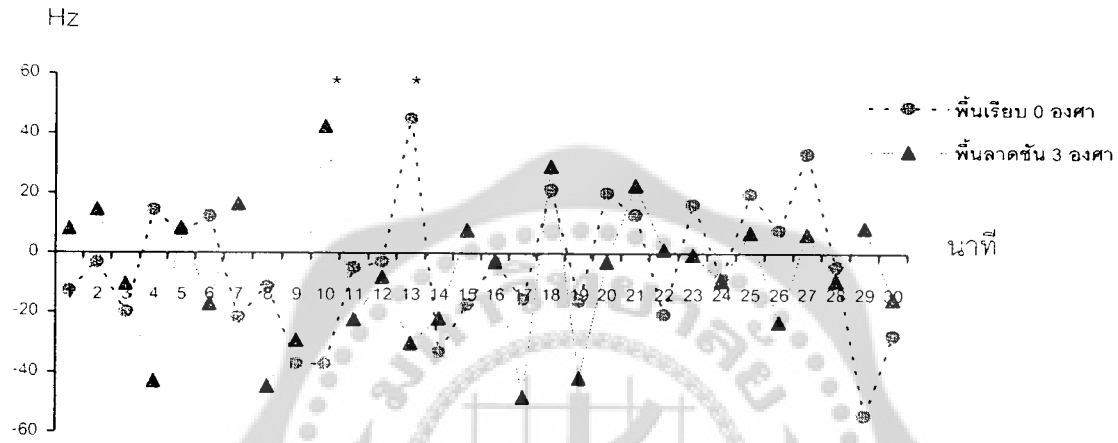
ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 1	-12.80	105.30	8.00	84.52	.540
นาทีที่ 2	-3.26	79.76	14.66	69.05	.614
นาทีที่ 3	-19.80	100.84	-10.33	79.27	.776
นาทีที่ 4	14.46	108.32	-42.86	59.24	.072
นาทีที่ 5	6.66	75.37	8.33	78.15	.959
นาทีที่ 6	12.26	89.34	-17.06	84.41	.413
นาทีที่ 7	-21.46	78.72	16.46	95.83	.314
นาทีที่ 8	-11.46	82.27	-44.60	84.09	.240
นาทีที่ 9	-37.00	92.18	-29.20	101.98	.854
นาทีที่ 10	-37.00	88.25	42.33	115.53	.032*
นาทีที่ 11	-4.93	66.29	-22.26	65.29	.327
นาทีที่ 12	-2.93	56.13	-8.06	99.28	.869
นาทีที่ 13	44.86	80.12	-30.13	55.96	.020*
นาทีที่ 14	-33.20	80.54	-21.80	85.72	.664
นาทีที่ 15	-17.26	88.16	7.73	79.93	.434

ตาราง 3 (ต่อ)

ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 16	-3.13	103.22	-2.93	68.53	.996
นาทีที่ 17	-15.46	78.72	-48.06	121.30	.473
นาทีที่ 18	21.33	95.67	29.13	70.18	.810
นาทีที่ 19	-15.93	114.11	-41.80	65.84	.525
นาทีที่ 20	20.06	93.70	-2.93	40.52	.419
นาทีที่ 21	12.93	62.64	22.73	65.62	.693
นาทีที่ 22	-20.53	90.94	1.20	84.74	.518
นาทีที่ 23	16.2	64.48	-0.53	56.74	.420
นาทีที่ 24	-8.33	96.18	-9.20	87.93	.980
นาทีที่ 25	19.73	91.70	6.80	76.85	.669
นาทีที่ 26	7.46	86.02	-23.00	42.59	.289
นาทีที่ 27	33.26	99.13	6.33	62.56	.417
นาทีที่ 28	-4.33	92.39	-9.13	88.34	.877
นาทีที่ 29	54.13	76.48	8.53	105.55	.105
นาทีที่ 30	-27.53	83.60	-15.20	75.31	.690

* $P < .05$

จากตาราง 3 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกระหว่างระดับความชัน 0 องศา และที่ระดับความชัน 3 องศา ในการวิ่งทั้ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อวิ่งครบทั้ง 30 นาที ของระดับความชัน 0 องศา และ 3 องศา จะมีค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากค่าความถี่กลางที่เป็นลบมากขึ้น ซึ่งในนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 13 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของทั้ง 2 ระดับความชันจะมีค่าสลับกัน โดยค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกของความชัน 0 องศามีค่ามาก ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกของความชัน 3 องศา จะมีค่าน้อย เป็นต้น แต่หลังจากนาทีที่ 13 ไปแล้วค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกของทั้งสองระดับความชันจะมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังภาพประกอบ 9



* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภาพประกอบ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก ในแต่ละระยะเวลา

ตาราง 4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

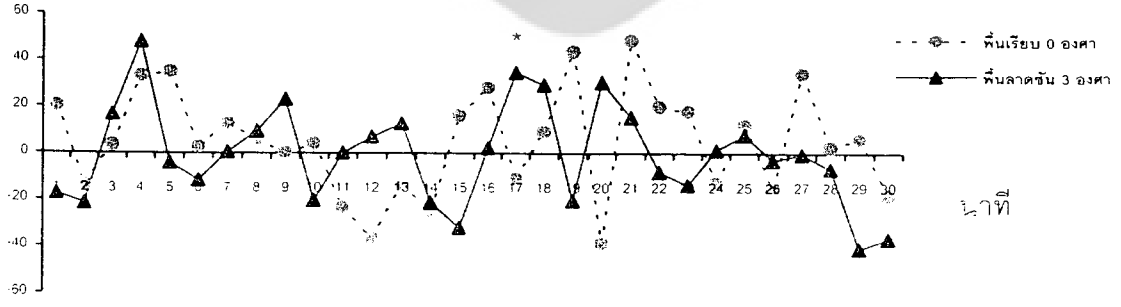
ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 1	20.46	59.38	-17.40	80.33	.169
นาทีที่ 2	-13.26	53.22	-21.40	82.25	.755
นาทีที่ 3	3.66	68.48	76.73	87.27	.664
นาทีที่ 4	33.20	102.97	48.20	60.85	.559
นาทีที่ 5	35.06	131.46	-4.26	57.06	.340
นาทีที่ 6	2.60	94.13	-11.53	54.61	.611
นาทีที่ 7	12.73	118.70	0.53	80.38	.781
นาทีที่ 8	-6.13	81.78	9.66	87.85	.660
นาทีที่ 9	0.20	74.33	23.26	94.8	.517
นาทีที่ 10	4.13	61.94	-20.46	60.42	.310
นาทีที่ 11	-23.13	74.43	0.66	53.65	.169
นาทีที่ 12	36.53	73.34	6.93	82.41	.180
นาทีที่ 13	-13.46	55.38	12.73	54.34	.243
นาทีที่ 14	-24.93	66.41	-21.20	93.25	.882
นาทีที่ 15	16.13	89.83	-32.00	67.30	.118
นาทีที่ 16	28.13	74.49	2.26	57.72	.341
นาทีที่ 17	-10.80	50.32	34.86	60.68	.014*
นาทีที่ 18	9.20	74.72	29.4	96.32	.623
นาทีที่ 19	43.80	85.23	-20.46	72.45	.081
นาทีที่ 20	-38.66	87.49	30.60	76.38	.069
นาทีที่ 21	48.60	105.20	15.33	65.53	.353
นาทีที่ 22	19.86	62.54	-8.06	80.29	.217
นาทีที่ 23	17.93	45.20	-13.66	77.67	.150
นาทีที่ 24	-12.73	82.24	1.33	83.17	.642
นาทีที่ 25	12.20	74.46	7.86	66.02	.715

ตาราง 4 (ต่อ)

ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 26	-15.13	74.37	-3.13	49.34	.576
นาทีที่ 27	34.20	69.53	-0.60	56.18	.193
นาทีที่ 28	2.40	65.02	-6.73	93.69	.756
นาทีที่ 29	6.20	93.94	-40.80	70.34	.111
นาทีที่ 30	-18.20	85.55	-36.46	53.43	.458

* P < .05

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน ระหว่างระดับความชัน 0 องศา และที่ระดับความชัน 3 องศา ในการวิ่งทั้ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 17 โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อวิ่งทั้ง 30 นาที ของระดับความชัน 0 องศา และ 30 องศา จะมีค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากค่าความถี่กลางที่เป็นลบมากขึ้น ซึ่งในนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของทั้ง 2 ระดับความชันจะมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนในนาทีที่ 8 ถึงนาทีที่ 13 จะมีค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในสลับกัน โดยค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในของความชัน 0 องศา มีค่ามาก ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในของความชัน 3 องศา จะมีค่าน้อย แต่หลังจากนาทีที่ 19 ไปแล้วค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในของทั้งสองระดับความชันจะมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังภาพประกอบ 10



* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภาพประกอบ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน... ระยะเวลา

ตาราง 5 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

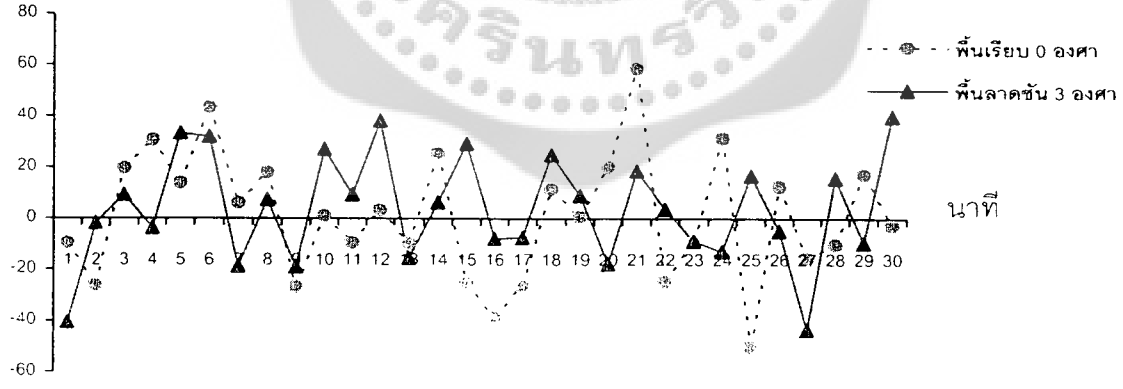
ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 1	-9.33	72.95	-40.40	82.79	.271
นาทีที่ 2	-25.93	67.13	-1.80	111.89	.421
นาทีที่ 3	19.53	143.03	9.26	82.92	.826
นาทีที่ 4	30.66	109.92	-3.73	74.16	.373
นาทีที่ 5	14.00	78.98	33.53	55.04	.391
นาทีที่ 6	43.53	77.87	32.13	73.81	.726
นาทีที่ 7	6.13	97.92	-18.66	58.85	.341
นาทีที่ 8	17.93	90.77	7.40	59.69	.714
นาทีที่ 9	-26.8	83.48	-18.93	72.75	.786
นาทีที่ 10	1.06	90.45	27.13	96.26	.465
นาทีที่ 11	-9.26	93.19	9.40	84.15	.597
นาทีที่ 12	3.33	143.21	38.26	60.34	.412
นาทีที่ 13	-9.66	70.88	-15.66	109.65	.862
นาทีที่ 14	25.40	113.16	6.20	69.86	.621
นาทีที่ 15	-25.13	98.06	29.26	100.47	.129
นาทีที่ 16	-38.73	123.35	-7.86	76.14	.369
นาทีที่ 17	-26.33	112.33	-7.46	117.93	.396
นาทีที่ 18	11.33	71.59	25.00	78.67	.569
นาทีที่ 19	0.53	99.86	8.93	59.16	.777
นาทีที่ 20	20.13	94.61	-17.73	107.66	.249
นาทีที่ 21	58.60	141.18	18.80	102.41	.364
นาทีที่ 22	-24.80	69.70	3.73	70.45	.235
นาทีที่ 23	-9.20	78.85	-8.86	100.23	.991

ตาราง 5 (ต่อ)

ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 24	31.60	90.04	-12.80	75.34	.088
นาทีที่ 25	-50.00	104.56	16.93	73.40	.070
นาทีที่ 26	12.60	63.27	-4.93	70.41	.283
นาทีที่ 27	-15.60	137.55	-4.36	93.22	.479
นาทีที่ 28	-10.26	90.49	15.93	80.03	.296
นาทีที่ 29	17.33	94.96	-9.46	63.55	.480
นาทีที่ 30	-2.66	74.59	40.20	159.88	.357

* P < .05

จากตาราง 5 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) ระหว่างระดับความชัน 0 องศา และที่ระดับความชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที ไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มว่าหลังการวิ่ง 30 นาที ของระดับความชัน 0 องศา จะมีค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) เพิ่มมากขึ้นจากนาทีที่ 1 ส่วนที่ระดับความชัน 3 องศาจะมีค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) น้อยลงจากนาทีที่ 1 ดังภาพประกอบ 11



* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภาพประกอบ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ในแต่ละระยะเวลา

ตาราง 6 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior) จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

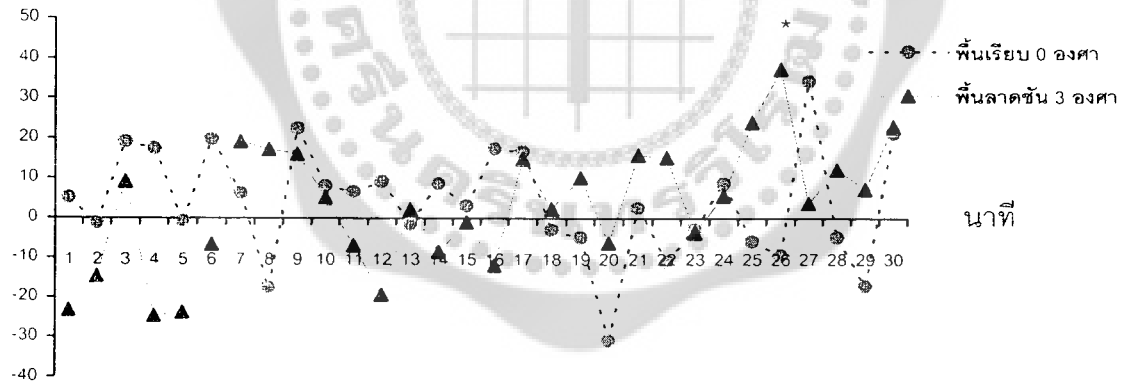
ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 1	5.13	54.13	-23.20	49.90	.185
นาทีที่ 2	-1.26	40.79	-14.66	71.64	.546
นาทีที่ 3	19.20	39.93	9.20	65.53	.646
นาทีที่ 4	17.46	50.43	-24.53	59.92	.120
นาทีที่ 5	-0.66	60.01	-23.66	49.72	.358
นาทีที่ 6	19.66	73.44	-6.60	49.32	.302
นาทีที่ 7	6.26	39.72	19.13	50.95	.431
นาทีที่ 8	-17.53	37.58	17.13	77.37	.190
นาทีที่ 9	22.46	42.09	-16.06	58.58	.072
นาทีที่ 10	8.13	40.51	5.26	56.59	.890
นาทีที่ 11	6.66	43.80	-6.80	57.06	.480
นาทีที่ 12	9.20	50.63	-19.20	58.37	.248
นาทีที่ 13	-1.40	48.11	2.20	42.49	.818
นาทีที่ 14	8.60	75.85	-8.50	51.95	.418
นาทีที่ 15	3.13	55.95	-1.06	58.88	.866
นาทีที่ 16	17.46	71.88	-11.80	49.45	.284
นาทีที่ 17	16.66	63.21	14.80	63.72	.946
นาทีที่ 18	-2.86	66.11	2.40	81.33	.853
นาทีที่ 19	-4.86	72.65	10.20	52.46	.503
นาทีที่ 20	-30.73	41.90	-6.13	47.40	.149
นาทีที่ 21	2.66	51.02	15.80	84.95	.560
นาทีที่ 22	-10.86	86.94	15.20	66.47	.117
นาทีที่ 23	-2.80	63.89	-3.70	53.94	.968
นาทีที่ 24	8.73	51.88	5.66	46.38	.855
นาทีที่ 25	-5.80	63.28	24.00	47.33	.162

ตาราง 6 (ต่อ)

ระยะเวลาการวิ่ง	วิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา		วิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา		
	M	S	M	S	t
นาทีที่ 26	-9.26	53.11	37.26	58.64	.043*
นาทีที่ 27	34.33	51.27	3.80	100.67	.346
นาทีที่ 28	-4.86	71.97	12.2	65.96	.490
นาทีที่ 29	-17.00	69.61	7.26	65.22	.337
นาทีที่ 30	21.33	62.49	23.00	51.70	.936

* P < .05

จากตาราง 6 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง ในนาทีที่ 26 ระหว่างการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนในนาทีอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มว่าการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา จะมีความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อมากกว่าการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ดังภาพประกอบ 12



* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภาพประกอบ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง ในแต่ละระยะเวลา

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด ที่เกิดจากการใช้ระดับความชันในการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา พื้นลาดชัน 3 องศา และระยะเวลาที่ต่างกัน

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance Measures) เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากการวิ่งด้วยความชัน 0 องศา และ 3 องศา และระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกัน ผลแสดงในตารางที่ 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 และ 19

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกันที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง)

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	1680	11439574.400	6809.270		
ภายในสมาชิก	119	823656.595	6921.484		
ระยะเวลาการวิ่ง	29	218825.012	7545.690	1.108	.016*
กล้ามเนื้อ	3	24890.108	8296.703	1.218	.302
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการวิ่งและกล้ามเนื้อ	87	579941.475	6665.994	0.978	.536
รวม	1799	12263230.995			

* $p < .05$

จากตาราง 7 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ในระยะเวลาการวิ่ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่า ระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด ต่างไปจากระยะเวลาการวิ่งในช่วงอื่น

ตาราง 8 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 1	-	-11.800	4.783	23.083	12.917	18.650	0.050	-5.167
นาทีที่ 2	11.800	-	16.583	34.883*	24.717	30.450*	11.850	6.633
นาทีที่ 3	-4.783	-16.58	-	18.300	8.133	13.867	-4.733	-9.950
นาทีที่ 4	23.083	-34.88*	-18.300	-	-10.16	-4.433	-23.033	-28.250
นาทีที่ 5	12.917	-24.71	-8.133	10.167	-	5.733	-12.867	-18.083
นาทีที่ 6	18.650	-13.867	4.433	-5.733	-5.733	-	-18.600	-23.817
นาทีที่ 7	0.0500	-11.85	4.733	23.033	12.867	18.600	-	-5.217
นาทีที่ 8	5.167	-6.633	9.950	28.250	18.083	23.817	5.217	-
นาทีที่ 9	11.150	-0.650	15.933	34.233*	24.067	29.800*	11.200	5.983
นาทีที่ 10	6.783	-5.017	11.567	29.867*	19.700	25.433	6.833	1.617
นาทีที่ 11	8.550	-3.250	13.333	31.633*	21.467	27.200	8.600	3.383
นาทีที่ 12	7.600	-4.200	12.383	30.683	20.517	26.250	7.650	2.433
นาทีที่ 13	-4.217	-16.01	0.567	18.867	8.700	14.433	-4.167	-9.383
นาทีที่ 14	6.900	-4.900	11.683	29.983	19.817	25.550	6.950	1.733
นาทีที่ 15	6.650	-5.150	11.433	29.733	19.567	25.300	6.700	1.483
นาทีที่ 16	0.0666	-11.86	4.717	23.017	12.850	18.583	-0.016	-5.233
นาทีที่ 17	9.850	-1.950	14.633	32.933*	22.767	28.500	9.900	4.683
นาทีที่ 18	-9.033	-20.83	-4.250	14.050	3.883	9.617	-8.983	-14.200
นาทีที่ 19	-5.017	-16.81	-0.233	18.067	7.900	13.633	-4.967	-10.183
นาทีที่ 20	8.167	-3.633	12.950	31.250*	21.083	26.817	8.217	3.000
นาทีที่ 21	-0.029*	-41.63*	-25.050	-6.750	-16.91	-11.183	-29.783*	-35.000*
นาทีที่ 22	9.950	-1.850	14.733	33.033*	22.867	28.600	10.000	4.783
นาทีที่ 23	-4.650	-16.45	0.133	18.433	8.267	14.000	-4.600	-9.817
นาทีที่ 24	-3.950	-15.75	0.833	19.133	8.967	14.700	-3.900	-9.117
นาทีที่ 25	5.333	-6.467	10.117	28.417	18.250	23.983	5.383	0.167

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 26	12.766	-9.850	6.733	25.033	14.867	20.600	2.000	-3.217
นาทีที่ 27	-20.68	-32.48*	-15.900	2.400	-7.767	-2.033	-20.633	-25.850
นาทีที่ 28	5.133	-6.667	9.917	28.217	18.050	23.783	5.183	-0.03
นาทีที่ 29	12.767	0.967	17.550	35.850*	25.683	31.417*	12.817	7.600
นาทีที่ 30	7.633	-4.167	12.417	30.717*	20.550	26.283	7.683	2.467

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 1	-11.150	-6.783	-8.550	-7.600	4.217	-6.900	-6.650	0.066
นาทีที่ 2	0.650	5.017	3.250	4.200	16.017	4.900	5.150	11.867
นาทีที่ 3	-15.933	-11.567	-13.333	-12.383	-0.567	-11.683	-11.433	-4.717
นาทีที่ 4	-34.233*	-29.867*	-31.633*	-30.683*	-18.867	-29.983*	-29.733*	-23.017
นาทีที่ 5	-24.067	-19.700	-21.467	-20.517	-8.700	-19.817	-19.567	-12.850
นาทีที่ 6	-29.800*	-25.433	-27.200	-26.250	-14.433	-25.550	-25.300	-18.583
นาทีที่ 7	-11.200	-6.833	-8.600	-7.650	4.167	-6.950	-6.700	0.016
นาทีที่ 8	-5.983	-1.617	-3.383	-2.433	9.383	-1.733	-1.483	5.233
นาทีที่ 9	-	4.367	2.600	3.550	15.367	4.250	4.500	11.217
นาทีที่ 10	-4.367	-	-1.767	-0.817	11.000	-0.117	0.133	6.850
นาทีที่ 11	-2.600	1.767	-	0.950	12.767	1.650	1.900	8.617
นาทีที่ 12	-3.550	0.817	-0.950	-	11.817	0.700	0.950	7.667
นาทีที่ 13	-15.367	-11.000	-12.767	-11.817	-	-11.117	-10.867	-4.150
นาทีที่ 14	-4.250	0.117	-1.650	-0.700	11.117	-	0.250	6.967
นาทีที่ 15	-4.500	-0.133	-1.900	-0.950	10.867	-0.250	-	6.717
นาทีที่ 16	-11.217	-6.850	-8.617	-7.667	4.150	-6.967	-6.717	-
นาทีที่ 17	-1.300	3.067	1.300	2.250	14.067	2.950	3.200	9.917

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 18	-20.183	-15.817	-17.583	-16.633	-4.817	-15.933	-15.683	-8.967
นาทีที่ 19	-16.167	-11.800	-13.567	-12.617	-0.800	-11.917	-11.667	-4.950
นาทีที่ 20	-2.983	1.383	-0.383	0.567	12.383	1.267	1.517	8.233
นาทีที่ 21	-40.983*	-36.617*	-38.383*	-37.433*	-25.617	-36.733*	-36.483*	-29.767*
นาทีที่ 22	-1.200	3.167	1.400	2.350	14.167	3.050	3.300	10.017
นาทีที่ 23	-15.800	-11.433	-13.200	-12.250	-.433	-11.550	-11.300	-4.583
นาทีที่ 24	-15.100	-10.733	-12.500	-11.550	0.267	-10.850	-10.600	-3.883
นาทีที่ 25	-5.817	-1.450	-3.217	-2.267	9.550	-1.567	-1.317	5.400
นาทีที่ 26	-9.200	-4.833	-6.600	-5.650	6.167	-4.950	-4.700	2.017
นาทีที่ 27	-31.833*	-27.467	-29.233	-28.283	-16.467	-27.583	-27.333	-20.617
นาทีที่ 28	-6.017	-1.650	-3.417	-2.467	9.350	-1.767	-1.517	5.200
นาทีที่ 29	1.617	5.983	4.217	5.167	16.983	5.867	6.117	12.833
นาทีที่ 30	-3.517	0.850	-0.917	0.0333	11.850	0.733	0.983	7.700

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 1	-9.850	9.033	5.017	-8.167	29.833*	-9.950	4.650	3.950
นาทีที่ 2	1.950	20.833	16.817	3.633	41.633*	1.850	16.450	15.750
นาทีที่ 3	-14.633	4.250	0.233	-12.950	25.050	-14.733	-0.133	-0.833
นาทีที่ 4	-32.933*	-14.050	-18.067	-31.250*	6.750	-33.033*	-18.433	-19.133
นาทีที่ 5	-22.767	-3.883	-7.900	-21.083	16.917	-22.867	-8.267	-8.967
นาทีที่ 6	-28.500	-9.617	-13.633	-26.817	11.183	-28.600	-14.000	-14.700
นาทีที่ 7	-9.900	8.983	4.967	-8.217	29.783*	10.000	4.600	3.900
นาทีที่ 8	-4.683	14.200	10.183	-3.000	35.000*	-4.783	9.817	9.117

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 9	1.300	20.183	16.167	2.983	40.983*	1.200	15.800	15.100
นาทีที่ 10	-3.067	15.817	11.800	-1.383	36.617*	-3.167	11.433	10.733
นาทีที่ 11	-1.300	17.583	13.567	0.383	38.383*	-1.400	13.200	12.500
นาทีที่ 12	-2.250	16.633	12.617	-0.567	37.433*	-2.350	12.250	11.550
นาทีที่ 13	-14.067	4.817	.800	-12.383	25.617	-14.167	0.433	-0.267
นาทีที่ 14	-2.950	15.933	11.917	-1.267	36.733*	-3.050	11.550	10.850
นาทีที่ 15	-3.200	15.683	11.667	-1.517	36.483*	-3.300	11.300	10.600
นาทีที่ 16	-9.917	8.967	4.950	-8.233	29.767*	-10.017	4.583	3.883
นาทีที่ 17	-	18.883	14.867	1.683	39.683	-0.100	14.500	13.800
นาทีที่ 18	-18.883	-	-4.017	-17.200	20.800	-18.983	-4.383	-5.083
นาทีที่ 19	-14.867	4.017	-	-13.183	24.817	-14.967	-0.367	-1.067
นาทีที่ 20	-1.683	17.200	13.183	-	38.000*	-1.783	12.817	12.117
นาทีที่ 21	-39.683	-20.800	-24.817	-38.000*	-	-39.783*	-25.183	-25.883
นาทีที่ 22	0.100	18.983	14.967	1.783	39.783*	-	14.600	13.900
นาทีที่ 23	-14.500	4.383	0.367	-12.817	25.183	-14.600	-	-0.700
นาทีที่ 24	-13.800	5.083	1.067	-12.117	25.883	-13.900	0.700	-
นาทีที่ 25	-4.517	14.367	10.350	-2.833	35.167*	-4.617	9.983	9.283
นาทีที่ 26	-7.900	10.983	6.967	-6.217	31.783*	-8.000	6.600	5.900
นาทีที่ 27	-30.533	-11.650	-15.667	-28.850	9.150	-30.633	-16.033	-16.733
นาทีที่ 28	-4.717	14.167	10.150	-3.033	34.967*	-4.817	9.783	9.083
นาทีที่ 29	2.917	21.800	17.783	4.600	42.600*	2.817	17.417	16.717
นาทีที่ 30	-2.217	16.667	12.650	-0.533	37.467*	-2.317	12.283	11.583

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 1	-5.333	-1.950	20.683	-5.133	-12.767	-7.633
นาทีที่ 2	6.467	9.850	32.483*	6.667	-0.967	4.167
นาทีที่ 3	-10.117	-6.733	15.900	-9.917	-17.550	-12.417
นาทีที่ 4	-28.417	-25.033	-2.400	-28.217	-35.850*	-30.717*
นาทีที่ 5	-18.250	-14.867	7.767	-18.050	-25.683	-20.550
นาทีที่ 6	-23.983	-20.600	2.033	-23.783	-31.417*	-26.283
นาทีที่ 7	-5.383	-2.000	20.633	-5.183	-12.817	-7.683
นาทีที่ 8	-0.167	3.217	25.850	0.033	-7.600	-2.467
นาทีที่ 9	5.817	9.200	31.833*	6.017	-1.617	3.517
นาทีที่ 10	1.450	4.833	27.467	1.650	-5.983	-0.850
นาทีที่ 11	3.217	6.600	29.233	3.417	-4.217	0.917
นาทีที่ 12	2.267	5.650	28.283	2.467	-5.167	-0.033
นาทีที่ 13	-9.550	-6.167	16.467	-9.350	-16.983	-11.850
นาทีที่ 14	1.567	4.950	27.583	1.767	-5.867	-0.733
นาทีที่ 15	1.317	4.700	27.333	1.517	-6.117	-0.983
นาทีที่ 16	-5.400	-2.017	20.617	-5.200	-12.833	-7.700
นาทีที่ 17	4.517	7.900	30.533*	4.717	-2.917	2.217
นาทีที่ 18	-14.367	-10.983	11.650	-14.167	-21.800	-16.667
นาทีที่ 19	-10.350	-6.967	15.667	-10.150	-17.783	-12.650
นาทีที่ 20	2.833	6.217	28.850	3.033	-4.600	0.533
นาทีที่ 21	-35.167*	-31.783*	-9.150	-34.967*	-42.600*	-37.467*
นาทีที่ 22	4.617	8.000	30.633*	4.817	-2.817	2.317
นาทีที่ 23	-9.983	-6.600	16.033	-9.783	-17.417	-12.283
นาทีที่ 24	-9.283	-5.900	16.733	-9.083	-16.717	-11.583
นาทีที่ 25	-	3.383	26.017	0.200	-7.433	-2.300
นาทีที่ 26	-3.383	-	22.633	-3.183	-10.817	-5.683

ตาราง 8 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 27	-26.017	-22.633	-	-25.817	-33.450*	-28.317
นาทีที่ 28	-.200	3.183	25.817	-	-7.633	-2.500
นาทีที่ 29	7.433	10.817	33.450*	7.633	-	5.133
นาทีที่ 30	2.300	5.683	28.317	2.500	-5.133	-

* $p < .05$

จากตาราง 8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา นาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 9 นาทีที่ 10 นาทีที่ 11 นาทีที่ 17 นาทีที่ 20 นาทีที่ 22 นาทีที่ 29 และนาทีที่30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 9 และนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 7 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 8 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 11 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 12 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 15 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 16 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 17 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 20 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 21 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 2 นาทีที่ 7 นาทีที่ 8 นาทีที่ 9 นาทีที่ 10 นาทีที่ 11 นาทีที่ 12 นาทีที่ 14 นาทีที่ 15 นาทีที่ 16 นาทีที่ 20 นาทีที่ 22 นาทีที่ 25 นาทีที่ 26 นาทีที่ 28 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 22 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 25 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 26 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ .05 นาทีที่ 27 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 9 นาทีที่ 17 นาทีที่ 22 และนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 28 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 29 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา และระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกันที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง)

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	1680	9729672.667	5791.472		
ภายในสมาชิก	119	758051.266	6370.179		
ระยะเวลาการวิ่ง	29	141528.183	4880.282	.843	.017*
กล้ามเนื้อ	3	28995.517	9665.172	1.669	.000*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการวิ่งและกล้ามเนื้อ	87	587527.566	6753.190	1.166	.045*
รวม	1799	12263230.995			

* $p < .05$

จากตาราง 9 พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการวิ่งและกล้ามเนื้อมีผลกระทบต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา นั่นคือ ระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกันจะส่งผลให้ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาต่างกันหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่าเป็นระยะเวลาช่วงใด ผู้วิจัยจึงแยกศึกษาภายในแต่ละมัดกล้ามเนื้อ เพื่อทดสอบว่าความเมื่อยล้ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ในช่วงระยะเวลาที่ต่างกัน ดังปรากฏในตาราง 10 11 12 13 14 15 16 และ 17 และในการศึกษาว่ากล้ามเนื้อที่ต่างกันจะส่งผลให้ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อต่างกันหรือไม่ ผู้วิจัยจึงแยกทดสอบภายในแต่ละระยะเวลาการวิ่ง ดังปรากฏในตาราง 18 และ 19

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	29	218941.424	7549.704	1.161	.026*
ภายในสมาชิก	420	2729336.666	6498.420		
รวม	449	2948278.091			

* P < .05

จากตาราง 10 พบว่าค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ในระยะเวลาการวิ่ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่า ระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก มีความแตกต่างไปจากระยะเวลาการวิ่งในช่วงอื่น

ตาราง 11 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 1	-	6.667	-18.333	-50.867	0.333	-25.067	8.467	-52.600
นาทีที่ 2	-6.667	-	-25.000	-57.533	-6.333	-31.733	1.800	-59.26*
นาทีที่ 3	18.333	25.000	-	-32.533	18.667	-6.733	26.800	-34.267
นาทีที่ 4	50.867	57.533	32.533	-	51.200	25.800	59.333*	-1.733
นาทีที่ 5	-0.333	6.333	-18.667	-51.200	-	-25.400	8.133	-52.933
นาทีที่ 6	25.067	31.733	6.733	-25.800	25.400	-	33.533	-27.533
นาทีที่ 7	-8.467	-1.800	-26.800	-59.33*	-8.133	-33.533	-	-61.06*
นาทีที่ 8	52.600	59.267*	34.267	1.733	52.933	27.533	61.067*	-
นาทีที่ 9	37.200	43.867	18.867	-13.667	37.533	12.133	45.667	-15.400
นาทีที่ 10	-34.333	-27.667	-52.667	-85.20*	-34.000	-59.40*	-25.867	-86.93*

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 11	30.267	36.933	11.933	-20.600	30.600	5.200	38.733	-22.333
นาทีที่ 12	16.067	22.733	-2.267	-34.800	16.400	-9.000	24.533	-36.533
นาทีที่ 13	38.133	44.800	19.800	-12.733	38.467	13.067	46.600	-14.467
นาทีที่ 14	29.800	36.467	11.467	-21.067	30.133	4.733	38.267	-22.800
นาทีที่ 15	0.267	6.933	-18.067	-50.600	0.600	-24.800	8.733	-52.333
นาทีที่ 16	10.933	17.600	-7.400	-39.933	11.267	-14.133	19.400	-41.667
นาทีที่ 17	56.067	62.733*	37.733	5.200	56.400	31.000	64.533*	3.467
นาทีที่ 18	-21.133	-14.467	-39.467	-72.00*	-20.800	-46.200	-12.667	-73.73*
นาทีที่ 19	49.800	56.467	31.467	-1.067	50.133	24.733	58.267*	-2.800
นาทีที่ 20	10.933	17.600	-7.400	-39.933	11.267	-14.133	19.400	-41.667
นาทีที่ 21	-14.733	-8.067	-33.067	-65.60*	-14.400	-39.800	-6.267	-67.33*
นาทีที่ 22	6.800	13.467	-11.533	-44.067	7.133	-18.267	15.267	-45.800
นาทีที่ 23	8.533	15.200	-9.800	-42.333	8.867	-16.533	17.000	-44.067
นาทีที่ 24	17.200	23.867	-1.133	-33.667	17.533	-7.867	25.667	-35.400
นาทีที่ 25	1.200	7.867	-17.133	-49.667	1.533	-23.867	9.667	-51.400
นาทีที่ 26	31.000	37.667	12.667	-19.867	31.333	5.933	39.467	-21.600
นาทีที่ 27	1.667	8.333	-16.667	-49.200	2.000	-23.400	10.133	-50.933
นาทีที่ 28	17.133	23.800	-1.200	-33.733	17.467	-7.933	25.600	-35.467
นาทีที่ 29	-0.533	6.133	-18.867	-51.400	-0.200	-25.600	7.933	-53.133
นาทีที่ 30	23.200	29.867	4.867	-27.667	23.533	-1.867	31.667	-29.400

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 1	-37.200	34.333	-30.267	-16.067	-38.133	-29.800	-0.267	-10.933
นาทีที่ 2	-43.867	27.667	-36.933	-22.733	-44.800	-36.467	-6.933	-17.600

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 3	-18.867	52.667	-11.933	2.267	-19.800	-11.467	18.067	7.400
นาทีที่ 4	13.667	85.200*	20.600	34.800	12.733	21.067	50.600	39.933
นาทีที่ 5	-37.533	34.000	-30.600	-16.400	-38.467	-30.133	-0.600	-11.267
นาทีที่ 6	-12.133	59.400*	-5.200	9.000	-13.067	-4.733	24.800	14.133
นาทีที่ 7	-45.667	25.867	-38.733	-24.533	-46.600	-38.267	-8.733	-19.400
นาทีที่ 8	15.400	86.933*	22.333	36.533	14.467	22.800	52.333	41.667
นาทีที่ 9	-	71.533*	6.933	21.133	-.933	7.400	36.933	26.267
นาทีที่ 10	-71.53*	-	-64.60*	-50.400	-72.46*	-64.13*	-34.600	-45.267
นาทีที่ 11	-6.933	64.600*	-	14.200	-7.867	0.467	30.000	19.333
นาทีที่ 12	-21.133	50.400	-14.200	-	-22.067	-13.733	15.800	5.133
นาทีที่ 13	0.933	72.467*	7.867	22.067	-	8.333	37.867	27.200
นาทีที่ 14	-7.400	64.133*	-0.467	13.733	-8.333	-	29.533	18.867
นาทีที่ 15	-36.933	34.600	-30.000	-15.800	-37.867	-29.533	-	-10.667
นาทีที่ 16	-26.267	45.267	-19.333	-5.133	-27.200	-18.867	10.667	-
นาทีที่ 17	18.867	90.400*	25.800	40.000	17.933	26.267	55.800	45.133
นาทีที่ 18	-58.33*	13.200	-51.400	-37.200	-59.26*	-50.933	-21.400	-32.067
นาทีที่ 19	12.600	84.133*	19.533	33.733	11.667	20.000	49.533	38.867
นาทีที่ 20	-26.267	45.267	-19.333	-5.133	-27.200	-18.867	10.667	0.000
นาทีที่ 21	-51.933	19.600	-45.000	-30.800	-52.867	-44.533	-15.000	-25.667
นาทีที่ 22	-30.400	41.133	-23.467	-9.267	-31.333	-23.000	6.533	-4.133
นาทีที่ 23	-28.667	42.867	-21.733	-7.533	-29.600	-21.267	8.267	-2.400
นาทีที่ 24	-20.000	51.533	-13.067	1.133	-20.933	-12.600	16.933	6.267
นาทีที่ 25	-36.000	35.533	-29.067	-14.867	-36.933	-28.600	0.933	-9.733
นาทีที่ 26	-6.200	65.333*	0.733	14.933	-7.133	1.200	30.733	20.067
นาทีที่ 27	-35.533	36.000	-28.600	-14.400	-36.467	-28.133	1.400	-9.267
นาทีที่ 28	-20.067	51.467	-13.133	1.067	-21.000	-12.667	16.867	6.200
นาทีที่ 29	-37.733	33.800	-30.800	-16.600	-38.667	-30.333	-0.800	-11.467

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 30	-14.000	57.533	-7.067	7.133	-14.933	-6.600	22.933	12.267

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 1	-56.067	21.133	-49.800	-10.933	14.733	-6.800	-8.533	-17.200
นาทีที่ 2	-62.73*	14.467	-56.467	-17.600	8.067	-13.467	-15.200	-23.867
นาทีที่ 3	-37.733	39.467	-31.467	7.400	33.067	11.533	9.800	1.133
นาทีที่ 4	-5.200	72.00*	1.067	39.933	65.600*	44.067	42.333	33.667
นาทีที่ 5	-56.400	20.800	-50.133	-11.267	14.400	-7.133	-8.867	-17.533
นาทีที่ 6	-31.000	46.200	-24.733	14.133	39.800	18.267	16.533	7.867
นาทีที่ 7	-64.53*	12.667	-58.267*	-19.400	6.267	-15.267	-17.000	-25.667
นาทีที่ 8	-3.467	73.733*	2.800	41.667	67.333*	45.800	44.067	35.400
นาทีที่ 9	-18.867	58.333*	-12.600	26.267	51.933	30.400	28.667	20.000
นาทีที่ 10	-90.40*	-13.200	-84.133*	-45.267	-19.600	-41.133	-42.867	-51.533
นาทีที่ 11	-25.800	51.400	-19.533	19.333	45.000	23.467	21.733	13.067
นาทีที่ 12	-40.000	37.200	-33.733	5.133	30.800	9.267	7.533	-1.133
นาทีที่ 13	-17.933	59.267*	-11.667	27.200	52.867	31.333	29.600	20.933
นาทีที่ 14	-26.267	50.933	-20.000	18.867	44.533	23.000	21.267	12.600
นาทีที่ 15	-55.800	21.400	-49.533	-10.667	15.000	-6.533	-8.267	-16.933
นาทีที่ 16	-45.133	32.067	-38.867	.000	25.667	4.133	2.400	-6.267
นาทีที่ 17	-	77.200*	6.267	45.133	70.800*	49.267	47.533	38.867
นาทีที่ 18	-77.20*	-	-70.933*	-32.067	-6.400	-27.933	-29.667	-38.333
นาทีที่ 19	-6.267	70.933*	-	38.867	64.533*	43.000	41.267	32.600
นาทีที่ 20	-45.133	32.067	-38.867	-	25.667	4.133	2.400	-6.267

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 21	-70.800	6.400	-64.533*	-25.667	-	-21.533	-23.267	-31.933
นาทีที่ 22	-49.267	27.933	-43.000	-4.133	21.533	-	-1.733	-10.400
นาทีที่ 23	-47.533	29.667	-41.267	-2.400	23.267	1.733	-	-8.667
นาทีที่ 24	-38.867	38.333	-32.600	6.267	31.933	10.400	8.667	-
นาทีที่ 25	-54.867	22.333	-48.600	-9.733	15.933	-5.600	-7.333	-16.000
นาทีที่ 26	-25.067	52.133	-18.800	20.067	45.733	24.200	22.467	13.800
นาทีที่ 27	-54.400	22.800	-48.133	-9.267	16.400	-5.133	-6.867	-15.533
นาทีที่ 28	-38.933	38.267	-32.667	6.200	31.867	10.333	8.600	-0.066
นาทีที่ 29	-56.600	20.600	-50.333	-11.467	14.200	-7.333	-9.067	-17.733
นาทีที่ 30	-32.867	44.333	-26.600	12.267	37.933	16.400	14.667	6.000

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 1	-1.200	-31.000	-1.667	-17.133	0.533	-23.200
นาทีที่ 2	-7.867	-37.667	-8.333	-23.800	-6.133	-29.867
นาทีที่ 3	17.133	-12.667	16.667	1.200	18.867	-4.867
นาทีที่ 4	49.667	19.867	49.200	33.733	51.400	27.667
นาทีที่ 5	-1.533	-31.333	-2.000	-17.467	0.200	-23.533
นาทีที่ 6	23.867	-5.933	23.400	7.933	25.600	1.867
นาทีที่ 7	-9.667	-39.467	-10.133	-25.600	-7.933	-31.667
นาทีที่ 8	51.400	21.600	50.933	35.467	53.133	29.400
นาทีที่ 9	36.000	6.200	35.533	20.067	37.733	14.000
นาทีที่ 10	-35.533	-65.333*	-36.000	-51.467	-33.800	-57.533
นาทีที่ 11	29.067	-.733	28.600	13.133	30.800	7.067
นาทีที่ 12	14.867	-14.933	14.400	-1.067	16.600	-7.133

ตาราง 11 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 13	36.933	7.133	36.467	21.000	38.667	14.933
นาทีที่ 14	28.600	-1.200	28.133	12.667	30.333	6.600
นาทีที่ 15	-0.933	-30.733	-1.400	-16.867	.800	-22.933
นาทีที่ 16	9.733	-20.067	9.267	-6.200	11.467	-12.267
นาทีที่ 17	54.867	25.067	54.400	38.933	56.600	32.867
นาทีที่ 18	-22.333	-52.133	-22.800	-38.267	-20.600	-44.333
นาทีที่ 19	48.600	18.800	48.133	32.667	50.333	26.600
นาทีที่ 20	9.733	-20.067	9.267	-6.200	11.467	-12.267
นาทีที่ 21	-15.933	-45.733	-16.400	-31.867	-14.200	-37.933
นาทีที่ 22	5.600	-24.200	5.133	-10.333	7.333	-16.400
นาทีที่ 23	7.333	-22.467	6.867	-8.600	9.067	-14.667
นาทีที่ 24	16.000	-13.800	15.533	-0.066	17.733	-6.000
นาทีที่ 25	-	-29.800	-.467	-15.933	1.733	-22.000
นาทีที่ 26	29.800	-	29.333	13.867	31.533	7.800
นาทีที่ 27	0.467	-29.333	-	-15.467	2.200	-21.533
นาทีที่ 28	15.933	-13.867	15.467	-	17.667	-6.067
นาทีที่ 29	-1.733	-31.533	-2.200	-17.667	-	-23.733
นาทีที่ 30	22.000	-7.800	21.533	6.067	23.733	-

* $P < .05$

จากตาราง 11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) พบว่า ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา นาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 8 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 7 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 8 นาทีที่ 17 และนาทีที่ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 8 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 และนาทีที่ 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 8 นาทีที่ 9 นาทีที่ 11 นาทีที่ 13 นาทีที่ 14 นาทีที่ 17 นาทีที่ 19 และนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 11 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 13 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 และนาทีที่ 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 17 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 18 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 8 นาทีที่ 9 นาทีที่ 13 นาทีที่17 และนาทีที่ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 19 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 21 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 8 นาทีที่ 17 และนาทีที่ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 26 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	29	199237.920	6870.273	1.280	.032*
ภายในสมาชิก	420	2254746.800	5368.445		
รวม	449	2453984.720			

* P < .05

จากตาราง 12 พบว่าค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ในระยะเวลาการวิ่ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่า ระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน มีความแตกต่างไปจากระยะเวลาการวิ่งในช่วงอื่น

ตาราง 13 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 1	-	-4.000	34.133	65.600*	13.133	5.867	17.933	27.067
นาทีที่ 2	4.000	-	38.133	69.600*	17.133	9.867	21.933	31.067
นาทีที่ 3	-34.133	-38.133	-	31.467	-21.000	-28.267	-16.200	-7.067
นาทีที่ 4	-65.60*	-69.60*	-31.467	-	-52.467	-59.73*	-47.667	-38.533
นาทีที่ 5	-13.133	-17.133	21.000	52.467	-	-7.267	4.800	13.933
นาทีที่ 6	-5.867	-9.867	28.267	59.733*	7.267	-	12.067	21.200
นาทีที่ 7	-17.933	-21.933	16.200	47.667	-4.800	-12.067	-	9.133
นาทีที่ 8	-27.067	-31.067	7.067	38.533	-13.933	-21.200	-9.133	-
นาทีที่ 9	-40.667	-44.667	-6.533	24.933	-27.533	-34.800	-22.733	-13.600
นาทีที่ 10	3.067	-0.933	37.200	68.667*	16.200	8.933	21.000	30.133
นาทีที่ 11	-17.467	-21.467	16.667	48.133	-4.333	-11.600	0.467	9.600
นาทีที่ 12	-24.333	-28.333	9.800	41.267	-11.200	-18.467	-6.400	2.733
นาทีที่ 13	-30.133	-34.133	4.000	35.467	-17.000	-24.267	-12.200	-3.067
นาทีที่ 14	3.800	-0.200	37.933	69.400*	16.933	9.667	21.733	30.867
นาทีที่ 15	14.600	10.600	48.733	80.200*	27.733	20.467	32.533	41.667
นาทีที่ 16	-19.667	-23.667	14.467	45.933	-6.533	-13.800	-1.733	7.400
นาทีที่ 17	-52.267	-56.26*	-18.133	13.333	-39.133	-46.400	-34.333	-25.200
นาทีที่ 18	-46.800	-50.800	-12.667	18.800	-33.667	-40.933	-28.867	-19.733
นาทีที่ 19	3.067	-0.933	37.200	68.667*	16.200	8.933	21.000	30.133
นาทีที่ 20	-48.000	-52.000	-13.867	17.600	-34.867	-42.133	-30.067	-20.933
นาทีที่ 21	-32.733	-36.733	1.400	32.867	-19.600	-26.867	-14.800	-5.667
นาทีที่ 22	-9.333	-13.333	24.800	56.267*	3.800	-3.467	8.600	17.733
นาทีที่ 23	-3.733	-7.733	30.400	61.867*	9.400	2.133	14.200	23.333
นาทีที่ 24	-18.733	-22.733	15.400	46.867	-5.600	-12.867	-0.800	8.333
นาทีที่ 25	-25.267	-29.267	8.867	40.333	-12.133	-19.400	-7.333	1.800

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 26	-14.267	-18.267	19.867	51.333	-1.133	-8.400	3.667	12.800
นาทีที่ 27	-16.800	-20.800	17.333	48.800	-3.667	-10.933	1.133	10.267
นาทีที่ 28	-10.667	-14.667	23.467	54.933*	2.467	-4.800	7.267	16.400
นาทีที่ 29	23.400	19.400	57.533*	89.000*	36.533	29.267	41.333	50.467
นาทีที่ 30	19.067	15.067	53.200*	84.667*	32.200	24.933	37.000	46.133

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 1	40.667	-3.067	17.467	24.333	30.133	-3.800	-14.600	19.667
นาทีที่ 2	44.667	0.933	21.467	28.333	34.133	0.200	-10.600	23.667
นาทีที่ 3	6.533	-37.20	-16.667	-9.800	-4.000	-37.933	-48.733	-14.467
นาทีที่ 4	-24.933	-68.66*	-48.133	-41.267	-35.467	-69.40*	-80.20*	-45.933
นาทีที่ 5	27.533	-16.20	4.333	11.200	17.000	-16.933	-27.733	6.533
นาทีที่ 6	34.800	-8.933	11.600	18.467	24.267	-9.667	-20.467	13.800
นาทีที่ 7	22.733	-21.00	-0.467	6.400	12.200	-21.733	-32.533	1.733
นาทีที่ 8	13.600	-30.133	-9.600	-2.733	3.067	-30.867	-41.667	-7.400
นาทีที่ 9	-	-43.73	-23.200	-16.333	-10.533	-44.467	-55.26*	-21.000
นาทีที่ 10	43.733	-	20.533	27.400	33.200	-0.733	-11.533	22.733
นาทีที่ 11	23.200	-20.53	-	6.867	12.667	-21.267	-32.067	2.200
นาทีที่ 12	16.333	-27.40	-6.867	-	5.800	-28.133	-38.933	-4.667
นาทีที่ 13	10.533	-33.20	-12.667	-5.800	-	-33.933	-44.733	-10.467
นาทีที่ 14	44.467	0.733	21.267	28.133	33.933	-	-10.800	23.467
นาทีที่ 15	55.267*	11.533	32.067	38.933	44.733	10.800	-	34.267

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 16	21.000	-22.73	-2.200	4.667	10.467	-23.467	-34.267	-
นาทีที่ 17	-11.600	-55.33*	-34.800	-27.933	-22.133	-56.06*	-66.86*	-32.600
นาทีที่ 18	-6.133	-49.86	-29.333	-22.467	-16.667	-50.600	-61.40*	-27.133
นาทีที่ 19	43.733	-0.003	20.533	27.400	33.200	-0.733	-11.533	22.733
นาทีที่ 20	-7.333	-51.06	-30.533	-23.667	-17.867	-51.800	-62.60*	-28.333
นาทีที่ 21	7.933	-35.80	-15.267	-8.400	-2.600	-36.533	-47.333	-13.067
นาทีที่ 22	31.333	-12.40	8.133	15.000	20.800	-13.133	-23.933	10.333
นาทีที่ 23	36.933	-6.800	13.733	20.600	26.400	-7.533	-18.333	15.933
นาทีที่ 24	21.933	-21.80	-1.267	5.600	11.400	-22.533	-33.333	0.933
นาทีที่ 25	15.400	-28.33	-7.800	-0.933	4.867	-29.067	-39.867	-5.600
นาทีที่ 26	26.400	-17.33	3.200	10.067	15.867	-18.067	-28.867	5.400
นาทีที่ 27	23.867	-19.86	0.667	7.533	13.333	-20.600	-31.400	2.867
นาทีที่ 28	30.000	-13.73	6.800	13.667	19.467	-14.467	-25.267	9.000
นาทีที่ 29	64.067*	20.333	40.867	47.733	53.533*	19.600	8.800	43.067
นาทีที่ 30	59.733*	16.000	36.533	43.400	49.200	15.267	4.467	38.733

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 1	52.267	46.800	-3.067	48.000	32.733	9.333	3.733	18.733
นาทีที่ 2	56.267*	50.800	0.933	52.000	36.733	13.333	7.733	22.733
นาทีที่ 3	18.133	12.667	-37.200	13.867	-1.400	-24.800	-30.400	-15.400
นาทีที่ 4	-13.333	-18.800	-68.66*	-17.600	-32.867	-56.26*	-61.86*	-46.867
นาทีที่ 5	39.133	33.667	-16.200	34.867	19.600	-3.800	-9.400	5.600
นาทีที่ 6	46.400	40.933	-8.933	42.133	26.867	3.467	-2.133	12.867
นาทีที่ 7	34.333	28.867	-21.000	30.067	14.800	-8.600	-14.200	0.800
นาทีที่ 8	25.200	19.733	-30.133	20.933	5.667	-17.733	-23.333	-8.333

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 9	11.600	6.133	-43.733	7.333	-7.933	-31.333	-36.933	-21.933
นาทีที่ 10	55.333*	49.867	0.0003	51.067	35.800	12.400	6.800	21.800
นาทีที่ 11	34.800	29.333	-20.533	30.533	15.267	-8.133	-13.733	1.267
นาทีที่ 12	27.933	22.467	-27.400	23.667	8.400	-15.000	-20.600	-5.600
นาทีที่ 13	22.133	16.667	-33.200	17.867	2.600	-20.800	-26.400	-11.400
นาทีที่ 14	56.067*	50.600	0.733	51.800	36.533	13.133	7.533	22.533
นาทีที่ 15	66.867*	61.400*	11.533	62.600*	47.333	23.933	18.333	33.333
นาทีที่ 16	32.600	27.133	-22.733	28.333	13.067	-10.333	-15.933	-0.933
นาทีที่ 17	-	-5.467	-55.33*	-4.267	-19.533	-42.933	-48.533	-33.533
นาทีที่ 18	5.467	-	-49.867	1.200	-14.067	-37.467	-43.067	-28.067
นาทีที่ 19	55.333*	49.867	-	51.067	35.800	12.400	6.800	21.800
นาทีที่ 20	4.267	-1.200	-51.067	-	-15.267	-38.667	-44.267	-29.267
นาทีที่ 21	19.533	14.067	-35.800	15.267	-	-23.400	-29.000	-14.000
นาทีที่ 22	42.933	37.467	-12.400	38.667	23.400	-	-5.600	9.400
นาทีที่ 23	48.533	43.067	-6.800	44.267	29.000	5.600	-	15.000
นาทีที่ 24	33.533	28.067	-21.800	29.267	14.000	-9.400	-15.000	-
นาทีที่ 25	27.000	21.533	-28.333	22.733	7.467	-15.933	-21.533	-6.533
นาทีที่ 26	38.000	32.533	-17.333	33.733	18.467	-4.933	-10.533	4.467
นาทีที่ 27	35.467	30.000	-19.867	31.200	15.933	-7.467	-13.067	1.933
นาทีที่ 28	41.600	36.133	-13.733	37.333	22.067	-1.333	-6.933	8.067
นาทีที่ 29	75.667*	70.200*	20.333	71.400*	56.133*	32.733	27.133	42.133
นาทีที่ 30	71.333*	65.867*	16.000	67.067*	51.800	28.400	22.800	37.800

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 1	25.267	14.267	16.800	10.667	-23.400	-19.067
นาทีที่ 2	29.267	18.267	20.800	14.667	-19.400	-15.067
นาทีที่ 3	-8.867	-19.867	-17.333	-23.467	-57.533*	-53.200*
นาทีที่ 4	-40.333	-51.333	-48.800	-54.933*	-89.000*	-84.667*
นาทีที่ 5	12.133	1.133	3.667	-2.467	-36.533	-32.200
นาทีที่ 6	19.400	8.400	10.933	4.800	-29.267	-24.933
นาทีที่ 7	7.333	-3.667	-1.133	-7.267	-41.333	-37.000
นาทีที่ 8	-1.800	-12.800	-10.267	-16.400	-50.467	-46.133
นาทีที่ 9	-15.400	-26.400	-23.867	-30.000	-64.067*	-59.733*
นาทีที่ 10	28.333	17.333	19.867	13.733	-20.333	-16.000
นาทีที่ 11	7.800	-3.200	-0.667	-6.800	-40.867	-36.533
นาทีที่ 12	0.933	-10.067	-7.533	-13.667	-47.733	-43.400
นาทีที่ 13	-4.867	-15.867	-13.333	-19.467	-53.533*	-49.200
นาทีที่ 14	29.067	18.067	20.600	14.467	-19.600	-15.267
นาทีที่ 15	39.867	28.867	31.400	25.267	-8.800	-4.467
นาทีที่ 16	5.600	-5.400	-2.867	-9.000	-43.067	-38.733
นาทีที่ 17	-27.000	-38.000	-35.467	-41.600	-75.667*	-71.333*
นาทีที่ 18	-21.533	-32.533	-30.000	-36.133	-70.200*	-65.867*
นาทีที่ 19	28.333	17.333	19.867	13.733	-20.333	-16.000
นาทีที่ 20	-22.733	-33.733	-31.200	-37.333	-71.400*	-67.067*
นาทีที่ 21	-7.467	-18.467	-15.933	-22.067	-56.133*	-51.800
นาทีที่ 22	15.933	4.933	7.467	1.333	-32.733	-28.400
นาทีที่ 23	21.533	10.533	13.067	6.933	-27.133	-22.800
นาทีที่ 24	6.533	-4.467	-1.933	-8.067	-42.133	-37.800
นาทีที่ 25	-	-11.000	-8.467	-14.600	-48.667	-44.333
นาทีที่ 26	11.000	-	2.533	-3.600	-37.667	-33.333

ตาราง 13 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 27	8.467	-2.533	-	-6.133	-40.200	-35.867
นาทีที่ 28	14.600	3.600	6.133	-	-34.067	-29.733
นาทีที่ 29	48.667	37.667	40.200	34.067	-	4.333
นาทีที่ 30	44.333	33.333	35.867	29.733	-4.333	-

* P < .05

จากตาราง 13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) พบว่า ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา นาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 3 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 2 นาทีที่ 6 นาทีที่ 10 นาทีที่ 14 นาทีที่ 15 นาทีที่ 19 นาทีที่ 22 นาทีที่ 23 นาทีที่ 28 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 15 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 13 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 15 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 9 นาทีที่ 17 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 17 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 10 นาทีที่ 14 นาทีที่ 15 นาทีที่ 19 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 18 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 15 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 19 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 20 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 15 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 21 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 22 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 23 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 28 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 29 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 3 นาทีที่ 4 นาทีที่ 9 นาทีที่ 13 นาทีที่ 17 นาทีที่ 18 นาทีที่ 20 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่

30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 3 นาทีที่ 4 นาทีที่ 9 นาทีที่ 17 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	29	203951.513	7032.811	0.930	.015*
ภายในสมาชิก	420	3174585.467	7558.537		
รวม	449	3378536.980			

* P < .05

จากตาราง 14 พบว่าค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ในระยะเวลาการวิ่ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส มีความแตกต่างไปจากระยะเวลาการวิ่งในช่วงอื่น

ตาราง 15 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 1	-	38.600	49.667	36.667	73.933*	72.533*	21.733	47.800
นาทีที่ 2	-38.600	-	11.067	-1.933	35.333	33.933	-16.867	9.200
นาทีที่ 3	-49.667	-11.067	-	-13.000	24.267	22.867	-27.933	-1.867
นาทีที่ 4	-36.667	1.933	13.000	-	37.267	35.867	-14.933	11.133
นาทีที่ 5	-73.93*	-35.333	-24.267	-37.267	-	-1.400	-52.200	-26.133
นาทีที่ 6	-72.53*	-33.933	-22.867	-35.867	1.400	-	-50.800	-24.733
นาทีที่ 7	-21.733	16.867	27.933	14.933	52.200	50.800	-	26.067
นาทีที่ 8	-47.800	-9.200	1.867	-11.133	26.133	24.733	-26.067	-

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 9	-21.467	17.133	28.200	15.200	52.467	51.067	0.267	26.333
นาทีที่ 10	-67.53*	-28.933	-17.867	-30.867	6.400	5.000	-45.800	-19.733
นาทีที่ 11	-49.800	-11.200	-0.133	-13.133	24.133	22.733	-28.067	-2.000
นาทีที่ 12	-78.66*	-40.067	-29.000	-42.000	-4.733	-6.133	-56.933	-30.867
นาทีที่ 13	-24.733	13.867	24.933	11.933	49.200	47.800	-3.000	23.067
นาทีที่ 14	-46.600	-8.000	3.067	-9.933	27.333	25.933	-24.867	1.200
นาทีที่ 15	-69.66*	-31.067	-20.000	-33.000	4.267	2.867	-47.933	-21.867
นาทีที่ 16	-32.533	6.067	17.133	4.133	41.400	40.000	-10.800	15.267
นาทีที่ 17	-32.933	5.667	16.733	3.733	41.000	39.600	-11.200	14.867
นาทีที่ 18	-65.40*	-26.800	-15.733	-28.733	8.533	7.133	-43.667	-17.600
นาทีที่ 19	-49.333	-10.733	0.333	-12.667	24.600	23.200	-27.600	-1.533
นาทีที่ 20	-22.667	15.933	27.000	14.000	51.267	49.867	-0.933	25.133
นาทีที่ 21	-59.200	-20.600	-9.533	-22.533	14.733	13.333	-37.467	-11.400
นาทีที่ 22	-44.133	-5.533	5.533	-7.467	29.800	28.400	-22.400	3.667
นาทีที่ 23	-31.533	7.067	18.133	5.133	42.400	41.000	-9.800	16.267
นาทีที่ 24	-27.600	11.000	22.067	9.067	46.333	44.933	-5.867	20.200
นาทีที่ 25	-57.333	-18.733	-7.667	-20.667	16.600	15.200	-35.600	-9.533
นาทีที่ 26	-35.467	3.133	14.200	1.200	38.467	37.067	-13.733	12.333
นาทีที่ 27	3.200	41.800	52.867	39.867	77.133*	75.733*	24.933	51.000
นาทีที่ 28	-56.333	-17.733	-6.667	-19.667	17.600	16.200	-34.600	-8.533
นาทีที่ 29	-30.933	7.667	18.733	5.733	43.000	41.600	-9.200	16.867
นาทีที่ 30	-80.60*	-42.000	-30.933	-43.933	-6.667	-8.067	-58.867	-32.800

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 1	21.467	67.533*	49.800	78.667*	24.733	46.600	69.667*	32.533
นาทีที่ 2	-17.133	28.933	11.200	40.067	-13.867	8.000	31.067	-6.067
นาทีที่ 3	-28.200	17.867	0.133	29.000	-24.933	-3.067	20.000	-17.133
นาทีที่ 4	-15.200	30.867	13.133	42.000	-11.933	9.933	33.000	-4.133
นาทีที่ 5	-52.467	-6.400	-24.133	4.733	-49.200	-27.333	-4.267	-41.400
นาทีที่ 6	-51.067	-5.000	-22.733	6.133	-47.800	-25.933	-2.867	-40.000
นาทีที่ 7	-0.267	45.800	28.067	56.933	3.000	24.867	47.933	10.800
นาทีที่ 8	-26.333	19.733	2.000	30.867	-23.067	-1.200	21.867	-15.267
นาทีที่ 9	-	46.067	28.333	57.200	3.267	25.133	48.200	11.067
นาทีที่ 10	-46.067	-	-17.733	11.133	-42.800	-20.933	2.133	-35.000
นาทีที่ 11	-28.333	17.733	-	28.867	-25.067	-3.200	19.867	-17.267
นาทีที่ 12	-57.200	-11.13	-28.867	-	-53.933	-32.067	-9.000	-46.133
นาทีที่ 13	-3.267	42.800	25.067	53.933	-	21.867	44.933	7.800
นาทีที่ 14	-25.133	20.933	3.200	32.067	-21.867	-	23.067	-14.067
นาทีที่ 15	-48.200	-2.133	-19.867	9.000	-44.933	-23.067	-	-37.133
นาทีที่ 16	-11.067	35.000	17.267	46.133	-7.800	14.067	37.133	-
นาทีที่ 17	-11.467	34.600	16.867	45.733	-8.200	13.667	36.733	-0.400
นาทีที่ 18	-43.933	2.133	-15.600	13.267	-40.667	-18.800	4.267	-32.867
นาทีที่ 19	-27.867	18.200	0.467	29.333	-24.600	-2.733	20.333	-16.800
นาทีที่ 20	-1.200	44.867	27.133	56.000	2.067	23.933	47.000	9.867
นาทีที่ 21	-37.733	8.333	-9.400	19.467	-34.467	-12.600	10.467	-26.667
นาทีที่ 22	-22.667	23.400	5.667	34.533	-19.400	2.467	25.533	-11.600
นาทีที่ 23	-10.067	36.000	18.267	47.133	-6.800	15.067	38.133	1.000
นาทีที่ 24	-6.133	39.933	22.200	51.067	-2.867	19.000	42.067	4.933
นาทีที่ 25	-35.867	10.200	-7.533	21.333	-32.600	-10.733	12.333	-24.800
นาทีที่ 26	-14.000	32.067	14.333	43.200	-10.733	11.133	34.200	-2.933
นาทีที่ 27	24.667	70.733*	53.000	81.867*	27.933	49.800	72.667*	35.733
นาทีที่ 28	-34.867	11.200	-6.533	22.333	-31.600	-9.733	13.333	-23.800

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 29	-9.467	36.600	18.867	47.733	-6.200	15.667	38.733	1.600
นาทีที่ 30	-59.133	-13.067	-30.800	-1.933	-55.867	-34.000	-10.933	-48.067

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 1	32.933	65.400*	49.333	22.667	59.200	44.133	31.533	27.600
นาทีที่ 2	-5.667	26.800	10.733	-15.933	20.600	5.533	-7.067	-11.000
นาทีที่ 3	-16.733	15.733	-0.333	-27.000	9.533	-5.533	-18.133	-22.067
นาทีที่ 4	-3.733	28.733	12.667	-14.000	22.533	7.467	-5.133	-9.067
นาทีที่ 5	-41.000	-8.533	-24.600	-51.267	-14.733	-29.800	-42.400	-46.333
นาทีที่ 6	-39.600	-7.133	-23.200	-49.867	-13.333	-28.400	-41.000	-44.933
นาทีที่ 7	11.200	43.667	27.600	.933	37.467	22.400	9.800	5.867
นาทีที่ 8	-14.867	17.600	1.533	-25.133	11.400	-3.667	-16.267	-20.200
นาทีที่ 9	11.467	43.933	27.867	1.200	37.733	22.667	10.067	6.133
นาทีที่ 10	-34.600	-2.133	-18.200	-44.867	-8.333	-23.400	-36.000	-39.933
นาทีที่ 11	-16.867	15.600	-0.467	-27.133	9.400	-5.667	-18.267	-22.200
นาทีที่ 12	-45.733	-13.267	-29.333	-56.000	-19.467	-34.533	-47.133	-51.067
นาทีที่ 13	8.200	40.667	24.600	-2.067	34.467	19.400	6.800	2.867
นาทีที่ 14	-13.667	18.800	2.733	-23.933	12.600	-2.467	-15.067	-19.000
นาทีที่ 15	-36.733	-4.267	-20.333	-47.000	-10.467	-25.533	-38.133	-42.067
นาทีที่ 16	0.400	32.867	16.800	-9.867	26.667	11.600	-1.000	-4.933
นาทีที่ 17	-	32.467	16.400	-10.267	26.267	11.200	-1.400	-5.333
นาทีที่ 18	-32.467	-	-16.067	-42.733	-6.200	-21.267	-33.867	-37.800
นาทีที่ 19	-16.400	16.067	-	-26.667	9.867	-5.200	-17.800	-21.733
นาทีที่ 20	10.267	42.733	26.667	-	36.533	21.467	8.867	4.933

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 21	-26.267	6.200	-9.867	-36.533	-	-15.067	-27.667	-31.600
นาทีที่ 22	-11.200	21.267	5.200	-21.467	15.067	-	-12.600	-16.533
นาทีที่ 23	1.400	33.867	17.800	-8.867	27.667	12.600	-	-3.933
นาทีที่ 24	5.333	37.800	21.733	-4.933	31.600	16.533	3.933	-
นาทีที่ 25	-24.400	8.067	-8.000	-34.667	1.867	-13.200	-25.800	-29.733
นาทีที่ 26	-2.533	29.933	13.867	-12.800	23.733	8.667	-3.933	-7.867
นาทีที่ 27	36.133	68.600*	52.533	25.867	62.400	47.333	34.733	30.800
นาทีที่ 28	-23.400	9.067	-7.000	-33.667	2.867	-12.200	-24.800	-28.733
นาทีที่ 29	2.000	34.467	18.400	-8.267	28.267	13.200	0.600	-3.333
นาทีที่ 30	-47.667	-15.200	-31.267	-57.933	-21.400	-36.467	-49.067	-53.000

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 1	57.333	35.467	-3.200	56.333	30.933	80.600*
นาทีที่ 2	18.733	-3.133	-41.800	17.733	-7.667	42.000
นาทีที่ 3	7.667	-14.200	-52.867	6.667	-18.733	30.933
นาทีที่ 4	20.667	-1.200	-39.867	19.667	-5.733	43.933
นาทีที่ 5	-16.600	-38.467	-77.133*	-17.600	-43.000	6.667
นาทีที่ 6	-15.200	-37.067	-75.733*	-16.200	-41.600	8.067
นาทีที่ 7	35.600	13.733	-24.933	34.600	9.200	58.867
นาทีที่ 8	9.533	-12.333	-51.000	8.533	-16.867	32.800
นาทีที่ 9	35.867	14.000	-24.667	34.867	9.467	59.133
นาทีที่ 10	-10.200	-32.067	-70.733	-11.200	-36.600	13.067
นาทีที่ 11	7.533	-14.333	-53.000	6.533	-18.867	30.800
นาทีที่ 12	-21.333	-43.200	-81.867*	-22.333	-47.733	1.933

ตาราง 15 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 13	32.600	10.733	-27.933	31.600	6.200	55.867
นาทีที่ 14	10.733	-11.133	-49.800	9.733	-15.667	34.000
นาทีที่ 15	-12.333	-34.200	-72.867*	-13.333	-38.733	10.933
นาทีที่ 16	24.800	2.933	-35.733	23.800	-1.600	48.067
นาทีที่ 17	24.400	2.533	-36.133	23.400	-2.000	47.667
นาทีที่ 18	-8.067	-29.933	-68.600*	-9.067	-34.467	15.200
นาทีที่ 19	8.000	-13.867	-52.533	7.000	-18.400	31.267
นาทีที่ 20	34.667	12.800	-25.867	33.667	8.267	57.933
นาทีที่ 21	-1.867	-23.733	-62.400	-2.867	-28.267	21.400
นาทีที่ 22	13.200	-8.667	-47.333	12.200	-13.200	36.467
นาทีที่ 23	25.800	3.933	-34.733	24.800	-0.600	49.067
นาทีที่ 24	29.733	7.867	-30.800	28.733	3.333	53.000
นาทีที่ 25	-	-21.867	-60.533	-1.000	-26.400	23.267
นาทีที่ 26	21.867	-	-38.667	20.867	-4.533	45.133
นาทีที่ 27	60.533	38.667	-	59.533	34.133	83.800*
นาทีที่ 28	1.000	-20.867	-59.533	-	-25.400	24.267
นาทีที่ 29	26.400	4.533	-34.133	25.400	-	49.667
นาทีที่ 30	-23.267	-45.133	-83.800*	-24.267	-49.667	-

* $P < .05$

จากตาราง 15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) พบว่า ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา นาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 5 นาทีที่ 6 นาทีที่ 10 นาทีที่ 12 นาทีที่ 15 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 5 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 12 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

.05 นาทีที่ 15 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 18 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 27 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 5 นาทีที่ 6 นาทีที่ 10 นาทีที่ 12 นาทีที่ 15 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	29	106924.891	3687.065	.986	.014*
ภายในสมาชิก	420	1571003.733	3740.485		
รวม	449	1677928.624			

* P < .05

จากตาราง 16 พบว่าค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ในระยะเวลาการวิ่ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง มีความแตกต่างไปจากระยะเวลาการวิ่งในช่วงอื่น

ตาราง 17 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 1	-	8.533	32.400	-1.333	-0.467	16.600	42.333	40.333
นาทีที่ 2	-8.533	-	23.867	-9.867	-9.000	8.067	33.800	31.800
นาทีที่ 3	-32.400	-23.867	-	-33.733	-32.867	-15.800	9.933	7.933
นาทีที่ 4	1.333	9.867	33.733	-	0.867	17.933	43.667	41.667
นาทีที่ 5	0.467	9.000	32.867	-0.867	-	17.067	42.800	40.800

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	1	2	3	4	5	6	7	8
นาทีที่ 6	-16.600	-8.067	15.800	-17.933	-17.067	-	25.733	23.733
นาทีที่ 7	-42.333	-33.800	-9.933	-43.667	-42.800	-25.733	-	-2.000
นาทีที่ 8	-40.333	-31.800	-7.933	-41.667	-40.800	-23.733	2.000	-
นาทีที่ 9	-7.133	1.400	25.267	-8.467	-7.600	9.467	35.200	33.200
นาทีที่ 10	-28.467	-19.933	3.933	-29.800	-28.933	-11.867	13.867	11.867
นาทีที่ 11	-16.333	-7.800	16.067	-17.667	-16.800	0.267	26.000	24.000
นาทีที่ 12	-4.000	4.533	28.400	-5.333	-4.467	12.600	38.333	36.333
นาทีที่ 13	-25.400	-16.867	7.000	-26.733	-25.867	-8.800	16.933	14.933
นาทีที่ 14	-14.667	-6.133	17.733	-16.000	-15.133	1.933	27.667	25.667
นาทีที่ 15	-22.133	-13.600	10.267	-23.467	-22.600	-5.533	20.200	18.200
นาทีที่ 16	-11.400	-2.867	21.000	-12.733	-11.867	5.200	30.933	28.933
นาทีที่ 17	-38.000	-29.467	-5.600	-39.333	-38.467	-21.400	4.333	2.333
นาทีที่ 18	-25.667	-17.133	6.733	-27.000	-26.133	-9.067	16.667	14.667
นาทีที่ 19	-33.400	-24.867	-1.000	-34.733	-33.867	-16.800	8.933	6.933
นาทีที่ 20	-17.067	-8.533	15.333	-18.400	-17.533	-0.467	25.267	23.267
นาทีที่ 21	-39.000	-30.467	-6.600	-40.333	-39.467	-22.400	3.333	1.333
นาทีที่ 22	-39.000	-30.467	-6.600	-40.333	-39.467	-22.400	3.333	1.333
นาทีที่ 23	-19.467	-10.933	12.933	-20.800	-19.933	-2.867	22.867	20.867
นาทีที่ 24	-28.867	-20.333	3.533	-30.200	-29.333	-12.267	13.467	11.467
นาทีที่ 25	-47.20*	-38.667	-14.800	-48.53*	-47.66*	-30.600	-4.867	-6.867
นาทีที่ 26	-60.46*	-51.93*	-28.067	-61.80*	-60.93*	-43.867	-18.133	-20.133
นาทีที่ 27	-27.000	-18.467	5.400	-28.333	-27.467	-10.400	15.333	13.333
นาทีที่ 28	-35.400	-26.867	-3.000	-36.733	-35.867	-18.800	6.933	4.933
นาทีที่ 29	-30.467	-21.933	1.933	-31.800	-30.933	-13.867	11.867	9.867
นาทีที่ 30	-46.20*	-37.667	-13.800	-47.53*	-46.66*	-29.600	-3.867	-5.867

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 1	7.133	28.467	16.333	4.000	25.400	14.667	22.133	11.400
นาทีที่ 2	-1.400	19.933	7.800	-4.533	16.867	6.133	13.600	2.867
นาทีที่ 3	-25.267	-3.933	-16.067	-28.400	-7.000	-17.733	-10.267	-21.000
นาทีที่ 4	8.467	29.800	17.667	5.333	26.733	16.000	23.467	12.733
นาทีที่ 5	7.600	28.933	16.800	4.467	25.867	15.133	22.600	11.867
นาทีที่ 6	-9.467	11.867	-.267	-12.600	8.800	-1.933	5.533	-5.200
นาทีที่ 7	-35.200	-13.86	-26.000	-38.333	-16.933	-27.667	-20.200	-30.933
นาทีที่ 8	-33.200	-11.86	-24.000	-36.333	-14.933	-25.667	-18.200	-28.933
นาทีที่ 9	-	21.333	9.200	-3.133	18.267	7.533	15.000	4.267
นาทีที่ 10	-21.333	-	-12.133	-24.467	-3.067	-13.800	-6.333	-17.067
นาทีที่ 11	-9.200	12.133	-	-12.333	9.067	-1.667	5.800	-4.933
นาทีที่ 12	3.133	24.467	12.333	-	21.400	10.667	18.133	7.400
นาทีที่ 13	-18.267	3.067	-9.067	-21.400	-	-10.733	-3.267	-14.000
นาทีที่ 14	-7.533	13.800	1.667	-10.667	10.733	-	7.467	-3.267
นาทีที่ 15	-15.000	6.333	-5.800	-18.133	3.267	-7.467	-	-10.733
นาทีที่ 16	-4.267	17.067	4.933	-7.400	14.000	3.267	10.733	-
นาทีที่ 17	-30.867	-9.533	-21.667	-34.000	-12.600	-23.333	-15.867	-26.600
นาทีที่ 18	-18.533	2.800	-9.333	-21.667	-0.267	-11.000	-3.533	-14.267
นาทีที่ 19	-26.267	-4.933	-17.067	-29.400	-8.000	-18.733	-11.267	-22.000
นาทีที่ 20	-9.933	11.400	-.733	-13.067	8.333	-2.400	5.067	-5.667
นาทีที่ 21	-31.867	-10.53	-22.667	-35.000	-13.600	-24.333	-16.867	-27.600
นาทีที่ 22	-31.867	-10.53	-22.667	-35.000	-13.600	-24.333	-16.867	-27.600
นาทีที่ 23	-12.333	9.000	-3.133	-15.467	5.933	-4.800	2.667	-8.067
นาทีที่ 24	-21.733	-0.400	-12.533	-24.867	-3.467	-14.200	-6.733	-17.467
นาทีที่ 25	-40.067	-18.73	-30.867	-43.200	-21.800	-32.533	-25.067	-35.800
นาทีที่ 26	-53.33*	-32.00	-44.13*	-56.46*	-35.067	-45.80*	-38.333	-49.06*
นาทีที่ 27	-19.867	1.467	-10.667	23.000	1.600	12.333	-4.867	-15.600
นาทีที่ 28	-28.267	-6.933	-19.067	-31.400	-10.000	-20.733	-13.267	-24.000

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	9	10	11	12	13	14	15	16
นาทีที่ 29	-23.333	-2.000	-14.133	-26.467	-5.067	-15.800	-8.333	-19.067
นาทีที่ 30	-39.067	-17.733	-29.867	-42.200	-20.800	-31.533	-24.067	-34.800

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 1	38.000	25.667	33.400	17.067	39.000	39.000	19.467	28.867
นาทีที่ 2	29.467	17.133	24.867	8.533	30.467	30.467	10.933	20.333
นาทีที่ 3	5.600	-6.733	1.000	-15.333	6.600	6.600	-12.933	-3.533
นาทีที่ 4	39.333	27.000	34.733	18.400	40.333	40.333	20.800	30.200
นาทีที่ 5	38.467	26.133	33.867	17.533	39.467	39.467	19.933	29.333
นาทีที่ 6	21.400	9.067	16.800	.467	22.400	22.400	2.867	12.267
นาทีที่ 7	-4.333	-16.667	-8.933	-25.267	-3.333	-3.333	-22.867	-13.467
นาทีที่ 8	-2.333	-14.667	-6.933	-23.267	-1.333	-1.333	-20.867	-11.467
นาทีที่ 9	30.867	18.533	26.267	9.933	31.867	31.867	12.333	21.733
นาทีที่ 10	9.533	-2.800	4.933	-11.400	10.533	10.533	-9.000	0.400
นาทีที่ 11	21.667	9.333	17.067	0.733	22.667	22.667	3.133	12.533
นาทีที่ 12	34.000	21.667	29.400	13.067	35.000	35.000	15.467	24.867
นาทีที่ 13	12.600	0.267	8.000	-8.333	13.600	13.600	-5.933	3.467
นาทีที่ 14	23.333	11.000	18.733	2.400	24.333	24.333	4.800	14.200
นาทีที่ 15	15.867	3.533	11.267	-5.067	16.867	16.867	-2.667	6.733
นาทีที่ 16	26.600	14.267	22.000	5.667	27.600	27.600	8.067	17.467
นาทีที่ 17	-	-12.333	-4.600	-20.933	1.000	1.000	-18.533	-9.133
นาทีที่ 18	12.333	-	7.733	-8.600	13.333	13.333	-6.200	3.200
นาทีที่ 19	4.600	-7.733	-	-16.333	5.600	5.600	-13.933	-4.533
นาทีที่ 20	20.933	8.600	16.333	-	21.933	21.933	2.400	11.800

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	17	18	19	20	21	22	23	24
นาทีที่ 21	-1.000	-13.333	-5.600	-21.933	-	0.000	-19.533	-10.133
นาทีที่ 22	-1.000	-13.333	-5.600	-21.933	0.000	-	-19.533	-10.133
นาทีที่ 23	18.533	6.200	13.933	-2.400	19.533	19.533	-	9.400
นาทีที่ 24	9.133	-3.200	4.533	-11.800	10.133	10.133	-9.400	-
นาทีที่ 25	-9.200	-21.533	-13.800	-30.133	-8.200	-8.200	-27.733	-18.333
นาทีที่ 26	-22.467	-34.800	-27.067	-43.400	-21.467	-21.467	-41.000	-31.600
นาทีที่ 27	11.000	-1.333	6.400	-9.933	12.000	12.000	-7.533	1.867
นาทีที่ 28	2.600	-9.733	-2.000	-18.333	3.600	3.600	-15.933	-6.533
นาทีที่ 29	7.533	-4.800	2.933	-13.400	8.533	8.533	-11.000	-1.600
นาทีที่ 30	-8.200	-20.533	-12.800	-29.133	-7.200	-7.200	-26.733	-17.333

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 1	47.200*	60.467*	27.000	35.400	30.467	46.200*
นาทีที่ 2	38.667	51.933*	18.467	26.867	21.933	37.667
นาทีที่ 3	14.800	28.067	-5.400	3.000	-1.933	13.800
นาทีที่ 4	48.533*	61.800*	28.333	36.733	31.800	47.533*
นาทีที่ 5	47.667*	60.933*	27.467	35.867	30.933	46.667*
นาทีที่ 6	30.600	43.867	10.400	18.800	13.867	29.600
นาทีที่ 7	4.867	18.133	-15.333	-6.933	-11.867	3.867
นาทีที่ 8	6.867	20.133	-13.333	-4.933	-9.867	5.867
นาทีที่ 9	40.067	53.333*	19.867	28.267	23.333	39.067
นาทีที่ 10	18.733	32.000	-1.467	6.933	2.000	17.733
นาทีที่ 11	30.867	44.133*	10.667	19.067	14.133	29.867
นาทีที่ 12	43.200	56.467*	23.000	31.400	26.467	42.200

ตาราง 17 (ต่อ)

นาทีที่	25	26	27	28	29	30
นาทีที่ 13	21.800	35.067	1.600	10.000	5.067	20.800
นาทีที่ 14	32.533	45.800*	12.333	20.733	15.800	31.533
นาทีที่ 15	25.067	38.333	4.867	13.267	8.333	24.067
นาทีที่ 16	35.800	49.067*	15.600	24.000	19.067	34.800
นาทีที่ 17	9.200	22.467	-11.000	-2.600	-7.533	8.200
นาทีที่ 18	21.533	34.800	1.333	9.733	4.800	20.533
นาทีที่ 19	13.800	27.067	-6.400	2.000	-2.933	12.800
นาทีที่ 20	30.133	43.400	9.933	18.333	13.400	29.133
นาทีที่ 21	8.200	21.467	-12.000	-3.600	-8.533	7.200
นาทีที่ 22	8.200	21.467	-12.000	-3.600	-8.533	7.200
นาทีที่ 23	27.733	41.000	7.533	15.933	11.000	26.733
นาทีที่ 24	18.333	31.600	-1.867	6.533	1.600	17.333
นาทีที่ 25	-	13.267	-20.200	-11.800	-16.733	-1.000
นาทีที่ 26	-13.267	-	-33.467	-25.067	-30.000	-14.267
นาทีที่ 27	20.200	33.467	-	8.400	3.467	19.200
นาทีที่ 28	11.800	25.067	-8.400	-	-4.933	10.800
นาทีที่ 29	16.733	30.000	-3.467	4.933	-	15.733
นาทีที่ 30	1.000	14.267	-19.200	-10.800	-15.733	-

* $P < .05$

จากตาราง 17 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) พบว่า ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง แต่ละระยะเวลาการวิ่ง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา นาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 25 นาทีที่ 26 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 25 นาทีที่ 26 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 5 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 25 นาทีที่ 26 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 11 มีความแตกต่างกับนาทีที่

26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 12 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 16 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 25 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 4 และนาทีที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 26 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 2 นาทีที่ 4 นาทีที่ 5 นาทีที่ 9 นาทีที่ 11 นาทีที่ 12 นาทีที่ 14 และนาทีที่ 16 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 4 และนาทีที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) ทั้ง 30 นาที

นาทีที่ 1	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	18073.650	6024.550	1.050	.376
	ภายในสมาชิก	56	321213.600	5735.957		
	รวม	59	33928.250			
นาทีที่ 2	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	11352.933	3784.311	.519	.671
	ภายในสมาชิก	56	408644.667	7297.226		
	รวม	59	419997.600			
นาทีที่ 3	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	6040.583	2013.528	.321	.810
	ภายในสมาชิก	56	351015.600	6268.136		
	รวม	59	357056.183			
นาทีที่ 4	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	69676.933	23225.644	5.692	.002*
	ภายในสมาชิก	56	228256.800	4076.014		
	รวม	59	297933.733			

ตาราง 18 (ต่อ)

นาทีที่ 5	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	25855.650	8618.550	2.319	.085
	ภายในสมาชิก	56	208123.333	3716.488		
	รวม	59	233978.983			
นาทีที่ 6	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	22470.733	7490.244	1.665	.185
	ภายในสมาชิก	56	251874.000	4497.750		
	รวม	59	274344.733			
นาทีที่ 7	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	13645.400	4548.467	.838	.479
	ภายในสมาชิก	56	303876.533	5426.367		
	รวม	59	317521.933			
นาทีที่ 8	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	36058.133	12019.378	1.975	.128
	ภายในสมาชิก	56	340774.267	6.85.255		
	รวม	59	376832.400			
นาทีที่ 9	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	23875.533	7958.511	1.132	.344
	ภายในสมาชิก	56	393609.200	7028.736		
	รวม	59	417484.733			
นาทีที่ 10	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	33581.000	11193.667	1.519	.220
	ภายในสมาชิก	56	412631.733	7368.424		
	รวม	59	446212.733			
นาทีที่ 11	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	8019.383	2673.128	.612	.610
	ภายในสมาชิก	56	244735.200	4370.271		
	รวม	59	252754.583			

ตาราง 18 (ต่อ)

นาทีที่ 12	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	27985.783	9328.594	1.575	.206
	ภายในสมาชิก	56	331761.200	5924.307		
	รวม	59	359746.983			
นาทีที่ 13	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	16233.783	5411.261	1.087	.362
	ภายในสมาชิก	56	278826.400	4979.043		
	รวม	59	295060.183			
นาทีที่ 14	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	7832.400	2610.800	.442	.724
	ภายในสมาชิก	56	330786.933	5906.910		
	รวม	59	338619.333			
นาทีที่ 15	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	29064.183	9688.061	1.583	.204
	ภายในสมาชิก	56	342770.800	6120.907		
	รวม	59	371834.983			
นาทีที่ 16	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	1672.583	557.528	.137	.938
	ภายในสมาชิก	56	228242.000	4075.750		
	รวม	59	229914.583			
นาทีที่ 17	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	56884.133	18961.378	2.086	.112
	ภายในสมาชิก	56	509146.800	9091.907		
	รวม	59	566030.933			
นาทีที่ 18	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	7427.933	2475.978	.367	.777
	ภายในสมาชิก	56	378131.067	6752.340		
	รวม	59	385559.000			

ตาราง 18 (ต่อ)

นาทีที่ 19	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	28272.717	4424.239	2.380	.079
	ภายในสมาชิก	56	221731.467	3959.490		
	รวม	59	250004.183			
นาทีที่ 20	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	19401.650	6467.217	1.214	.313
	ภายในสมาชิก	56	298437.200	5329.236		
	รวม	59	317838.850			
นาทีที่ 21	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	523.267	174.422	.027	.994
	ภายในสมาชิก	56	368327.067	6577.269		
	รวม	59	368850.333			
นาทีที่ 22	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	4349.667	1449.889	.252	.860
	ภายในสมาชิก	56	322146.667	5752.619		
	รวม	59	326496.333			
นาทีที่ 23	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	1500.867	500.289	.090	.965
	ภายในสมาชิก	56	310941.733	5552.531		
	รวม	59	312442.600			
นาทีที่ 24	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	3391.783	1130.594	.201	.895
	ภายในสมาชิก	56	314715.467	5619.919		
	รวม	59	318107.205			
นาทีที่ 25	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	2970.333	990.111	.221	.881
	ภายในสมาชิก	56	250525.067	4473.662		
	รวม	59	253495.400			

ตาราง 18 (ต่อ)

นาทีที่ 26	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	29135.250	9711.750	3.071	.035*
	ภายในสมาชิก	56	177071.600	3161.993		
	รวม	59	206206.850			
นาทีที่ 27	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	24986.050	8328.683	1.286	.288
	ภายในสมาชิก	56	362570.933	6474.481		
	รวม	59	387556.983			
นาทีที่ 28	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	7407.733	2469.244	.361	.781
	ภายในสมาชิก	56	382750.000	6834.821		
	รวม	59	390157.733			
นาทีที่ 29	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	23743.383	7914.461	1.298	.284
	ภายในสมาชิก	56	341362.800	6095.764		
	รวม	59	305106.183			
นาทีที่ 30	แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
	ระหว่างสมาชิก	3	55089.650	18363.217	1.998	.125
	ภายในสมาชิก	56	514672.533	9190.581		
	รวม	59	569762.183			

* $P < .05$

จากตาราง 18 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด ในการวิ่งนาทีที่ 4 และนาทีที่ 26 จากการออกกำลังกายโดยการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 19 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง จากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา นาทีที่ 4 และนาทีที่ 26 โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey)

กล้ามเนื้อ	(M)	กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก	กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน	กล้ามเนื้อโซเลียส	กล้ามเนื้อหน้าแข้ง
นาทีที่ 4		-42.8667	48.2000	-3.7333	-24.5333
กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก	-42.8667	-	-91.0067*	-39.1333	-18.3333
กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน	48.2000	-	-	51.9333	72.7333*
กล้ามเนื้อโซเลียส	-3.7333	-	-	-	20.8000
กล้ามเนื้อหน้าแข้ง	-24.5333	-	-	-	-
นาทีที่ 26		-23.0000	-3.1333	-4.9333	37.2667
กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก	-23.0000	-	-19.8667	-18.0667	-60.2667*
กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน	-3.1333	-	-	1.8000	-40.4000
กล้ามเนื้อโซเลียส	-4.9333	-	-	-	-42.2000
กล้ามเนื้อหน้าแข้ง	37.2667	-	-	-	-

* $P < .05$

จากตาราง 19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) พบว่า จากการวิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศาในนาทีที่ 4 ค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกมีความแตกต่างกับกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในมีความแตกต่างกับกล้ามเนื้อหน้าแข้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนในนาทีที่ 26 ค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกมีความแตกต่างกับกล้ามเนื้อหน้าแข้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ที่มีต่อกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

2. เพื่อเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศาและพื้นลาดชัน 3 องศา ที่มีต่อระยะเวลาการวิ่งทุก ๆ นาที ตลอด 30 นาที ของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก (Gastrocnemius-lateral Part) กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน (Gastrocnemius-medial Part) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior)

สมมุติฐานในการวิจัย

การวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชันเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างแตกต่างกัน

วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นนิสิตชายในระดับอุดมศึกษา ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยการคัดเลือกอย่างเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) 15 คน จากการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (MVC) ของกล้ามเนื้อ 4 มัดซึ่งได้แก่กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Gastrocnemius-lateral Part, Gastrocnemius-medial Part, Soleus และ Tibialis Anterior) จากกลุ่มประชากร จำนวน 30 คน นำค่าที่ได้มาเรียงลำดับความแข็งแรงของค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (MVC) จากมากไปหาน้อยทั้ง 30 คน หลังจากนั้น ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดทั้ง 4 มัด ที่มีค่าใกล้เคียงกันที่สุดเป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา

2.2 โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา

2.3 เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (รุ่น ME3000P) และโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG Analysis, Megawin V 1.2)

2.4 ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าชนิดผิว (Surface Electrode)

2.5 เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อและอุปกรณ์ (Electrical Stimulator รุ่น Phyaction 300)

2.6 สำลี แอลกอฮอล์ ผ้าพันแผล และ หนังยาง

2.7 ลู่วิ่ง (Treadmill)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติ เปรียบเทียบความเมื่อยล้าของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ในแต่ละช่วงเวลา ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อหา

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด

2. เปรียบเทียบความเมื่อยล้าของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างแต่ละมัดกล้ามเนื้อ โดยใช้ โดยใช้สถิติ ที (Paired Samples T– test)

3. เปรียบเทียบความเมื่อยล้าของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด ภายในแต่ละระยะเวลาการวิ่งของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ว่าแต่ละมัดกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ในช่วงเวลาการวิ่งที่ต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Measurement) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 หากพบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อแต่ละรูปแบบการวิ่งโดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ในกลุ่มตัวอย่างชาย 15 คน แล้วให้ทั้งหมด ออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และ วิ่งบนพื้นที่ลาดชัน 3 องศา ทั้งสองรูปแบบ เป็นระยะเวลา 30 นาทีผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบระหว่างการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที พบว่า ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 17 ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 26

2. การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา 30 นาที ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หมายความว่า ระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด ต่างไปจากระยะเวลาการวิ่งในช่วงอื่น

3. การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด ในนาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 9 นาทีที่ 10 นาทีที่ 11 นาทีที่ 17 นาทีที่ 20 นาทีที่ 22 นาทีที่ 29 และนาทีที่30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 9 และนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 7 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 8 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 11 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 12 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 15 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 16 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 17 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 20 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 21 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 2 นาทีที่ 7 นาทีที่ 8 นาทีที่ 9 นาทีที่ 10 นาทีที่ 11 นาทีที่ 12

นาทีที่ 14 นาทีที่ 15 นาทีที่ 16 นาทีที่ 20 นาทีที่ 22 นาทีที่ 25 นาทีที่ 26 นาทีที่ 28 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 22 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 25 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 26 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 27 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 9 นาทีที่ 17 นาทีที่ 22 และนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 28 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 29 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 21 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา 30 นาที พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการวิ่งและกล้ามเนื้อมีผลกระทบต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา นั่นคือ ระยะเวลาการวิ่งที่ต่างกันจะส่งผลให้ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาต่างกันหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่าเป็นระยะเวลาช่วงใด และกล้ามเนื้อที่ต่างกันจะส่งผลให้ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาต่างกันหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่าเป็นกล้ามเนื้อมัดใด

5. การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อบ่องส่วนด้านนอก ในนาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 8 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 7 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 8 นาทีที่ 17 และนาทีที่ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 8 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 และนาทีที่ 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 6 นาทีที่ 8 นาทีที่ 9 นาทีที่ 11 นาทีที่ 13 นาทีที่ 14 นาทีที่ 17 นาทีที่ 19 และนาทีที่ 26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 11 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 13 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 และนาทีที่ 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 17 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 18 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 8 นาทีที่ 9 นาทีที่ 13 นาทีที่17 และนาทีที่ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 19 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 7 นาทีที่ 10 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 21 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 8 นาทีที่ 17 และนาทีที่ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 26 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

6. การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อบ่องส่วนด้านใน ในนาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 2 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4

และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 3 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 4 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 นาทีที่ 2 นาทีที่ 6 นาทีที่ 10 นาทีที่ 14 นาทีที่ 15 นาทีที่ 19 นาทีที่ 22 นาทีที่ 23 นาทีที่ 28 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 9 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 15 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 13 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 14 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 15 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 นาทีที่ 9 นาทีที่ 17 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 17 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 2 นาทีที่ 10 นาทีที่ 14 นาทีที่ 15 นาทีที่ 19 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 18 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 15 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 19 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 และนาทีที่ 17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 20 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 15 นาทีที่ 29 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 21 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 29 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 22 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 23 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 28 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 29 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 3 นาทีที่ 4 นาทีที่ 9 นาทีที่ 13 นาทีที่ 17 นาทีที่ 18 นาทีที่ 20 และนาทีที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 3 นาทีที่ 4 นาทีที่ 9 นาทีที่ 17 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

7. การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ในนาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 5 นาทีที่ 6 นาทีที่ 10 นาทีที่ 12 นาทีที่ 15 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 5 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 6 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 10 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 12 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 15 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 18 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 27 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 5 นาทีที่ 6 นาทีที่ 10 นาทีที่ 12 นาทีที่ 15 นาทีที่ 18 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 30 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 1 และนาทีที่ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

8. การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง ในนาทีที่ 1 มีความแตกต่างกับนาทีที่ 25 นาทีที่ 26 และนาทีที่ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นาทีที่ 2 มี

อภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา โดยใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และโปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา เป็นเวลา 30 นาที ผลการทดสอบค่าความแตกต่างระหว่างระยะเวลาการวิ่งของทั้ง 2 ระดับความชัน และกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด พบว่า การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้น่าจะเป็นผลมาจากการวิ่งที่ระดับความชันที่แตกต่างกัน และระยะเวลาในการวิ่งที่ใช้กับกลุ่มตัวอย่างโดยผู้วิจัยได้วิจารณ์ผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

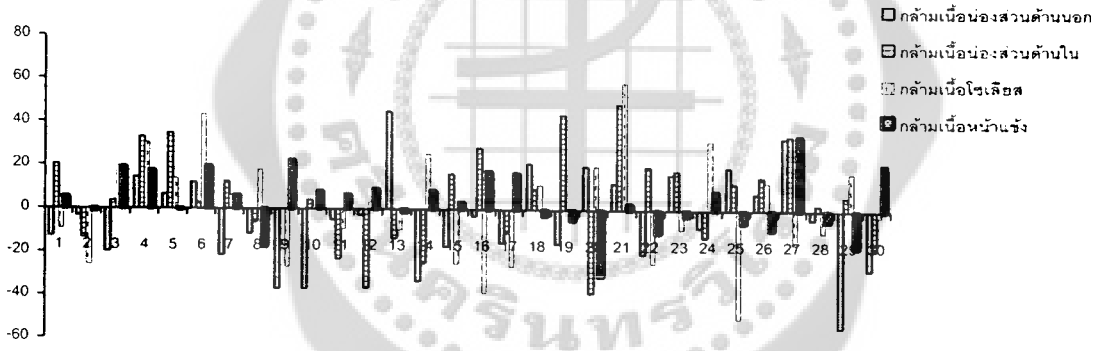
1. การเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากผลของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ทั้ง 30 นาที

2. การเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากผลของการวิ่งบน พื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

3. การเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากผลของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

การเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากผลของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ทั้ง 30 นาที

จากการศึกษาเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา แล้วทำการทดสอบหาค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ทุก ๆ นาที จนครบ 30 นาที และการวัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อในการวิจัยในครั้งนี้วัดด้วยการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลาง กล่าวคือถ้าค่าความถี่กลางเลื่อนไปอยู่ในระดับความถี่ที่ต่ำกว่าแสดงว่ากล้ามเนื้อมีความเมื่อยล้ามากกว่า ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัดนี้ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนระยะเวลาการวิ่งในช่วงใดช่วงหนึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัดทั้ง 30 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลางของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการวิ่งพื้นเรียบ 0 องศา 30 นาที

จากผลการวิจัยดังกล่าว การที่กล้ามเนื้อขาส่วนล่างเกิดความเมื่อยล้าขึ้น ในบางช่วงเวลานั้นอาจเนื่องมาจาก โปรแกรมการออกกำลังกายที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเป็นโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิค (Aerobic exercises) การออกกำลังกายแบบแอโรบิค หมายถึง การออกกำลังกายชนิดใดก็ได้ที่ร่างกายต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงาน สามารถกระตุ้นหัวใจและปอดให้ทำงานถึงจุด ๆ หนึ่งและด้วยระยะเวลาหนึ่งซึ่งนานพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Sharkey, 1990) ในการปฏิบัติกิจกรรมการเคลื่อนไหว หรือการออกกำลังกายนั้น กล้ามเนื้อต้องการสารอาหารเพื่อใช้เป็น

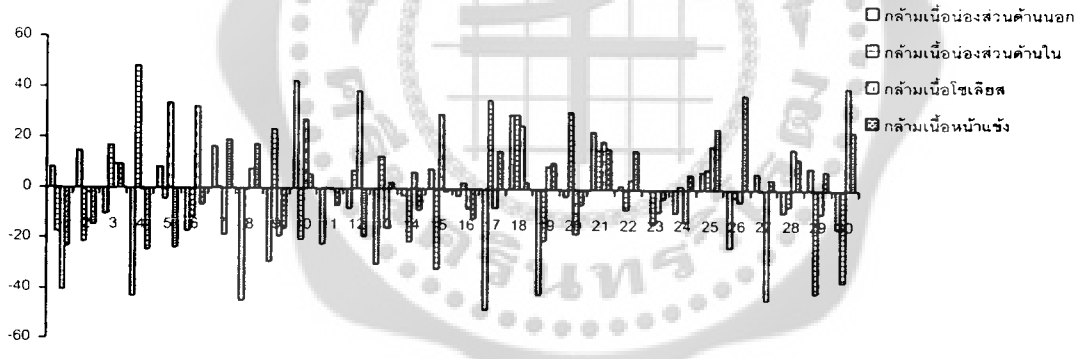
พลังงานในการเคลื่อนไหวแตกต่างกันออกไปตามชนิดและประเภทของกิจกรรมนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การที่ร่างกายจะสามารถทำงานโดยได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอนั้นขึ้นอยู่กับสมรรถภาพในการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต ระบบหายใจ และคุณภาพของเซลล์กล้ามเนื้อในการที่จะรับออกซิเจน

สำหรับการออกกำลังกายที่ต้องใช้เวลามากกว่า 2 นาทีขึ้นไป พลังงานที่ถูกนำมาใช้ในการเคลื่อนไหวที่สำคัญ คือ ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งคำว่า แอโรบิค (Aerobic) หมายถึง พลังงานที่ต้องอาศัยออกซิเจน แหล่งที่มาของระบบพลังงานดังกล่าวนี้ได้มาจากคาร์โบไฮเดรต และไขมัน ซึ่งทำปฏิกิริยาสันดาป (Oxidation) กับออกซิเจนเพื่อแปรสภาพเปลี่ยนเป็นพลังงานในการเคลื่อนไหวที่ต้องการ คาร์โบไฮเดรตที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยขบวนการดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เจริญ กระบวนรัตน์. 2542) การหดตัวของกล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้พลังงาน โดยกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนพลังงานเคมี (Chemical Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) พลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้ออยู่ในรูปเอทีพี (ATP) และซีพี (Creatine Phosphate) เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถจะนำมาใช้ได้ทันที พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในการสร้างเอทีพี และซีพี ได้มาจากการสลายตัวของสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต เช่น กลูโคส และกลัยโคเจน จากตับและกล้ามเนื้อ ซึ่งจะถูกเผาผลาญโดยเซลล์กล้ามเนื้อเพื่อให้ได้เอทีพีออกมาโดยกระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งได้แก่ ระบบพลังงานแบบแอโรบิค โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อร่างกายมีออกซิเจนอย่างพอเพียง กลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็น เอทีพี จำนวนมาก แต่บางช่วงเวลาที่กล้ามเนื้อเกิดความเมื่อยล้าเพราะอยู่ในช่วงของ ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิค กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ กลูโคลจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติคและให้พลังงานน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบพลังงานแบบแอโรบิค การเผาผลาญกลูโคสโดยกระบวนการแอนแอโรบิค จะจำกัดการทำงานของกล้ามเนื้อ เพราะนอกจากจะทำให้พลังงานที่ได้ออกมาน้อยแล้ว ยังทำให้เกิดกรดแลคติคขึ้นในกล้ามเนื้อ ซึ่งถ้ามีจำนวนมากแล้วจะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อนั้นไม่เหมาะสมกับการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ (ฉัตรศรี เดชะปัญญา และ สกล พงศกร. 2536 : 33-43) ดังนั้น การออกกำลังกายที่ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และไม่หนักมากจนเกินไป ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนนี้จะถูกนำมาใช้เป็นพลังงานหลักโดยไม่เกิดกรดแลคติค หรือ ความเมื่อยล้าขึ้นในระหว่างการออกกำลังกาย ขณะเดียวกันยังช่วยเสริมให้พลังงานระบบอื่นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

สำหรับสาเหตุที่ทำให้ระหว่างกล้ามเนื้อ 4 มัดเกิดความเมื่อยล้าได้ไม่ต่างกันอาจเป็นเพราะว่าเป็นการศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง ซึ่งแต่ละกลุ่มกล้ามเนื้อต่างก็ต้องมีการทำงานในปริมาณเท่าเทียมกันและมีการทำงานประสานกัน จึงจะทำให้กล้ามเนื้อขาส่วนล่างเคลื่อนไหวได้ ดังนั้นจึงทำให้ผลการวิจัยไม่แตกต่างกันมากนัก

การเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากผลของการวิ่งบนพื้นเรียบ 3 องศา ทั้ง 30 นาที

จากการศึกษาเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการวิ่งบนพื้นเรียบ 3 องศา แล้วทำการทดสอบหาค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ทุก ๆ นาที จนครบ 30 นาที ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัดนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในนาทีที่ 4 ค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกมีความแตกต่างกับกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านในมีความแตกต่างกับกล้ามเนื้อหน้าแข้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนในนาทีที่ 26 ค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอกมีความแตกต่างกับกล้ามเนื้อหน้าแข้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในแต่ละระยะเวลาในการวิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่กลางของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการวิ่งพื้นลาดชัน 3 องศา 30 นาที

จากผลวิจัยดังกล่าว นอกเหนือจากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น อีกปัจจัยหนึ่งที่ระหว่างกล้ามเนื้อแทบจะไม่เกิดความเมื่อยล้าตลอดทั้ง 30 นาที เนื่องจากกล้ามเนื้อมีการเคลื่อนไหวไปมา มีการเปลี่ยนสภาวะการออกแรง ใช้กล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ (Static Effort) เป็นแบบเคลื่อนที่ (Dynamic Effort) กล้ามเนื้อจะมีการหดตัว คลายตัวเป็นจังหวะ ขณะกล้ามเนื้อหดตัว แรงดันภายในกล้ามเนื้อจะช่วยขับเลือดออกจากกล้ามเนื้อ พร้อมทั้งขับไล่ของเสียออกมาด้วย และขณะที่กล้ามเนื้อคลายตัว เลือดที่มี

ออกซิเจนและน้ำตาลจะไหลเข้าไปเลี้ยงกล้ามเนื้อในปริมาณที่มากกว่าปกติ แกรนจีน (Grandjean. 1988 : 159-156) ได้กล่าวว่านอกจากสภาวะการออกแรงของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่จะช่วยให้ร่างกายกำจัดกรดแลคติคออกจากกล้ามเนื้อแล้ว ยังช่วยเพิ่มการไหลเวียนเลือดดำกลับสู่หัวใจและช่วยให้ระบบการไหลเวียนเลือดดีขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าการไหลเวียนเลือดไม่ดี หรือถูกขัดขวางก็จะทำให้เกิดความล้าได้เร็วขึ้น อีกทั้งเมื่อกล้ามเนื้อมีการหดตัว คลายตัว ขามีการเคลื่อนที่ไปมา ความถี่ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไปได้มาก เนื่องจาก เมื่อมีการขยับตัวของกล้ามเนื้อ เลือดจะพาออกซิเจนไปเลี้ยงยังกล้ามเนื้อมากขึ้น ส่งผลให้ผนังเซลล์กล้ามเนื้อส่งผ่านไฟฟ้าได้เร็วขึ้น ทำให้ความถี่คลื่นไฟฟ้ามากขึ้นด้วย (สุธิดา อุทะพันธุ์. 2541) จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ค่าความถี่ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขามีความเบี่ยงเบนมาก ดังนั้นเมื่อสังเกตจากภาพการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่กลางของกล้ามเนื้อขาจึงไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับการขยับขาของผู้ทดลองเอง แต่จากการวิ่ง ร่างกายต้องใช้ขาในการพยุงน้ำหนักตัว เมื่อเราทำการวิ่งเป็นระยะเวลานานกล้ามเนื้อขาจึงเกิดความเมื่อยล้าได้เช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากผลของการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที

จากการศึกษาเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และพื้นลาดชัน 3 องศา แล้วทำการทดสอบหาค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด (กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง) จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ทุก ๆ นาที จนครบ 30 นาที ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 17 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อหน้าแข้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 26

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อแต่ละมัดนั้นเกิดความเมื่อยล้าในระยะเวลาที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ (กนกพร จันทวร. 2542)

1. จำนวนมอเตอร์ยูนิตที่ทำงานขณะกล้ามเนื้อหดตัว ถ้ากล้ามเนื้อมีการหดตัวมาก คลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้ก็จะมากด้วย

2. ชนิดของใยกล้ามเนื้อ (Muscle Fiber Type) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของของเหลวภายในกล้ามเนื้อ ความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

3. การไหลเวียนของเลือดภายในกล้ามเนื้อ มีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารที่เกิดจากขบวนการเมตาบลิซึม (Metabolism) และอุณหภูมิ ทำให้มีผลต่อความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เช่น เมื่อมีการไหลเวียนเลือดภายในกล้ามเนื้อมากขึ้น ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้ก็จะมากขึ้นด้วย

4. ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ มีผลต่อความเร็วในการนำศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน และความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

5. ความลึกและตำแหน่งของใยกล้ามเนื้อ มีผลต่อ ความสูง และความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เช่น การวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่อยู่ลึกมากจะทำให้ค่าความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ลดลง ส่วนการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบริเวณใยกล้ามเนื้อที่อยู่กึ่งกลางจุดมอเตอร์ และบริเวณรอยต่อระหว่างกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อจะได้คลื่นไฟฟ้าที่มี ความสูง และความถี่มากกว่า วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบริเวณใยกล้ามเนื้อที่อยู่ใกล้เอ็นกล้ามเนื้อ

6. ความหนาของเนื้อเยื่อระหว่างกล้ามเนื้อ กับขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีผลต่อความสูงและความถี่ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือ ถ้าความหนาของไขมันใต้ผิวหนังมาก จะทำให้ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้มีค่าน้อย

สำหรับกลไกการเกิดความแตกต่างระหว่างความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก น่องส่วนด้านใน และกล้ามเนื้อหน้าแข้งนั้น นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดแล้ว ยังมีสาเหตุมาจากการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา มุมในการงอของเข่ามีน้อยกว่า ทำให้เลือดไหลเวียนได้ไม่สะดวกเท่ากับการวิ่งพื้นเรียบ 0 องศาจึงเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขึ้น แต่พื้นลาดชัน 3 องศา เป็นพื้นที่มีความลาดชันน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นเรียบ 0 องศา แทบจะไม่มีความรู้สึกแตกต่างกัน ดังนั้น การเกิดความเมื่อยล้าขึ้น จึ้งเกิดในไม่กี่นาที ของแต่ละมัดกล้ามเนื้อ ไม่ได้เกิดตลอดเวลาทั้ง 30 นาที อีกทั้งจากความสามารถยุบตัวของสายพานลู่วิ่ง ทำให้การเปลี่ยนแปลงมุมของลำตัวขณะเคลื่อนไหวแทบจะไม่มีความแตกต่างกัน (Grandjean. 1988 : 168 -173)

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการการทดสอบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ ด้วยวิธีสอบถามความรู้สึกความล้าและการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแล้วเปลี่ยนเป็นค่าความถี่กลางควบคู่กันไป เพราะมีความสอดคล้องกัน และสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง 2 วิธี

2. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการทดสอบความเมื่อยล้าจากการวิ่งบนพื้นคอนกรีต พื้นสายพานลู่วิ่ง และพื้นลู่วิ่งมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นแก่กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อขยายผลในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกกำลังกาย

3. ควรมีการวิจัยเกี่ยวกับทักษะการเคลื่อนไหวควบคู่กันกับการศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในทุก ๆ ชนิดกีฬาให้มากยิ่งขึ้น

4. สามารถนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปปรับปรุงพัฒนาสมรรถภาพร่างกายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กนกพร จันทวร. (2542). *การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแขน ไหล่ และหลังส่วนบน ในท่าสแนทช์ของนักกีฬายกน้ำหนักเยาวชน*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.

กานดา ใจภักดี. (2531). *วิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว*. กรุงเทพฯ: คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราชพยาบาล โรงพยาบาลศิริราช.

กิตติ อินทรานนท์. (2538). *การศึกษาปัญหาของการเคลื่อนย้ายวัสดุและวิเคราะห์สาเหตุของการบาดเจ็บ กรณีในโรงงานบริษัท จอห์นสัน แอนด์ จอห์นสัน (ประเทศไทย) จำกัด*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อัดสำเนา.

จรวยพร ธรณินทร์. (2522). *คินิสิโอโลยีในการกีฬา*. กรุงเทพฯ: ไตรรงค์การพิมพ์.

จินตนาภรณ์ วัฒนธร. (2532). *ระบบกล้ามเนื้อ*. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2542). *เทคนิคการฝึกความเร็ว*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2545). *หลักการและเทคนิคการฝึกกรีฑา*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญ กระบวนรัตน์; และ ประเวศ วัชรพฤกษ์. (2528). *ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของขา จำนวนก้าวในการวิ่งและเวลาในการวิ่งเร็ว 50 เมตร*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพลศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.

ฉัตรศรี เดชะปัญญา; และ สกล พงศกร. (2536). *สรีรวิทยาของกล้ามเนื้อ*. (เอกสารประกอบคำสอน). กรุงเทพฯ: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อัดสำเนา.

ชุลีพร ไกรทุกข์ร้าง. (2545). *การสร้างเครื่องวิ่งออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ*. ปริญญานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์. (2519). *อิเล็คโตรมัยโอกราฟีย์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์. (2524). *สรีรวิทยา*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรสมัย.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์; และ กัลยา ปาละวิวัธน์. (2528). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: เทพรัตน์การพิมพ์.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์; และ กัลยา ปาละวิวัธน์. (2536). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: ธรรมกมลการพิมพ์.

ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2537). *สถิติเพื่อการวิจัย*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรวัฒน์ กุลนันทน์. (2532). *การบาดเจ็บจากการวิ่ง*. กรุงเทพฯ: บริษัทไลโนกราฟฟิค จำกัด.

นรินทร์ สุทธิศักดิ์. (2533). *การศึกษาความถี่และความยาวก้าวในการวิ่ง 50 เมตร*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อัดสำเนา.

บุญเรียง ขจรศิลป์. (2536). *สถิติวิจัย1*. ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: พิชาญเพรส.

บุญส่ง โกสะ. (2539). *วิธีวิจัยทางพลศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: หจก.พี.เอ็น.การพิมพ์.

ประโยชน์ บุญสินสุข; และ รุ่งทิวา ชาญพิทยานุกูลกิจ. (2532). *เทคนิคการวิ่ง*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: แสงแดด.

ฟอง เกิดแก้ว; และ สวัสดิ์ ทรัพย์จำนงค์. (2526). *กรีฑา*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

เรณู พรหมเนตร. (2542). *การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสะโพกและขาควบคู่กับการเคลื่อนไหว 2 มิติ ในท่าสแนทช์ของนักกีฬายกน้ำหนักเยาวชน*. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.

วัฒนา เอียวสวัสดิ์. (2541). *คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งก็งยืน*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. อัดสำเนา.

ศิริลักษณ์ เจิมจิตต์พรชัย. (2537). *การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC^{+} เรียนด้วยตัวเอง*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา. (2528). *คู่มือการวิ่งเพื่อสุขภาพ*. กรุงเทพฯ: บริษัทรุ่งศิลป์การพิมพ์.

สนธยา สีละมาด. (2541). *ผลของการฝึกวิ่งเร็วบนพื้นราบ ลงเนิน และบนพื้นราบร่วมกับลงเนินที่มีต่อความเร็วความถี่ในการก้าวเท้าและความยาวของช่วงก้าวในการวิ่ง 100 เมตร*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.

สมพิศ พันธุเจริญศรี. (2535). *การปรับปรุงบริเวณที่ทำงานเพื่อลดความเมื่อยล้าในกลุ่มพนักงานหญิงเย็บจักรอุตสาหกรรม*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. อัดสำเนา.

สะอาด อ่อนนิ่ม. (2543). *ศึกษาความถี่ของก้าวและความยาวของก้าวในการวิ่ง 100 เมตร และขนาดร่างกายของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อัดสำเนา.

สุธิดา อุทะพันธุ์. (2541). *การศึกษาเปรียบเทียบผลของแผ่นปูพื้นในการบรรเทาความล้าของกล้ามเนื้อ*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. อัดสำเนา.

โสภีวัน โอนสูงเนิน. (2537). *การศึกษาความถี่และความยาวของก้าวในการวิ่ง 100 เมตรของนักกรีฑาทีมชาติไทย*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อัดสำเนา.

อำนาจ เสตสุวรรณ. (2535). *ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการทำงานกับภาระกล้ามเนื้อหลังที่วัดด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ กรณีศึกษาของสายการประกอบรถบรรทุกขนาดเล็ก 1 ตัน*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อัดสำเนา.

Astrand Per-Olof.; & Rodahl, Kaare. (1986). *Textbook of Physiology : Physiological Bases of Exercise*. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill.

Avent, Henrietta H.; et al. (1971, December). Cardiovascular Characteristic of Selected Track Participants in the First Annual DWGS Track and Field Meet. *Research Quartery*. (42) : 440-443.

Baida, K.N.; & Stevenson, M.G. (1988). Local Muscle Fatigue in Repetitive Work. In *Appl. V.31*. The Ergonomies Group Health and Environment Laboratories Eastman Kodak Company. p 227-239. New York: Van Nostrand Reinhold.

Chaffin, B. Don. (1969). *Surface Electromyography FreQuency Analysis as a Diagnostic Tool*. Med.

Clayne, R. Jensen.; & Schultr, Gordon W. (1970). *Applied Kinesiology*. London: McGraw-Hall.

Cram, Jeffrey R.; Kasman, Glenn S. (1998). *Introdution to Surface Electromyography*. Maryland: Aspen.

De Luca, C. J. (1997). *The use of surface electromyography in biomechanics*. Canada: Humam Kinetics Books.

Grandjean, E. (1988). *Fitting the task to the man*. 4th ed. London: Taylor & Francis.

James, G. Hay. (1978). *The Biomechanics of Sports Techniques*. 2nd ed. Prentice-Hall: Englewood Cliffs.

Johnson, B. (1973). Electromyographic Kinesiology, aim and fields of use. In *Journal Desmedt Development in EMG and Clinical Neurophysiology*. p 155. New York: Karter Basel.

Kapovich, V.; & Peter, Sinning .E. (1971). *Phsiology of Muscular Acitivity*. 7th ed. Philadelphia: W.B. Saunders.

Marras, William. (1992). Application of Electromyography in Ergonomics. In *Selected Topics in Surface Electromyography for Use in The Occupational Setting Expert Perspectives*. p 3-17. US Department of Health and Human Services: G Soderberg.

Muscle Tester ME 3000 Professional. (1996). *User's manual*. Finland: Mega Eletronic Ltd.

Nag, P.K.; et al. (1986). EMG Analysis of Sitting Work Postures in Women. In *Appl. V.17*. The Ergonomies Group Health and Environment Laboratories Eastman Kodak Company. p 195-197. New York: Van Nostrand Reinhold.

Ohashi, J.; Iwanaga, K.; & Sato, H. (1987). *Relation of Subjective Sensations to Electromyograms and Heart Rate in Sustained Isometric Shoulder Abductions at 5-50% MVC*. Human Ergol.

Redfern, S. Mark. (1992). Functional Muscle : Effect on Electromyographic Output. In *Advances in Industrial Ergonomics and Safety II*. p 104-120. London: Taylor & Francis.

Ricard, MarkmDonal. (1986). *A Biomechanical Analysis of Energy and Momentum in the Men's Front Handspring Front Solto Vault*. Illinois: University Carbondale.

Rodgers, H.; Kenworthy, A.; & Eggletion, M. (1986). *Ergonomic Design for People at Work*. In *Appl, V.17*. The Ergonomies Group Health and Environment Laboratories Eastman Kodak Company. p 24-27. New York: Van Nostrand Reinhold.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ

โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบ

1. การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching)

   การเพิ่มระดับความเร็วในการวิ่ง

   เวลาที่ใช้ 2 นาที

   30 วินาทีแรก ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 2.2 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 4.4 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 6.8 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 9.0 km/h

   เมื่อความเร็วที่ใช้มีค่า 9.0 km/h แล้วให้เริ่มบันทึกเวลาและทำการบันทึกค่าไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2. วิ่งบนลู่วิ่ง

   ความเร็วที่ใช้ 9 km/h

   ความชันที่ใช้ 0 องศา

   เวลา 30 นาที

3. การคูลดาวน์ (Cool Down) และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching)

   การลดระดับความเร็วในการวิ่ง

   เวลาที่ใช้ 2 นาที

   30 วินาทีแรก ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 6.8 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 4.4 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 2.2 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 0.0 km/h

ภาคผนวก ข.
โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นลาดชัน

โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นลาดชัน

1. การอบอุ่นร่างกาย (Warm Up) และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching)

   การเพิ่มระดับความเร็วในการวิ่ง

   เวลาที่ใช้ 2 นาที

   30 วินาทีแรก ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 2.2 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 4.4 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 6.8 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 9.0 km/h

   เมื่อความเร็วที่ใช้มีค่า 9.0 km/h แล้วให้เริ่มบันทึกเวลาและทำการบันทึกค่าไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2. วิ่งบนลู่วิ่ง

   ความเร็วที่ใช้ 9 km/h

   ความชันที่ใช้ 3 องศา

   เวลา 30 นาที

3. การคูลดาวน์ (Cool Down) และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching)

   ลดความชันเหลือ 0 องศา

   การลดระดับความเร็วในการวิ่ง

   เวลาที่ใช้ 2 นาที

   30 วินาทีแรก ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 6.8 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 4.4 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 2.2 km/h

   30 วินาทีต่อมา ปรับระดับความเร็วให้มีค่า 0.0 km/h

ภาคผนวก ค.

การหาค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด

การหาค่าการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum Voluntary Contraction : MVC)

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าขณะที่ทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum Voluntary Contraction : MVC) ของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด (Gastrocnemius-lateral Part, Gastrocnemius-medial Part, Soleus และ Tibialis Anterior) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาบริเวณจุดมอเตอร์ (Motor Point) เพื่อเป็นตำแหน่งที่ใช้วางขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Electrode Location) โดยใช้เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อ (Electrical Stimulator รุ่น Phyaction 300) ทำการวัดกล้ามเนื้อทั้ง4 มัด (Gastrocnemius-lateral Part, Gastrocnemius-medial Part, Soleus และ Tibialis Anterior)

2. กำหนดตำแหน่ง และเช็ดทำความสะอาดผิวหนังบริเวณที่วางขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวซึ่งมีส่วนประกอบของโลหะซิลเวอร์ (Ag) และสารละลายซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ด้วยสำลีชุปแอลกอฮอล์ ทำการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัด

3. จัดท่าทางเพื่อทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด โดยจัดท่าทางในการทดสอบของกล้ามเนื้อแต่ละมัด ดังนี้

กล้ามเนื้อน่อง และกล้ามเนื้อโซเลียส (Gastrocnemius-lateral Part, Gastrocnemius-medial Part, Soleus) จัดท่าโดยให้กลุ่มทดลองอยู่ในท่านอนคว่ำ เหยียดข้อสะโพก 0 องศา เหยียดข้อเข่า 0 องศา ส่วนข้อเท้าปล่อยตามสบาย และทดสอบโดยให้ออกแรงเหยียดข้อเท้าเต็มที่ และผู้วิจัยออกแรงต้านที่บริเวณผ่าเท้าของกลุ่มทดลอง

กล้ามเนื้อหน้าแข้ง (Tibialis Anterior) จัดท่าโดยให้กลุ่มทดลองอยู่ในท่านอนหงาย เหยียดข้อสะโพก 0 องศา เหยียดข้อเข่า 0 องศา ส่วนข้อเท้าปล่อยตามสบาย และทดสอบโดยให้ออกแรงกระดกข้อเท้าเต็มที่ และผู้วิจัยออกแรงต้านที่บริเวณหลังเท้าของกลุ่มทดลอง

4. ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบันทึกแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode) และความถี่การบันทึก (Sampling Frequency) 1000 เฮิร์ต (Hz) โดยให้ออกแรงต้าน อย่างเต็มที่กับผู้วิจัยเป็นเวลา 5 วินาที ทดสอบ 3 ครั้ง แต่ละครั้งพักอย่างน้อย 2 นาที (De Luca. 1997)

5. บันทึกค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ใน 1 วินาที ของแต่ละมัดกล้ามเนื้อ และถือเป็นค่าสูงสุดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแต่ละมัด

6. เมื่อทำการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดของแต่ละมัดกล้ามเนื้อเสร็จแล้ว ให้นำค่าที่ได้จากการทดสอบ มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (Average Maximal EMG) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ภาคผนวก ง.

หนังสือแสดงความยินยอม

หนังสือแสดงความยินยอม

ข้าพเจ้าชื่อ น.ส. ณัฐธิดา บังเมฆ ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับชั้นปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา วิชาเอกการเป็นผู้ฝึกสอนกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และกำลังทำการศึกษาเรื่อง เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างเพื่อเปรียบเทียบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างในขณะออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน

ข้าพเจ้าจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในเดือน ธันวาคม 2546 - มกราคม 2547 ช่วงเวลา 16:30-19:30 น. โดยทดสอบความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อด้วยการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ณ อาคารปฏิบัติการ ศูนย์กีฬาสิรินธร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ถึงแม้ว่าข้าพเจ้าจะมีการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของกลุ่มอาสาสมัคร แต่ข้าพเจ้าคิดว่าไม่มีความเสี่ยงใด ๆ ต่อกลุ่มอาสาสมัคร โดยชื่อ และข้อมูลจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มอาสาสมัครจะถูกใช้แทนด้วยนามสมมุติ รวมถึงการเก็บข้อมูลและการแปลผลข้อมูลจะกระทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว และจะไม่มีผลกระทบต่อคะแนนในการเรียนของกลุ่มอาสาสมัคร อีกทั้งกลุ่มอาสาสมัครยังสามารถขอดูข้อมูลส่วนตัวที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ได้ก่อนที่งานชิ้นนี้จะมีการนำเสนอเผยแพร่ออกไป ขณะที่ข้าพเจ้าได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล กลุ่มอาสาสมัครสามารถที่จะถอนตัว ไม่เข้าร่วมการศึกษานี้เมื่อใดก็ได้และการศึกษาในครั้งนี้ไม่มีค่าตอบแทนให้กับกลุ่มอาสาสมัครแต่อย่างใด

ข้อมูลที่ได้ในครั้งนี้ ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการทำปริญญานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา และอาจจะปรากฏข้อมูลต่อสาธารณชนเพื่อเผยแพร่ความรู้ทางด้านความเมื่อยล้าของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน โดยการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหากท่านมีข้อสงสัยประการใดในการศึกษาครั้งนี้ กรุณาติดต่อกลับมาที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ หรือ โทร 01-3994846

ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดของการศึกษาในครั้งนี้แล้วและข้าพเจ้ามีความสนใจที่จะเข้าร่วมในการศึกษาของ น.ส. ณัฐธิดา บังเมฆ ดังรายละเอียดข้างต้น

ลงชื่อ

....

( )

วันที่ /

โทรศัพท์.....

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวณัฐธิดา บังเมฆ
วัน เดือน ปีเกิด	5 ธันวาคม พ.ศ.2522
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 426 หมู่ที่ 6 ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง 52190
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2544	ระบบวุฒิการศึกษา ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) จากมหาวิยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2540	ระบบวุฒิการศึกษา ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนลำปางกัลยาณี อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง