



การคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อการบริหารข้อเข่า

Features Selection of Electromyogram for Knee Joint Exercise

สุพรพิศ ณ พิบูลย์

Supornpit Na Pibul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Electrical Engineering

Prince of Songkla University

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อการบริหารข้อเข่า
ผู้เขียน นางสุพรพิศ ฅ พิบูลย์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล)

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล)

.....
(รองศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อการบริหารข้อเข่า
ผู้เขียน	นางสุพรพิศ ฅ พิบูลย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการบริหารข้อเข่าโดยทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อบริเวณขา 3 มัด ได้แก่ **Quadriceps Femoris (QF)** **Biceps Femoris (BF)** และ **Gastrocnemius (GM)** จากอาสาสมัครคนปกติเพศชายและเพศหญิง จำนวน 15 คนต่อเพศ ที่มีอายุระหว่าง 20-30 ปี ในขณะที่วัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อให้อาสาสมัครทั้ง 30 คนทำกิจกรรมตามท่าการออกกำลังกายที่ใช้ในการบริหารข้อเข่า 10 ท่า หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่า **Root Mean Square Value (v_{rms})** **Mean Absolute Value (MAV)** **Slope Sign Changes (SSC)** **Zero Crossing (ZC)** **Willison Amplitude (WAMP)** และ **Waveform Length (WL)** นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆเขียนกราฟ scatter ในสามมิติ พบว่า ท่าทางที่ใช้ในการบริหารกล้ามเนื้อทั้ง 10 ท่า มีบางท่าให้ผลในการบริหารกล้ามเนื้อคล้ายกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกท่าที่นิยมใช้และให้ผลดีในการบริหารมา 4 ท่า ประกอบด้วย ท่าที่ 3 นั่งเหยียดเข่า ท่าที่ 6 ยืนเขย่งปลายเท้า ท่าที่ 7 ยืนบนส้นยกปลายเท้า และท่าที่ 10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง

หลังจากนั้นวิเคราะห์เพื่อจำแนกท่าทางการออกกำลังกายทั้ง 4 ท่า จากการหาค่า **RES index** ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการจำแนก โดยใช้ค่า **MAV** กับกล้ามเนื้อ **QF** และ **BF** สำหรับกล้ามเนื้อ **GM** จะใช้ค่า **WAMP** จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของข้อมูลในการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้ง 4 ท่า พบว่าค่าสัญญาณในมัดกล้ามเนื้อ **GM** และ **BF** จำแนกท่าที่ 6 และ 10 ได้ตามลำดับ แต่สำหรับท่าที่ 3 และ 7 ไม่สามารถใช้มัดกล้ามเนื้อเพียงมัดเดียวจำแนกได้ จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้ค่า **threshold** ที่เหมาะสมซึ่งเป็นค่าต่ำสุดในแต่ละมัดกล้ามเนื้อ ผลการวิเคราะห์ ของอาสาสมัครชายจากการทดลองทั้งหมด 180 ครั้ง มีความถูกต้อง 145 ครั้ง คิดเป็น 80% และในอาสาสมัครหญิงจากการทดลองทั้งหมด 180 ครั้ง มีความถูกต้อง 161 ครั้ง คิดเป็น 89% สุดท้ายผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์จากกล้ามเนื้อหลายมัดมาพิจารณาเพื่อสร้างเป็นสมการค่าความจริงให้ผลการจำแนกท่าทางการออกกำลังกายทั้ง 4 ท่า มีความถูกต้อง 100% โดยการออกกำลังท่าที่ 3 จะช่วยฟื้นฟูและทำให้มัด กล้ามเนื้อ **QF** มีความแข็งแรง การออกกำลังท่าที่ 6 จะช่วย

ฟื้นฟูและทำให้มัด กล้ามเนื้อ **GM** มีความแข็งแรง การออกกำลังกายที่**7** จะช่วยฟื้นฟูและทำให้มัด
กล้ามเนื้อ **GM** และกล้ามเนื้อบริเวณหน้าแข้งมีความแข็งแรง และการออกกำลังกายที่**10** จะช่วยฟื้นฟู
และทำให้มัด กล้ามเนื้อ **BF** มีความแข็งแรง

คำสำคัญ ลักษณะเด่น สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ข้อเข้า

Thesis Title Features Selection of Electromyogram for Knee Joint Exercise
Author Mrs. Supompit Napibul
Major Program Electrical Engineering
Academic Year 2011

ABSTRACT

This thesis presents salient features selection of Electromyogram (EMG) for types classification of knee strengthening exercises. Electromyogram (EMG) signal were measured from 3 muscles namely : Quadriceps Femoris (QF) Biceps Femoris (BF) and Gastrocnemius (GM), from 15 male and 15 female volunteers with the aging 20-30 years old. The EMG signals are being recorded while the volunteers perform 10 different types of exercise. Then the data has been analyzed in time domain namely Root Mean Square Value (V_{rms}) Mean Absolute Value (MAV) Slope Sign Changes (SSC) Zero Crossing (ZC) Willison Amplitude (WAMP) and Waveform Length (WL) were investigated. 3-D scatter plot for 10 types of exercise was implemented. The results show that some types of exercise have the same phenomenon and restore the same muscle. Therefore 4 types of exercise : 3th, 6th, 7th and 10th types were selected to study for types classification.

For classification of knee strengthening exercises from 4 types of exercise, an evaluation by using a statistical criterion method, namely RES index show that MAV and WAMP are suitable features to classify the type exercises. In addition by studying mean and standard deviation value of MAV and WAMP, MAV from QF and BF, WAMP from GM could be used to classify 3th type, 6th type, and 10th type respectively. From experimental results show that by thresholding classification rate were 80 % for male volunteer and 89 % for female volunteer. Finally by using 3 muscles and Boolean equation the classification were 100 % for male and female volunteers. By using 3th type to refresh and strengthen QF muscles, 6th type will refresh and strengthen GM muscles, 7th type will refresh and strengthen GM muscles and Tibialis anterior muscles, 10th type will refresh and strengthen BF muscles.

Keyword: Features selection, Electromyogram, Knee

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
หลักงานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนและฝึกฝนการทำวิจัย เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา
แนะนำความรู้ แนวคิด เอกสาร ข้อมูลต่างๆในการทำวิจัยเป็นอย่างดี รวมถึงการช่วยเหลือแก้ไข
ปัญหาที่เกี่ยวกับการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างลุล่วงสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่
ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา แนวคิดในการทำวิจัย คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือใน
งานวิจัย รวมทั้งจัดเวลากระบวนการคิดและให้กำลังใจในแก้ปัญหา ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไข
วิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างลุล่วงสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันตอมรทัต ประธานกรรมการ
สอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และตรวจทาน
แก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ (กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ) ที่
กรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ วิจารณ์ผลงาน อีกทั้ง
ตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้
โอกาสในการศึกษา และสนับสนุนทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าระหว่างศึกษา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้
ความรู้ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยและให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่างๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและครอบครัว ที่ส่งเสริม
สนับสนุน ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้กำลังใจที่ดีเยี่ยม จนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

สุพรพิศ ณ พิบูลย์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(15)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(18)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีและหลักการ	5
21 ความสำคัญและที่มา	5
21.1 โครงสร้างของข้อเข่า	5
21.2 กลไกการเกิดข้อเข่าเสื่อม	6
21.3 การรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม	7
21.31 การรักษาทั่วไป	7
21.32 การรักษาโดยการใช้ยา	11
21.33 การรักษาโดยการผ่าตัด	11
22 การเคลื่อนไหวของข้อเข่า	12
221 การเคลื่อนไหวข้อเข่าในระนาบ sagittal	12
221.1 การเหยียดข้อเข่า	12
221.2 การงอข้อเข่า	12
23 ลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อและสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	12
231 กล้ามเนื้อ (Muscle)	12
	(7)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
231.1	กล้ามเนื้อต้นขา	13
231.2	กล้ามเนื้อด้านหลังต้นขา	13
231.3	กล้ามเนื้อน่อง	14
232	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	14
24	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	15
241	อิเล็กโทรด (Electrode)	15
242	เครื่องขยายสัญญาณ (Instrument Amplifier)	15
25	การวัดลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	18
25.1	วิธี Root Mean Square Value	19
25.2	วิธี Mean Absolute Value	19
25.3	วิธี Slope Sign Changes	19
25.4	วิธี Zero Crossing	20
25.5	วิธี Willison Amplitude	20
25.6	วิธี Waveform Length	20
26	การจำแนกลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	21
26.1	วิธีหาค่า Separation index (RES index)	21
26.2	วิธีหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	22
26.3	วิธี Scatter plot	22
3	การทดลองและผลการทดลอง	24
31	การเก็บสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากอาสาสมัครเพศชายและเพศหญิง	24
32	การคำนวณค่าลักษณะเด่นต่างๆในโดเมนเวลา	29
33	การจัดกลุ่มท่าทางการออกกำลังกาย	36
4	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	46
41	วิเคราะห์ผลโดยการหาค่า Separation index (RES index)	46
42	วิเคราะห์ผลโดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล	49
43	วิเคราะห์ผลโดยกำหนดตารางค่าความจริงและสมการค่าความจริง	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	68
5.2.1 ปัญหา	68
5.2.2 ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก การติดตั้งเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขา	73
ภาคผนวก ข ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณ 500samples ของอาสาสมัคร เพศชายและหญิง จำนวน 15 คน/เพศ	76
ภาคผนวก ค ผลงานที่เผยแพร่	100
ประวัติผู้เขียน	107

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2-1 แสดงค่าอัตราขยายที่ความถี่ต่างๆกัน	16
3-1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 300 samples	31
3-2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 300 samples	32
3-3 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 300 samples	32
3-4 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 500 samples	33
3-5 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 500 samples	33
3-6 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 500 samples	34
3-7 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 700 samples	34
3-8 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 700 samples	35
3-9 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1) ช่วง 700 samples	35
3-10 ทำทางการออกกำลังภายในท่านั่งและยืนกับกล้ำมเนื้อที่เกี่ยวข้อง	36
4-1 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 300 samples	47
4-2 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 500 samples	47
4-3 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 700 samples	47
4-4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนก	49
4-5 ค่าเฉลี่ย(\bar{x})และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(s) ของอาสาสมัครชาย	50
4-6 ค่าเฉลี่ย(\bar{x})และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(s) ของอาสาสมัครหญิง	50

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
47 การกำหนดค่าสำหรับการจำแนกทำโดยพิจารณาจากค่า threshold	54
48 ผลการจำแนกทำที่ 3 6 7 และ 10 ของอาสาสมัครชาย จำนวน 15 คน	55
49 ผลการจำแนกทำที่ 3 6 7 และ 10 ของอาสาสมัครหญิง จำนวน 15 คน	59
410 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 3	64
411 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 6	64
412 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 7	64
413 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 10	64
5-1 ผลการจำแนกของอาสาสมัครชาย จากการทดลองทำละ 45 ครั้ง	67
5-2 ผลการจำแนกของอาสาสมัครหญิงจากการทดลองทำละ 45 ครั้ง	67
ข-1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1)	77
ข-2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1)	77
ข-3 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 1 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 1 (M1/W1)	78
ข-4 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 2 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 2 (M2/W2)	78
ข-5 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 2 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 2 (M2/W2)	79
ข-6 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 2 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 2 (M2/W2)	79
ข-7 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 3 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 3 (M3/W3)	80
ข-8 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 3 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 3 (M3/W3)	80

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-9 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGMของอาสาสมัครชายคนที่3/อาสาสมัครหญิงคนที่3(M3/W3)	81
ข-10 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQFของอาสาสมัครชายคนที่4/อาสาสมัครหญิงคนที่4(M4/W4)	81
ข-11 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBFของอาสาสมัครชายคนที่4/อาสาสมัครหญิงคนที่4(M4/W4)	82
ข-12 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGMของอาสาสมัครชายคนที่4/อาสาสมัครหญิงคนที่4(M4/W4)	82
ข-13 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQFของอาสาสมัครชายคนที่5/อาสาสมัครหญิงคนที่5(M5/W5)	83
ข-14 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBFของอาสาสมัครชายคนที่5/อาสาสมัครหญิงคนที่5(M5/W5)	83
ข-15 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGMของอาสาสมัครชายคนที่5/อาสาสมัครหญิงคนที่5(M5/W5)	84
ข-16 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQFของอาสาสมัครชายคนที่6/อาสาสมัครหญิงคนที่6(M6/W6)	84
ข-17 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBFของอาสาสมัครชายคนที่6/อาสาสมัครหญิงคนที่6(M6/W6)	85
ข-18 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGMของอาสาสมัครชายคนที่6/อาสาสมัครหญิงคนที่6(M6/W6)	85
ข-19 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQFของอาสาสมัครชายคนที่7/อาสาสมัครหญิงคนที่7(M7/W7)	86
ข-20 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBFของอาสาสมัครชายคนที่7/อาสาสมัครหญิงคนที่7(M7/W7)	86
ข-21 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGMของอาสาสมัครชายคนที่7/อาสาสมัครหญิงคนที่7(M7/W7)	87

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-22 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 8 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 8(M8/W8)	87
ข-23 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 8 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 8(M8/W8)	88
ข-24 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 8 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 8(M8/W8)	88
ข-25 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 9 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 9(M9/W9)	89
ข-26 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 9 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 9(M9/W9)	89
ข-27 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 9 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 9(M9/W9)	90
ข-28 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 10 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 10(M10/W10)	90
ข-29 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 10 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 10(M10/W10)	91
ข-30 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 10 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 10(M10/W10)	91
ข-31 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 11 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 11 (M11/W11)	92
ข-32 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายคนที่ 11 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 11 (M11/W11)	92
ข-33 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายคนที่ 11 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 11 (M11/W11)	93
ข-34 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายคนที่ 12 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 12(M12/W12)	93

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-35 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBF ของอาสาสมัครชายคนที่12/อาสาสมัครหญิงคนที่12(M12/W12)	94
ข-36 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGM ของอาสาสมัครชายคนที่12/อาสาสมัครหญิงคนที่12(M12/W12)	94
ข-37 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQF ของอาสาสมัครชายคนที่13/อาสาสมัครหญิงคนที่13(M13/W13)	95
ข-38 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBF ของอาสาสมัครชายคนที่13/อาสาสมัครหญิงคนที่13(M13/W13)	95
ข-39 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGM ของอาสาสมัครชายคนที่13/อาสาสมัครหญิงคนที่13(M13/W13)	96
ข-40 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQF ของอาสาสมัครชายคนที่14/อาสาสมัครหญิงคนที่14(M14/W14)	96
ข-41 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBF ของอาสาสมัครชายคนที่14/อาสาสมัครหญิงคนที่14(M14/W14)	97
ข-42 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGM ของอาสาสมัครชายคนที่14/อาสาสมัครหญิงคนที่14(M14/W14)	97
ข-43 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อQF ของอาสาสมัครชายคนที่15/อาสาสมัครหญิงคนที่15(M15/W15)	98
ข-44 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อBF ของอาสาสมัครชายคนที่15/อาสาสมัครหญิงคนที่15(M15/W15)	98
ข-45 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อGM ของอาสาสมัครชายคนที่15/อาสาสมัครหญิงคนที่15(M15/W15)	99

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 ท่าที่1 นั่งเหยียดข้อเท้ากระดูกข้อเท้าขึ้น	8
2-2 ท่าที่2 นั่งเหยียดข้อเท้าจิกปลายเท้าลง	9
2-3 ท่าที่3 นั่งเหยียดเข้า	9
2-4 ท่าที่4 นั่งเตะเท้าขึ้น และท่าที่5 นั่งเตะเท้าลง	9
2-5 ท่าที่6 ยืนเขย่งปลายเท้า	9
2-6 ท่าที่7 ยืนบนส้นยกปลายเท้า	10
2-7 ท่าที่8 ยืนเหวี่ยงขาออกข้าง	10
2-8 ท่าที่9 ยืนยกขาใกล้อก	10
2-9 ท่าที่10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง	11
2-10 กล้ามเนื้อต้นขา	13
2-11 กล้ามเนื้อด้านหลังต้นขาและกล้ามเนื้อน่อง	14
2-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับอัตราขยายของเครื่องขยายสัญญาณ	18
3-1 แสดงการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ	24
3-2 แสดงขั้นตอนการเก็บสัญญาณจาก 3 มัดกล้ามเนื้อ	25
3-3 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ QF ในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ของอาสาสมัครชายคนที่ 1	26
3-4 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ BF ในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ของอาสาสมัครชายคนที่ 1	26
3-5 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ GM ในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ของอาสาสมัครชายคนที่ 1	27
3-6 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ QF ในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ของอาสาสมัครหญิงคนที่ 1	28
3-7 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ BF ในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ของอาสาสมัครหญิงคนที่ 1	28

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ก-2 การติดอิเล็กโทรดบริเวณกล้ามเนื้อ BF(บน) และกล้ามเนื้อ GM(ล่าง)	74
ก-3 การติดอิเล็กโทรดบริเวณข้อมือ เป็นกราวด์ร่วม	75
ก-4 เครื่องมือวัดสัญญาณ	75
ก-5 A/D Labview card 6009	75

สัญลักษณ์ค่าย่อและตัวย่อ

QF	=	กล้ามเนื้อบริเวณต้นขาด้านหน้า (Quadriceps Femoris)
BF	=	กล้ามเนื้อด้านหลังต้นขา (Biceps Femoris)
GM	=	กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius)
V_{rms}	=	ค่ารากของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของสัญญาณ (Root Mean Square Value)
MAV	=	ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ (Mean Absolute Value)
SSC	=	จำนวนครั้งที่ความชันของรูปคลื่นมีการเปลี่ยนเครื่องหมาย (Slope Sign Changes)
ZC	=	จำนวนครั้งที่รูปคลื่นสัญญาณกล้ามเนื้อตัดผ่านระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ (Zero Crossing)
WAMP	=	จำนวนครั้งที่สัญญาณกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ (Willison Amplitude)
WL	=	ค่าสะสมของผลต่างระหว่างแรงดันปัจจุบันกับค่าแรงดันถัดไป (Waveform Length)
RES	=	RES index
d	=	ค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าสองค่าที่อยู่ห่างกัน
std	=	ค่าเฉลี่ยของผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
\bar{x}	=	ค่าเฉลี่ย
s	=	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
M	=	ผู้ชาย (MAN)
W	=	ผู้หญิง (WOMAN)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

โรคข้อเข่าเสื่อม เป็นปัญหาที่กระทบต่อคุณภาพชีวิต ทำให้ไปไหนมาไหนไม่สะดวก โรคข้อเข่าเสื่อมมักเกิดจากการใช้งานข้อที่ไม่ถูกต้อง หรือเป็นตามวัย มักพบในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย ซึ่งโดยทั่วไปมักเกิดในช่วงอายุมากกว่า 60 ปี นอกจากนี้ยังพบว่า มีโรคบางอย่างเป็นสาเหตุให้เกิดโรคข้อเข่าเสื่อมได้เร็วกว่าวัยอันควร เช่น โรคเอ็นภายในข้อเข่าฉีกขาด หมอนรองข้อเข่าแตก กระดูกสะบ้าหลุดหรือมีการติดเชื้อมาในข้อเข่า จากสถิติในปีล่าสุดพบว่าหนึ่งในสามของประชากรของประเทศไทยจะเป็นโรคข้อ [1] โดยจำนวนโรคข้อเข่าเสื่อมเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน (ร้อยละ 34.5-45.6) ทำให้ในปัจจุบันมีมูลนิธิโรคข้อในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ขึ้นมาทำการเผยแพร่ความรู้ให้คำแนะนำปรึกษาปัญหาเกี่ยวกับโรคข้อและกระดูก เพื่อช่วยเหลือเพื่อนมนุษย์

ข้อเข่าเป็นข้อต่อที่เกิดจากกระดูกตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปที่อยู่ใกล้กันมาเชื่อมต่อกัน โดยมีเอ็นและกล้ามเนื้อช่วยยึดเสริมความแข็งแรง ทำให้มีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนไหวได้สะดวกขึ้น การเคลื่อนไหวของร่างกายเกิดจากการทำงานร่วมกันของโครงกระดูก กล้ามเนื้อ และระบบประสาท โดยที่การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ยึดติดกับโครงกระดูก ทำให้กระดูกและข้อต่อเกิดการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อบางชนิดสามารถหดตัวได้เร็วมาก การเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าก็ตาม กล้ามเนื้อจะทำงานโดยการหดตัว และเมื่อหยุดทำงานกล้ามเนื้อจะคลายตัว

ผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมส่วนหนึ่งเข้าใจว่าโรคนี้ไม่สามารถทำให้ดีขึ้นได้และคิดว่าค่อยๆ แ่ลงจนเกิดข้อเข่าพิการ ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง เพราะในความเป็นจริงโรคนี้สามารถดูแลรักษาให้ดีขึ้นได้ ปัจจุบันได้มีการคิดวิธีการรักษาและชะลอการเสื่อมของข้อเข่า ซึ่งการบริหารกล้ามเนื้อรอบๆข้อเข่า เป็นหนึ่งในวิธีการชะลอการเสื่อมของข้อเข่า เพื่อช่วยให้การเคลื่อนไหวของข้อเข่าดีขึ้น และสามารถทรงตัวได้ดีเวลาขึ้นหรือเดิน [2] การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อรอบเข่า ได้แก่ การออกกำลังกายกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps Exercise) การออกกำลังกายกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings Exercise) เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าผู้สูงอายุที่มีการออกกำลังกายข้อเข่า จะทำให้ปัญหาโรคข้อเข่าเสื่อมลดลง และยังทำให้ผู้สูงอายุมีอารมณ์ดี

ขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญที่จะศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการบริหารข้อเข่าในท่าการบริหารข้อเข่าที่ให้ผลดีต่อการชะลอหรือลดปัญหาโรคข้อเข่าเสื่อม เพื่อสามารถนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกันต่อไป เช่น การเชื่อมต่อการออกกำลังกายแต่ละท่าไปยังเกมส์คอมพิวเตอร์เพื่อให้เกิดความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย หรือการนับจำนวนครั้งในการออกกำลังกายในแต่ละท่า

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 การคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้าจากกลุ่มกล้ามเนื้อ เพื่อตรวจจับสัญญาณที่บ่งบอกการกลืน [3]

บทความนี้กล่าวถึงการบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากกิจกรรมการเคี้ยวและกลืน จากนั้นนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อตรวจจับสัญญาณที่บ่งบอกการกลืน วิธีการที่นำมาใช้จะเป็นวิธีที่มีสมการคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อน จากการทดลองพบว่าการใช้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณ สามารถตรวจจับสัญญาณที่บ่งบอกการกลืนจากสัญญาณไฟฟ้าจากกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีกิจกรรมการเคี้ยวและการกลืนได้ดี

1.2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแขน **Biceps Brachii** ที่เกิดจากการยกน้ำหนักขณะที่แขนอยู่ในสภาวะสมดุล [4]

บทความนี้กล่าวถึงการนำเสนอรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์กับแรงที่ใช้ยกน้ำหนัก วิธีการวิเคราะห์มี 3 วิธี ประกอบด้วยวิธีการหาค่าความถี่มีเดียน, วิธีการหาค่าแรงดันประสิทธิผล และวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟอันดับที่ 1 พบว่าการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อด้วยวิธีออโตรีเกรสซีฟจะให้ผลการวิเคราะห์ของแต่ละคนใกล้เคียงกันมากที่สุด

1.2.3 An EMG-driven musculoskeletal model to estimate muscle forces and knee joint moment in vivo [5]

บทความนี้กล่าวถึงการพิจารณารูปแบบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ของข้อเข่ามนุษย์ ซึ่งสามารถนำมาทำนายการเคลื่อนไหวของข้อเข่า โดยกำหนดรูปแบบการเคลื่อนไหวใน

ขณะที่กล้ามเนื้อบริเวณข้อเข่า จำนวน 13 มัด มีการหดเกร็งตัว วิเคราะห์ผลการเคลื่อนไหวในสามมิติ พบว่ารูปแบบที่กำหนดใหม่ให้ผลในการทำงานได้ดีกว่าแบบที่ใช้ในปัจจุบัน

1.2.4 Surface electrode placement affects the EMG recording of the quadriceps muscles [6]

บทความนี้ได้พิจารณาการตรวจจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ของกล้ามเนื้อ **vastus medialis** และ **vas lateralia** ด้วยการใช้อิเล็กโทรดชนิดติดผิวหน้าว่าง 4 ตำแหน่ง ทำกิจกรรมระหว่างการเหยียดเข่าและงอเข่า โดยทดลองกับอาสาสมัครชาย คนปกติ จำนวน 8 คน หาความสัมพันธ์ของสัญญาณที่วัดได้ระหว่างกล้ามเนื้อ **vastus medialis obliquus (VMO)** และ **vastus lateralis (VL)** โดยวางอิเล็กโทรดตำแหน่งต่างๆกัน ทำการทดลองซ้ำๆกันแล้วหาค่า **root-mean-square** ของอัตราส่วนระหว่าง **VMO:VL** วิเคราะห์ผลโดยใช้ **ANOVA** ผลที่ได้สรุปว่าตำแหน่งการวางอิเล็กโทรดมีผลต่อการอ่านค่า **EMG** ของ กล้ามเนื้อ **vasti** ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงาน **biofeedback training** และงานเวชศาสตร์ฟื้นฟูของกล้ามเนื้อ **vasti**

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ใช้จำแนกทำออกกำลังกายในการบริหารข้อเข่า

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 วัดสัญญาณไฟฟ้าจากกลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายในท่าทางต่างๆในการบริหารข้อเข่าของคนไทย ทั้งเพศชายและหญิง อายุ **20-30** ปี จำนวนไม่น้อยกว่า **15** คนต่อเพศ โดยศึกษาจากคนปกติที่ไม่ได้ฝึกทางขา

1.4.2 วิเคราะห์หาลักษณะเด่นของสัญญาณ ไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อที่ได้จากการออกกำลังกายและทำการจำแนกทำออกกำลังกายในการบริหารข้อเข่า

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 รวบรวมและศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1.5.2 ศึกษาหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ ที่เป็นจุดเริ่มต้นและสัมพันธ์กับการออกกำลังกายในท่าทางต่างๆในการบริหารข้อเข่า

1.5.3 บันทึกลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่างๆ จากคนปกติ ในกิจกรรมการออกกำลังกายกล้ามเนื้อขาสำหรับผู้สูงอายุ

1.5.4 หาลักษณะเฉพาะที่เป็นลักษณะเด่น (**Salient features**) ของสัญญาณไฟฟ้าที่ตรวจจับได้ในแต่ละกิจกรรม

1.5.5 จำแนก (**Classifier**) ลักษณะเด่นของสัญญาณที่ได้ในแต่ละกิจกรรมการออกกำลังกายในท่าทางต่างๆในการบริหารข้อเข่า

1.5.6 สรุปผลการวิจัย และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อที่ใช้ในการออกกำลังกายข้อเข่า และการวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อเพื่อการจำแนกท่าทางการออกกำลังกายในการบริหารข้อเข่า

1.6.2 สามารถนำเอาวิธีการที่ใช้หาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อเพื่อการจำแนกท่าทางการออกกำลังกายในการบริหารข้อเข่าไปใช้ในการวิจัยและพัฒนาการทำอุปกรณ์เสริมเพื่อการออกกำลังกายบริหารข้อเข่า

1.6.3 สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้สนใจ จะทำการวิจัยในลักษณะที่ใกล้เคียงกันต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการวัดและจำแนกลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งจะแบ่งหัวข้อออกเป็น 6 ประเด็น ดังนี้ ประเด็นที่หนึ่ง ความสำคัญและที่มา ประเด็นที่สอง การเคลื่อนไหวของข้อเข่า ประเด็นที่สาม ลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อและสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ประเด็นที่สี่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ประเด็นที่ห้า การวัดลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และประเด็นที่หก การจำแนกลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2.1 ความสำคัญและที่มา

ข้อเข่าเสื่อมหรือโรคข้อเข่าเสื่อมเป็นภาวะที่ข้อเข่าผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานเกิดการเสื่อมของข้อ ทำให้มีการงอกของกระดูก เวลาเดินจะเจ็บข้อ มีการผิดรูปของข้อเข่า โรคข้อเข่าเสื่อมมักพบในผู้สูงอายุทำให้เกิดความทรมานแก่ผู้สูงอายุเป็นอย่างยิ่ง คุณภาพชีวิตลดลง และทำให้โรคอื่น ๆ กำเริบ เช่น โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง เนื่องจากออกกำลังกายไม่ได้

2.1.1 โครงสร้างของข้อเข่า

จากการศึกษา [7] ได้อธิบายโครงสร้างของข้อเข่าประกอบด้วยกระดูก 3 ส่วน คือ

1. กระดูกต้นขาหรือทางการแพทย์เรียกว่า กระดูก **femur** ซึ่งเป็นกระดูกส่วนบนของขา
2. กระดูกหน้าแข้งทางการแพทย์เรียกว่า กระดูก **tibia** ซึ่งเป็นกระดูกส่วนล่างของข้อเข่า
3. กระดูกลูกสะบ้าทางการแพทย์เรียกว่า กระดูก **patella** ซึ่งอยู่ด้านหน้าของขา

ผิวของข้อเข่าจะมีกระดูกอ่อน (cartilage) รูปครึ่งวงกลมซึ่งทำหน้าที่กระจายน้ำหนัก ในข้อเข่าจะมีน้ำหล่อลื่น เรียกว่า **synovial fluid** ซึ่งจะเป็นน้ำหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อรอบข้างซึ่งป้องกันการสึกของข้อ นอกจากนี้จะมีกล้ามเนื้อและเอ็นรอบข้อทำให้ข้อแข็งแรง

21.2 กลไกการเกิดข้อเข่าเสื่อม

เข่าของคนเราเป็นข้อที่ใหญ่และต้องทำงานมากทำให้เกิดโรคที่เข่าได้ง่าย ข้อเข่าเสื่อม หมายถึง การที่กระดูกอ่อนของข้อมีการเสื่อมสภาพทำให้กระดูกอ่อนไม่สามารถเป็นเบาะรองรับน้ำหนัก และมีการสูญเสียคุณสมบัติของน้ำหล่อเลี้ยงเข่า เมื่อมีการเคลื่อนไหวของเข่า ก็จะเกิดการเสียดสีและเกิดการสึกหรอของกระดูกอ่อน ผิวของกระดูกอ่อนจะแข็งผิวไม่เรียบ เมื่อเคลื่อนไหวข้อเข่าก็จะเกิดเสียงดังในข้อเกิดอาการเจ็บปวด หากข้อเข่าที่เสื่อมมีการอักเสบก็จะมีสารน้ำข้อเข่าเพิ่มทำให้เกิดอาการบวมตึงและปวดข้อเข่า เมื่อมีการเสื่อมของข้อเข่ามากขึ้นข้อเข่าก็จะมีอาการโก่งงอทำให้เกิดอาการปวดเข่าทุกครั้งที่มีการเคลื่อนไหว และขนาดของข้อเข่าก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ในที่สุดผู้ป่วยต้องใช้ไม้เท้าช่วยเดินหรือบางคนเดินน้อยลง ทำให้กล้ามเนื้อต้นขาลีบลง ข้อจะติดเหมือนมีสนิมเกาะเหยียดขาได้ไม่สุด

อาการที่สำคัญ ได้แก่

- อาการปวดเข่า เป็นอาการสำคัญเริ่มแรกจะปวดเมื่อยตึงทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเข่าหรือบริเวณน่อง เมื่อเป็นมากขึ้นจะปวดบริเวณเข่าเมื่อมีการเคลื่อนไหว ลูกนั่งหรือเดินขึ้นบันไดไม่คล่องเหมือนเดิม

- มีเสียงในข้อ เมื่อเคลื่อนไหวผู้ป่วยจะรู้สึกมีเสียงในข้อและปวดเข่า
- อาการบวม ถ้าข้อมีการอักเสบก็จะเกิดข้อบวม
- ข้อเข่าโก่งงอ อาจจะโก่งด้านนอกหรือด้านใน ทำให้ขาสั้นลงเดินลำบากและมี

อาการปวดเวลาเดิน

- ข้อเข่ายึดติด ผู้ป่วยจะไม่สามารถเหยียดหรืองอขาได้สุดเหมือนเดิมเนื่องจากการยึดติดภายในข้อ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อเสื่อม

- อายุมากมีโอกาสเป็นมากเนื่องจากอายุการใช้งานข้อเข่ามาก
- เพศหญิงจะเป็นโรคข้อเสื่อมมากกว่าผู้ชาย 2 เท่า
- น้ำหนัก ยิ่งน้ำหนักตัวมากข้อเข่าจะเสื่อมเร็ว
- การใช้ข้อเข่า ผู้ที่นั่งยองๆ นั่งขัดสมาธิ หรือนั่งพับเพียบนานๆ จะพบข้อเข่า

เสื่อมเร็ว

- การได้รับบาดเจ็บบริเวณข้อเข่า ผู้ที่ได้รับอุบัติเหตุที่ข้อเข่าไม่ว่าจะกระดูกข้อเข่าแตกหรือเอ็นฉีก จะเกิดข้อเข่าเสื่อมได้
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและกระดูก ผู้ที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอและได้รับแคลเซียมในปริมาณที่พอเพียงจะชะลอการเสื่อมของข้อเข่า

21.3 การรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม

โรคข้อเข่าเสื่อมเป็นโรคของผู้สูงอายุ หากเป็นแล้วจะไม่สามารถรักษาให้เหมือนเดิม ดังนั้นการรักษาข้อเข่าเสื่อมจึงมีจุดประสงค์เพื่อบรรเทาอาการเจ็บปวด ป้องกันข้อโก่งงอ เป็นต้น การรักษาแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี

1. การรักษาทั่วไป
2. การรักษาโดยการใช้ยา
3. การรักษาโดยการผ่าตัด

21.31 การรักษาทั่วไป ทำได้โดย

- ปฏิบัติตัวเพื่อหลีกเลี่ยงต่อการเกิดข้อเข่าเสื่อม เช่น การยกของหนัก การนั่งพับเพียบ นั่งยองๆ การนั่งสมาธิเป็นเวลานานๆ การใช้ส้วมชนิดนั่งยองๆ การนอนกับพื้นเป็นประจำ เพราะลุกขึ้นหรือนอนลงจะเกิดอันตรายกับเข่า หลีกเลี่ยงการขึ้นบันไดบ่อยๆ ควรจะนั่งเก้าอี้ไม่ควรนั่งบนพื้น

- การลดน้ำหนักซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่จะลดอาการปวดและช่วยชะลอข้อเข่าเสื่อม
- การออกกำลังกายและการบริหารกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะการบริหารกล้ามเนื้อต้นขาจะทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรงจะช่วยลดแรงที่กระทำต่อเข่า วิธีการบริหารสามารถทำได้โดยการยืน มือเกาะกับเก้าอี้ ย่อตัวให้เข่างอเล็กน้อย นับ 3-6 แล้วยืนตรง ทำซ้ำ 3-6 ครั้ง หรืออาจจะทำได้โดยนั่งบนเก้าอี้เหยียดขาเกร็งไว้ 10 วินาทีแล้วจึงงอเข่า ทำซ้ำหลายครั้ง นอกจากนั้นการเดินเร็วหรือการไถ่น้ำจะช่วยกระตุ้นให้กระดูกแข็งแรง

- เวลาเดินหรือวิ่งให้ใส่รองเท้าสำหรับเดินหรือวิ่งซึ่งจะมีพื้นกันกระแทก
- ใ้ใช้เข่าเหมือนปกติ หากมีอาการปวดให้พักเข่า
- ใช้ไม้เท้าถ้าเวลาจะลุกขึ้น อย่าหยุดใช้งาน
- เวลาขึ้นบันไดให้ก้าวข้างดีขึ้นก่อน เวลาลงให้ก้าวข้างปวดลงก่อน มือจับราวบันได

- ควบคุมอุณหภูมิเวลาปวดเข่า
- การทำกายภาพบำบัด แพทย์จะแนะนำวิธีการบริหารกล้ามเนื้อและข้อเข่าเพื่อลดอาการปวด ป้องกันข้อติด ป้องกันข้อผิดรูป รวมทั้งให้กล้ามเนื้อและกระดูกแข็งแรง ที่สำคัญต้องปฏิบัติเป็นประจำจึงได้ผลดี

การบริหารกล้ามเนื้อ

การพักกล้ามเนื้อเป็นวิธีที่ดีสำหรับการรักษาข้อเข่าเสื่อม แต่ต้องมีการออกกำลังกายหรือบริหารข้อเข่าอย่างเหมาะสม การออกกำลังกายจะช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรง ป้องกันข้อติด การเคลื่อนไหวของข้อดีขึ้น การบริหารมีให้เลือกหลายท่า การบริหารที่สามารถทำได้บ่อยๆ วิธีง่ายๆ ทำได้ด้วยตัวเอง ทำสำหรับการบริหารข้อเข่าในผู้สูงอายุ[8] ดังนี้

ท่าที่1 นั่งเหยียดข้อเท้ากระดูกข้อเท้าขึ้นให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

ท่าที่2 นั่งเหยียดข้อเท้าจิกปลายเท้าลงให้มากที่สุด

ท่าที่3 นั่งเหยียดเข่าขึ้นมาให้ตรง หยุดและเกร็ง แล้วดึงเท้ากลับวางบนพื้น

ท่าที่4 นั่งเตะเท้าขึ้น โดยการเกร็งและงอเข่า

ท่าที่5 นั่งเตะเท้าลง โดยการเกร็งและงอเข่า

ท่าที่6 ยืนเขย่งปลายเท้า หยุดค้างไว้เล็กน้อย แล้วลงกลับที่เดิม

ท่าที่7 ยืนบนส้นขกปลายเท้า หยุดค้างไว้เล็กน้อย แล้วลงกลับที่เดิม

ท่าที่8 ยืนเหยียดขาออกข้าง โดยการยกขาออกไปด้านข้าง ปลายเท้าชี้ไปข้างหน้า

เข่าเหยียด เอวตั้งตรงไม่เอียง

ท่าที่9 ยืนยกขาใกล้อก เป็นท่าอสะโพก งอขาขึ้นมาให้ใกล้กับอก พยายามอย่าให้

ลำตัวอ

ท่าที่10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง เป็นท่าเหยียดสะโพก เหยียดขาไปด้านหลัง ให้เข่า

เหยียดตรง แสดงดังภาพประกอบ 2-1 ถึง 2-9



ภาพประกอบ 2-1 ท่าที่1 นั่งเหยียดข้อเท้ากระดูกข้อเท้าขึ้น



ภาพประกอบ 2-2 ทำที่ 2 นั่งเหยียดข้อเท้าจิกปลายเท้าลง



ภาพประกอบ 2-3 ทำที่ 3 นั่งเหยียดเข่า



ภาพประกอบ 2-4 ทำที่ 4 นั่งเต้าขึ้น และทำที่ 5 นั่งเต้าลง



ภาพประกอบ 2-5 ทำที่ 6 ยืนเขย่งปลายเท้า



ภาพประกอบ 2-6 ท่าที่ 7 ยืนบนส้นขปลายเท้า



ภาพประกอบ 2-7 ท่าที่ 8 ยืนเหยียดขาออกข้าง



ภาพประกอบ 2-8 ท่าที่ 9 ยืนยกขาโก่ล็อก



ภาพประกอบ 2-9 ทำที่ 10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง

21.32 การรักษาโดยการให้ยา

หากการรักษาทั่วไปไม่สามารถลดอาการปวด จำเป็นต้องใช้ยาในการรักษาซึ่งมีหลายชนิดให้เลือก ดังนี้

1. ยาแก้ปวดเป็นยาลดอาการปวดแต่ไม่ได้แก้อการอักเสบ พอหมดฤทธิ์ยาก็ปวดอีก เช่น ยา **paracetamol**

2. ยาแก้อักเสบ **steroid** เมื่อสมัยก่อนนิยมใช้กันมากทั้งชนิดรับประทานและชนิดฉีดเข้าข้อ แต่ปัจจุบันความนิยมลดลง เนื่องจากผลข้างเคียง โดยเฉพาะยาที่ฉีดเข้าข้อจะทำให้ข้อเข่าเสื่อมเร็วขึ้น

3. ยาแก้อักเสบที่ไม่ใช่ **steroid** ยากลุ่มนี้นิยมใช้กันมาก แต่ต้องระวังการเกิดโรคแทรกซ้อน

4. ยาบำรุงกระดูกอ่อน ได้ผลช้าและใช้ค่าใช้จ่ายสูงจึงไม่เป็นที่นิยม

5. การใช้น้ำหล่อเลี้ยงข้อชนิดเทียม เนื่องจากโรคข้อเสื่อมจะมีน้ำหล่อเลี้ยงข้อน้อยทำให้มีการเสียดสีของข้อ จึงได้มีการฉีดน้ำหล่อเลี้ยงข้อเทียมเข้าไปในข้อ **3-5** ครั้งแต่ละครั้ง ห่างกัน **1** สัปดาห์ ซึ่งจะทำให้ลดการเสียดสีของข้อ ลดอาการปวด แต่การฉีดยานี้ใช้ได้เฉพาะข้อที่เสื่อมไม่มาก

21.33 การรักษาโดยการผ่าตัด

ปัจจุบันได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากได้ผลดีและโรคแทรกซ้อนไม่มาก วิธีการผ่าตัดมีได้หลายวิธี ดังนี้

1. การผ่าตัดโดยการส่องกล้อง (**arthroscope**) เหมาะสำหรับข้อที่เสื่อมไม่มาก แพทย์จะเข้าไปเอาสิ่งสกปรกที่เกิดจากการเสียดสีออกมา

2. การผ่าตัดแก้ความโค้งงอของเข่า วิธีนี้ต้องตัดกระดูกบางส่วนออกทำให้ใช้เวลาานาน กว่าะใช้งานได้ ปัจจุบันนิยมลดลง

3 การผ่าตัดใส่ข้อเข่าเทียม คือการใส่ข้อเข่าเทียมเข้าแทนข้อที่เสื่อม ซึ่งผลการผ่าตัดทำให้หายปวด ผู้ป่วยใช้ชีวิตได้ดีขึ้น

2.2 การเคลื่อนไหวของข้อเข่า

จากการศึกษา [9] ข้อเข่าเป็นข้อต่อที่ใหญ่โตที่สุดในร่างกายที่ต้องรับน้ำหนักของร่างกาย มีความสำคัญต่อการเดิน การวิ่ง และนอกจากนี้ยังมีระยะการเคลื่อนไหวที่มากอีกด้วย จากลักษณะโครงสร้างของข้อต่อ ซึ่งเป็นชนิดบานพับที่มีการดัดแปลงไป ทำให้ข้อต่อขาดความมั่นคง จึงเสี่ยงต่ออันตรายมากที่สุด โดยเฉพาะนักกีฬา ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีน้ำหนักเกินกว่าปกติ

2.2.1 การเคลื่อนไหวข้อเข่า ในระนาบ sagittal แบ่งการเคลื่อนไหวได้เป็น

2.2.1.1 การเหยียดข้อเข่า เข่าจะเหยียดได้มากน้อยอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับท่าของข้อสะโพกด้วย เนื่องจากทั้งข้อสะโพกและข้อเข่ามีกล้ามเนื้อที่ผ่าน 2 ข้อต่อกลุ่มเดียวกัน เช่น กล้ามเนื้อ **rectus femoris** และกล้ามเนื้อ **hamstrings** เป็นต้น กล้ามเนื้อที่สำคัญในการเหยียดเข่า คือ กล้ามเนื้อ **quadriceps** เป็นกล้ามเนื้อที่แข็งแรงมาก แข็งแรงกว่ากล้ามเนื้อในการงอเข่าประมาณ 3 เท่า

2.2.1.2 การงอข้อเข่า เหมือนกับการเหยียดข้อเข่าจะได้ระยะการเคลื่อนไหวมากน้อยอย่างไรขึ้นอยู่กับท่าของข้อสะโพกด้วย ถ้างอเข่าพร้อมกับงอข้อสะโพกด้วย ได้ค่าประมาณ 140 องศา แต่ถ้างอเข่าพร้อมกับเหยียดข้อสะโพก จะได้ค่าประมาณ 120 องศา กล้ามเนื้อที่งอข้อเข่าได้แก่ กล้ามเนื้อ **hamstrings** กล้ามเนื้อกลุ่ม **pes anserine** และกล้ามเนื้อ **popliteus**

2.3 ลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อและสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2.3.1 กล้ามเนื้อ (Muscle)

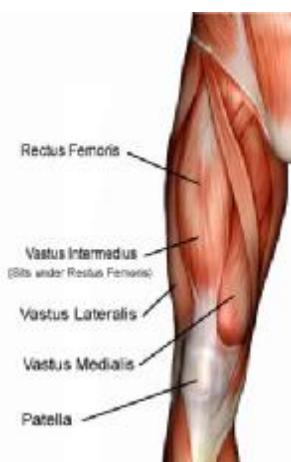
กล้ามเนื้อ [10] แบ่งออกเป็น กล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย (**Skeletal muscle**) กล้ามเนื้อเรียบ (**Smooth muscle**) และกล้ามเนื้อหัวใจ (**Cardiac muscle**) ทำหน้าที่หดตัวเพื่อให้เกิดแรงและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ กล้ามเนื้อบางส่วนหดตัวได้นอกอำนาจจิตใจ และจำเป็นต่อการดำรงชีวิต เช่น การบีบตัวของหัวใจ หรือการบีบรัด (**peristalsis**) ทำให้เกิดการผลักดันอาหาร

เข้าไปในทางเดินอาหาร การหดตัวของกล้ามเนื้อที่อยู่ใต้อำนาจจิตใจเช่นกล้ามเนื้อในส่วนรยางค์ล่างมีความสำคัญในการเคลื่อนไหว การลงน้ำหนัก และการรักษาไว้ซึ่งความสมดุลของร่างกาย กล้ามเนื้อที่จำเป็นสำหรับการเดิน ยืน นั่งและขึ้นลงบันได ประกอบด้วย

2.3.1.1 กล้ามเนื้อต้นขา (thigh muscles)

กล้ามเนื้อต้นขา[11] บริเวณกล้ามเนื้อ **Quadriceps Femoris (QF)** ดังแสดงในภาพประกอบ 2-10 เป็นกล้ามเนื้อที่สำคัญมากในการเหยียดเข่าและเป็นกล้ามเนื้อมัดที่ใหญ่ที่สุดในร่างกาย กลุ่มด้านหน้าของต้นขาเกือบทั้งหมด กล้ามเนื้อต้นขาประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 4 มัด คือ

1. **Rectus femoris** ทำหน้าที่งอสะโพกและเหยียดเข่า
2. **Vastus medialis** ทำหน้าที่เหยียดเข่า โดยเฉพาะ 30 องศาสุดท้าย
3. **Vastus intermedius** ทำหน้าที่เหยียดเข่า
4. **Vastus lateralis** ทำหน้าที่เหยียดเข่า



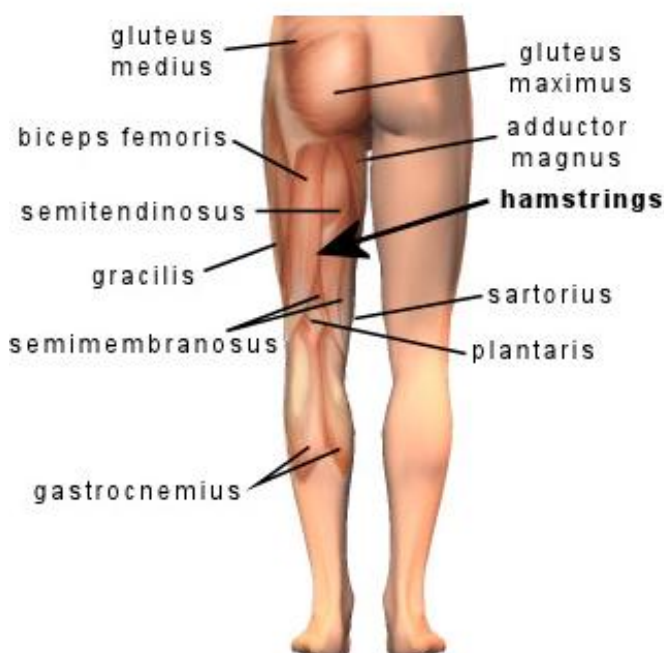
ภาพประกอบ 2-10 กล้ามเนื้อ **Quadriceps Femoris** [12]

2.3.1.2 กล้ามเนื้อด้านหลังต้นขา

ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 3 มัด เรียกว่า กล้ามเนื้อ **hamstrings** ดังแสดงในภาพประกอบ 2-11 กล้ามเนื้อเหล่านี้ทอดอยู่ระหว่างข้อสะโพกและข้อเข่า ทำหน้าที่เหยียดต้นขาและงอเข่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเดิน การทำงานทั้ง 2 อย่างข้างต้นไม่สามารถทำพร้อมกันได้เต็มที่

2.3.1.3 กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius)

ทอดอยู่ที่ต้นที่สุด ทำให้เกิดส่วนนูน เรียกว่า น่อง ดังแสดงในภาพประกอบ 2-11 มีรูปร่างคล้ายกระสวยมี 2 หัว เนื่องจากใยกล้ามเนื้อทอดในแนวตั้ง ฉะนั้นเมื่อก้ามเนื้อหดตัวจึงทำให้เกิดการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ขณะวิ่งและกระโดด หน้าที่หลัก คือ เหยียดข้อเท้าและงอปลายขา



ภาพประกอบ 2-11 กล้ามเนื้อด้านหลังต้นขาและกล้ามเนื้อน่อง [13]

2.3.2 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram)

กระบวนการเกิดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นเกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย [14] โดยการได้รับการกระตุ้นโดยสัญญาณประสาท (Nerve Impulse) ที่มาจากเซลล์ประสาท กล้ามเนื้อลายเป็น **Excitable Tissue** ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าขึ้นได้เองเมื่อได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสม สัญญาณไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านเส้นประสาท

มาถึง **Neuromuscular Junction** จะทำให้เกิดการหลั่งสารสื่อประสาท (**Acetylcholine**) ที่บริเวณปลายประสาทเกิด **End plate potential** ขึ้น ซึ่งชักนำไปให้ **Plasma membrane** ของเซลล์กล้ามเนื้อที่ติดกับ **Motor end plate** เกิด **Depolarization** จนถึง **Threshold voltage** ก็จะทำให้เกิด **Action potential** กระจายไปในเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อ

24 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

241 อิเล็กโทรด (Electrode)

ใช้อิเล็กโทรดชนิดติดผิวหนัง (**Surface Electrode**) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง **1 cm** ตรวจจับสัญญาณ **EMG** โดยติดบริเวณกล้ามเนื้อดังนี้

1. กล้ามเนื้อต้นขา 1 ตำแหน่ง ที่บริเวณกล้ามเนื้อ **Quadriceps** ตรงกล้ามเนื้อ **Rectus femoris** ที่ตำแหน่งเหนือเข่าประมาณ **4** เซนติเมตร

2. กล้ามเนื้อด้านหลังต้นขา 1 ตำแหน่ง ที่บริเวณกล้ามเนื้อ **Hamstrings** ตรงกล้ามเนื้อ **Biceps Femoris**

3. กล้ามเนื้อบริเวณน่อง 1 ตำแหน่ง ที่บริเวณกล้ามเนื้อ **Gastrocnemius**

ใช้อิเล็กโทรดอีก 1 อัน ติดบริเวณข้อมือ 1 ตำแหน่ง เพื่อเป็นกราวด์ร่วม

242 เครื่องขยายสัญญาณ (Instrument Amplifier)

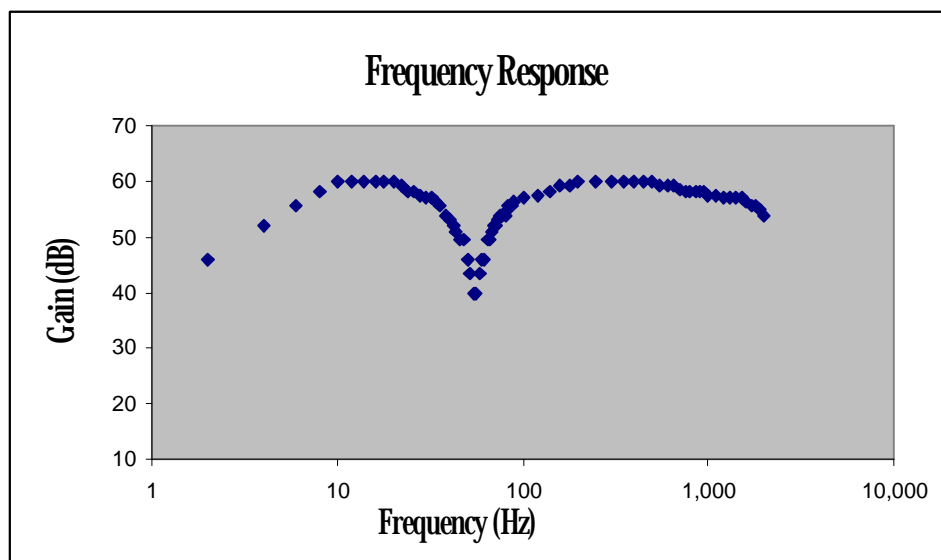
ในการจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้พัฒนาเครื่องขยายสัญญาณ [15] ทำให้ได้เครื่องวัดมีค่าอัตราขยายประมาณ **1,000** เท่า ค่า **Common-Mode Rejection Ratio (CMRR)** ประมาณ **89 dB** มีวงจรกรองความถี่ผ่านในช่วง **8 Hz - 1.2 kHz** และวงจร **Notch filter** เพื่อกำจัดความถี่ **50 Hz** ทำการบันทึกสัญญาณโดยใช้ **NI USB-6009 Labview card** กำหนดอัตราการสุ่ม **1,024** ครั้งต่อวินาที การทดสอบ **Frequency Response** ของเครื่องขยายสัญญาณ สามารถทำได้โดยป้อนสัญญาณ รูปไซน์ที่มีขนาดแรงดัน **1 mV** ที่มีความถี่ต่างๆ กันเข้าที่ช่องอินพุทของเครื่องขยาย จากนั้นทำการวัดแรงดันเอาต์พุท ที่ช่องเอาต์พุทของเครื่องขยาย เพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราขยาย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าอัตราขยายที่ความถี่ต่างๆกัน

Frequency (Hz)	Vin(V)	Vout(V)	Gain(Vout/Vin)	Gain(dB)
2	0.001	0.2	200	46.021
4	0.001	0.4	400	52.041
6	0.001	0.6	600	55.563
8	0.001	0.8	800	58.062
10	0.001	1	1000	60.000
12	0.001	1	1000	60.000
14	0.001	1	1000	60.000
16	0.001	1	1000	60.000
18	0.001	1	1000	60.000
20	0.001	1	1000	60.000
22	0.001	0.9	900	59.085
24	0.001	0.8	800	58.062
26	0.001	0.8	800	58.062
28	0.001	0.75	750	57.501
30	0.001	0.7	700	56.902
32	0.001	0.7	700	56.902
34	0.001	0.65	650	56.258
36	0.001	0.6	600	55.563
38	0.001	0.5	500	53.979
40	0.001	0.45	450	53.064
42	0.001	0.4	400	52.041
44	0.001	0.35	350	50.881
46	0.001	0.3	300	49.542
48	0.001	0.3	300	49.542
50	0.001	0.2	200	46.021
52	0.001	0.15	150	43.522
54	0.001	0.1	100	40.000
56	0.001	0.1	100	40.000
58	0.001	0.15	150	43.522
60	0.001	0.2	200	46.021
62	0.001	0.2	200	46.021
64	0.001	0.3	300	49.542
66	0.001	0.3	300	49.542

Frequency (Hz)	Vin(V)	Vout(V)	Gain(Vout/Vin)	Gain(dB)
68	0.001	0.35	350	50.881
70	0.001	0.4	400	52.041
72	0.001	0.4	400	52.041
74	0.001	0.45	450	53.064
76	0.001	0.5	500	53.979
78	0.001	0.5	500	53.979
80	0.001	0.5	500	53.979
82	0.001	0.55	550	54.807
84	0.001	0.6	600	55.563
86	0.001	0.6	600	55.563
88	0.001	0.6	600	55.563
90	0.001	0.65	650	56.258
100	0.001	0.7	700	56.902
120	0.001	0.75	750	57.501
140	0.001	0.8	800	58.062
160	0.001	0.9	900	59.085
180	0.001	0.9	900	59.085
200	0.001	1	1000	60.000
250	0.001	1	1000	60.000
300	0.001	1	1000	60.000
350	0.001	1	1000	60.000
400	0.001	1	1000	60.000
450	0.001	1	1000	60.000
500	0.001	1	1000	60.000
550	0.001	0.9	900	59.085
600	0.001	0.9	900	59.085
650	0.001	0.9	900	59.085
700	0.001	0.85	850	58.588
750	0.001	0.8	800	58.062
800	0.001	0.8	800	58.062
850	0.001	0.8	800	58.062
900	0.001	0.8	800	58.062
950	0.001	0.8	800	58.062
1,000	0.001	0.75	750	57.501
1,100	0.001	0.75	750	57.501
1,200	0.001	0.7	700	56.902
1,300	0.001	0.7	700	56.902
1,400	0.001	0.7	700	56.902
1,500	0.001	0.7	700	56.902
1,600	0.001	0.65	650	56.258
1,700	0.001	0.6	600	55.563
1,800	0.001	0.6	600	55.563
1,900	0.001	0.55	550	54.807
2,000	0.001	0.5	500	53.979

จากตารางที่ 2-1 เขียนกราฟได้ดังภาพประกอบ 2-12



ภาพประกอบ 2-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับอัตราขยายของเครื่องขยายสัญญาณ

2.5 การวัดลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG Feature Extraction)

การวัดลักษณะของสัญญาณ คือ กระบวนการวัดคุณสมบัติของสัญญาณ โดยคุณสมบัติที่กล่าวถึงนี้ คือ ลักษณะเฉพาะตัวของสัญญาณ (**Feature**) นั้นๆ ซึ่งจะต้องเป็นปริมาณที่สามารถวัดค่าได้และมีค่าเป็นตัวเลขซึ่งการจำแนกท่าทางบางท่าที่มีลักษณะเฉพาะตัวบางอย่างคล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเลือกลักษณะเด่น (**Salient features**) เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้จำแนกลักษณะท่าทางต่างๆ ออกจากกันได้อย่างชัดเจน ในกรณีสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อสัญญาณที่วัด ก็คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะพบว่าสัญญาณมีลักษณะเฉพาะตัวหลายๆ ชนิด เช่น ขนาดแรงดันสูงสุด ขนาดแรงดันเฉลี่ยในหนึ่งหน่วยเวลา

ผลที่ได้จากกระบวนการวัดคุณสมบัติของสัญญาณ คือ ค่าคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งหากนำมาจัดวางในรูปแบบเวกเตอร์ก็จะได้ **Feature vector** ซึ่งเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติทั้งหมดที่วัดจากสัญญาณนั้นๆ ที่อยู่ในรูปเวกเตอร์

การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาลักษณะต่างๆ ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งถูกส่งเข้ามาสู่คอมพิวเตอร์ด้วยค่าความถี่ในการส่งข้อมูลที่ โดยการวิเคราะห์ในโดเมนเวลา (**Time domain**) ดังนี้

2.5.1 Root Mean Square Value (V_{rms})

เป็นการหาค่ารากของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยได้ผลลัพธ์เป็นปริมาณสเกลาร์หนึ่งค่า ซึ่งคำนวณค่า V_{rms} ได้จาก

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2} \quad (2-1)$$

เมื่อ

x_n = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่คอมพิวเตอร์ทำการสุ่มเข้ามาครั้งที่ n

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่คอมพิวเตอร์สุ่มเข้ามา

2.5.2 Mean Absolute Value (MAV)

เป็นการหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในบางงานวิจัย เรียกว่า **Integral of absolute value (IAV)** ได้ผลลัพธ์เป็นปริมาณสเกลาร์หนึ่งค่า คำนวณค่า **MAV** ได้จาก

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_n| \quad (2-2)$$

2.5.3 Slope Sign Changes (SSC)

เป็นการหาจำนวนครั้งที่ความชันของรูปคลื่นมีการเปลี่ยนเครื่องหมาย จาก การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มีการกำหนดค่า **Threshold** ในช่วง **20- 40mV** ได้ผลลัพธ์เป็น ปริมาณสเกลาร์หนึ่งค่า คำนวณค่า **SSC** ได้จาก

$$SSC = \sum_{n=2}^{N-1} [f[(x_n - x_{n-1}) \times (x_n - x_{n+1})]] \quad (2-3)$$

เมื่อ

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

2.5.4 Zero Crossing (ZC)

เป็นการหาจำนวนครั้งที่รูปคลื่นสัญญาณกล้ามเนื้อตัดผ่านระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ หรือเปลี่ยนจากสัญญาณบวกเป็นลบ หรือจากสัญญาณลบเป็นบวก จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มีการกำหนดค่า **Threshold** ในช่วง **20 - 40mV** ได้ผลลัพธ์เป็น ปริมาณสเกลาร์หนึ่งค่า คำนวณได้จาก

$$ZC = \sum_{n=1}^{N-1} [\text{sgn}(x_n \times x_{n+1}) \cap |x_n - x_{n+1}| \geq \text{threshold}] \quad (2-4)$$

เมื่อ

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

2.5.5 Willison Amplitude (WAMP)

เป็นการหาจำนวนครั้งที่สัญญาณกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ปริมาณนี้จะบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงของกล้ามเนื้อที่มีการหดเกร็งในขณะที่ร่างกายออกแรงกระทำ จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มีการกำหนดค่า **Threshold** อยู่ใน ช่วง **20- 40mV** ได้ผลลัพธ์เป็นปริมาณสเกลาร์หนึ่งค่า คำนวณได้จาก

$$WAMP = \sum_{n=1}^{N-1} f(|x_n - x_{n+1}|) \quad (2-5)$$

เมื่อ

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

2.5.6 Waveform Length (WL)

เป็นการหาค่าสะสมของผลต่างระหว่างแรงดันปัจจุบันกับค่าแรงดันถัดไป เพื่อ บ่งชี้ว่าสัญญาณ ที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด คำนวณได้จาก

$$WL = \sum_{n=1}^{N-1} |x_{n+1} - x_n| \quad (2-6)$$

2.6 การจำแนกลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ในขั้นตอนวัดลักษณะของสัญญาณ ได้ใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อคัดเลือกลักษณะเด่นของสัญญาณออกมาได้เป็นตัวเลขหนึ่งชุดที่สามารถแทนสัญญาณที่มี ซึ่งจะถูกนำไปจำแนกรูปแบบโดยตัวจำแนกต่อไป

การจำแนก คือ กระบวนการจัดกลุ่มให้สัญญาณที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นว่าเป็นสัญญาณที่อยู่ในกลุ่มใด โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณซึ่งเป็นคุณสมบัติของสัญญาณนั้นๆ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของสัญญาณตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม สำหรับการจำแนกท่าทางโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้น เป็นการจำแนกสัญญาณที่วัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งว่าสัญญาณอยู่กลุ่มใด

ความแม่นยำในการจำแนกประเภท คือ ข้อมูลที่ใช้ในการจำแนกควรมีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลคนละประเภทให้มากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลในประเภทเดียวกันน้อยที่สุด วิธีการจำแนกที่นำมาใช้ในงานวิจัย ดังนี้

2.6.1 วิธีหาค่า Separation index (RES index)

ในการหาค่า **RES index** [16,17] เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละมัดกล้ามเนื้อที่จะใช้การจำแนกท่าทางในการออกกำลังกาย พารามิเตอร์ที่คำนวณค่า **RES** ได้มาก จะมีความสามารถในการจำแนกดีกว่าพารามิเตอร์ที่คำนวณค่า **RES** ได้น้อย เราสามารถหาค่า **RES** จากสมการที่ 2-7

$$RES = \frac{\sqrt{d}}{std} \quad (2-7)$$

เมื่อ **RES** คือ **RES index** ไม่มีหน่วย

d คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าสองค่าที่อยู่ห่างกัน

std คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.6.2 วิธีหาค่าเฉลี่ย(mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(standard deviation)

ค่าเฉลี่ย ใช้อธิบายตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูล หาได้จากสมการที่ 2-8

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2-8)$$

เมื่อ \bar{x} = ค่าเฉลี่ย
 N = จำนวนสมาชิกของเซตข้อมูล
 x = ข้อมูล

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้อธิบายความกระจกระบายของข้อมูล ใช้สำหรับเปรียบเทียบว่าค่าต่างๆ ในเซตข้อมูลกระจายตัวออกไปมากน้อยเท่าใด หากข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้ค่าเฉลี่ยมาก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่าน้อย ในทางกลับกัน ถ้าข้อมูลแต่ละจุดอยู่ห่างไกลจากค่าเฉลี่ยเป็นส่วนมาก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่ามาก และเมื่อข้อมูลทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ ไม่มีการกระจายตัว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หาได้จากสมการที่ 2-9

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-9)$$

เมื่อ s = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.6.3 วิธี Scatter plot

การเขียนกราฟในสามมิติโดยใช้คำสั่ง **scatter3** ในโปรแกรม **MATLAB 7.6.0 (R2008a)** ทำให้สามารถจำแนกกลุ่มของสัญญาณที่มีลักษณะเด่นที่คล้ายคลึงกันได้ ซึ่งการใช้คำสั่ง **scatter3** นั้น มีรูปแบบการเขียน ดังนี้

scatter3(X,Y,Z,S,C)

scatter3(X,Y,Z)

scatter3(X,Y,Z,S)

`scatter3(...,markertype)`

`scatter3(...,'filled')`

`scatter3(...,'PropertyName',propertyvalue)`

`h= scatter3(...)`

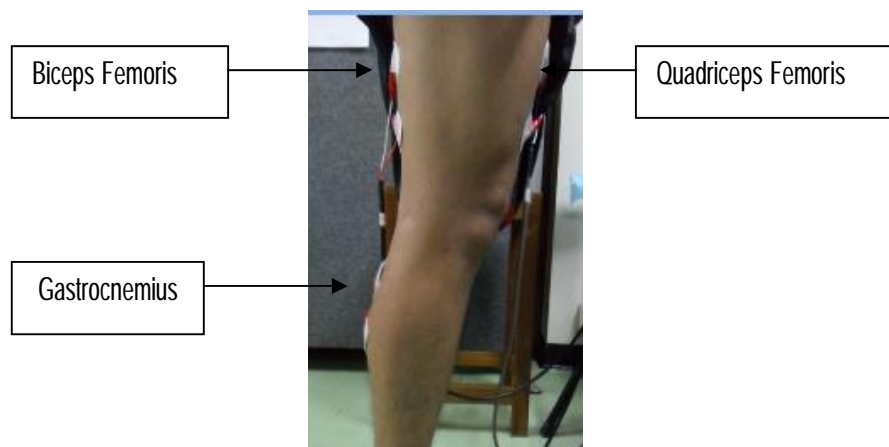
บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินการทดลองและผลการทดลองโดยแบ่งเป็น 3 ประเด็น ประกอบด้วย ประเด็นที่หนึ่งการเก็บสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากอาสาสมัครชายและหญิง ประเด็นที่สองการคำนวณหาค่าลักษณะเด่นต่างๆในโดเมนเวลา ประเด็นที่สามการจัดกลุ่มท่าทางการออกกำลังกายต่างๆที่ให้ผลการในการบริหาร ฟันฟูกกล้ามเนื้อมัดเดียวกัน

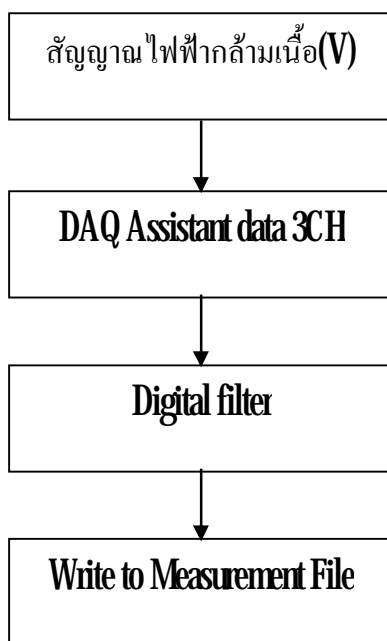
3.1 การเก็บสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากอาสาสมัครเพศชายและเพศหญิง

จากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพศชายจะแข็งแรงมากกว่ากล้ามเนื้อของเพศหญิง ดังนั้นลักษณะสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากเพศชายจะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงกว่าแต่ลักษณะสัญญาณจะไม่แตกต่างกันระหว่างเพศชายและเพศหญิงผู้วิจัยได้ทำการทดลองวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากอาสาสมัครเพศชายจำนวน 15 คนและเพศหญิงจำนวน 15 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 20-30 ปี โดยทดลองทีละคน เริ่มจากใช้แอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาดผิวหนังบริเวณที่จะติดแผ่นอิเล็กโทรด ทิ้งไว้สักครู่ จากนั้นติดอิเล็กโทรดบริเวณกล้ามเนื้อขาข้างขวา 3 ตำแหน่ง ตรงบริเวณมัดกล้ามเนื้อ **Quadriceps Femoris (QF)** **Biceps Femoris (BF)** และ **Gastrocnemius (GM)** ดังภาพประกอบที่ 3-1 และ ground 1 ตำแหน่งที่ข้อมือข้างซ้าย

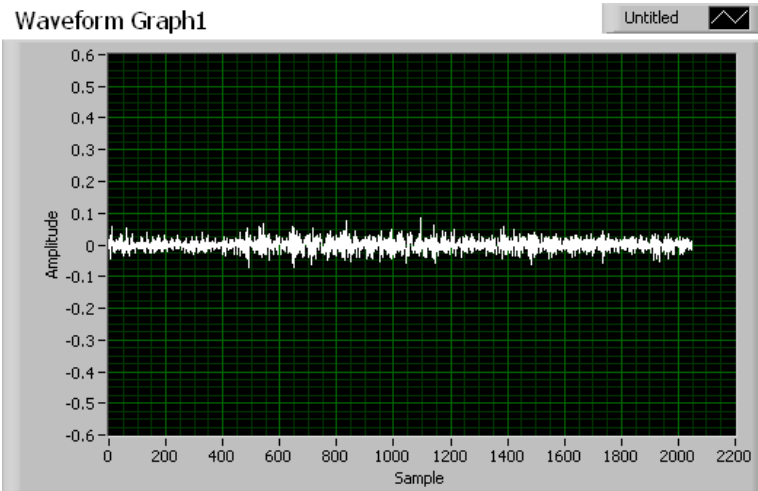


ภาพประกอบ 3-1 แสดงการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ

ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับการทดลองให้เรียบร้อย โดยเริ่มจากต่อสายสัญญาณจากเครื่องวัดสัญญาณไปยังอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมตำแหน่งต่างๆ รวมทั้งสายกราวด์ หลังจากนั้นเปิดเครื่องวัดสัญญาณให้อาสาสมัครทำกิจกรรมในการออกกำลังกายตามทำการออกกำลังกายที่ใช้ในการบริหารข้อเท้า 10 ท่า แต่ละท่าทำการทดลอง 3 ครั้ง ทำการบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยผ่านทาง A/D Labview card 6009 ที่เขียนโปรแกรมการทำงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 3-2 โดยตั้งค่า **sampling rate** เท่ากับ 1,024 และ **sample to read** เท่ากับ 2,048 โดยกำหนดเป็น **n sample** จะได้สัญญาณตั้งแต่เริ่มออกกำลังกายต่อครั้ง เป็นเวลาประมาณ 2 วินาที จำนวน 2,048 sample ดังตัวอย่างภาพประกอบ 3-3 ถึง 3-8

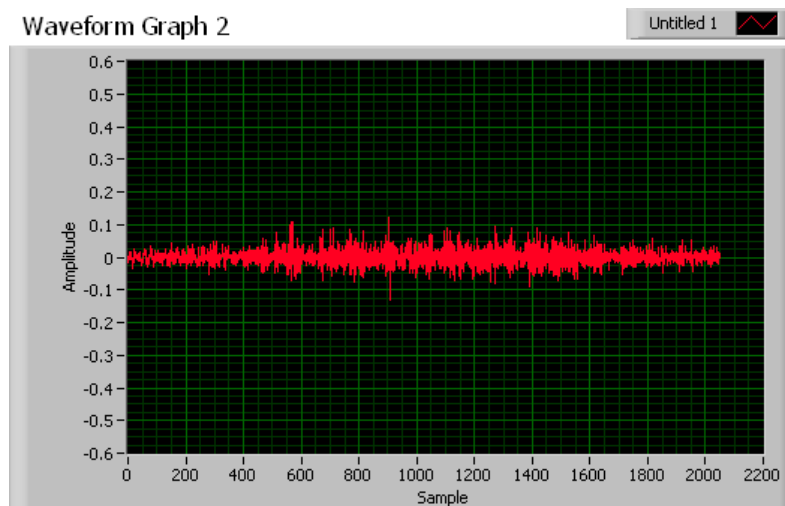


ภาพประกอบ 3-2 แสดงขั้นตอนการเก็บสัญญาณจาก 3 มัดกล้ามเนื้อ



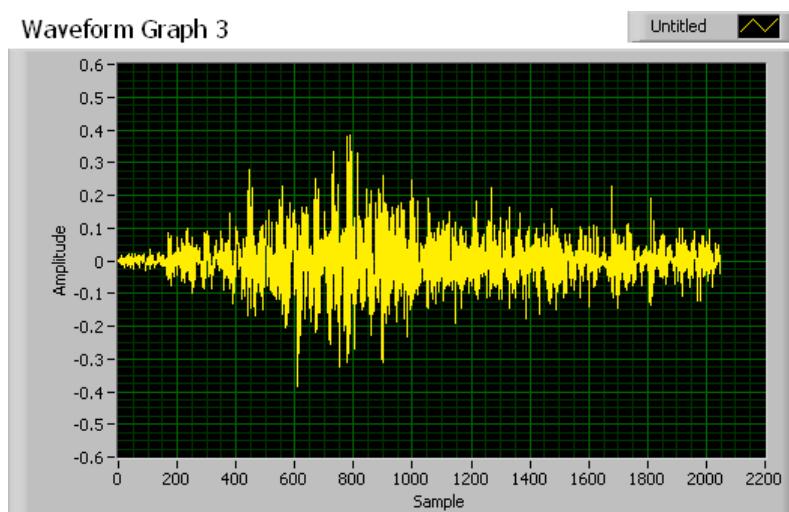
ภาพประกอบ 33 สัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ QF
ในทำยีนเข่งปลายเท้า ของอาสาสมัครชายคนที่ 1

จะเห็นว่าในภาพประกอบที่ 33 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อจะมีขนาด **amplitude** ที่ต่ำมาก แสดงว่าการออกกำลังกายในทำยีนเข่งปลายเท้า ไม่เกี่ยวข้องกัมัดกล้ามเนื้อ QF หรืออาจกล่าวได้ว่า การออกกำลังกายในทำยีนเข่งปลายเท้า ไม่ได้ช่วยในการบริหารพื้นฟูมัดกล้ามเนื้อ QF



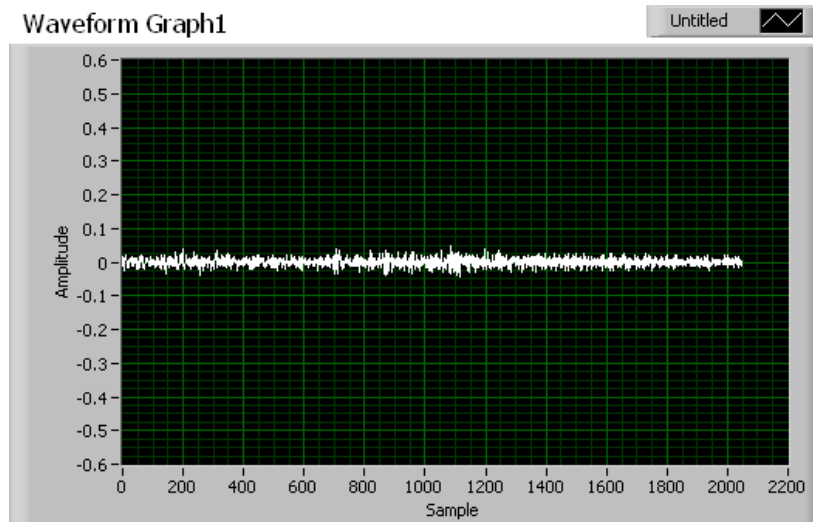
ภาพประกอบ 34 สัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ BF
ในทำยีนเข่งปลายเท้า ของอาสาสมัครชายคนที่ 1

จะเห็นว่าในภาพประกอบที่ **34** ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะมีขนาด **amplitude** ไม่สูงนัก แสดงว่าการออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า มีความเกี่ยวข้องกับมัดกล้ามเนื้อ **BF** ไม่มากนัก หรืออาจกล่าวได้ว่า การออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า ไม่ได้ช่วยในการบริหารฟื้นฟูมัดกล้ามเนื้อ **BF** เท่าที่ควร



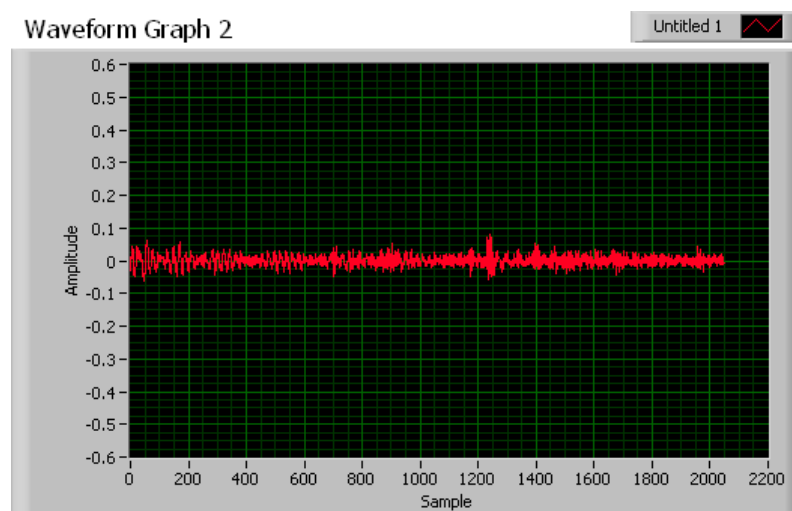
ภาพประกอบ **35** สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ **GM** ในท่ายืนเขย่งปลายเท้า ของอาสาสมัครชายคนที่ **1**

จะเห็นว่าในภาพประกอบที่ **35** ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะมีขนาด **amplitude** สูงมาก แสดงว่าการออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า มีความเกี่ยวข้องกับมัดกล้ามเนื้อ **GM** หรืออาจกล่าวได้ว่า การออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า ช่วยในการบริหารฟื้นฟูมัดกล้ามเนื้อ **GM**



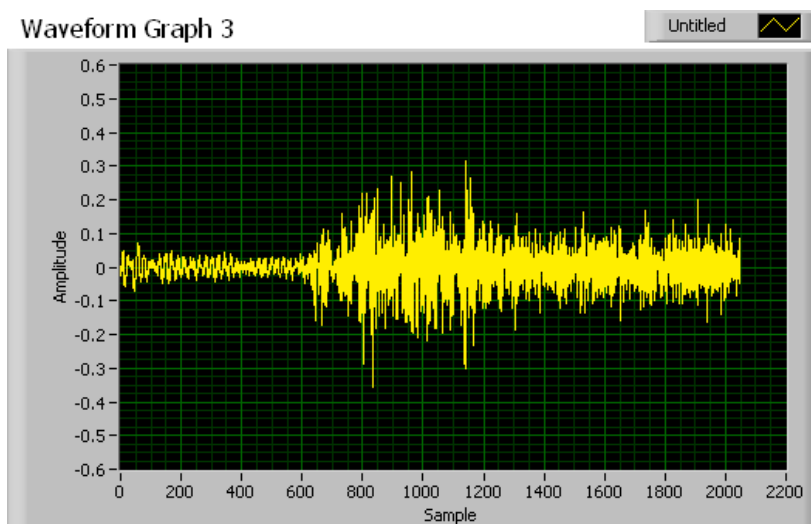
ภาพประกอบ 36 สัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ QF
ในทำยีนเข่งปลายเท้า ของอาสาสมัครหญิงคนที่ 1

จะเห็นว่าในภาพประกอบที่ 36 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อจะมีขนาด **amplitude** ที่ต่ำมาก แสดงว่าการออกกำลังในทำยีนเข่งปลายเท้า ไม่เกี่ยวข้องกับมัดกล้ามเนื้อ QF หรืออาจกล่าวได้ว่า การออกกำลังทำยีนเข่งปลายเท้า ไม่ได้ช่วยในการบริหารพื้นฟูมัดกล้ามเนื้อ QF เช่นเดียวกับอาสาสมัครที่เป็นเพศชาย



ภาพประกอบ 37 สัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ BF
ในทำยีนเข่งปลายเท้า ของอาสาสมัครหญิงคนที่ 1

จะเห็นว่าในภาพประกอบที่ 3-7 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะมีขนาด **amplitude** ไม่สูงนัก แสดงว่าการออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า มีความเกี่ยวข้องกับมัดกล้ามเนื้อ **BF** ไม่มากนัก หรืออาจกล่าวได้ว่า การออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า ไม่ได้ช่วยในการบริหารพื้ันฟูมัดกล้ามเนื้อ **BF** เท่าที่ควร เช่นเดียวกับอาสาสมัครที่เป็นเพศชาย



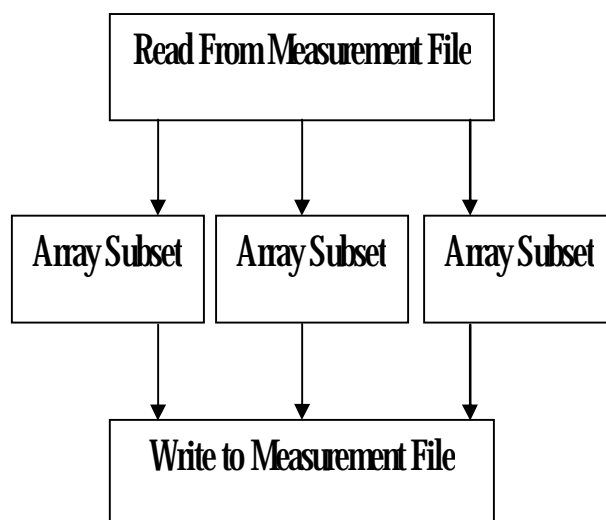
ภาพประกอบ 3-8 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากมัดกล้ามเนื้อ **GM** ในท่ายืนเขย่งปลายเท้า ของอาสาสมัครหญิงคนที่ 1

จะเห็นว่าในภาพประกอบที่ 3-8 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะมีขนาด **amplitude** สูงมาก แสดงว่าการออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า มีความเกี่ยวข้องกับมัดกล้ามเนื้อ **GM** หรืออาจกล่าวได้ว่า การออกกำลังกายในท่ายืนเขย่งปลายเท้า ช่วยในการบริหารพื้ันฟูมัดกล้ามเนื้อ **GM** เช่นเดียวกับอาสาสมัครที่เป็นเพศชาย

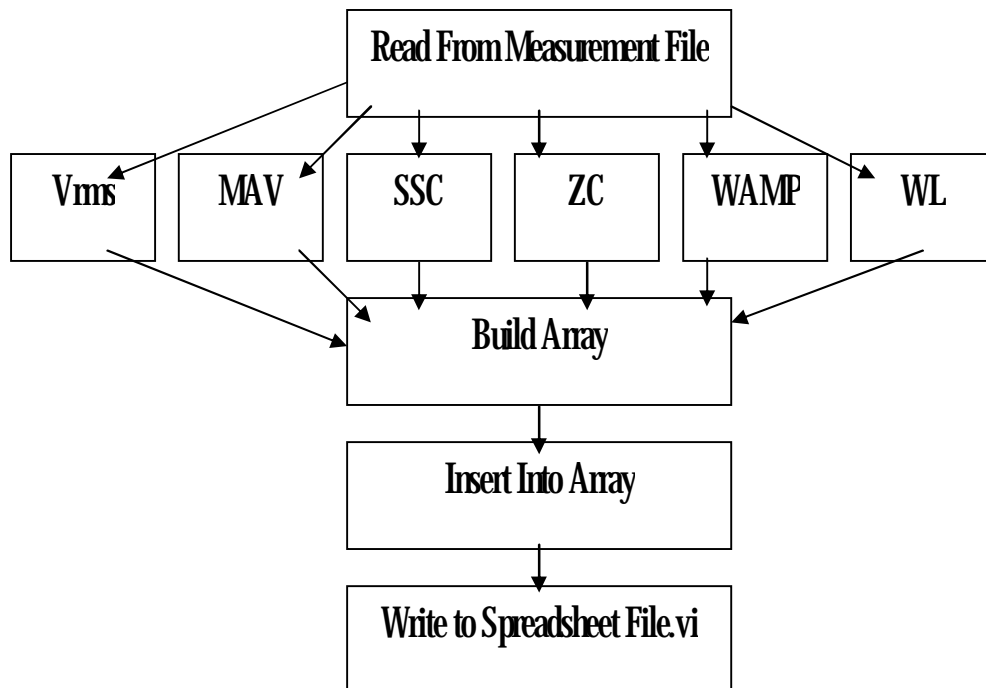
3.2 กำหนดค่าลักษณะเด่นต่างๆในโดเมนเวลา

หาค่าลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากสัญญาณของอาสาสมัครชาย และหญิงโดยเขียนโปรแกรม **Labview** เก็บสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเป็น 3 ช่วง คือ 300, 500 และ 700 จุด ดังภาพประกอบ 3-9 แล้วคำนวณค่า **Root Mean Square Value (v_{rms})** **Mean Absolute Value (MAV)** **Slope Sign Changes (SSC)** **Zero Crossing (ZC)** **Willison Amplitude (WAMP)** และ

Waveform Length (WL) โดยกำหนดค่า **Threshold** เป็น **20, 30 และ 40 mv** ซึ่งในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นได้เขียนโปรแกรม **Labview** แสดงดังภาพประกอบ **3-10** และตัวอย่างค่าที่คำนวณโดยใช้จำนวนจุด **300, 500 และ 700** จุด ของอาสาสมัครชายคนที่**1** และอาสาสมัครหญิงคนที่**1** แสดงดังตารางที่ **3-1** ถึง **3-9** สำหรับค่าที่คำนวณของอาสาสมัครคนอื่นๆ แสดงไว้ในภาคผนวก **ข**



ภาพประกอบ **3-9** แสดงขั้นตอนการเก็บสัญญาณ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นและจำนวนข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณ



ภาพประกอบ 3-10 แสดงขั้นตอนการคำนวณค่าพารามิเตอร์และเก็บค่าเป็นตาราง

ตารางที่ 3-1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ำมเนื้อ QF

ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 300 samples

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.05/0.052	0.04/0.041	35/49	76/81	154/169	10.897/12.595
2	0.067/0.034	0.054/0.028	45/42	82/80	187/130	14.382/8.875
3	0.125/0.119	0.099/0.093	31/56	41/43	192/200	17.082/17.084
4	0.075/0.091	0.053/0.069	16/54	35/53	114/172	8.382/14.61
5	0.019/0.038	0.015/0.03	2/35	23/51	28/94	4.264/7.105
6	0.067/0.041	0.053/0.032	60/77	96/108	197/160	15.743/12.101
7	0.117/0.048	0.092/0.038	71/40	86/79	232/157	25.424/11.756
8	0.233/0.126	0.186/0.086	66/57	75/74	249/213	42.143/22.757
9	0.052/0.071	0.039/0.05	8/5	18/26	62/79	6.153/6.85
10	0.136/0.035	0.106/0.028	103/10	84/34	253/72	31.256/6.45

ตารางที่ 3-2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 300 samples

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.011/0.02	0.009/0.016	0/4	4/13	4/21	2.632/4.186
2	0.009/0.018	0.007/0.015	0/1	0/14	0/16	2.06/3.557
3	0.027/0.022	0.021/0.017	0/1	6/14	8/20	3.216/3.789
4	0.03/0.029	0.023/0.023	1/6	10/32	23/55	4.121/5.365
5	0.09/0.102	0.07/0.072	60/46	75/63	188/167	16.813/17.509
6	0.018/0.054	0.014/0.042	2/72	22/97	33/186	4.284/15.641
7	0.026/0.026	0.02/0.021	9/5	45/18	74/39	6.1/4.952
8	0.033/0.03	0.026/0.023	6/0	39/23	72/41	6.33/5.152
9	0.047/0.073	0.037/0.056	13/27	40/59	104/168	8.026/11.96
10	0.135/0.167	0.108/0.125	70/93	71/96	228/247	26.132/37.479

ตารางที่ 3-3 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 300 samples

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.026/0.013	0.021/0.011	0/0	32/4	47/4	5.282/2.866
2	0.169/0.04	0.135/0.032	67/41	81/97	247/143	36.087/10.739
3	0.05/0.013	0.038/0.01	54/2	97/12	170/15	12.933/3.02
4	0.018/0.081	0.012/0.057	4/26	9/51	18/124	3.575/14.197
5	0.042/0.056	0.031/0.038	35/21	81/58	133/117	11.008/11.841
6	0.109/0.073	0.085/0.055	76/43	91/64	227/169	24.06/14.749
7	0.04/0.023	0.031/0.018	3/0	46/17	104/31	7.292/4.304
8	0.009/0.013	0.007/0.011	0/0	1/2	1/2	2.596/2.313
9	0.058/0.095	0.043/0.074	28/63	70/82	152/219	12.47/19.515
10	0.069/0.031	0.053/0.021	43/4	79/27	175/44	14.217/4.791

ตารางที่ 3-4 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 500 samples

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.053/0.052	0.043/0.042	54/89	131/142	262/289	19.284/21.829
2	0.061/0.035	0.049/0.028	77/76	133/144	301/231	22.027/15.394
3	0.134/0.117	0.105/0.093	72/104	96/80	340/342	35.067/30.418
4	0.078/0.09	0.059/0.069	43/104	71/102	228/316	16.967/27.27
5	0.017/0.033	0.013/0.025	3/65	32/98	39/155	6.788/11.334
6	0.069/0.044	0.055/0.035	99/140	158/178	327/278	27.836/21.753
7	0.119/0.045	0.094/0.035	122/64	147/127	383/253	44.653/18.448
8	0.194/0.106	0.148/0.073	111/86	127/125	402/336	58.323/33.104
9	0.044/0.059	0.033/0.042	12/12	41/44	105/123	9.946/10.879
10	0.136/0.034	0.107/0.027	157/21	139/67	421/125	51.512/11.223

ตารางที่ 3-5 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 500 samples

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.013/0.018	0.01/0.015	1/6	12/21	16/34	5.091/6.899
2	0.009/0.017	0.007/0.014	0/1	0/17	0/21	3.532/5.855
3	0.022/0.021	0.016/0.016	0/1	6/25	8/33	4.892/6.654
4	0.028/0.025	0.021/0.019	2/6	23/37	50/64	7.221/7.596
5	0.078/0.087	0.059/0.061	115/64	147/113	317/267	27.034/25.134
6	0.019/0.051	0.015/0.039	3/115	41/156	57/296	7.467/24.121
7	0.027/0.024	0.022/0.019	17/7	88/30	135/57	10.86/7.847
8	0.028/0.025	0.021/0.019	6/1	47/35	82/55	8.755/7.707
9	0.044/0.06	0.034/0.044	16/30	66/95	146/216	12.109/16.311
10	0.162/0.137	0.126/0.098	112/127	125/135	393/361	48.65/46.066

ตารางที่ 3-6 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 500 samples

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.028/0.012	0.022/0.01	1/0	66/8	106/8	9.482/4.615
2	0.156/0.037	0.124/0.029	118/61	149/151	409/225	57.654/16.783
3	0.051/0.012	0.039/0.009	85/2	160/12	291/15	22.117/4.36
4	0.015/0.064	0.01/0.039	4/28	9/69	18/147	4.989/16.95
5	0.043/0.056	0.033/0.04	62/50	143/107	241/219	19.601/20.013
6	0.114/0.085	0.089/0.066	132/86	158/128	384/316	43.522/30.737
7	0.036/0.022	0.029/0.017	6/4	74/41	158/65	11.515/7.543
8	0.009/0.013	0.008/0.01	0/0	4/2	4/2	4.489/3.809
9	0.067/0.077	0.051/0.056	54/89	132/136	287/311	24.787/26.602
10	0.081/0.037	0.062/0.025	85/11	137/56	322/93	28.044/9.703

ตารางที่ 3-7 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 700 samples

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.057/0.05	0.045/0.04	95/120	196/207	390/397	29.164/29.638
2	0.06/0.033	0.048/0.027	111/111	185/201	430/320	30.636/21.38
3	0.12/0.108	0.09/0.084	96/145	149/130	453/468	44.183/40.752
4	0.072/0.087	0.053/0.068	61/157	110/155	317/458	23.75/39.794
5	0.015/0.03	0.012/0.022	4/94	38/144	45/210	9.352/15.411
6	0.069/0.043	0.055/0.034	159/186	219/250	476/390	39.552/29.734
7	0.12/0.041	0.095/0.032	166/90	207/179	536/338	62.77/24.186
8	0.17/0.096	0.124/0.066	144/131	179/188	542/463	70.194/43.624
9	0.039/0.054	0.029/0.038	15/20	54/68	137/175	13.204/15.231
10	0.135/0.03	0.108/0.023	201/28	198/94	584/161	71.92/14.729

ตารางที่ 3-8 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 700 samples

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.014/0.017	0.011/0.014	3/6	23/37	31/51	7.93/9.323
2	0.008/0.016	0.007/0.013	0/2	0/31	0/35	4.924/8.307
3	0.019/0.02	0.013/0.016	0/2	6/37	8/47	6.163/9.243
4	0.026/0.022	0.02/0.016	2/6	32/39	64/67	10.029/9.74
5	0.073/0.085	0.056/0.062	166/121	219/179	452/418	37.92/38.633
6	0.018/0.048	0.014/0.037	4/151	58/221	75/399	10.291/31.644
7	0.027/0.025	0.022/0.019	22/22	123/60	191/105	15.317/11.747
8	0.024/0.022	0.017/0.016	6/3	47/44	82/64	10.406/9.944
9	0.039/0.052	0.03/0.037	16/36	82/125	166/264	15.124/19.98
10	0.165/0.128	0.128/0.093	166/172	182/192	555/514	69.954/61.007

ตารางที่ 3-9 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1) ช่วง 700 samples

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.027/0.012	0.021/0.009	6/0	86/10	145/10	13.204/6.355
2	0.143/0.034	0.112/0.026	175/72	227/195	564/284	76.594/21.342
3	0.049/0.011	0.037/0.008	115/2	217/12	398/15	29.905/5.535
4	0.013/0.054	0.009/0.031	4/28	9/75	18/154	6.388/19.407
5	0.044/0.054	0.034/0.039	95/73	213/138	356/301	28.777/26.479
6	0.109/0.087	0.085/0.067	186/144	219/196	533/466	58.852/46.272
7	0.035/0.021	0.028/0.017	8/8	100/65	208/97	15.92/11.033
8	0.009/0.012	0.007/0.009	0/0	5/2	5/2	6.107/5.197
9	0.063/0.066	0.048/0.044	81/92	184/162	401/341	33.098/29.975
10	0.092/0.034	0.071/0.024	130/15	194/83	485/138	44.568/13.983

3.3 การจัดกลุ่มท่าทางการออกกำลังกายต่างๆ

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลการออกกำลังกายในผู้สูงอายุเพื่อการบริหารกล้ามเนื้อที่ช่วยในการฟื้นฟูและลดปัญหาการเสื่อมของข้อเข่า[8] และสัมภาษณ์นักกายภาพจากโรงพยาบาลนครราชสีมา ราชนครินทร์ จังหวัดนครราชสีมา ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 ท่าทางการออกกำลังกายในท่านั่งและยืนกับกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง

ท่าทางการออกกำลังกาย	กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง
ท่าที่1 นั่งกระดกข้อเท้าขึ้น	TA (กล้ามเนื้อหน้าแข้ง) ร่วมกับ GM(กล้ามเนื้อน่อง)
ท่าที่2 นั่งกระดกข้อเท้าลง	GMร่วมกับTA
ท่าที่3 นั่งเหยียดเข่า	QF(กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า)
ท่าที่4 นั่งเตะเท้าขึ้น	HIP FLEXOR(กล้ามเนื้ออกสะโพก)
ท่าที่5 นั่งเตะเท้าลง	BF(กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง)
ท่าที่6 ยืนเขย่งปลายเท้า	GM
ท่าที่7 ยืนบนส้นยกปลายเท้า	TA ร่วมกับGM
ท่าที่8 ยืนเหยียดขาออกข้าง	QF ร่วมกับADDUCTOR OF HIP(กล้ามเนื้อต้นขาด้านข้าง)
ท่าที่9 ยืนยกขาโกถอก(งอสะโพก)	QF
ท่าที่10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง (เหยียดสะโพก)	BF

การทำ Scatter plot

ในการเขียนกราฟสามมิติได้ใช้คำสั่ง **scatter3** ในโปรแกรม **MATLAB** ดังนี้

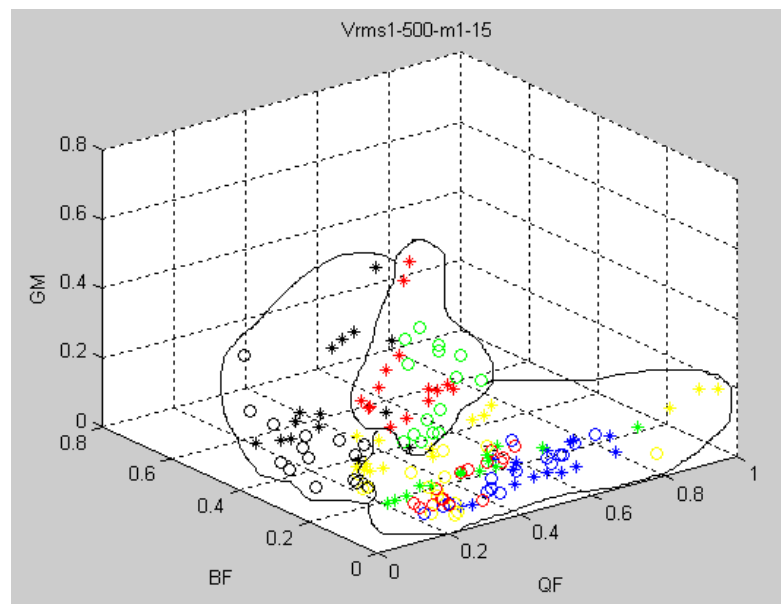
```
p=[];
sn1=[];sn2=[];sn3=[];sn4=[];sn5=[];
sn6=[];sn7=[];sn8=[];sn9=[];sn10=[];

for i=1:10:150
    sn1 = [sn1 p(1:3,i)];
    sn2 = [sn2 p(1:3,i+1)];
    sn3 = [sn3 p(1:3,i+2)];
    sn4 = [sn4 p(1:3,i+3)];
    sn5 = [sn5 p(1:3,i+4)];
    sn6 = [sn6 p(1:3,i+5)];
    sn7 = [sn7 p(1:3,i+6)];
    sn8 = [sn8 p(1:3,i+7)];
    sn9 = [sn9 p(1:3,i+8)];
    sn10 = [sn10 p(1:3,i+9)];
end

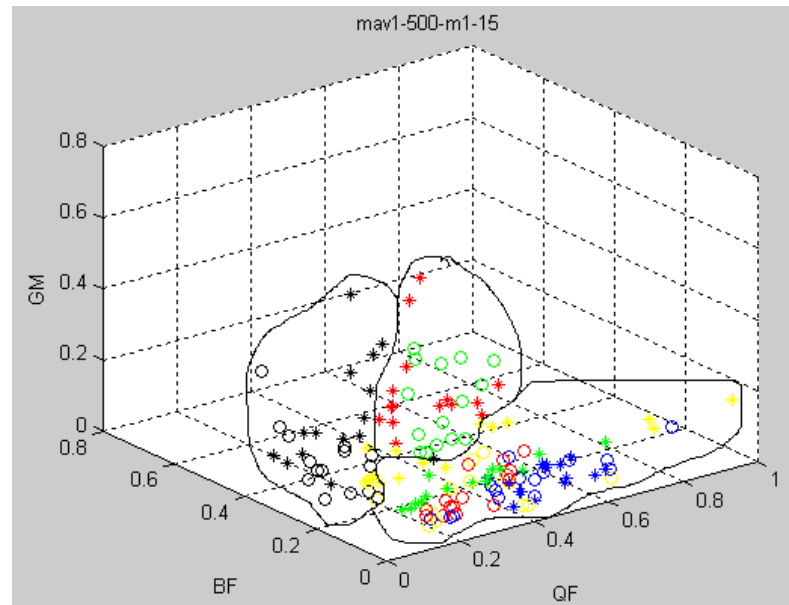
scatter3(sn1(1,:),sn1(2,:),sn1(3,),'ro');
hold on;
scatter3(sn2(1,:),sn2(2,:),sn2(3,),'go');
hold on;
scatter3(sn3(1,:),sn3(2,:),sn3(3,),'bo');
hold on;
scatter3(sn4(1,:),sn4(2,:),sn4(3,),'yo');
hold on;
scatter3(sn5(1,:),sn5(2,:),sn5(3,),'ko');
hold on;
scatter3(sn6(1,:),sn6(2,:),sn6(3,),'r*');
hold on;
scatter3(sn7(1,:),sn7(2,:),sn7(3,),'g*');
hold on;
scatter3(sn8(1,:),sn8(2,:),sn8(3,),'b*');
hold on;
scatter3(sn9(1,:),sn9(2,:),sn9(3,),'y*');
hold on;
scatter3(sn10(1,:),sn10(2,:),sn10(3,),'k*');
hold on;
title('w11-500-m1-15');
xlabel('QF');ylabel('BF');zlabel('GM');
```

ผลการทำ **scatter plot** สามารถจัดกลุ่มท่าทางการออกกำลังบริหารกล้ามเนื้อโดยวิเคราะห์จากค่าพารามิเตอร์ทั้ง 6 ค่า ของอาสาสมัครชายและหญิงตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 3-11 ถึง 3-22

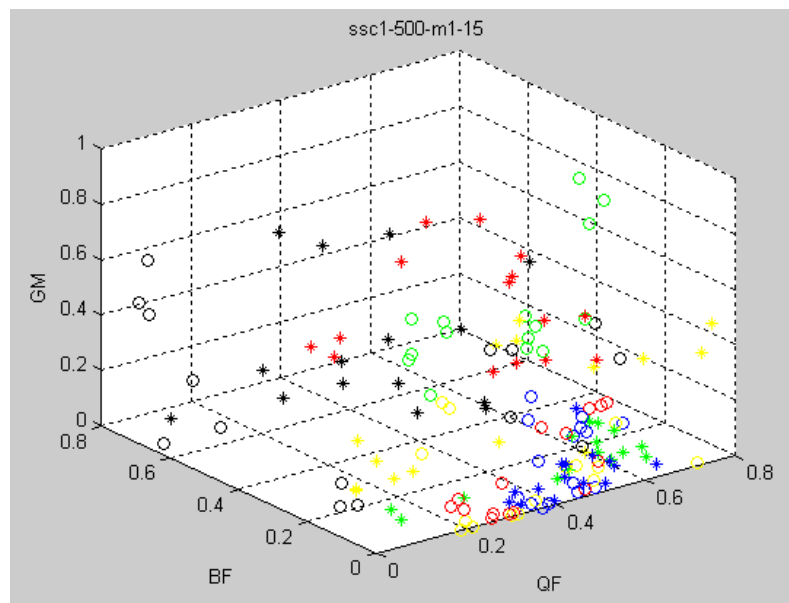
กำหนดให้	วงกลมสีแดง	แทนท่าที่1 นั่งกระดกข้อเท้าขึ้น
	วงกลมสีเขียว	แทนท่าที่2 นั่งกระดกข้อเท้าลง
	วงกลมสีฟ้า	แทนท่าที่3 นั่งเหยียดเข่า
	วงกลมสีเหลือง	แทนท่าที่4 นั่งตะเท้าขึ้น
	วงกลมสีดำ	แทนท่าที่5 นั่งตะเท้าลง
	ดอกจันท์สีแดง	แทนท่าที่6 ยืนเขย่งปลายเท้า
	ดอกจันท์สีเขียว	แทนท่าที่7 ยืนบนส้นยกปลายเท้า
	ดอกจันท์สีฟ้า	แทนท่าที่8 ยืนเหวี่ยงขาออกข้าง
	ดอกจันท์สีเหลือง	แทนท่าที่9 ยืนยกขาไถล้อก(งอสะโพก)
	ดอกจันท์ดำ	แทนท่าที่10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง(เหยียดสะโพก)



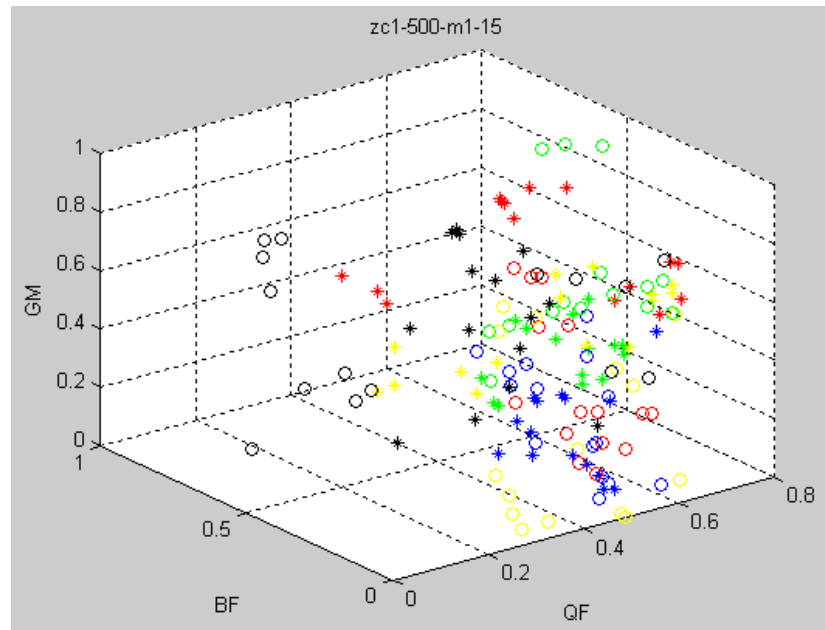
ภาพประกอบ 3-11 แสดงค่า V_{rms} จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครชาย 15 คน



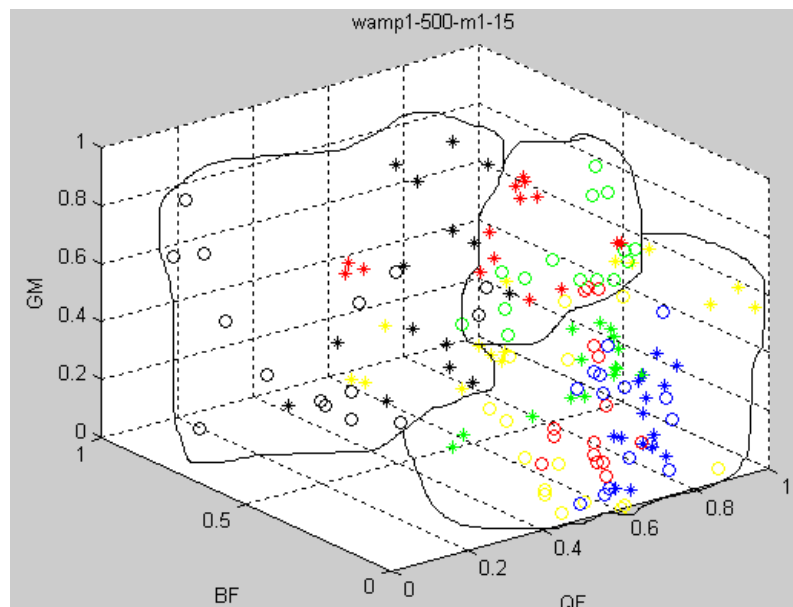
ภาพประกอบ 312 แสดงค่า MAV จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครชาย 15 คน



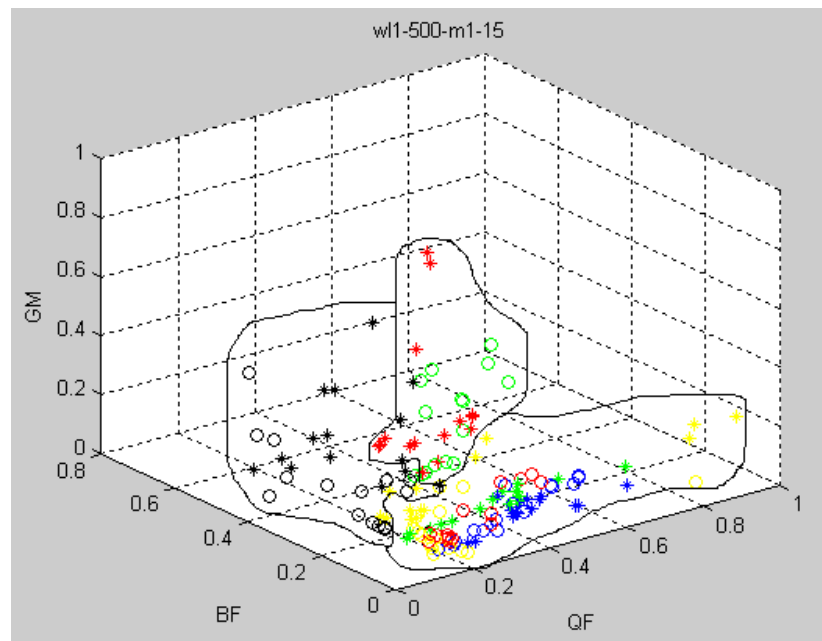
ภาพประกอบ 313 แสดงค่า SSC จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครชาย 15 คน



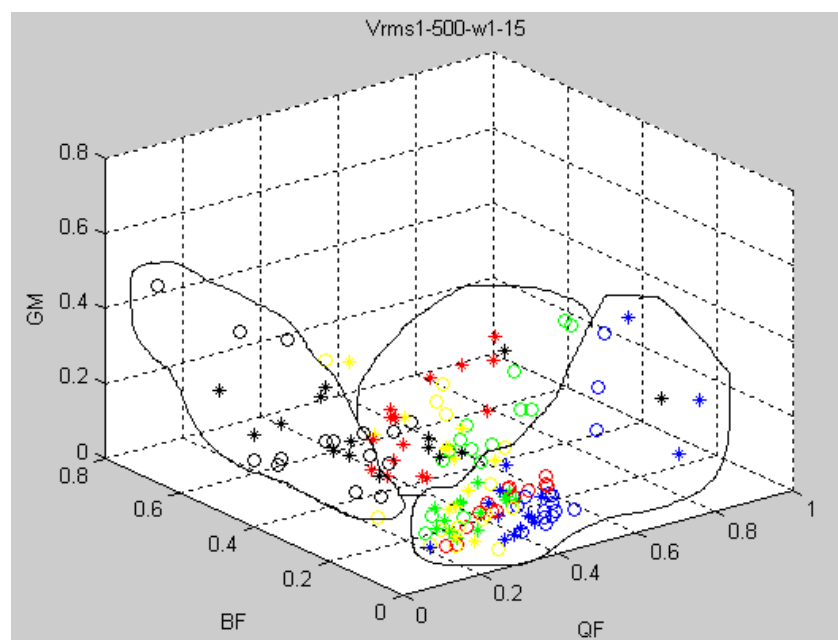
ภาพประกอบ 314 แสดงค่า **ZC** จากสามมัดค้ำมเนื้อของอาสาสมัครชาย 15 คน



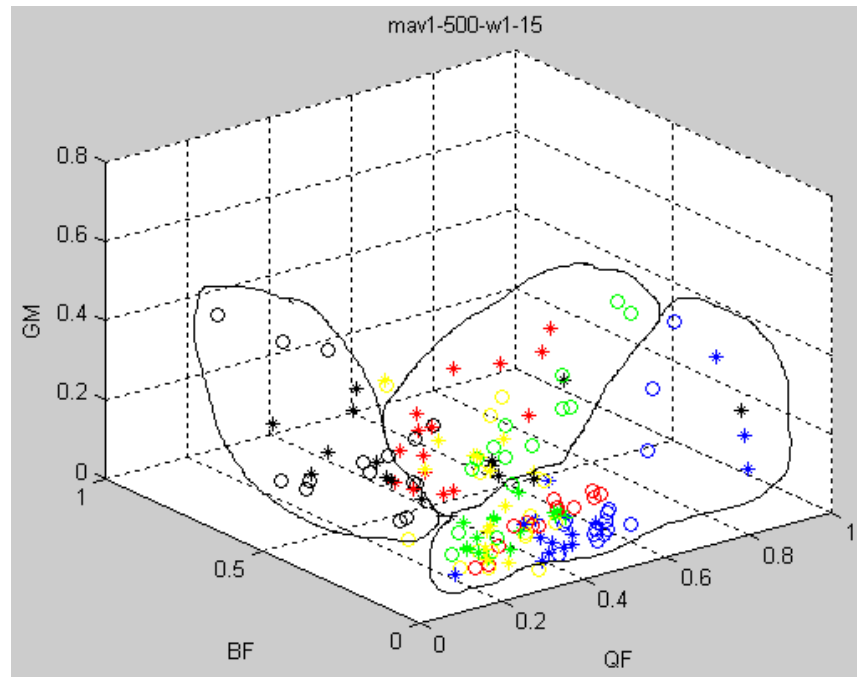
ภาพประกอบ 315 แสดงค่า **WAMP** จากสามมัดค้ำมเนื้อของอาสาสมัครชาย 15 คน



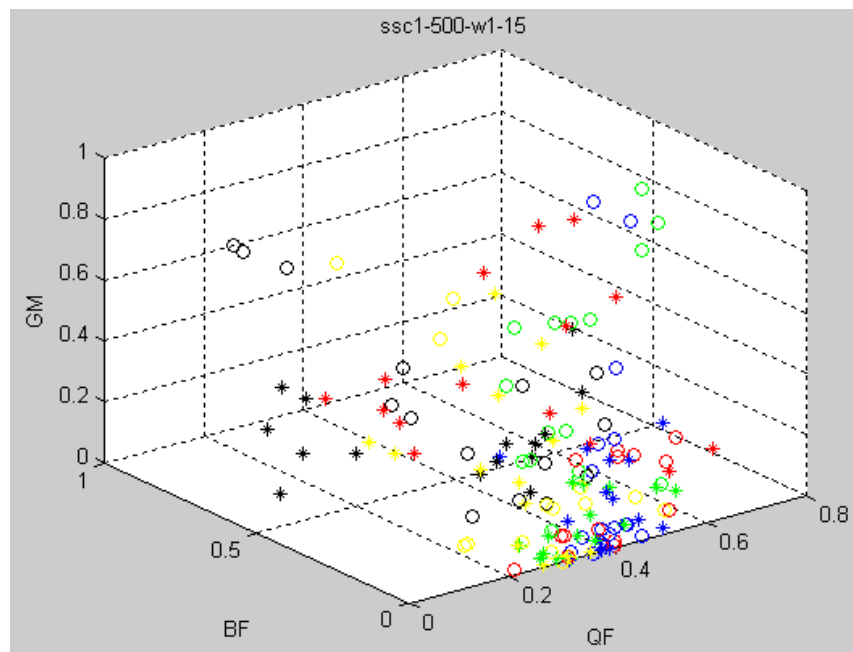
ภาพประกอบ 316 แสดงค่า WL จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครชาย 15 คน



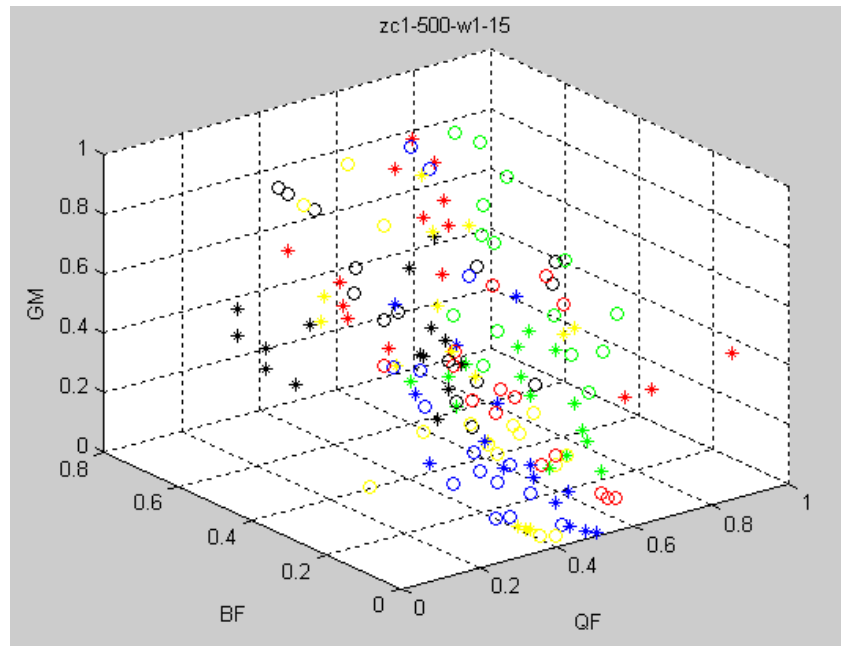
ภาพประกอบ 317 แสดงค่า V_{rms} จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครหญิง 15 คน



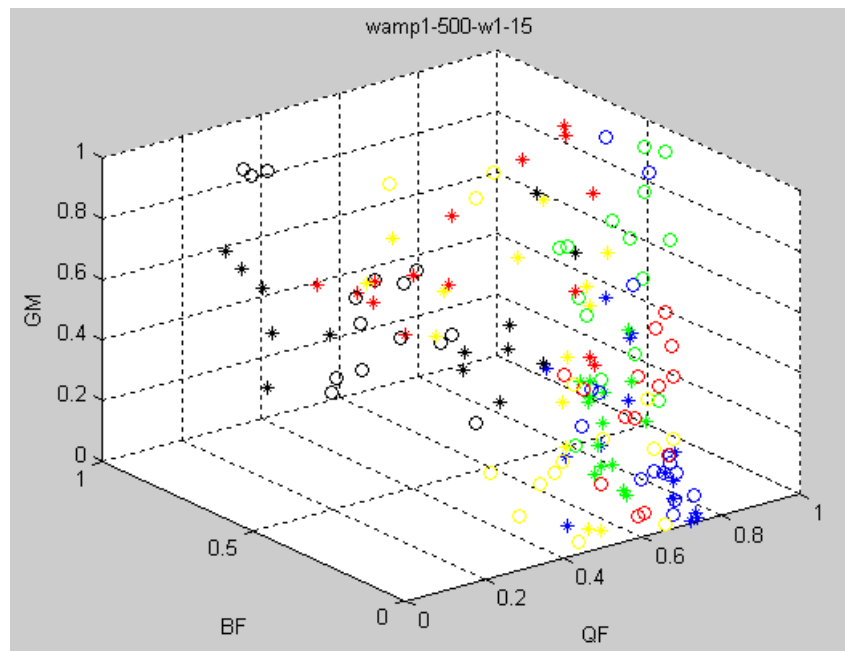
ภาพประกอบ 3-18 แสดงค่า MAV จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครหญิง 15 คน



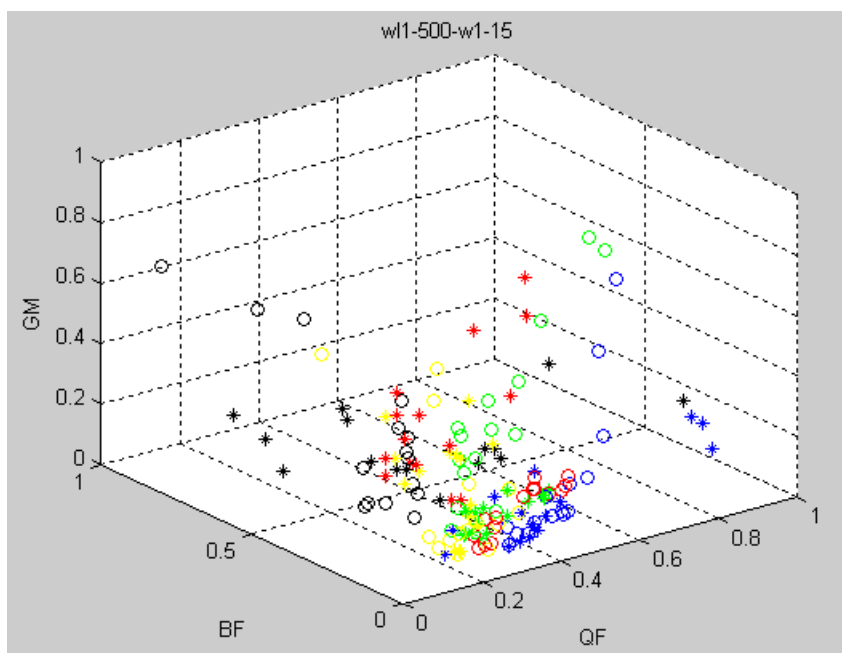
ภาพประกอบ 3-19 แสดงค่า SSC จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครหญิง 15 คน



ภาพประกอบ 3-20 แสดงค่า **ZC** จากสามมัดกล้านเนื้อของอาสาสมัครหญิง 15 คน



ภาพประกอบ 3-21 แสดงค่า **WAMP** จากสามมัดกล้านเนื้อของอาสาสมัครหญิง 15 คน



ภาพประกอบ 3-22 แสดงค่า WL จากสามมัดกล้ามเนื้อของอาสาสมัครหญิง 15 คน

จากภาพประกอบที่ 3-11 ถึง 3-22 สามารถพิจารณาได้ว่า ค่า V_{rms} , MAV, WAMP และ WL ให้ผลที่ชัดเจนในการจัดกลุ่มท่าทางต่างๆ ทั้ง 10 ท่า ที่ช่วยในการบริหารกล้ามเนื้อมัดเดียวกัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ทางด้านล่างของกราฟ ประกอบด้วย ท่าที่ 1, 3, 4, 7, 8 และ 9

กลุ่มที่ 2 อยู่ทางด้านบนซ้ายของกราฟ ประกอบด้วย ท่าที่ 5 และ 10

กลุ่มที่ 3 อยู่ทางด้านบนขวาของกราฟ ประกอบด้วย ท่าที่ 2 และ 6

จากการศึกษาท่าที่ใช้ในการออกกำลังกายเพื่อการบริหารกล้ามเนื้อข้อเข่า นั้น ควรเป็นท่าปลายปิด ซึ่งบริเวณที่ออกแรงต้องยึดติดหรือสัมผัสส่วนในการรองรับแรง อาจเป็นฝ่าผนังหรือพื้น เป็นต้น ซึ่งท่าที่นิยมทำและให้ผลดีในการบริหารกล้ามเนื้อข้อเข่า นั้น พิจารณาการบริหารมัดกล้ามเนื้อ QF ควรเลือกท่าจากกลุ่มที่ 1 ผู้วิจัยได้เลือกการออกกำลังกายด้วยท่าที่ 3 (นั่งเหยียดเข่า) สำหรับการบริหารมัดกล้ามเนื้อ BF ควรเลือกจากกลุ่มที่ 2 ผู้วิจัยได้เลือกการออกกำลังกายด้วยท่าที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) และการบริหารมัดกล้ามเนื้อ GM เลือกจากกลุ่มที่ 1 ด้วยท่าที่ 7 (ยืนบนส้นยกปลายเท้า) เนื่องจากเป็นท่าที่ช่วยในการบริหารกล้ามเนื้อบริเวณหน้าแข้งซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานของข้อเข่าเช่นกัน และเลือกบริหารมัดกล้ามเนื้อ GM จากท่ากลุ่มที่ 3 ด้วยท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า)

สำหรับท่าที่ 1 (นั่งกระดกข้อเท้าขึ้น) ท่าที่ 2 (นั่งกระดกข้อเท้าลง) ท่าที่ 4 (นั่งตะเท้าขึ้น) ท่าที่ 5 (นั่งตะเท้าลง) ท่าที่ 8 (ยืนเหยียดขาออกข้าง) และท่าที่ 9 (ยืนยกขาโก่ง) ล้วนเป็นท่าปลายเปิด จึงไม่นำมาพิจารณา

การเลือกใช้ค่าลักษณะเด่นที่สามารถจำแนกท่าทางการออกกำลังกายทั้งสี่ท่า (ท่าที่ 3, 6, 7 และ 10) ได้ชัดเจนใช้ผลการพิจารณาจาก **scatter plot** พบว่า ค่า V_{rms} , **MAV**, **WAMP** และ **WL** สามารถจัดกลุ่มได้ชัดเจน แต่เนื่องจากค่า V_{rms} และ **MAV** มีสมการคณิตศาสตร์ที่คล้ายกันและให้ผลในการจำแนกที่เหมือนกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเฉพาะค่า **MAV** มาทำการวิเคราะห์ร่วมกับค่า **WAMP** และ **WL** ในบทที่สี่ต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบให้กับงานวิจัย โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเด็น ประเด็นที่หนึ่งวิเคราะห์ผลโดยหาค่า **Separation index (RES index)** ประเด็นที่สองวิเคราะห์ผลโดยพิจารณาการกระจายตัวของสัญญาณ และกำหนดค่า **threshold** ที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกทำโดยพิจารณาจากกล้ำมเนื้อมัดเดียว ประเด็นที่สามวิเคราะห์ผลโดยกำหนดตารางค่าความจริงและสร้างสมการค่าความจริงที่พิจารณาจากกล้ำมเนื้อมากกว่าหนึ่งมัด

4.1 วิเคราะห์ผลโดยการหาค่า Separation index (RES index)

การวิเคราะห์ผลโดยหาค่า **RES index** เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละมัดกล้ำมเนื้อในการใช้จำแนกทำทางในการออกกำลังกาย เราสามารถหาค่า **RES** จากสมการ

$$RES = \frac{\sqrt{d}}{std}$$

เมื่อ **RES** คือ **RES INDEX** ไม่มีหน่วย

d คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าสองค่าที่อยู่ห่างกัน

std คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่า **RES** ที่ได้จะเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ ที่เหมาะสมสำหรับจำแนกทำในกล้ำมเนื้อมัดนั้นๆ พารามิเตอร์ที่ดีจะมีค่า **RES** มาก ผลการวิเคราะห์สัญญาณ 300, 500 และ 700 samples ได้ค่า **RES** แสดงได้ดัง ตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

ตารางที่ 41 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 300samples

RES	QF			BF			GM		
	WAMP	WL	MAV	WAMP	WL	MAV	WAMP	WL	MAV
300samples									
MAN	4.559	4.659	5.242	5.388	5.855	5.49	7.524	7.065	5.643
WOMAN	5.037	4.349	5.241	4.452	5.204	5.097	7.29	7.44	7.176

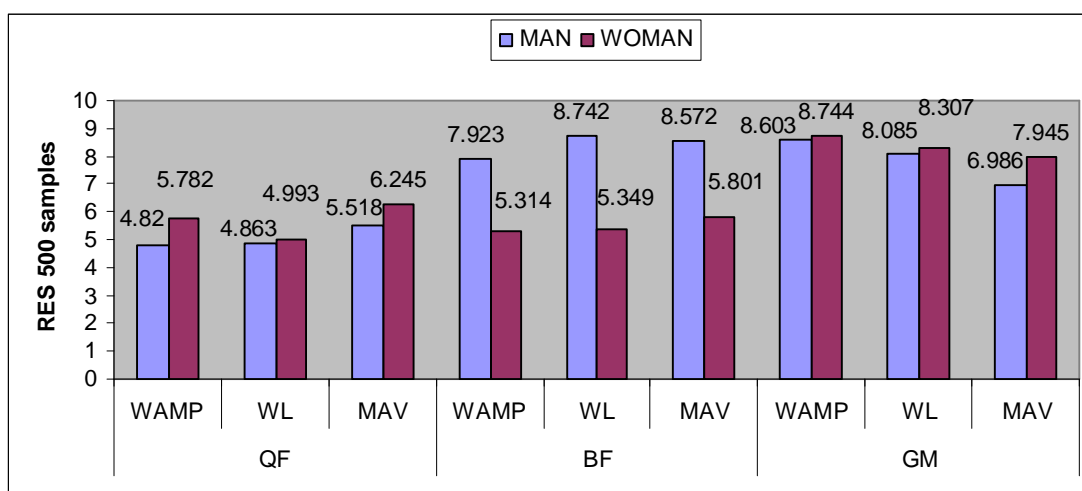
ตารางที่ 42 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 500samples

RES	QF			BF			GM		
	WAMP	WL	MAV	WAMP	WL	MAV	WAMP	WL	MAV
500samples									
MAN	4.82	4.863	5.518	7.923	8.742	8.572	8.603	8.085	6.986
WOMAN	5.782	4.993	6.245	5.314	5.349	5.801	8.744	8.307	7.945

ตารางที่ 43 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 700samples

RES	QF			BF			GM		
	WAMP	WL	MAV	WAMP	WL	MAV	WAMP	WL	MAV
700samples									
MAN	4.93	5.016	5.451	6.65	10.628	10.23	8.739	8.781	7.539
WOMAN	6.32	5.062	6.699	6.552	6.978	7.634	10.526	9.925	9.137

จากตารางที่ 41 ถึง 43 ค่า RES ที่มากที่สุดของแต่ละ feature เป็นค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด Threshold 30mv และคำนวณได้จากจำนวน สัญญาณ 500 samples และ 700 samples และในการนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้จำนวนสัญญาณ 500 samples เพื่อทำการจำแนกเนื่องจากใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 700 samples ผลการเปรียบเทียบค่า RES ของอาสาสมัครชายกับหญิงจากสัญญาณ 500 samples แสดงดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 ค่า RES ของอาสาสมัครชายและหญิง จากสัญญาณ 500 samples

จากภาพประกอบ 41 พบว่า ในมัดกล้ามเนื้อเนื้อ QF ค่า RES ของ MAV มีค่าสูงสุดในเพศชายและหญิง ผู้วิจัยจึงใช้ ค่า MAV ในการจำแนกทำในมัดกล้ามเนื้อเนื้อ QF ส่วนมัดกล้ามเนื้อเนื้อ BF ค่า RES ของ WL และ MAV ในเพศชาย มีค่าสูงใกล้เคียงกัน สำหรับเพศหญิงนั้น ค่า RES ของ MAV มีค่าสูงสุด ดังนั้นเพื่อให้การจำแนกของกล้ามเนื้อเนื้อ BF ใช้พารามิเตอร์เหมือนกันทั้งเพศชายและหญิง ผู้วิจัยจึงใช้ ค่า MAV ในการจำแนกทำในมัดกล้ามเนื้อเนื้อ BF และสำหรับกล้ามเนื้อเนื้อ GM นั้น ค่า RES ของ WAMP มีค่าสูงสุดทั้งในเพศชายและหญิง ผู้วิจัยจึงใช้ ค่า WAMP ในการจำแนกทำในมัดกล้ามเนื้อเนื้อ GM สรุปได้ดังตารางที่ 44

ตารางที่ 4-4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนก

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนก ทำที่ 3, 6, 7 และ 10 โดยพิจารณาจากค่า MAX RES index			
500samples/244ms	QF	BF	GM
MAN	MAV	MAV	WAMP
WOMAN	MAV	MAV	WAMP

4.2 วิเคราะห์ผลโดยพิจารณาการกระจายตัวของสัญญาณ

การหาค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้อธิบายตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูล หาได้จาก

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

เมื่อ \bar{x} = ค่าเฉลี่ย

N = จำนวนสมาชิกของเซตข้อมูล

x = ข้อมูล

การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ใช้อธิบายความกระจัดกระจายของข้อมูล ใช้สำหรับเปรียบเทียบว่าค่าต่างๆ ในเซตข้อมูลกระจายตัวออกไปมากน้อยเท่าใด หากข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้ค่าเฉลี่ยมาก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่าน้อย ในทางกลับกัน ถ้าข้อมูลแต่ละจุดอยู่ห่างไกลจากค่าเฉลี่ยเป็นส่วนมาก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่ามาก และเมื่อข้อมูลทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ ไม่มีการกระจายตัว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หาได้จาก

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

เมื่อ s = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในอาสาสมัครชายและหญิง
 ทั้งนี้เลือกใช้ค่า MAV สำหรับกล้ามเนื้อ QF และ BF ใช้ค่า WAMP สำหรับกล้ามเนื้อ GM เนื่องจาก
 ผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 41 พบว่าค่า RES มากที่สุด แสดงดังตารางที่ 45 และ 46

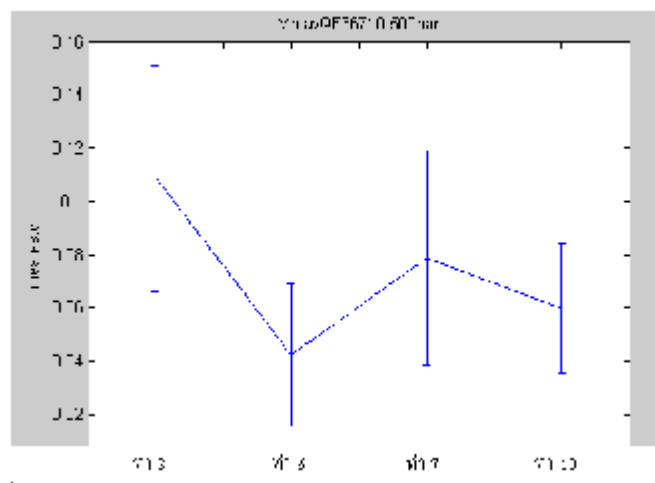
ตารางที่ 45 ค่าเฉลี่ย(\bar{x})และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(s) ของอาสาสมัครชาย

ท่าทาง	MAN		MAV of QF		MAV of BF		WAMP of GM	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
3(นั่งเหยียดเข่า)	0.1086	0.0423	0.0176	0.0076	357.53	58.024		
6(ยืนเขย่งปลายเท้า)	0.0422	0.0266	0.0219	0.0095	249.04	98.725		
7(ยืนบนส้นยกปลายเท้า)	0.0788	0.0401	0.0207	0.0052	333.4	89.277		
10(ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง)	0.0595	0.0244	0.0885	0.0287	299.16	65.527		

ตารางที่ 46 ค่าเฉลี่ย(\bar{x})และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(s) ของอาสาสมัครหญิง

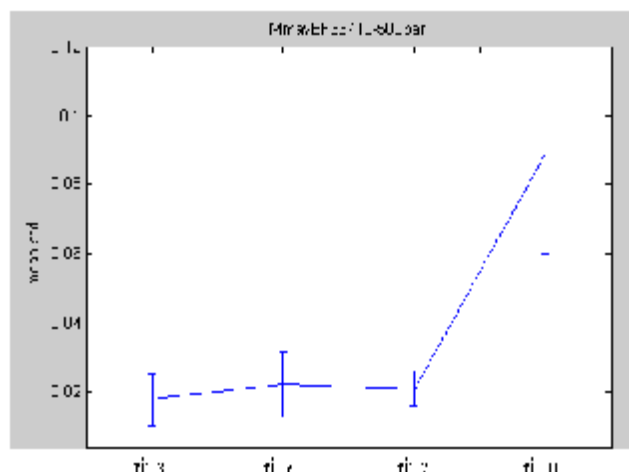
ท่าทาง	WOMAN		MAV of QF		MAV of BF		WAMP of GM	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
3(นั่งเหยียดเข่า)	0.104	0.0209	0.0234	0.0073	372.756	34.9345		
6(ยืนเขย่งปลายเท้า)	0.0314	0.0277	0.0244	0.0123	178.667	127.739		
7(ยืนบนส้นยกปลายเท้า)	0.0559	0.0182	0.02	0.0051	314.644	55.8065		
10(ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง)	0.0672	0.0471	0.0748	0.0248	263.733	160.015		

เมื่อนำค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาเขียนกราฟ โดยใช้คำสั่ง `errorbar` ในโปรแกรม **MATLAB** ทำให้ได้กราฟแสดงดังภาพประกอบ 42 ถึง 47



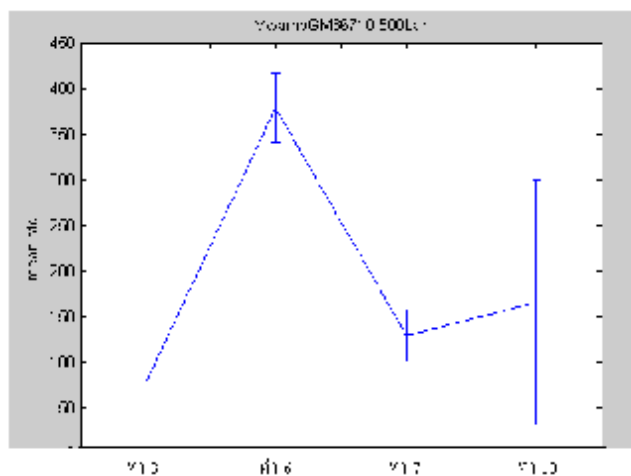
ภาพประกอบ 42 ค่า \bar{x} และ s จากค่า MAV ของกล้ามเนื้อ QF ชาย

จากภาพประกอบ 42 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่า MAV ของมัดกล้ามเนื้อ QF ของอาสาสมัครชายในท่าที่ 3 (นั่งเหยียดเข้า) มีค่าสูงสุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก ใกล้เคียงกับท่าที่ 7 (ยืนบนส้นยกปลายเท้า)



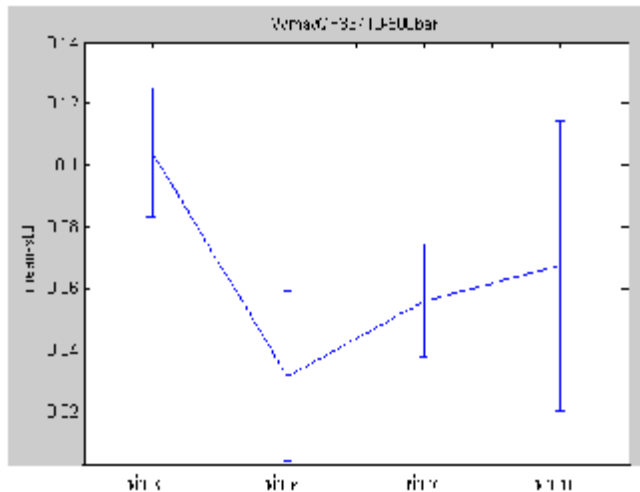
ภาพประกอบ 43 ค่า \bar{x} และ s จากค่า MAV ของกล้ามเนื้อ BF ชาย

จากภาพประกอบ 43 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่า MAV ของมัดกล้ามเนื้อ BF ของอาสาสมัครชายในท่าที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) มีค่ามากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก ในขณะที่ท่าอื่นๆมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย



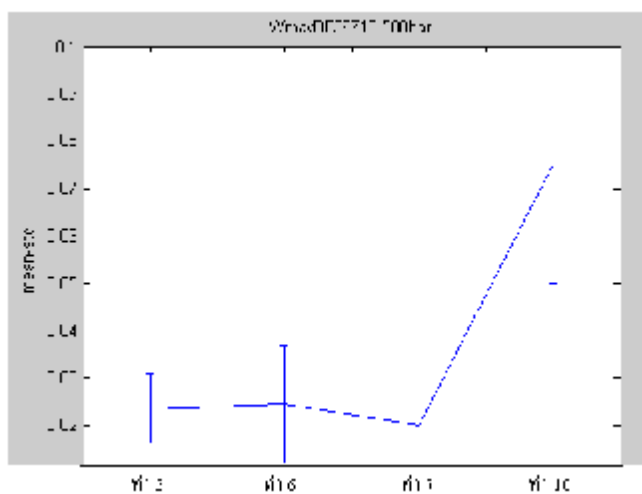
ภาพประกอบ 44 ค่า \bar{x} และ s จากค่า WAMP ของกล้ามเนื้อ GM ชาย

จากภาพประกอบ 44 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่า WAMP ของมัดกล้ามเนื้อ GM ของอาสาสมัครชายในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) มีค่ามากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างน้อย



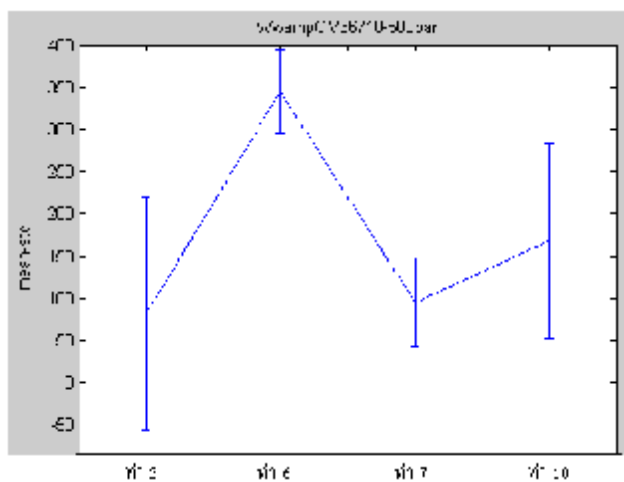
ภาพประกอบ 45 ค่า \bar{x} และ s จากค่า MAV ของกล้ามเนื้อ QF หญิง

จากภาพประกอบ 45 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่า MAV ของมัดกล้ามเนื้อ QF ของอาสาสมัครหญิงในท่าที่ 3 (นั่งเหยียดเข่า) มีค่ามากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างน้อย ในขณะที่ท่าที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) มีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก



ภาพประกอบ 46 ค่า \bar{x} และ s จากค่า MAV ของกล้ามเนื้อ BF หญิง

จากภาพประกอบ 46 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่า MAV ของมัดกล้ามเนื้อ BF ของอาสาสมัครหญิงในท่าที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) มีค่ามากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก ในขณะที่ท่าอื่นๆ มีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย



ภาพประกอบ 47 ค่า \bar{x} และ s จากค่า WAMP ของกล้ามเนื้อ GM หญิง

จากภาพประกอบ 47 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่า WAMP ของมัดกล้ามเนื้อ GM ของอาสาสมัครหญิงในท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) มีค่ามากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างน้อย

ผลการวิเคราะห์จากภาพประกอบที่ 4-2 ถึง 4-7 พบว่า ในการออกกำลังบริหารกล้ามเนื้อ ท่าที่ 3 (นั่งเหยียดเข่า) ค่าสัญญาณในมัดกล้ามเนื้อ QF มีค่ามากที่สุด สามารถใช้คัดแยกท่าที่ 3 (นั่งเหยียดเข่า) ได้ การออกกำลังบริหารกล้ามเนื้อท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ค่าสัญญาณในมัดกล้ามเนื้อ GM มีค่ามากที่สุด สามารถใช้คัดแยกท่าที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) ได้ และการออกกำลังบริหารกล้ามเนื้อท่าที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) ค่าสัญญาณในมัดกล้ามเนื้อ BF มีค่ามากที่สุด สามารถใช้คัดแยกท่าที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) ได้ ดังนั้นโอกาสในการคัดแยกท่าสำหรับการออกกำลังโดยใช้กล้ามเนื้อมัดเดียวจึงสามารถทำได้ โดยกำหนดค่า **threshold** ดังนี้

กำหนดค่า **threshold** ของค่า MAV จากมัดกล้ามเนื้อ QF ที่มีค่าต่ำที่สุด ถ้าค่า MAV ใดมีค่าสูงกว่าค่า **threshold** ที่กำหนดให้พิจารณาเป็น 1 ถ้าค่าต่ำกว่าค่า **threshold** ที่กำหนดให้พิจารณาเป็น 0

กำหนดค่า **threshold** ของค่า MAV จากมัดกล้ามเนื้อ BF ที่มีค่าต่ำที่สุด ถ้าค่า MAV ใดมีค่าสูงกว่าค่า **threshold** ที่กำหนดให้พิจารณาเป็น 1 ถ้าค่าต่ำกว่าค่า **threshold** ที่กำหนดให้พิจารณาเป็น 0

กำหนดค่า **threshold** ของค่า WAMP จากมัดกล้ามเนื้อ GM ที่มีค่าต่ำที่สุด ถ้าค่า WAMP ใดมีค่าสูงกว่าค่า **threshold** ที่กำหนดให้พิจารณาเป็น 1 ถ้าค่าต่ำกว่าค่า **threshold** ที่กำหนดให้พิจารณาเป็น 0

จากการกำหนดค่า **threshold** ดังกล่าวข้างต้น จะพบว่าค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกับค่า **threshold** ของพารามิเตอร์แต่ละตัวในแต่ละมัดกล้ามเนื้อ ได้ค่าเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 การกำหนดค่าสำหรับการจำแนกท่าโดยพิจารณาจากค่า **threshold**

MAV of QF	MAV of BF	WAMP of GM	ผลการคัดแยกท่า
1	0	0	3(นั่งเหยียดเข่า)
0	0	1	6(ยืนเขย่งปลายเท้า)
0	0	0	7(ยืนบนส้นยกปลายเท้า)
0	1	0	10(ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง)

เมื่อนำหลักการนี้ไปพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้กับค่า **threshold** ในอาสาสมัครแต่ละคนโดยใช้ข้อมูลค่า **MAV** ของกล้ามเนื้อ **QF** พิจารณาทำที่ **3** (นั่งเหยียดเข่า) ค่า **MAV** ของกล้ามเนื้อ **BF** พิจารณาทำที่ **10** (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) และค่า **WAMP** ของกล้ามเนื้อ **GM** พิจารณาทำที่ **6** (ยืนเขย่งปลายเท้า) ร่วมกับใช้ตารางที่ **47** ได้ผลการจำแนกสำหรับชายและหญิงตามลำดับ แสดงดังตารางที่ **48** และ **49**

ตารางที่ **48** ผลการจำแนกทำที่ **3, 6, 7** และ **10** ของอาสาสมัครชาย จำนวน **15** คน

การทดลอง คนที่	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ทำที่	QF	BF	GM	ทำที่	QF	BF	GM	ทำที่	QF	BF	GM
M1	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.098	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.103	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=377	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0
M2	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.083	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.101	7	1	0	0	7	1	0	0	7	1	0	0
Threshold=372	10	0	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0
M3	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.083	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.081	7	1	0	0	7	0	0	0	7	1	0	0
Threshold=357	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0

การทดลอง คนก.	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
M4	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.113	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.106	7	1	0	0	7	1	0	0	7	0	0	0
Threshold=438	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
M5	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.098	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.107	7	1	0	0	7	0	0	0	7	1	0	0
Threshold=428	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
M6	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.096	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.117	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=429	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
M7	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.041	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.042	7	1	0	0	7	1	0	0	7	1	0	0
Threshold=361	10	1	1	1	10	1	1	1	10	0	1	0

การทดลอง คนก-	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
M8	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.045	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.078	7	1	0	0	7	0	0	0	7	1	0	0
Threshold=338	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	1
M9	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.04	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.065	7	1	0	0	7	1	0	0	7	1	0	0
Threshold=328	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0
M10	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.083	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.054	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=339	10	0	1	1	10	0	1	0	10	0	1	0
M11	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.129	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.047	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=364	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0

การทดลอง คนก-	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
M12	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.079	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.04	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=330	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
M13	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.151	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.078	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=333	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
M14	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.171	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.062	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=327	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
M15	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.116	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.074	7	0	0	0	7	1	0	0	7	0	0	0
Threshold=342	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0

จากตารางที่ 48 สรุปผลการจำแนกทำออกกำลังเพื่อการบริหารกล้ำเนื้อข้อเข้าของอาสาสมัครชาย ได้ดังนี้ การจำแนกทำที่ 3 (นั่งเหยียดเข้า) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้ง มีความถูกต้อง 45 ครั้ง คิดเป็น 100% การจำแนกทำที่ 6 (ยืนเขย่งปลายเท้า) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้ง มีความถูกต้อง 45 ครั้ง คิดเป็น 100% การจำแนกทำที่ 7 (ยืนบนส้นขยปลายเท้า) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้ง มีความถูกต้อง 27 ครั้ง คิดเป็น 60% มีการจำแนกผิดไป 18 ครั้ง โดยจำแนกเป็นค่า 1 0 0 และการจำแนกทำที่ 10 (ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้ง มีความถูกต้อง 28 ครั้ง คิดเป็น 62% มีการจำแนกผิดไป 17 ครั้ง โดยจำแนกเป็นค่า 1 1 0, 1 1 1 และ 0 1 1 ดังนั้นจากการทดลองทั้งหมด 180 ครั้ง มีความถูกต้อง 145 ครั้ง คิดเป็น 80%

ตารางที่ 49 ผลการจำแนกทำที่ 3, 6, 7 และ 10 ของอาสาสมัครหญิง จำนวน 15 คน

การทดลอง คนที่	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
W1	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.066	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.098	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=301	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	1
W2	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.069	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.058	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=265	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	1

การทดลอง คนก.	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
W3 Threshold=0.076 Threshold=0.068 Threshold=289	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
W4 Threshold=0.069 Threshold=0.038 Threshold=353	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	1	10	0	1	1	10	0	1	0
W5 Threshold=0.088 Threshold=0.037 Threshold=367	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
W6 Threshold=0.088 Threshold=0.042 Threshold=374	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0

การทดลอง คนก-	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
W7 Threshold=0.119 Threshold=0.054 Threshold=419	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0
W8 Threshold=0.122 Threshold=0.066 Threshold=389	3	1	0	1	3	1	0	0	3	1	0	1
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
W9 Threshold=0.137 Threshold=0.04 Threshold=358	3	1	0	1	3	1	0	1	3	1	0	1
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0
W10 Threshold=0.086 Threshold=0.081 Threshold=335	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	1	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	1	1	0	10	1	1	0	10	1	1	0

การทดลอง คนก.	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
W11 Threshold=0.097 Threshold=0.063 Threshold=314	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
W12 Threshold=0.105 Threshold=0.057 Threshold=299	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
W13 Threshold=0.091 Threshold=0.051 Threshold=317	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0
W14 Threshold=0.099 Threshold=0.063 Threshold=199	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0

การทดลอง คนที	ครั้งที่1				ครั้งที่2				ครั้งที่3			
	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM	ท่าที่	QF	BF	GM
W15	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0
Threshold=0.089	6	0	0	1	6	0	0	1	6	0	0	1
Threshold=0.066	7	0	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0
Threshold=252	10	0	1	0	10	0	1	0	10	0	1	0

จากตารางที่ 49 สรุปผลการจำแนกท่าออกกำลังเพื่อการบริหารกล้ามเนื้อข้อเข้าของอาสาสมัครหญิง ได้ดังนี้ การจำแนกท่าที่3(นั่งเหยียดเข้า) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้ง มีความถูกต้อง 40 ครั้ง คิดเป็น 88% มีการจำแนกผิดไป 5 ครั้ง โดยจำแนกเป็นค่า 101 การจำแนกท่าที่6(ยืนเขย่งปลายเท้า) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้ง มีความถูกต้อง 45 ครั้ง คิดเป็น 100% การจำแนกท่าที่7(ยืนบนส้นยกปลายเท้า) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้งมีความถูกต้อง 44 ครั้ง คิดเป็น 97% มีการจำแนกผิดไป 1 ครั้ง โดยจำแนกเป็นค่า 100 และการจำแนกท่าที่10(ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง) จากการทดลองทั้งหมด 45 ครั้งมีความถูกต้อง 32 ครั้ง คิดเป็น 71% มีการจำแนกผิดไป 13 ครั้ง โดยจำแนกเป็นค่า 110 และ 011 ดังนั้นจากการทดลองทั้งหมด 180 ครั้ง มีความถูกต้อง 161 ครั้ง คิดเป็น 89%

43วิเคราะห์ผลโดยกำหนดตารางค่าความจริงและสมการค่าความจริง

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาทำให้พิจารณาได้ว่าการใช้มัดกล้ามเนื้อมัดเดียวยังให้ผลในการคัดแยกได้ไม่ถูกต้องทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยใช้ค่า ในตารางที่ 48 และ 49 พิจารณาร่วมกัน กำหนดเป็นตารางค่าความจริง แสดงดังตารางที่ 410 ถึง 413

ตารางที่ 410 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 3

MW	ทำที่3(t_3)			
QF \ BFGM	00	01	10	11
0	0	0	0	0
1	1	1	0	0

ตารางที่ 411 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 6

MW	ทำที่6(t_6)			
QF \ BFGM	00	01	10	11
0	0	1	0	0
1	0	0	0	0

ตารางที่ 412 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 7

MW	ทำที่7			
QF \ BFGM	00	01	10	11
0	1	0	0	0
1	1	0	0	0

ตารางที่ 413 แสดงค่าความจริงในการจำแนกทำที่ 10

MW	ทำที่10			
QF \ BFGM	00	01	10	11
0	0	0	1	1
1	0	0	1	1

ผู้วิจัยได้ใช้ผลการตัดแยกจากกล้ำเนื้อหลายมัดพิจารณาร่วมกัน สร้างเป็นสมการค่าความจริง โดยทำที่ 3 ใช้ความสัมพันธ์ของกล้ำเนื้อ QF และ BF ได้สมการค่าความจริงที่ 41 ดังนี้

$$t3 = QF \cdot \overline{BF} = 1 \quad (41)$$

ซึ่งผลการตัดแยกทำที่ 3 โดยใช้สมการค่าความจริง 41 ร่วมกับตารางที่ 48 และ 49 ให้ผลการจำแนกมีความถูกต้อง 100%

ทำที่ 6 ใช้ความสัมพันธ์ของกล้ำเนื้อ QF BF และ GM ได้สมการค่าความจริงที่ 42 ดังนี้

$$t6 = \overline{QF} \cdot \overline{BF} \cdot GM = 1 \quad (42)$$

ซึ่งผลการตัดแยกทำที่ 6 โดยใช้สมการค่าความจริง 42 ร่วมกับตารางที่ 48 และ 49 ให้ผลการจำแนกมีความถูกต้อง 100%

ทำที่ 7 ใช้ความสัมพันธ์ของกล้ำเนื้อ BF และ GM ได้สมการค่าความจริงที่ 43 ดังนี้

$$t7 = \overline{BF} \cdot \overline{GM} = 1 \quad (43)$$

ซึ่งผลการตัดแยกทำที่ 7 โดยใช้สมการค่าความจริง 43 ร่วมกับตารางที่ 48 และ 49 ให้ผลการจำแนกมีความถูกต้อง 100%

ทำที่ 10 ใช้ความสัมพันธ์ของกล้ำเนื้อ BF ได้สมการค่าความจริงที่ 44 ดังนี้

$$t10 = BF = 1 \quad (44)$$

ซึ่งผลการตัดแยกทำที่ 10 โดยใช้สมการค่าความจริง 44 ร่วมกับตารางที่ 48 และ 49 ให้ผลการจำแนกมีความถูกต้อง 100%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้ง ปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการบริหารข้อเข่า การศึกษาได้เริ่มจากการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ทำให้ได้เครื่องวัดสัญญาณที่มีค่าอัตราขยายประมาณ 1,000 เท่า ค่า **Common-Mode Rejection Ratio (CMRR)** ประมาณ 89 dB มีวงจรกรองความถี่ผ่านในช่วง 8 Hz - 1.2 kHz และวงจร **Notch filter** เพื่อกำจัดความถี่ 50 Hz หลังจากนั้นผู้วิจัยได้เริ่มเก็บสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากอาสาสมัครเพศชายและหญิงอายุระหว่าง 20-30 ปี จำนวน 15 คนต่อเพศ เริ่มทดลองกับอาสาสมัครทีละคนติดอิเล็กโทรดบริเวณกล้ามเนื้อขาข้างขวา 3 ตำแหน่ง ตรงบริเวณมัดกล้ามเนื้อ **Quadriceps Femoris (QF)** **Biceps Femoris (BF)** และ **Gastrocnemius (GM)** และกราวด์ 1 ตำแหน่งที่ข้อมือข้างซ้าย โดยเก็บสัญญาณทั้งหมด 10 ท่า ในแต่ละท่าทำซ้ำกัน 3 รอบ ทำการบันทึกสัญญาณโดยใช้ **NI USB-6009 Labview card** กำหนดอัตราการสุ่ม 1,024 ครั้งต่อวินาที เก็บสัญญาณเป็น **off line** แต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 2 วินาที จนครบทั้งหมด 30 คน แล้วจึงนำสัญญาณมาวิเคราะห์ผลในภายหลัง

นำสัญญาณของแต่ละคนแต่ละท่า มาจัดเก็บเป็น 3 ช่วง คือ ช่วง 300 samples 500 samples และ 700 samples โดยเริ่มที่จุดเดียวกัน จากนั้นคำนวณค่าลักษณะเด่นทั้ง 6 พารามิเตอร์ โดยใช้โปรแกรม **Labview 8.6** ประกอบด้วย ค่า **Root Mean Square Value (V_{rms})** **Mean Absolute Value (MAV)** **Slope Sign Changes (SSC)** **Zero Crossing (ZC)** **Willison Amplitude (WAMP)** และ **Waveform Length (WL)** หลังจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆเขียนกราฟ **scatter** ในสามมิติ พบว่าท่าทางที่ใช้ในการบริหารกล้ามเนื้อทั้ง 10 ท่า มีบางท่าให้ผลในการบริหารกล้ามเนื้อคล้ายกัน ดังนั้นผู้วิจัย จึงคัดเลือกท่าที่นิยมใช้และให้ผลดีในการบริหารมา 4 ท่า ประกอบด้วย ท่าที่ 3 นั่งเหยียดเข่า ท่าที่ 6 ยืนเข่งปลายเท้า ท่าที่ 7 ยืนบนส้นยกปลายเท้า และท่าที่ 10 ยืนเหยียดขาไปด้านหลัง

หลังจากนั้นวิเคราะห์เพื่อจำแนกท่าทางทั้ง 4 ท่า เริ่มจากการหาค่า **RES index** ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการจำแนก ดังนี้ ค่า **MAV** สำหรับวิเคราะห์กล้ามเนื้อ **QF** และ **BF** สำหรับกล้ามเนื้อ **GM** ใช้ค่า **WAMP** แล้ววิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าค่าสัญญาณในมัดกล้ามเนื้อ **BF** สามารถจำแนกท่าที่ **10** ได้ และค่าสัญญาณในมัดกล้ามเนื้อ **GM** สามารถจำแนกท่าที่ **6** ได้แต่สำหรับท่าที่ **3** และ **7** ไม่สามารถใช้มัดกล้ามเนื้อ **QF** เพียงมัดเดียวจำแนกได้ จากข้อค้นพบนี้ผู้วิจัยได้จึงใช้ค่า **threshold** ที่เหมาะสมเป็นค่าต่ำสุดในแต่ละมัดกล้ามเนื้อ กำหนดตารางค่าสำหรับการจำแนกได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ **5-1** และ **5-2**

ตารางที่ 5-1 ผลการจำแนกของอาสาสมัครชาย จากการทดลองท่าละ 45 ครั้ง

ท่าที่	จำนวนครั้งที่จำแนกได้ถูกต้อง(คิดเป็น%)	จำนวนครั้งที่จำแนกไม่ถูกต้อง(คิดเป็น%)
3	45(100%)	-
6	45(100%)	-
7	27(60%)	18(40%)
10	28(62%)	17(38%)
รวม	145(80%)	35(20%)

ตารางที่ 5-2 ผลการจำแนกของอาสาสมัครหญิง จากการทดลองท่าละ 45 ครั้ง

ท่าที่	จำนวนครั้งที่จำแนกได้ถูกต้อง(คิดเป็น%)	จำนวนครั้งที่จำแนกไม่ถูกต้อง(คิดเป็น%)
3	40(88%)	5(12%)
6	45(100%)	-
7	44(97%)	1(3%)
10	32(71%)	13(29%)
รวม	161(89%)	19(11%)

สุดท้ายผู้วิจัยได้ใช้ผลการวิเคราะห์จากกล้ามเนื้อหลายมัดพิจารณาร่วมกับตารางที่ 47 และ 48 สร้างเป็นสมการค่าความจริง ดังนี้

$$t3 = QF \cdot \overline{BF} = 1$$

$$t6 = \overline{QF} \cdot \overline{BF} \cdot GM = 1$$

$$t7 = \overline{BF} \cdot \overline{GM} = 1$$

$$t10 = BF = 1$$

ผลการจำแนกท่าทางการออกกำลังกายทั้ง 4 ท่า ให้ผลการจำแนกมีความถูกต้อง 100% โดยการออกกำลังกายนั่งเหยียดเข่าจะช่วยฟื้นฟูและทำให้มัดกล้ามเนื้อ QF มีความแข็งแรง การออกกำลังกายยืนเข่งปลายเท้าจะช่วยฟื้นฟูและทำให้มัดกล้ามเนื้อ GM มีความแข็งแรง การออกกำลังกายยืนบนส้นยกปลายเท้าจะช่วยฟื้นฟูและทำให้มัดกล้ามเนื้อ GM และกล้ามเนื้อบริเวณหน้าแข้งมีความแข็งแรง และการออกกำลังกายยืนเหยียดขาไปด้านหลังจะช่วยฟื้นฟูและทำให้มัดกล้ามเนื้อ BF มีความแข็งแรง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหา

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ให้ความสำคัญกับการศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการบริหารข้อเข่า ซึ่งท่าทางที่ใช้ในการออกกำลังกายบริหารข้อเข่าแต่ละท่านั้นมีความลำบากในการเก็บค่าสัญญาณ เนื่องจากต้องใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าสองเมตร เมื่อเก็บสัญญาณทำให้สัญญาณที่ได้ มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ต้องทำการเก็บสัญญาณใหม่ สร้างความเหนื่อยล้าให้กับอาสาสมัคร ดังนั้นสำหรับผู้ที่จะสนใจจะทำการวิจัยในลักษณะเดียวกันนี้ควรพัฒนาอุปกรณ์วัดและเก็บสัญญาณ ให้เป็นแบบไร้สาย เพื่อลดปัญหาดังกล่าว

5.22 ข้อเสนอแนะ

1. จากการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์สัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการบริหารกล้ามเนื้อข้อเข่าในท่ายืนบนส้นยกปลายเท้า นั้น ให้ผลในการบริหารกล้ามเนื้อน่องและกล้ามเนื้อหน้าแข้งร่วมด้วย ดังนั้นหากมีผู้สนใจจะทำการวิจัย จึงควรเพิ่มช่องเก็บสัญญาณบริเวณกล้ามเนื้อหน้าแข้ง โดยเฉพาะจะได้ค่าสัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ในการบริหารกล้ามเนื้อหน้าแข้งได้

2. ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขาและการจำแนกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อทั้ง 4 ท่า นำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกันต่อไป เช่น การเชื่อมต่อการออกกำลังกายแต่ละท่าไปยังเกมส์คอมพิวเตอร์เพื่อให้เกิดความเพลิดเพลินในการออกกำลังกายในผู้สูงอายุ หรือการนับจำนวนครั้งในการออกกำลังกายในแต่ละท่า

บรรณานุกรม

- [1] งานเวชสถิติ กลุ่มงานเวชศาสตร์ฟื้นฟู ศูนย์สิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพ , ینگบประมาณ 2550
- [2] นพ.วิรัตน์ เตชะอาภรณ์กุล, ศูนย์สิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพ : <http://thai-sle.com/smf>
- [3] เนลิมาชัย แซ่ลิ้ม, “ การคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ เพื่อตรวจจับสัญญาณที่บ่งบอกการกลืน ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2539. หน้า 1-60
- [4] สาวิตร สุวรรณรัตน์, “ การวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแขน **Biceps Brachii** ที่เกิดจากการยกน้ำหนักขณะที่ยืนอยู่ในสภาวะสมดุล ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546. หน้า 1-76
- [5] David G.Lloyd, Thor F.Besier, “An EMG-driven musculoskeletal model to estimate muscle forces and knee joint moment in vivo”, *Journal of Biomechanics*, 36,2003, pp765-776
- [6] Yiu-Ming wong, Gabriel Y.F.Ng, “Surface electrode placement affects the EMG recording of the quadriceps muscles”, *Physical Therapy in Sport*, 7,2006, pp122-127
- [7] http://www.siamhealth.net/public_html
- [8] กองออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, “ การออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ ”, นนทบุรี
- [9] รศ.กานดา ใจภักดี, “ วิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว ” พิมพ์ครั้งที่3, บริษัทสำนักพิมพ์ดวงกมล (2520) จำกัด , 2542
- [10] ดารณี สุวพันธ์ และคณะ, “ การประเมินความสามารถในการทำกิจกรรมของผู้ป่วย/ผู้พิการวารสารกรมการแพทย์, ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม 2548
- [11] รศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์, “ มหกายวิภาคศาสตร์การเคลื่อนไหว ” พิมพ์ครั้งที่1, พี.บี. ฟอเรน บู้คส์ เซนเตอร์ม , กรกฎาคมม , 2547
- [12] <http://www.beebleblog.com/images/thighdiagramsmall.jpg>
- [13] <http://www.getfittogolf.com.au/glossary/glossary.cfm>
- [14] กรมการแพทย์ 2499: 114
- [15] ชีรเดช เสวดไพบุณย์กิจ, “ การพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์ของระบบช่วยวินิจฉัยผู้ป่วยที่มีปัญหาการกลืน ” ,ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540. หน้า 1-36

- [16] A. Phinyomark, S. Hirunviniya, C. Limsakul and P. Phukpattaranont “ Evaluation of EMG Feature Extraction for Hand Movement Recognition Based on Euclidean Distance and Standard Deviation” , IEEE Proc. 7th Int. conf. Electrical Engineering/Electronic, Computer, Telecommunications and Information Technology ,2010, pp 856-860
- [17] H.-P.Huang, Y.-H. Liu, and C.-S. Wong “Automatic EMG feature evaluation for controlling a prosthetic hand using a supervised feature mining method an intelligent approach” , IEEE Proc. Int. Conf. Robotics and Automation, 2003, pp 220-225

ภาคผนวก

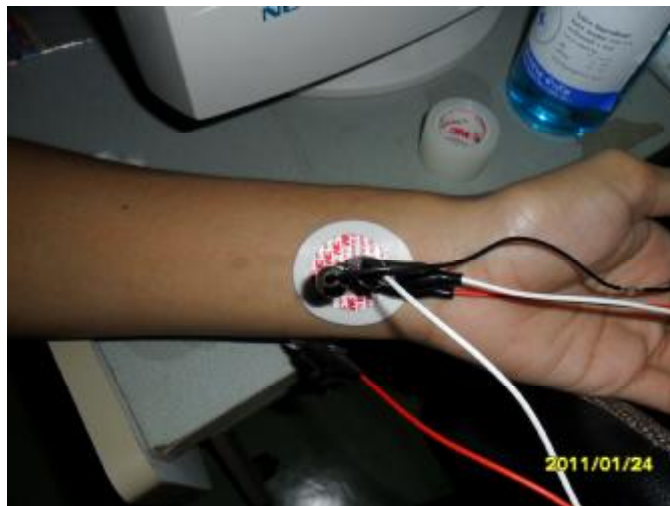
ภาคผนวก ก การติดตั้งเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขา



ภาพประกอบ ก-1 การติดอิเล็กโทรดบริเวณกล้ามเนื้อ **QF**



ภาพประกอบ ก-2 การติดอิเล็กโทรดบริเวณกล้ามเนื้อ **BF** (บน) และกล้ามเนื้อ **GM** (ล่าง)



ภาพประกอบ ก-3 การติดอิเล็กโทรดบริเวณข้อมือ เป็นกราวด์ร่วม



ภาพประกอบ ก-4 เครื่องมือวัดสัญญาณ



ภาพประกอบ ก-5 A/D Labview card 6009

ภาคผนวก ข

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณ 500samples
ของอาสาสมัครเพศชายและหญิง จำนวน 15คน/เพศ

ตารางที่ ข-1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.053/0.052	0.043/0.042	54/89	131/142	262/289	19.284/21.829
2	0.061/0.035	0.049/0.028	77/76	133/144	301/231	22.027/15.394
3	0.134/0.117	0.105/0.093	72/104	96/80	340/342	35.067/30.418
4	0.078/0.09	0.059/0.069	43/104	71/102	228/316	16.967/27.27
5	0.017/0.033	0.013/0.025	3/65	32/98	39/155	6.788/11.334
6	0.069/0.044	0.055/0.035	99/140	158/178	327/278	27.836/21.753
7	0.119/0.045	0.094/0.035	122/64	147/127	383/253	44.653/18.448
8	0.194/0.106	0.148/0.073	111/86	127/125	402/336	58.323/33.104
9	0.044/0.059	0.033/0.042	12/12	41/44	105/123	9.946/10.879
10	0.136/0.034	0.107/0.027	157/21	139/67	421/125	51.512/11.223

ตารางที่ ข-2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.013/0.018	0.01/0.015	1/6	12/21	16/34	5.091/6.899
2	0.009/0.017	0.007/0.014	0/1	0/17	0/21	3.532/5.855
3	0.022/0.021	0.016/0.016	0/1	6/25	8/33	4.892/6.654
4	0.028/0.025	0.021/0.019	2/6	23/37	50/64	7.221/7.596
5	0.078/0.087	0.059/0.061	115/64	147/113	317/267	27.034/25.134
6	0.019/0.051	0.015/0.039	3/115	41/156	57/296	7.467/24.121
7	0.027/0.024	0.022/0.019	17/7	88/30	135/57	10.86/7.847
8	0.028/0.025	0.021/0.019	6/1	47/35	82/55	8.755/7.707
9	0.044/0.06	0.034/0.044	16/30	66/95	146/216	12.109/16.311
10	0.162/0.137	0.126/0.098	112/127	125/135	393/361	48.65/46.066

ตารางที่ ข-3 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่1/อาสาสมัครหญิงคนที่1 (M1/W1)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.028/0.012	0.022/0.01	1/0	66/8	106/8	9.482/4.615
2	0.156/0.037	0.124/0.029	118/61	149/151	409/225	57.654/16.783
3	0.051/0.012	0.039/0.009	85/2	160/12	291/15	22.117/4.36
4	0.015/0.064	0.01/0.039	4/28	9/69	18/147	4.989/16.95
5	0.043/0.056	0.033/0.04	62/50	143/107	241/219	19.601/20.013
6	0.114/0.085	0.089/0.066	132/86	158/128	384/316	43.522/30.737
7	0.036/0.022	0.029/0.017	6/4	74/41	158/65	11.515/7.543
8	0.009/0.013	0.008/0.01	0/0	4/2	4/2	4.489/3.809
9	0.067/0.077	0.051/0.056	54/89	132/136	287/311	24.787/26.602
10	0.081/0.037	0.062/0.025	85/11	137/56	322/93	28.044/9.703

ตารางที่ ข-4 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่2/อาสาสมัครหญิงคนที่2 (M2/W2)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.052/0.046	0.041/0.036	64/92	114/147	265/281	19.818/20.173
2	0.06/0.032	0.047/0.025	69/63	129/121	292/200	21.909/14.074
3	0.13/0.094	0.1/0.071	75/82	103/110	339/311	31.167/25.867
4	0.064/0.068	0.05/0.05	39/73	71/123	226/277	15.818/21.27
5	0.019/0.038	0.015/0.03	12/105	38/102	57/220	7.744/15.189
6	0.035/0.027	0.027/0.022	55/85	128/124	214/181	15.741/12.977
7	0.111/0.045	0.087/0.035	132/89	156/144	393/270	40.831/19.972
8	0.181/0.038	0.145/0.028	138/117	134/135	411/216	60.196/14.352
9	0.031/0.039	0.024/0.03	3/83	32/119	74/204	7.711/13.944
10	0.081/0.033	0.063/0.026	88/24	139/77	332/142	29.097/11.022

ตารางที่ ข-5 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่2/อาสาสมัครหญิงคนที่2 (M2/W2)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.011/0.019	0.009/0.015	0/1	5/21	5/33	4.375/6.685
2	0.008/0.018	0.006/0.014	0/0	0/10	0/17	3.288/5.572
3	0.014/0.017	0.01/0.013	0/0	0/15	1/22	3.752/5.696
4	0.019/0.042	0.014/0.03	0/15	16/46	21/120	5.562/10.573
5	0.136/0.072	0.102/0.051	154/43	162/62	403/186	50.356/16.705
6	0.011/0.034	0.009/0.026	1/37	1/104	4/174	4.146/13.357
7	0.026/0.024	0.021/0.019	9/11	74/38	110/56	9.721/7.783
8	0.027/0.021	0.021/0.016	10/7	67/38	117/50	9.916/7.593
9	0.039/0.077	0.03/0.059	16/71	64/102	138/283	10.852/22.865
10	0.156/0.159	0.123/0.118	135/142	128/137	398/389	49.188/58.82

ตารางที่ ข-6 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่2/อาสาสมัครหญิงคนที่2 (M2/W2)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.025/0.012	0.02/0.01	2/0	49/6	78/6	8.748/4.503
2	0.106/0.025	0.083/0.02	147/24	176/103	392/143	47.026/11.397
3	0.03/0.009	0.022/0.007	36/0	97/2	156/2	12.073/3.563
4	0.009/0.085	0.007/0.044	0/29	1/65	2/156	3.664/18.753
5	0.105/0.027	0.084/0.02	126/26	173/53	387/91	46.347/9.339
6	0.104/0.069	0.079/0.054	111/82	149/138	373/307	37.758/25.484
7	0.029/0.022	0.023/0.018	9/1	72/50	125/73	10.495/7.978
8	0.008/0.012	0.006/0.009	0/0	0/5	0/7	3.435/4.266
9	0.046/0.112	0.035/0.081	37/81	103/117	211/316	16.525/33.438
10	0.021/0.057	0.016/0.041	11/50	60/98	88/217	8.959/18.388

ตารางที่ ข-7 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 3/อาสาสมัครหญิงคนที่ 3 (M/W3)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.091/0.052	0.072/0.042	100/95	144/147	345/292	32.799/22.874
2	0.059/0.059	0.046/0.046	74/115	121/155	287/317	20.778/24.227
3	0.108/0.098	0.083/0.076	66/91	98/102	321/313	27.709/26.239
4	0.088/0.081	0.067/0.064	45/118	84/124	264/336	20.903/28.78
5	0.017/0.035	0.013/0.028	10/75	52/79	65/159	7.735/11.988
6	0.059/0.022	0.047/0.017	81/40	156/90	309/125	24.503/9.609
7	0.127/0.052	0.093/0.041	141/86	160/153	386/279	44.501/21.933
8	0.232/0.098	0.189/0.07	125/88	135/83	433/264	75.298/18.983
9	0.03/0.047	0.024/0.038	5/53	43/72	76/192	8.307/13.106
10	0.103/0.056	0.083/0.041	127/48	161/91	377/223	41.847/17.243

ตารางที่ ข-8 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 3/อาสาสมัครหญิงคนที่ 3 (M/W3)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.017/0.018	0.014/0.015	4/6	40/30	49/38	6.91/6.702
2	0.007/0.02	0.005/0.016	0/5	0/37	0/50	2.744/7.202
3	0.013/0.019	0.009/0.015	0/3	2/26	3/38	3.815/6.62
4	0.024/0.025	0.018/0.02	0/7	16/27	35/55	6.364/7.326
5	0.109/0.059	0.083/0.038	151/24	171/53	385/157	43.237/13.177
6	0.016/0.043	0.012/0.034	4/62	32/130	40/231	6.859/17.034
7	0.029/0.026	0.023/0.021	23/19	82/53	146/87	11.181/8.882
8	0.033/0.036	0.025/0.025	19/29	80/69	142/114	11.734/11.637
9	0.049/0.068	0.037/0.047	19/35	68/78	163/207	13.002/16.44
10	0.158/0.141	0.12/0.106	100/155	103/178	362/398	41.051/58.607

ตารางที่ ข-9 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่ 3 และอาสาสมัครหญิงคนที่ 3 (M/W3)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.02/0.012	0.016/0.01	2/0	48/5	62/5	7.537/4.546
2	0.162/0.027	0.125/0.021	137/33	159/106	412/152	59.454/12.279
3	0.021/0.031	0.017/0.02	12/8	62/22	87/55	9.121/7.781
4	0.009/0.042	0.007/0.024	0/12	1/43	1/86	3.796/10.216
5	0.059/0.058	0.046/0.042	88/57	164/117	308/239	26.135/20.884
6	0.12/0.08	0.094/0.062	137/62	162/112	397/289	47.493/21.94
7	0.027/0.025	0.022/0.02	5/2	74/58	110/84	9.88/8.834
8	0.009/0.028	0.007/0.019	0/7	1/28	1/61	3.835/7.061
9	0.045/0.065	0.034/0.043	34/57	100/101	205/215	15.908/19.002
10	0.009/0.036	0.007/0.028	0/16	2/51	2/118	3.969/10.139

ตารางที่ ข-10 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 4 และอาสาสมัครหญิงคนที่ 4 (M/W4)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.141/0.079	0.111/0.064	148/71	150/100	409/310	51.162/23.035
2	0.118/0.07	0.094/0.057	133/43	156/93	391/263	44.542/20.981
3	0.191/0.117	0.143/0.093	124/88	142/100	402/340	58.402/33.76
4	0.078/0.075	0.058/0.061	63/49	111/94	284/268	23.485/20.957
5	0.02/0.042	0.015/0.028	1/4	22/18	35/51	6.425/7.355
6	0.056/0.013	0.044/0.01	59/1	128/19	263/25	20.843/5.572
7	0.168/0.056	0.128/0.044	140/55	158/125	414/277	57.913/21.002
8	0.092/0.096	0.066/0.075	83/88	112/110	303/327	26.594/28.981
9	0.302/0.058	0.225/0.046	156/18	142/56	443/174	99.489/12.64
10	0.108/0.014	0.085/0.011	114/3	148/20	371/22	41.122/5.681

ตารางที่ ข-11 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่4อาสาสมัครหญิงคนที่4(M/W4)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.031/0.019	0.025/0.015	53/1	137/18	200/27	14.285/5.949
2	0.032/0.013	0.025/0.01	44/0	120/3	186/3	14.011/4.007
3	0.036/0.026	0.027/0.02	70/19	141/72	226/105	15.863/9.317
4	0.011/0.024	0.009/0.019	0/40	0/84	0/124	3.846/10.282
5	0.132/0.038	0.099/0.029	145/11	137/47	395/111	46.968/10.024
6	0.03/0.014	0.022/0.011	47/9	102/28	143/33	12.932/6.595
7	0.03/0.019	0.024/0.015	53/10	118/56	188/75	13.8/8.211
8	0.012/0.013	0.009/0.01	0/1	10/10	11/11	4.75/4.691
9	0.016/0.031	0.012/0.025	0/58	15/106	20/171	5.68/12.402
10	0.180/0.067	0.131/0.051	135/97	151/122	391/286	62.414/23.428

ตารางที่ ข-12 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่4อาสาสมัครหญิงคนที่4(M/W4)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.045/0.027	0.035/0.021	17/2	106/50	216/86	15.251/8.931
2	0.103/0.077	0.08/0.062	163/138	214/176	377/365	50.444/36.165
3	0.016/0.013	0.013/0.01	5/0	35/4	46/6	6.964/5.207
4	0.009/0.02	0.007/0.016	0/1	0/39	0/47	2.828/6.943
5	0.058/0.089	0.043/0.072	104/163	178/214	309/389	26.267/45.912
6	0.226/0.093	0.177/0.07	195/125	202/162	456/355	105.97/38.153
7	0.032/0.038	0.025/0.03	7/13	82/87	155/165	11.285/12.653
8	0.011/0.02	0.008/0.016	3/1	17/3	18/6	4.887/4.879
9	0.051/0.069	0.039/0.054	104/81	160/144	288/301	23.538/24.466
10	0.011/0.107	0.009/0.086	0/110	15/118	15/360	5.158/38.016

ตารางที่ ข-13 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 5/อาสาสมัครหญิงคนที่ 5 (M5/W5)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.112/0.117	0.089/0.095	116/125	147/121	383/381	41.469/39.552
2	0.096/0.095	0.078/0.074	131/65	146/103	384/297	38.452/26.777
3	0.124/0.11	0.098/0.088	126/76	157/95	392/331	44.922/28.041
4	0.251/0.073	0.183/0.058	151/62	150/99	424/278	88.784/21.738
5	0.034/0.018	0.025/0.014	1/6	25/34	59/45	7.29/7.303
6	0.044/0.014	0.034/0.011	66/3	131/21	258/32	18.795/5.931
7	0.253/0.06	0.202/0.046	146/74	121/144	439/289	78.014/23.642
8	0.079/0.083	0.056/0.064	67/89	101/115	276/326	23.438/27.097
9	0.26/0.051	0.2/0.038	151/79	136/121	453/230	85.884/15.895
10	0.066/0.011	0.049/0.009	70/0	129/3	281/4	23.031/4.702

ตารางที่ ข-14 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 5/อาสาสมัครหญิงคนที่ 5 (M5/W5)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.029/0.025	0.023/0.02	36/16	124/65	189/112	13.041/9.767
2	0.027/0.012	0.021/0.01	48/0	122/6	173/7	12.538/4.503
3	0.03/0.019	0.023/0.015	45/7	105/32	171/44	13.069/6.389
4	0.017/0.02	0.013/0.015	2/19	22/60	29/80	6.17/8.808
5	0.12/0.028	0.091/0.022	130/8	150/37	385/66	44.065/8.1
6	0.023/0.023	0.017/0.016	23/22	78/60	103/86	9.732/9.21
7	0.035/0.023	0.027/0.018	46/20	129/78	211/112	15.058/9.664
8	0.009/0.011	0.007/0.009	0/0	1/6	1/6	3.823/4.57
9	0.015/0.024	0.012/0.019	0/3	5/19	7/39	5.048/6.855
10	0.154/0.047	0.115/0.037	148/38	146/87	374/195	54.202/14.524

ตารางที่ ข-15 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่ 5/อาสาสมัครหญิงคนที่ 5 (M5/W5)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.044/0.032	0.035/0.025	18/5	114/73	226/135	16.177/11.154
2	0.134/0.094	0.106/0.075	196/174	214/213	432/407	66.937/46.527
3	0.017/0.014	0.013/0.011	6/0	56/4	67/7	7.547/5.063
4	0.009/0.026	0.007/0.02	0/8	2/58	2/95	3.57/9.34
5	0.015/0.072	0.011/0.053	7/127	22/179	31/329	5.672/31.829
6	0.215/0.112	0.167/0.087	208/150	211/194	460/403	104.85/48.783
7	0.023/0.036	0.018/0.029	1/7	44/91	72/159	8.179/12.026
8	0.015/0.013	0.01/0.011	6/0	25/1	34/1	6.122/4.444
9	0.047/0.075	0.034/0.059	84/104	161/147	260/349	20.929/29.988
10	0.01/0.08	0.008/0.058	0/90	1/118	1/291	4.31/29.014

ตารางที่ ข-16 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 6/อาสาสมัครหญิงคนที่ 6 (M6/W6)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.132/0.118	0.108/0.091	137/91	142/115	406/350	47.854/36.104
2	0.089/0.06	0.071/0.047	125/62	156/107	370/259	36.116/18.772
3	0.176/0.123	0.133/0.098	137/103	142/115	417/35	57.337/37.645
4	0.077/0.089	0.058/0.071	66/67	111/91	291/359	23/24.609
5	0.063/0.028	0.044/0.019	13/1	43/18	131/306	12.411/6.434
6	0.038/0.014	0.03/0.011	23/0	98/23	194/31	14.494/5.57
7	0.093/0.072	0.075/0.058	120/91	152/159	374/29	37.043/28.914
8	0.106/0.076	0.072/0.06	93/71	126/118	328/339	31.991/24.633
9	0.287/0.049	0.206/0.037	131/66	139/111	422/223	88.48/16.28
10	0.048/0.013	0.035/0.01	25/2	86/9	189/13	15.497/5.326

ตารางที่ ข-17 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่6/อาสาสมัครหญิงคนที่6 (M6/W6)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.032/0.026	0.025/0.02	50/12	137/50	213/92	13.944/8.92
2	0.024/0.01	0.019/0.008	25/0	91/6	135/9	10.95/5.53
3	0.034/0.027	0.027/0.021	54/19	128/61	219/112	15.27/10.101
4	0.012/0.018	0.009/0.015	0/6	4/35	4/42	4.967/7.135
5	0.128/0.035	0.097/0.028	112/14	138/48	369/111	44.495/9.511
6	0.02/0.023	0.016/0.015	15/18	75/57	96/84	9.108/9.062
7	0.024/0.024	0.019/0.019	22/18	96/87	130/123	10.802/10.292
8	0.009/0.01	0.007/0.008	0/0	1/2	1/2	4.177/4.37
9	0.017/0.02	0.012/0.015	9/3	25/16	37/26	6.467/6.073
10	0.156/0.069	0.12/0.051	157/78	136/110	410/251	57.026/21.444

ตารางที่ ข-18 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่6/อาสาสมัครหญิงคนที่6 (M6/W6)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.039/0.036	0.031/0.028	20/7	117/78	212/141	14.677/11.951
2	0.118/0.069	0.093/0.048	196/95	227/139	414/257	61.96/29.01
3	0.019/0.016	0.014/0.012	11/0	47/6	70/8	8.316/5.113
4	0.007/0.027	0.006/0.021	0/4	0/52	0/90	2.93/8.996
5	0.027/0.087	0.018/0.069	24/136	66/193	99/371	10.26/39.493
6	0.153/0.106	0.122/0.08	200/131	216/167	429/376	75.996/42.993
7	0.034/0.046	0.027/0.037	10/15	107/92	184/211	12.835/14.692
8	0.048/0.012	0.034/0.009	68/0	137/1	231/1	19.574/4.314
9	0.056/0.078	0.041/0.061	83/87	149/148	261/331	24.382/29.476
10	0.011/0.1	0.009/0.076	0/111	6/149	9/354	4.622/36.414

ตารางที่ ข-19 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 7 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 7 (M/W7)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.038/0.091	0.03/0.072	42/130	106/153	194/361	14.211/33.583
2	0.047/0.13	0.037/0.103	31/131	85/149	203/397	14.94/46.66
3	0.076/0.165	0.056/0.123	103/130	113/137	285/390	21.691/50.639
4	0.031/0.099	0.025/0.077	100/55	139/81	211/289	14.477/25.454
5	0.025/0.03	0.02/0.023	106/40	142/94	182/158	12.733/11.937
6	0.033/0.11	0.026/0.088	78/107	151/133	214/383	15.431/39.568
7	0.053/0.041	0.043/0.032	91/137	135/175	274/282	20.069/20.35
8	0.137/0.254	0.108/0.176	102/151	112/137	373/417	39.626/75.301
9	0.036/0.065	0.028/0.051	109/52	152/107	242/248	15.975/19.056
10	0.085/0.167	0.064/0.124	90/151	120/158	330/417	25.865/59.002

ตารางที่ ข-20 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 7 /อาสาสมัครหญิงคนที่ 7 (M/W7)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.01/0.022	0.008/0.017	2/19	10/70	10/98	5.186/9.449
2	0.012/0.026	0.01/0.021	0/45	6/122	6/176	5.172/12.17
3	0.016/0.041	0.012/0.03	2/62	17/101	21/181	5.704/13.547
4	0.045/0.081	0.033/0.06	9/67	40/95	91/274	8.902/25.245
5	0.091/0.198	0.071/0.146	56/185	89/174	288/427	23.31/79.239
6	0.026/0.052	0.02/0.04	17/81	74/132	114/271	10.51/19.42
7	0.018/0.021	0.015/0.017	9/31	57/87	69/117	7.946/10.018
8	0.021/0.063	0.016/0.043	7/62	49/109	76/222	8.048/19.394
9	0.056/0.033	0.041/0.026	10/47	47/92	131/163	10.549/12.501
10	0.089/0.105	0.068/0.079	109/128	144/144	331/354	33.707/38.659

ตารางที่ ข-21 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่7/อาสาสมัครหญิงคนที่7(M7/W7)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.024/0.038	0.019/0.031	13/53	55/147	98/240	9.241/16.956
2	0.179/0.138	0.137/0.111	160/220	175/229	424/428	70.463/73.852
3	0.016/0.047	0.013/0.034	3/84	17/135	21/231	6.113/19.849
4	0.028/0.067	0.022/0.052	16/135	72/196	124/346	10.377/32.475
5	0.044/0.111	0.033/0.081	74/151	131/176	232/356	17.312/47.956
6	0.139/0.121	0.105/0.096	98/188	117/223	371/419	41.254/62.602
7	0.036/0.038	0.028/0.031	10/6	70/72	149/160	11.564/12.222
8	0.031/0.032	0.024/0.021	4/35	69/77	109/126	9.806/11.722
9	0.067/0.06	0.054/0.046	86/126	128/184	317/328	24.32/27.238
10	0.185/0.071	0.145/0.048	138/72	150/133	418/272	67.389/23.98

ตารางที่ ข-22 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อQF
ของอาสาสมัครชายคนที่8/อาสาสมัครหญิงคนที่8(M8/W8)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.054/0.091	0.04/0.072	40/101	110/149	228/352	17.229/32.747
2	0.036/0.093	0.028/0.075	33/125	96/151	172/361	13.24/35.59
3	0.073/0.159	0.056/0.122	77/130	111/113	288/396	21.615/49.07
4	0.03/0.108	0.025/0.087	119/81	157/107	230/350	14.799/31.301
5	0.021/0.029	0.017/0.023	111/29	154/89	181/140	12.23/11.083
6	0.025/0.105	0.02/0.082	93/123	159/144	204/369	13.756/39.135
7	0.067/0.072	0.052/0.058	100/107	122/150	300/347	23.937/28.572
8	0.17/0.223	0.131/0.173	114/134	123/138	394/432	49.95/73.551
9	0.038/0.089	0.03/0.069	104/80	140/113	239/322	15.852/26.53
10	0.085/0.128	0.067/0.101	90/111	126/147	321/385	27.636/44.097

ตารางที่ ข-23 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่8อาสาสมัครหญิงคนที่8(M8/W8)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.014/0.019	0.011/0.015	7/14	33/55	35/78	6.364/8.276
2	0.011/0.021	0.009/0.016	1/35	10/92	10/128	5.091/10.008
3	0.018/0.033	0.014/0.025	0/52	21/100	33/167	6.088/12.675
4	0.048/0.085	0.037/0.066	10/100	37/145	109/329	9.715/31.811
5	0.099/0.141	0.076/0.109	63/174	81/163	300/413	23.433/52.656
6	0.025/0.048	0.019/0.037	19/81	75/130	122/250	10.088/18.629
7	0.022/0.022	0.016/0.018	14/19	51/77	81/106	8.659/9.871
8	0.028/0.079	0.022/0.055	18/74	69/85	118/240	10.188/19.946
9	0.051/0.03	0.04/0.024	9/35	45/76	133/131	10.964/10.869
10	0.128/0.093	0.095/0.066	150/92	159/142	376/304	49.612/32.027

ตารางที่ ข-24 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่8อาสาสมัครหญิงคนที่8(M8/W8)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.027/0.033	0.022/0.026	13/135	67/135	118/203	9.763/14.724
2	0.15/0.116	0.107/0.087	151/211	164/211	403/397	55.979/56.916
3	0.012/0.082	0.01/0.064	0/226	4/226	6/394	4.973/42.981
4	0.04/0.074	0.032/0.055	39/206	120/206	211/337	15.486/35.999
5	0.022/0.106	0.017/0.083	17/179	57/179	86/377	9.025/48.764
6	0.127/0.108	0.094/0.088	93/203	123/203	349/420	40.795/53.112
7	0.031/0.026	0.024/0.02	10/51	75/51	135/85	10.94/8.401
8	0.03/0.09	0.023/0.053	13/45	58/45	111/120	9.771/13.674
9	0.04/0.053	0.032/0.041	25/196	98/196	191/323	13.893/27.326
10	0.097/0.019	0.07/0.014	105/47	141/47	337/64	33.46/7.892

ตารางที่ ข-25 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 9 และอาสาสมัครหญิงคนที่ 9 (M/W9)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.045/0.116	0.034/0.091	39/115	105/148	210/380	14.761/41.38
2	0.033/0.135	0.026/0.109	16/131	78/151	139/403	11.275/49.805
3	0.052/0.174	0.04/0.138	80/127	134/121	240/398	16.517/55.11
4	0.029/0.082	0.023/0.065	97/65	127/99	195/290	13.437/22.924
5	0.02/0.031	0.016/0.024	115/24	164/71	184/125	12.763/10.329
6	0.026/0.081	0.02/0.062	109/86	162/133	208/319	14.448/28.798
7	0.095/0.098	0.074/0.079	128/117	149/129	362/359	33.2/35.726
8	0.137/0.221	0.104/0.17	114/146	126/144	365/433	40.535/76.041
9	0.039/0.077	0.031/0.061	75/68	124/117	221/308	15.948/24.922
10	0.118/0.232	0.093/0.181	107/139	116/137	355/425	35.764/74.697

ตารางที่ ข-26 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่ 9 และอาสาสมัครหญิงคนที่ 9 (M/W9)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.013/0.023	0.01/0.019	1/37	12/98	13/137	5.501/10.617
2	0.01/0.026	0.008/0.021	0/33	3/109	3/153	4.347/11.814
3	0.013/0.044	0.01/0.034	0/73	10/120	10/232	5.226/15.889
4	0.039/0.138	0.03/0.104	11/158	33/163	95/400	9.178/51.111
5	0.074/0.111	0.058/0.084	25/128	68/127	226/360	16.299/39.487
6	0.015/0.045	0.012/0.035	9/86	40/143	50/248	7.549/19.127
7	0.026/0.032	0.02/0.025	17/65	70/129	112/206	10.169/13.927
8	0.024/0.043	0.018/0.033	7/79	37/141	71/245	7.669/18.031
9	0.051/0.04	0.04/0.031	24/49	51/109	147/204	12.305/15.196
10	0.11/0.066	0.078/0.051	88/101	130/138	329/311	35.923/23.913

ตารางที่ ข-27 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่9อาสาสมัครหญิงคนที่9(M9/W9)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.033/0.032	0.025/0.025	22/38	78/125	148/193	11.418/14.12
2	0.174/0.133	0.131/0.104	168/202	173/228	428/428	68.653/69.371
3	0.015/0.109	0.012/0.087	2/200	11/228	18/414	5.604/58.122
4	0.032/0.074	0.025/0.053	16/144	93/167	148/309	11.798/33.573
5	0.018/0.114	0.013/0.088	15/173	54/194	69/405	7.891/52.515
6	0.097/0.113	0.073/0.089	92/161	128/194	337/403	32.261/52.514
7	0.031/0.023	0.025/0.018	9/4	84/40	147/63	11.163/7.526
8	0.024/0.014	0.019/0.011	15/3	66/18	92/21	9.041/5.624
9	0.044/0.074	0.034/0.056	36/171	104/215	214/371	15.719/37.394
10	0.102/0.038	0.066/0.028	70/45	83/119	249/205	27.759/15.786

ตารางที่ ข-28 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อQF
ของอาสาสมัครชายคนที่10อาสาสมัครหญิงคนที่10(M10/W10)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.069/0.107	0.054/0.084	62/131	101/131	270/370	20.037/39.801
2	0.049/0.064	0.039/0.051	25/112	47/132	145/322	11.679/25.243
3	0.115/0.11	0.089/0.086	96/130	111/147	357/373	33.377/41.651
4	0.055/0.033	0.038/0.027	108/105	107/134	204/212	13.902/14.518
5	0.026/0.018	0.019/0.014	78/112	120/159	161/167	11.863/12.046
6	0.019/0.088	0.015/0.069	12/137	68/155	87/361	8.853/32.792
7	0.043/0.111	0.034/0.087	57/119	128/158	239/387	17.905/42.54
8	0.183/0.096	0.138/0.074	66/122	88/137	344/354	41.109/34.077
9	0.081/0.076	0.064/0.059	17/87	61/113	179/298	14.532/22.373
10	0.078/0.118	0.059/0.094	54/133	121/146	289/389	22.847/43.92

ตารางที่ ข-29 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่10อาสาสมัครหญิงคนที่10(M10W10)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.009/0.04	0.007/0.031	0/93	7/147	7/254	5.046/17.826
2	0.008/0.023	0.007/0.018	0/51	1/80	1/124	3.707/10.436
3	0.012/0.037	0.009/0.029	3/80	18/139	20/234	5.531/16.731
4	0.028/0.052	0.02/0.042	6/44	31/44	53/155	7.449/12.019
5	0.06/0.066	0.048/0.051	33/47	84/70	202/202	14.831/14.861
6	0.034/0.034	0.026/0.027	41/74	115/135	182/201	14.028/14.7
7	0.019/0.043	0.015/0.033	21/76	62/135	86/241	8.593/17.068
8	0.019/0.035	0.013/0.027	2/56	34/91	43/182	6.756/13.208
9	0.037/0.035	0.03/0.028	0/62	19/86	51/155	7.076/11.564
10	0.112/0.106	0.086/0.081	130/119	147/134	370/357	41.44/35.553

ตารางที่ ข-30 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่10อาสาสมัครหญิงคนที่10(M10W10)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.02/0.024	0.015/0.018	2/3	35/41	53/76	7.241/7.863
2	0.1/0.087	0.078/0.07	107/132	133/174	326/373	35.446/39.489
3	0.015/0.013	0.012/0.011	2/1	23/9	27/11	6.174/5.425
4	0.043/0.02	0.025/0.016	14/5	40/23	84/37	10.337/6.62
5	0.064/0.069	0.051/0.051	99/95	146/155	329/320	26.313/28.753
6	0.113/0.085	0.089/0.066	118/127	132/167	377/363	39.948/36.239
7	0.03/0.019	0.024/0.015	4/0	75/30	124/43	10.461/6.819
8	0.039/0.011	0.029/0.009	15/0	87/13	173/14	13.294/5.545
9	0.052/0.034	0.041/0.027	54/20	133/94	264/171	19.097/12.51
10	0.114/0.019	0.086/0.016	142/9	152/73	378/93	39.923/8.745

ตารางที่ ข-31 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่11/อาสาสมัครหญิงคนที่11 (M11/W11)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.075/0.112	0.056/0.087	54/156	93/150	258/409	18.447/43.567
2	0.046/0.047	0.037/0.037	16/109	56/143	141/275	11.219/19.525
3	0.164/0.135	0.129/0.109	94/153	91/150	383/405	42.418/51.32
4	0.064/0.053	0.05/0.043	76/97	65/138	208/258	15.601/19.278
5	0.026/0.016	0.02/0.013	110/107	129/155	182/157	12.259/11.421
6	0.02/0.014	0.016/0.011	8/15	56/55	81/62	8.299/7.786
7	0.036/0.096	0.028/0.078	19/136	84/154	160/388	12.537/38.499
8	0.212/0.087	0.164/0.065	64/98	78/153	366/330	46.457/30.457
9	0.038/0.068	0.028/0.053	8/64	46/114	109/274	10.022/22.76
10	0.076/0.116	0.059/0.093	79/126	135/132	317/377	26.362/39.54

ตารางที่ ข-32 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่11/อาสาสมัครหญิงคนที่11 (M11/W11)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.01/0.032	0.008/0.025	0/68	7/124	7/200	4.754/14.384
2	0.009/0.022	0.007/0.018	0/60	1/98	1/125	3.97/10.352
3	0.018/0.041	0.014/0.033	3/101	37/145	47/262	7.105/18.443
4	0.022/0.029	0.017/0.022	3/59	16/71	24/122	6.227/10.561
5	0.038/0.032	0.03/0.025	11/33	29/68	85/138	8.569/11.053
6	0.028/0.036	0.022/0.029	50/85	131/127	180/208	13.22/14.911
7	0.022/0.031	0.017/0.025	16/43	59/121	93/182	8.97/13.403
8	0.017/0.032	0.013/0.025	3/94	31/163	38/228	6.794/15.545
9	0.034/0.039	0.026/0.031	0/26	10/65	29/128	6.085/10.286
10	0.072/0.096	0.055/0.076	96/114	141/124	315/345	25.698/31.868

ตารางที่ ข-33 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่11/อาสาสมัครหญิงคนที่11 (M11/W11)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.022/0.025	0.016/0.02	5/2	47/48	79/83	8.501/8.89
2	0.081/0.069	0.064/0.054	142/126	172/189	368/351	35.284/32.006
3	0.024/0.013	0.019/0.01	9/5	49/32	85/38	8.844/6.569
4	0.03/0.016	0.023/0.013	4/1	29/30	45/35	7.118/6.638
5	0.07/0.048	0.056/0.036	118/66	157/141	351/261	29.912/19.803
6	0.108/0.065	0.081/0.051	122/102	151/168	364/332	41.168/28.282
7	0.026/0.026	0.021/0.02	15/4	74/50	118/94	10.168/8.546
8	0.035/0.024	0.027/0.018	8/19	74/72	149/111	11.868/10.053
9	0.049/0.021	0.038/0.016	52/1	120/36	238/63	18.129/7.53
10	0.069/0.017	0.053/0.014	71/7	109/61	289/68	22.322/7.986

ตารางที่ ข-34 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่12/อาสาสมัครหญิงคนที่12 (M12/W12)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.07/0.086	0.056/0.067	58/148	83/165	250/363	18.445/35.937
2	0.031/0.047	0.026/0.037	15/80	49/136	92/249	9.372/18.363
3	0.105/0.133	0.079/0.105	75/147	113/137	318/403	28.203/46.83
4	0.078/0.042	0.065/0.033	107/118	67/133	257/253	18.618/17.638
5	0.02/0.015	0.015/0.012	118/66	154/108	182/115	12.01/9.877
6	0.021/0.025	0.016/0.019	13/55	50/123	84/153	8.661/11.78
7	0.027/0.109	0.021/0.087	25/126	88/154	142/381	11.426/40.555
8	0.183/0.109	0.149/0.083	76/104	87/139	387/349	43.444/36.632
9	0.075/0.066	0.058/0.051	22/85	66/120	198/284	15.826/21.803
10	0.08/0.122	0.064/0.096	83/115	133/144	322/382	28.588/44.427

ตารางที่ ข-35 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่2/อาสาสมัครหญิงคนที่12 (M12/W12)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.008/0.033	0.006/0.026	0/79	1/139	1/218	4.311/15.134
2	0.009/0.018	0.007/0.015	0/54	5/92	5/104	4.167/9.651
3	0.014/0.037	0.011/0.029	4/103	29/148	33/247	6.692/17.4
4	0.029/0.025	0.023/0.02	8/68	30/85	66/137	7.899/10.932
5	0.04/0.043	0.031/0.034	6/26	40/66	96/151	9.251/11.932
6	0.028/0.037	0.021/0.029	39/51	93/115	154/188	12.056/13.856
7	0.019/0.037	0.015/0.03	17/61	62/126	86/214	8.728/15.726
8	0.021/0.043	0.014/0.034	1/41	30/74	45/167	7.425/12.963
9	0.03/0.033	0.024/0.026	40/54	54/79	99/145	9.242/10.926
10	0.055/0.11	0.04/0.084	42/117	95/123	231/349	17.41/33.75

ตารางที่ ข-36 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่12/อาสาสมัครหญิงคนที่12 (M12/W12)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.018/0.023	0.015/0.018	27/5	76/45	96/74	9.294/8.237
2	0.085/0.077	0.065/0.06	138/139	169/172	358/367	34.903/35.166
3	0.019/0.014	0.015/0.011	2/3	41/37	53/43	7.251/6.923
4	0.02/0.012	0.016/0.009	3/0	38/15	50/15	7.212/5.199
5	0.062/0.086	0.048/0.061	90/116	162/172	300/344	25.536/34.583
6	0.11/0.057	0.086/0.046	133/110	159/176	383/325	44.114/25.957
7	0.028/0.017	0.022/0.013	4/0	68/14	108/22	9.168/5.948
8	0.037/0.038	0.028/0.03	14/47	87/134	171/233	12.726/15.641
9	0.05/0.027	0.037/0.021	52/9	108/76	231/116	17.457/10.063
10	0.045/0.022	0.034/0.017	48/11	112/70	223/98	17.289/9.239

ตารางที่ ข-37 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่13/อาสาสมัครหญิงคนที่13(M13/W13)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.115/0.056	0.087/0.044	115/48	105/123	358/245	36.002/19.187
2	0.058/0.095	0.046/0.074	72/80	112/118	270/328	19.486/29.968
3	0.201/0.136	0.156/0.108	135/97	130/119	420/383	65.375/41.385
4	0.075/0.051	0.059/0.041	26/68	84/86	249/196	18.577/14.594
5	0.036/0.025	0.027/0.02	4/55	28/104	68/151	7.89/11.338
6	0.083/0.027	0.063/0.021	111/81	141/138	344/192	29.937/13.051
7	0.126/0.064	0.096/0.05	145/72	161/125	402/278	47.47/22.289
8	0.158/0.125	0.117/0.095	112/110	111/124	399/374	44.619/40.404
9	0.114/0.062	0.089/0.049	61/70	100/79	327/223	30.05/15.791
10	0.076/0.074	0.057/0.058	91/97	142/125	320/330	26.382/26.508

ตารางที่ ข-38 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่13/อาสาสมัครหญิงคนที่13(M13/W13)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.026/0.015	0.021/0.012	16/2	76/33	123/39	10.162/6.57
2	0.012/0.019	0.01/0.015	2/17	21/91	21/105	5.776/9.647
3	0.037/0.025	0.029/0.02	49/19	120/75	211/120	15.7/10.352
4	0.019/0.015	0.015/0.012	6/0	26/4	41/7	6.931/4.747
5	0.058/0.127	0.045/0.106	26/44	83/74	202/302	14.932/24.709
6	0.041/0.01	0.032/0.008	64/1	136/6	241/7	17.231/4.943
7	0.034/0.016	0.027/0.013	55/0	135/39	219/50	14.817/7.025
8	0.027/0.036	0.022/0.023	31/32	99/49	151/102	11.588/11.409
9	0.025/0.016	0.021/0.013	7/0	37/6	67/9	8.243/5.328
10	0.13/0.093	0.102/0.074	140/70	170/108	397/293	51.342/24.916

ตารางที่ ข-39 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ GM
ของอาสาสมัครชายคนที่13/อาสาสมัครหญิงคนที่13(M13/W13)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.024/0.024	0.019/0.019	9/2	57/40	81/62	8.827/7.924
2	0.084/0.091	0.065/0.072	128/81	180/117	361/353	35.573/29.466
3	0.023/0.009	0.016/0.008	3/1	39/5	68/5	8.059/4.924
4	0.037/0.026	0.03/0.017	59/0	155/8	231/12	17.395/5.285
5	0.028/0.027	0.022/0.021	36/18	110/65	155/106	12.614/9.912
6	0.091/0.136	0.071/0.108	117/79	156/95	364/371	34.619/34.423
7	0.03/0.019	0.024/0.015	2/0	54/26	95/36	9.591/7.049
8	0.01/0.016	0.008/0.011	0/12	4/24	4/33	4.626/7.096
9	0.077/0.012	0.06/0.009	125/2	176/14	349/16	32.255/5.758
10	0.041/0.018	0.032/0.014	24/5	99/24	192/33	15.149/6.515

ตารางที่ ข-40 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่14/อาสาสมัครหญิงคนที่14(M14/W14)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.079/0.068	0.063/0.053	94/78	128/108	335/306	27.434/23.405
2	0.063/0.053	0.05/0.042	70/57	114/112	285/240	21.117/17.467
3	0.215/0.126	0.171/0.1	126/108	114/130	419/393	63.817/40.268
4	0.076/0.05	0.061/0.04	34/51	75/66	258/201	19.217/14.3
5	0.026/0.02	0.019/0.016	3/75	32/127	52/150	7.262/11.289
6	0.113/0.019	0.091/0.015	131/135	155/197	398/203	44.318/12.908
7	0.134/0.051	0.105/0.04	129/66	142/142	409/270	47.435/20.314
8	0.137/0.095	0.108/0.075	103/89	113/124	396/350	41.919/32.182
9	0.115/0.049	0.092/0.04	67/61	113/80	350/210	31.756/14.48
10	0.067/0.081	0.052/0.063	86/95	154/133	319/334	26.45/28.34

ตารางที่ ข-41 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อBF
ของอาสาสมัครชายคนที่14อาสาสมัครหญิงคนที่14(M14/W14)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.02/0.019	0.015/0.015	23/17	72/69	103/85	9.367/9.048
2	0.012/0.016	0.01/0.012	0/11	14/57	14/65	5.499/7.785
3	0.033/0.028	0.027/0.022	41/19	121/91	198/134	13.883/10.907
4	0.021/0.016	0.017/0.013	4/41	36/88	57/98	7.258/9.468
5	0.045/0.104	0.037/0.084	26/23	69/50	173/257	12.606/19.318
6	0.056/0.007	0.044/0.006	89/0	166/1	306/1	24.136/4.022
7	0.034/0.016	0.027/0.013	35/1	128/24	197/34	14.401/6.399
8	0.023/0.019	0.017/0.015	20/7	76/47	111/72	9.914/7.809
9	0.02/0.018	0.016/0.015	1/2	29/11	42/11	6.991/5.271
10	0.086/0.132	0.065/0.101	87/103	144/110	328/351	31.473/38.816

ตารางที่ ข-42 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่14อาสาสมัครหญิงคนที่14(M14/W14)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.034/0.029	0.027/0.024	39/6	108/67	178/115	13.245/9.821
2	0.082/0.084	0.064/0.065	123/72	165/126	358/317	34.306/27.961
3	0.029/0.009	0.021/0.007	15/0	72/7	121/7	10.359/5.107
4	0.059/0.013	0.046/0.01	96/1	162/5	315/5	25.897/5.039
5	0.034/0.04	0.026/0.03	19/28	101/84	166/158	12.964/13.214
6	0.09/0.073	0.071/0.053	99/52	148/112	349/275	33.177/20.753
7	0.041/0.018	0.033/0.014	6/3	74/26	162/40	12.714/6.883
8	0.012/0.01	0.009/0.008	0/2	12/15	13/15	5.355/5.755
9	0.088/0.022	0.067/0.017	144/0	180/13	371/22	38.658/5.928
10	0.023/0.015	0.018/0.012	17/3	70/43	99/50	9.356/7.354

ตารางที่ ข-43 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ QF
ของอาสาสมัครชายคนที่15/อาสาสมัครหญิงคนที่15 (M15/W15)

ท่าทาง	QF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.157/0.076	0.122/0.061	135/78	144/124	407/322	54.549/25.587
2	0.043/0.057	0.032/0.045	101/62	135/93	252/238	16.879/17.72
3	0.186/0.113	0.149/0.091	153/108	141/137	442/377	63.612/39.394
4	0.107/0.071	0.087/0.058	40/71	67/94	310/288	24.983/20.316
5	0.025/0.022	0.018/0.018	0/82	20/124	39/165	6.941/11.787
6	0.115/0.028	0.091/0.022	138/116	148/164	384/220	42.945/15.663
7	0.128/0.044	0.1/0.034	122/59	141/124	391/230	44.018/16.951
8	0.169/0.108	0.124/0.081	110/113	132/131	392/368	48.715/35.954
9	0.097/0.049	0.075/0.039	69/80	98/80	326/220	28.474/15.041
10	0.045/0.083	0.036/0.063	59/100	120/138	235/338	17.242/29.204

ตารางที่ ข-44 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากกล้ามเนื้อ BF
ของอาสาสมัครชายคนที่15/อาสาสมัครหญิงคนที่15 (M15/W15)

ท่าทาง	BF					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.035/0.019	0.028/0.015	40/15	121/71	204/90	15.048/8.905
2	0.013/0.013	0.01/0.01	5/13	23/46	26/50	6.203/7.318
3	0.034/0.021	0.027/0.017	50/18	118/76	201/102	14.957/9.409
4	0.015/0.009	0.013/0.007	8/0	27/3	32/3	6.66/4.236
5	0.034/0.108	0.027/0.089	11/54	61/83	114/314	10.316/24.746
6	0.053/0.013	0.041/0.01	92/1	158/16	287/16	22.756/5.272
7	0.037/0.014	0.029/0.011	41/2	134/14	219/18	15.085/5.749
8	0.028/0.023	0.022/0.018	31/19	108/73	153/106	11.869/9.585
9	0.018/0.015	0.015/0.012	5/0	29/4	39/5	6.654/4.94
10	0.122/0.123	0.093/0.098	146/100	182/107	391/356	50.998/37.42

ตารางที่ ข-45 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากคลื่นเนื้อGM
ของอาสาสมัครชายคนที่15/อาสาสมัครหญิงคนที่15 (M15/W15)

ท่าทาง	GM					
	V_{rms} (V)	MAV(V)	SSC(ครั้ง)	ZC(ครั้ง)	WAMP(ครั้ง)	WL(V)
1	0.025/0.028	0.02/0.022	28/7	78/51	123/105	10.71/9.372
2	0.086/0.078	0.067/0.06	128/70	158/113	365/300	35.095/24.569
3	0.018/0.008	0.014/0.006	2/1	33/4	46/4	6.839/4.888
4	0.057/0.008	0.045/0.006	86/2	151/6	315/6	24.273/4.955
5	0.036/0.033	0.027/0.024	30/13	102/68	176/115	13.782/10.604
6	0.088/0.066	0.068/0.051	110/44	159/87	356/252	34.066/18.971
7	0.033/0.025	0.026/0.019	10/5	78/62	149/102	11.035/9.466
8	0.01/0.009	0.008/0.007	0/1	7/5	7/5	4.937/5.62
9	0.081/0.02	0.064/0.014	126/1	163/15	359/20	33.498/6.216
10	0.032/0.016	0.02/0.012	27/12	59/63	103/71	11.386/7.695

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสุพรพิศ ณ พิบูลย์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120116

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมการวัดคุม)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	2540

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนค่าเล่าเรียนของนักศึกษาบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุพรพิศ ณ พิบูลย์, บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และ ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล “การคัดเลือกหาลักษณะเด่นของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อเพื่อคัดแยกทำออกกำลังกายเพื่อบริหารข้อเข่า” , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9 , 2-3 พฤษภาคม 2554,