

นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดกับการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ควอดริเซพส์ฟีมอริส

พรชนก ปัญญาขันธ์, วทบ., วทม.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดกับการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควอดริเซพส์ฟีมอริส

รูปแบบการศึกษา: การวิจัยเชิงทดลอง

วิธีการ: กลุ่มตัวอย่างเพศหญิงสุขภาพดีทั้งหมด 45 คน ถูกสุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด และกลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง กลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 3 เกร็งกล้ามเนื้อนาน 10 วินาที พัก 50 วินาที 10 ครั้งต่อวัน 4 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทดสอบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควอดริเซพส์ฟีมอริสด้วยเทคนิค Isometric Exercise เมื่อครบ 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ วิเคราะห์ความแปรปรวน และ เปรียบเทียบภายหลังโดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05

ผลการทดสอบ: กลุ่มที่ 1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายหลังการทดลองทั้งสัปดาห์ที่ 2 และ 4 กลุ่มที่ 2 สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ 51.76% และ 61.76% ที่สัปดาห์ที่ 2 และ 4 คิดเป็นเพิ่มขึ้น 6.58% จากสัปดาห์ที่ 2 กลุ่มที่ 3 สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ 49.87% และ 65.92% ที่สัปดาห์ที่ 2 และ 4 คิดเป็นเพิ่มขึ้น 10.71% จากสัปดาห์ที่ 2 ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 กลุ่มที่ 2 และ 3 มีการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3

สรุป: การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ทั้ง 2 แบบ ให้ผลในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควอดริเซพส์ฟีมอริสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2546; 36: 130-145.

คำรหัส: การฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด, การฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง, ความแข็งแรง

งานกายภาพบำบัด กลุ่มงานเวชกรรมฟื้นฟู โรงพยาบาลอุดรดิตถ์

Abstract: The Effect of Maximal Isometric Exercise and Maximal Isometric Exercise Combined with Electrical Stimulation by High Voltage Pulsed Direct Current on Strength of Quadriceps Femoris

Pornchanog Panyayong^{*}

Objective: To compare the effect of maximal isometric exercise and maximal isometric exercise combined with electrical stimulation by high voltage pulsed direct current on strength of quadriceps femoris.

Study design: Experimental design (Pretest-Posttest Control Group Design or Randomized clinical trial; RCT).

Method: The total 45 healthy females (20-23 year old) who randomly divided into 3 groups , 15 subjects in each group. Group 1, the control group was not given any program. Group 2 was trained using maximal isometric exercise, while group 3 was trained using maximal isometric exercise combined with electrical stimulation by high voltage pulsed direct current (maximal tolerable tetanic contractions). Both group 2 and group 3 were given 10 seconds of contractions followed by a 50 seconds rest interval, 10 times each day, 4 days per week for 4 weeks. Muscular strength was assessed 3 times, before and after of the 2nd and 4th week of the experiment. Data were statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA). Tukey post hoc pair test was employed for mean comparison. An alpha level of 0.05 was used for all statistic test

Result : Group 1 did not change in muscular strength after the 2nd and 4th week of study. Group 2 increased muscular strength for 51.76 and 61.76% after the 2nd and the 4th week of study and increase from the 2nd week for 6.58%, while group 3 could increase muscular strength for 49.87 and 65.92% after the 2nd and the 4th week of study and increased from the 2nd week for 10.71%. After the 2nd and 4th week, group 2 and group 3 increased muscular strength significantly greater than group 1 but there were no significantly different strength gained ($p < 0.05$).

Conclusion: The maximal isometric exercise was effective as the maximal isometric exercise combined with electrical stimulation by high voltage pulsed direct current in increasing the strength of quadriceps femoris muscle. Bull Chiang Mai Assoc Med Sci 2003; 36: 130-145.

Key words: Maximal Isometric Exercise, Maximal Isometric Exercise Combined with Electrical Stimulation by High Voltage Pulsed Direct Current, Strength

^{*} Department of Physical Therapy, Rehabilitation Medicine, Uttaradit Hospital.

บทนำ

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีความสำคัญ กล่าวคือเป็นพื้นฐานการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายช่วยป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อและกระดูก บุคคลใดที่มีกล้ามเนื้อแข็งแรงย่อมมีแนวโน้มว่าจะเคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนผู้ป่วยที่ถูกจำกัด การเคลื่อนไหว (immobilization) จะทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรงลงได้ถึงร้อยละ 0.04-5.50 ต่อวัน¹ ทำให้ไม่สามารถประกอบชีวิตประจำวันได้ตามปกติ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบการออกกำลังกาย ฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หรือรูปแบบอื่น เช่น วิธีการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ซึ่งมีอยู่หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของร่างกายเป็นสำคัญ การฝึกอาศัยหลักการฝึกเกินอัตรา (overload principle) โดยใช้แรงต้านทานเกินความสามารถที่จะออกแรงตามปกติและเพิ่มแรงต้านทานขึ้นเรื่อย ๆ อย่างเป็นขั้นตอนและติดต่อกันอย่างสม่ำเสมอ² ทั้งนี้วิธีการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีหลายวิธีโดยแบ่งตามลักษณะการหดตัวของกล้ามเนื้อ ได้แก่ การฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริก (isometric) ไอโซโทนิค (isotonic) และไอโซไคเนติก (isokinetic) และกล้ามเนื้อจะมีแรงมากที่สุดเมื่อทำงานหรือหดตัวแบบอีเซนตริก (eccentric เป็นรูปแบบหนึ่งของ isotonic) รองลงมาคือ isometric และมีแรงน้อยที่สุดเมื่อทำงานแบบคอนเซนตริก (เป็นรูปแบบหนึ่งของ isotonic)³ แม้ว่าการหดตัวแบบ eccentric จะทำให้กล้ามเนื้อมีแรงมากที่สุด แต่ไม่เหมาะสมต่อการแนะนำให้ปฏิบัติ เนื่องจากทำได้ยากกว่าแบบอื่น และอาจเกิดการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อได้

การฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกมีความ

เหมาะสมในคนปกติและผู้ป่วยมากกว่าเนื่องจากเป็นการหดตัวที่ทำให้กล้ามเนื้อมีแรงมากรองลงมาเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยข้อต่อส่วนที่ออกกำลัง ไม่มีการเคลื่อนที่² ปฏิบัติได้ง่ายและช่วยป้องกันการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อที่ได้รับบาดเจ็บอยู่แล้วจะมีการฟื้นฟูสภาพและเหมาะสมสำหรับผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย แต่ต้องการให้กล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้น⁴ และเนื่องจากวิธีการฝึกหรือออกกำลังกายแบบไอโซเมตริกมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงคือให้กล้ามเนื้อออกกำลัง 2/3 ของพลังสูงสุดแต่เป็นการยากในการกำหนดแรงให้ได้ขนาดดังกล่าว⁵ ดังนั้นเพื่อง่ายต่อการปฏิบัติจึงเห็นควรพิจารณาให้มีการศึกษาการฝึกความแข็งแรงแบบ ไอโซเมตริกสูงสุด (Maximal Isometric Exercise) นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้คือการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (muscular electrical stimulation)

การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยกระตุ้นเส้นประสาทมอเตอร์ที่อยู่ภายในกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยชนิดของกระแสไฟฟ้าที่สามารถนำมากระตุ้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อปกติเป็นที่รู้จักและนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในประเทศไทยได้แก่ กระแสไฟตรงเป็นช่วง (interrupted direct current; IDC) กระแสไฟตรงพัลส์สูง (high voltage pulsed direct current) กระแสฟาราดีก (faradic current) และ กระแสอินเตอร์เฟอเรนเชียล (interferential current)⁶ มีรายงานพบว่าการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าสามารถช่วยชะลอการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อ ลดการเกร็งตัวชั่วคราว ป้องกันเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อหดตัวผิดปกติ และยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควอดริเซพส์ ฟีมอริส ในผู้ป่วยที่ได้รับ

การผ่าตัดเอ็นข้อเข่าด้วย⁷ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อภายใต้อำนาจจิตใจ ร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อข้อเข่าในผู้ป่วย^{8,9}

ได้มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบไอโซเมตริก กับการฝึกแบบไอโซเมตริก ร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในผู้ป่วยและคนปกติ^{9,10,11,12,13,14,15} แต่ยังไม่สรุปได้ชัดเจนเนื่องจากงานวิจัยต่างๆ มีความแตกต่างกัน ในรูปแบบการทดลอง วิธีการกระตุ้น กระแสไฟฟ้า เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าและวิธีการทดสอบต่างๆ

กระแสไฟตรงศักย์สูงแม้จะเป็นกระแสไฟตรงที่มีความต่างศักย์สูง แต่มีช่วงกระตุ้นสั้น สามารถลดอาการเจ็บปวดบริเวณที่ถูกกระตุ้นได้และกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัวได้แรงมากกว่ากระแสไฟชนิดอื่น เนื่องจากสามารถเพิ่มความแรงหรือความเข้มของกระแสไฟได้สูงเท่าที่จะสามารถทนทานได้ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการฝึกความแข็งแรง แบบไอโซเมตริกสูงสุด กับการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด ร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูงในคนปกติ ผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกวิธีการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในคนปกติและผู้ป่วยต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดกับการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูงที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคอวไทรเซพส์ฟิมอริส

วิธีการ

เป็นการวิจัยแบบ Randomized clinical trial

กลุ่มตัวอย่างได้จากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (purposive random sampling) จากกลุ่มประชากร ซึ่งเป็นนักศึกษาพยาบาลศาสตร์ เพศหญิง ชั้นปีที่ 3 ของวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครดัตต์ ที่มีอายุระหว่าง 20 – 23 ปี จำนวน 60 คนภายใต้เกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. สุขภาพดีไม่เป็นโรคของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อทั้งในระยะเฉียบพลันและเรื้อรัง โรคของระบบประสาท รวมถึงโรคหัวใจและหลอดเลือด

2. ไม่ได้เป็นนักกีฬาโดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาที่ต้องใช้ความแข็งแรงของขา เช่น กีฬาบาสเกตบอล ฟุตบอล วิ่ง

3. ไม่ได้รับโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมาก่อนงานวิจัยอย่างน้อย 4 สัปดาห์

4. ไม่ได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในโครงการอื่นระหว่างงานวิจัย

5. ไม่มีปัญหาบริเวณที่ติดขัดกระตุ้น เช่น มีแผลเปิด มีการติดเชื้อ

6. ไม่มีปัญหาการรับรู้ความรู้สึก ความรู้สึกที่ไวเกิน และช้าเกินต่อสิ่งกระตุ้นต่างๆ

7. เป็นผู้ถนัดขาขวา

ได้บุคคลภายใต้เกณฑ์ที่กำหนด 50 คน นำมาสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling) ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 45 คน ซึ่งถูกสุ่มออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 15 คนเท่ากัน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบจับสลาก^{16,17} ทำการทดสอบความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกของกล้ามเนื้อคอวไทรเซพส์ฟิมอริสของขาข้างซ้ายก่อนการทดลอง โดยจัดทำกลุ่มตัวอย่างให้แนบบน N-K table ข้อสะโพก 60 องศา ข้อเข่า 60 องศา¹⁸ และมีแถบผ้ารัดลำตัว เข็มกราน ดันขาและข้อเท้า ทดลองเกร็งเหยียดเข้า 3 ครั้ง จากนั้นทดสอบความ

แข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยให้ออกแรงเหยียดเข้าแรงที่สุดเพื่อต้านกับแถบผ้าวัดข้อเท้าที่ต่อกับ hand grip dynamometer โดยให้แนวเชือกทำมุม 90 องศากับขาซ้าย ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way analysis of variance) กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ต่อมาทำการทดลองโดย กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ให้ประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวันตามปกติ กลุ่มที่ 2 ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด เกร็งกล้ามเนื้อค้างไว้ 10 วินาทีพักระหว่างครั้ง 50 วินาที 10 ครั้งต่อวัน 4 วันติดต่อกันใน 1 สัปดาห์ รวม 4 สัปดาห์โดยจัดทำนั่งเช่นเดียวกับการทดสอบความแข็งแรง กลุ่มที่ 3 ทำการหาจุดมอเตอร์ (motor point) ของกล้ามเนื้อ¹⁹ vastus medialis และ vastus lateralis ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อ ควอดริเซพส์ฟีมอริส และทดสอบหาความเข้มข้นสูงสุดของกระแสไฟฟ้าที่กลุ่มตัวอย่างสามารถทนได้ (ต้องทำก่อนการกระตุ้นไฟฟ้าทุกสัปดาห์) จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกเหมือนกลุ่มที่ 2 แต่กระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้าตรงตักยสูงโดยใช้เทคนิค การวางขั้วกระตุ้นแบบ

bipolar ร่วมด้วย ทำการทดสอบความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกของ กล้ามเนื้อควอดริเซพส์ฟีมอริสของขาข้างซ้ายของกลุ่มตัวอย่างทุกคนเมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 2 และ สัปดาห์ที่ 4 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 9.0 โดยใช้สถิติ mean, standard deviation²⁰, Kolmogorov-Smirnov Goodness of Fit test,²¹ repeated measures in two-dimensional design, repeated measures in one – dimensional design²², one way analysis of variance และ Tukey post hoc pair test โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้กลุ่มตัวอย่างมี 45 คน ได้สุ่มแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน สำหรับข้อมูลพื้นฐาน (อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และ สัปดาห์ที่ 4 มีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ และ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญก่อนการทดลอง (one way ANOVA, $P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

กลุ่ม	อายุ (ปี)		น้ำหนัก (ก.ก)		ส่วนสูง	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
1	21.27	0.59	49.67	6.64	157.53	6.42
2	21.53	0.92	47.43	7.79	158.00	3.09
3	21.27	0.59	51.80	7.59	156.73	3.08

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้ง 3 กลุ่ม ใน 3 ช่วงเวลา

กลุ่ม	ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคอไตรเซปส์ฟิมอริส(ก.ก.)					
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 2		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 4	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
1	26.13	7.12	26.31	7.93	25.61	7.64
2	25.52	6.35	38.73	7.38	41.28	6.28
3	25.97	6.74	38.92	7.78	43.09	9.58

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองแบบวัดซ้ำสองมิติ (repeated measures in two-dimensional design) เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากการใช้วิธีการฝึกที่ต่างกันและระยะเวลาการฝึก

ที่ต่างกันที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พบว่าวิธีการฝึกมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาการฝึกซึ่งจะมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากการใช้วิธีการฝึกที่ต่างกัน 3 วิธี และระยะเวลาการฝึกที่ต่างกันที่มีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p [#]
ระหว่างสมาชิก	44	8139.359	184.985		
วิธีการฝึก	2	2763.789	1381.894	10.797	0.000
สมาชิก	42	5375.570	127.990		
ภายในสมาชิก	90	6219.240	69.102		
ระยะเวลาการฝึก	2	2959.401	1479.701	74.017	0.000
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกและระยะเวลาการฝึก	4	1580.568	395.142	19.766	0.000*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก	84	1679.271	19.991		
รวม	134	14358.599			

repeated measures in two-dimensional design

* p < 0.05

การเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระหว่าง ช่วงเวลาการที่ฝึกต่างกัน 3 ช่วง ในกลุ่มเดียวกันจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองแบบวัดซ้ำมิติเดียว (repeated measures in one – dimensional design) พบว่าในกลุ่ม

ควบคุมค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองแบบวัดซ้ำที่มีมิติเดียว เพื่อทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 ของกลุ่มควบคุม

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p*
ระหว่างสมาชิก	14	2366.266	169.019		
ภายในสมาชิก	30	46.753	1.558		
ระยะเวลาการฝึก	2	3.987	1.994	1.305	0.287
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก	28	42.766	1.527		
รวม	44	2413.019			

repeated measures in one-dimensional design

ส่วนในกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระหว่างก่อนการทดลอง หลังการทดลอง

สัปดาห์ที่ 2 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองแบบวัดซ้ำที่มีมิติเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 ของกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p*
ระหว่างสมาชิก	14	1286.572	91.898		
ภายในสมาชิก	30	2737.62	91.254		
ระยะเวลาการฝึก	2	2145.345	1072.673	50.711	0.000*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก	28	592.275	21.153		
รวม	44	4024.192			

repeated measures in one-dimensional design

* $p < 0.05$

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภายหลังโดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 มีความแตกต่างกับก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าหลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 จะมีความแข็งแรงมากกว่าก่อนการทดลอง แต่ไม่มีความแตกต่างกันใน 2 ช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนใน

กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงศักย์สูง พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองแบบวัดซ้ำที่มีมิติเดียวเพื่อทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 ของกลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริกสูงสุดรวมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p*
ระหว่างสมาชิก	14	1713.132	122.367		
ภายในสมาชิก	30	3444.466	114.815		
ระยะเวลาการฝึก	2	2390.636	1195.318	31.759	0.000*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก	28	1053.830	37.637		
รวม	44	5157.598			

Tukey's pos hoc pair test

* $p < 0.05$

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภายหลังโดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 มีความแตกต่างกับก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 จะมีความแข็งแรงมากกว่าก่อนการทดลอง แต่ไม่มีความแตกต่างกันใน 2 ช่วงเวลาดังกล่าว

การเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มในช่วงระยะเวลาการฝึกเดียวกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance) ก่อนการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยของกล้ามเนื้อระหว่างทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของกล้ามเนื้อของทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p*
ระหว่างกลุ่ม	1567.765	2	783.883	13.2240	0.000*
ภายในกลุ่ม	2489.687	42	59.278		
รวม	4057.452	44			

one-way analysis of variance

* $p < 0.05$

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบภายหลังโดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด และกลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดรวมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงสัปดาห์สูง มีความแตกต่างกับ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุมอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 จะมีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 กลุ่มดังกล่าว ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของกล้ามเนื้อทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
ระหว่างกลุ่ม	2773.625	2	1386.813	21.955	0.000*
ภายในกลุ่ม	2653.023	42	63.167		
รวม	5426.648	44			

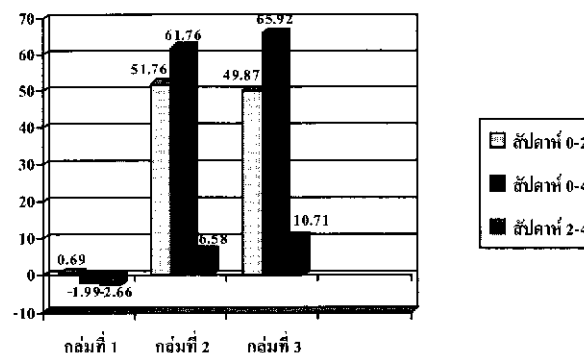
* $p < 0.05$

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบภายหลังโดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด และกลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 จะมีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างกันในระหว่าง 2 กลุ่ม ดังกล่าว

วิจารณ์ผล

จากการศึกษาผลของการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดกับการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซ

เมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคอไทรเซพส์ฟิมอริส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 และในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ถึง 4 มีดังนี้ เพิ่มขึ้น 0.69% ลดลง 1.99% และลดลง 2.66% ตามลำดับ



รูปที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในแต่ละช่วงเวลาของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม (กลุ่มที่ 1: กลุ่มควบคุม, กลุ่มที่ 2: กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด, กลุ่มที่ 3: กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง)

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกลุ่มควบคุมเป็นนักศึกษาพยาบาลชั้นปีที่ 3 เพศหญิง มีกิจวัตรประจำวันในระยะเวลาการวิจัยดังกล่าวในการศึกษาในห้องบรรยายไม่มีการฝึกปฏิบัติบนหอผู้ป่วยหรือสถานที่อื่น รวมทั้งไม่มีโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหรือมีการออกกำลังกายของขา

ทำให้ร่างกายมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับก่อนทำการทดลอง

ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายในกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด และกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด

ร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงศักย์สูง พบว่าภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 มีค่าสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ทั้ง 2 กลุ่ม โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 และในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 ดังนี้ คือ 51.76%, 61.76% และ 6.58% ตามลำดับ ในกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด ส่วนในกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงศักย์สูงมีการเพิ่มขึ้น 49.87%, 65.92% และ 10.71% ตามลำดับ (รูปที่ 1) ซึ่งผลการวิจัยจากกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดสอดคล้องกับงานวิจัยของ Currier และคณะ⁸ McMiken และคณะ²³ และ Mohr และคณะ²⁴ การเพิ่มความแข็งแรงและกล้ามเนื้อเช่นนี้เกิดจากการปรับตัวทางด้านระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ ดังรายงานการวิจัยของ Moritani และ DeVries²⁵ รายงานว่าผลที่เกิดจากการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในช่วง 2 สัปดาห์แรกจะเกิดจากการปรับตัวทางด้านระบบประสาท ส่วนการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นภายหลังการฝึกติดต่อกันนาน 3-5 สัปดาห์ ฉะนั้น การที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในงานวิจัยนี้ น่าจะเกิดจากการปรับตัวของระบบประสาทโดยการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะสนับสนุนให้เกิดการทำงานของระบบประสาทคือมีการเพิ่มความถี่ในการรื้อมอเตอร์ยูนิต และเพิ่มการระดมของมอเตอร์ยูนิต (motor unit recruitment) ส่วนการปรับตัวของระบบกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นในการฝึกความแข็งแรงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ นั้น คือ จะมีการลดลงของเส้นใยกล้ามเนื้อ

ชนิด type IIb และพบการเพิ่มของ type IIa ดังงานวิจัย ของ Karapondo และคณะ²⁶ ที่พบการเพิ่มความแข็งแรง และการเปลี่ยนแปลงชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เกิดขึ้นภายหลังการฝึกความแข็งแรงโดยใช้แรงต้านทานเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ ของ type IIb ลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของ type IIa อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่ภายหลังการฝึก 4 สัปดาห์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Staron²⁷ ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงในเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb ไปเป็น type IIa ซึ่งศึกษาในกล้ามเนื้อ Vastus medialis ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงที่ได้รับ การฝึกความแข็งแรงโดยใช้แรงต้านทานเป็นเวลา 6 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าการฝึกความแข็งแรงแบบ ไอโซเมตริกสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ สามารถทำให้เกิดการปรับตัวของระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อในช่วงเวลาเดียวกัน

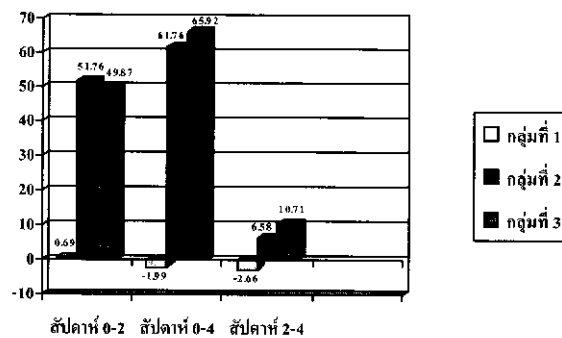
เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้ง 2 กลุ่ม มาพิจารณาจะเห็นได้ว่าช่วงหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมากกว่าเล็กน้อย (กลุ่มที่ 2 เพิ่มขึ้น 51.76% กลุ่มที่ 3 เพิ่มขึ้น 49.87%) เนื่องจากกลุ่มที่ 3 ที่มีการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมด้วยนั้นกลุ่มตัวอย่างอาจยังรู้สึกกลัวทำให้ความทนทานต่อความแรงของกระแสไฟฟ้าลดลงส่งผลให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวน้อยกว่ารวมทั้งไม่มีสมาธิในการฝึก แต่ต่อมาเมื่อทำการทดลองครบ 4 สัปดาห์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์สัปดาห์ที่ 2-4 ของกลุ่มที่ 3 ที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมด้วยนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงมากกว่า คือเพิ่มขึ้น 10.71% ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 6.58% ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างอาจคลายความกลัวลง

ทำให้มีความทนทานต่อความแรงของกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นรวมทั้งมีความตั้งใจในการฝึกมากขึ้น นอกจากนี้การกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อ type II (ได้แก่กล้ามเนื้อแขนขา) ด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำ (ซึ่งได้แก่ไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูงในงานวิจัยนี้) ซึ่งเหมือนกับสัญญาณประสาทที่มาจากทาง motor neuron ที่เลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อ type I จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์กล้ามเนื้อ type II มาเป็น type I ทั้งในด้านรูปร่าง การทำงาน และคุณสมบัติทางชีวเคมี²⁸ และมีรายงานว่า การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า 4 สัปดาห์ ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อ type II เปลี่ยนเป็น type I²⁹ นั่นคือ ทำให้กลุ่มที่มีกระตุ้นไฟฟ้าร่วมด้วยนั้นมีความทนทานต่อความเมื่อยล้า ซึ่งแม้ว่าการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนจาก type IIb ไปเป็น type IIa ซึ่งคุณสมบัติ type IIa ก็มีความทนทานต่อความเมื่อยล้าเช่นกัน แต่ไม่มากเท่ากับ type I นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง ทำให้ปริมาณเลือดที่ไหลผ่านกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น³⁰ มีปริมาณ O_2 มากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณ ATP เพิ่มขึ้น กล้ามเนื้อจึงมีความทนทานและมีพลังในการฝึกหรือออกกำลังกายเพิ่มขึ้น

แต่ทั้งนี้ทั้ง 2 กลุ่ม มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากการล่าของกล้ามเนื้อจากการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดจะพบเมื่อฝึก 6 สัปดาห์ ซึ่งจากงานวิจัยในครั้งนี้เริ่มพบว่า กลุ่มที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ 2 เนื่องจากการกระตุ้นไฟฟ้าซึ่งมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการทนทานต่อการล่า และมีพลังในการหดตัวของ

กล้ามเนื้อดังคุณสมบัติที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งถ้าเพิ่มระยะเวลาการทดลองอาจทำให้เห็นผลการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อชัดเจนขึ้นในกลุ่มที่ 3 ได้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีการ Tukey ระหว่างที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และ 4 พบว่า กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแตกต่างกับกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 2 ระหว่างกลุ่มควบคุมกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดและกลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดรวมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0.69%, 51.76% และ 49.87% ตามลำดับ และภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 ลดลง 1.99% เพิ่มขึ้น 61.76% และเพิ่มขึ้น 65.92% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงในช่วงสัปดาห์ 2-4 ลดลง 2.66% เพิ่มขึ้น 6.58% และเพิ่มขึ้น 10.71% ตามลำดับ (รูปที่ 2) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด และการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดรวมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟตรงศักย์สูง รวมทั้งการปรับตัวของระบบประสาทและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างของช่วงเวลาการทดลอง 3 ช่วง (กลุ่มที่ 1: กลุ่มควบคุม, กลุ่มที่ 2: กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด, กลุ่มที่ 3: กลุ่มที่ฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุด ร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงตักยสูง)

การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริกสูงสุด และการฝึกความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกสูงสุดร่วมกับการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงตักยสูง ในการวิจัยครั้งนี้ให้ผลในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคอไทรเซพส์พีมอริส ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยทั้ง 2 วิธีการสามารถที่จะเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ในระยะเวลาสั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในผู้ป่วยและคนปกติต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครวัดพิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณนักศึกษาพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครวัดพิชัย ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. Milde FK. Physiological immobilization. In : Hart LK, eds. Concepts Common to Acute Illness. Saint Louis : CV Mosby, 1981:62-72.
2. ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์. การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายและทางกีฬา. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2534
3. วิชัย อึ้งพินิจพงศ์. การฝึกเพื่อเพิ่มพลัง. วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2533; 2(3): 49-57:
4. ธวัช วีระศิริวัฒน์. หลักและการฝึกกีฬา. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรินติ้ง เฮาส์, 2538
5. ชูศักดิ์ เวชแพศย์และกันยา ปาละวิวัฒน์. สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ชรรคมลการพิมพ์, 2536
6. ประโยชน์ บุญสินสุข. การรักษาด้วยความร้อนและไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ไพศาลการพิมพ์, 2530
7. Delitto A, McKowen JM, Mc Carthy JA, Shively R A. Electrically elicited co-contraction of high musculature after

- anterior cruciate ligament surgery. *Phy Ther* 1988; 68:45-50.
8. Williams JGP, Street M. Sequential faradism in quadriceps rehabilitation. *Physiother* 1976; 62: 252-254.
 9. Currier DP, Lehman J, Lightfoot P. Electrical stimulation in exercise of quadriceps femoris muscle. *Phys Ther* 1979; 59:1508-1512.
 10. Currier DP, Mann R. Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther* 1983; 63:915-921.
 11. Lainey CG, Walmsley RP, Andrew G M. Effectiveness of exercise alone versus exercise plus electrical stimulation in strengthening the quadriceps muscle. *Physiother can* 1983; 35:5-11.
 12. Alon G. High voltage stimulation : effects of electrode size on basic excitatory response. *Phys Ther* 1985; 65:890-895.
 13. Kramer JF. Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque. *Phys Ther* 1987; 67(1):31-38.
 14. Sisk TD, Stralka SW, Deering MB, Griffin JW. Effect of electrical stimulation on quadriceps strength after reconstructive surgery of the anterior cruciate ligament. *Am J Sport Med* 1987; 15:215-220
 15. Pourmarat G, Squire P, Lowani M. Effect of electrical stimulation superimposed with isokinetic contractions. *J Sports Med Phys Fit* 1992; 32(3):227-233
 16. ชีระพร วุฒยวนิช, นิमित มรกต, กิตติกา กาญจนรัตนากร. วิจัยทางการแพทย์. เชียงใหม่ : บริษัทกลางเวียงการพิมพ์ จำกัด, 2542
 17. ภิรมย์ กมลรัตนกุล, มนต์ชัย ชาลาประวรรตน์, ทวีสิน ดันประยูร. หลักการทำวิจัยให้สำเร็จ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, 2543
 18. Currier DP. Positioning for knee strengthening exercise. *Phys Ther* 1977; 57:148-152
 19. ประโยชน์ บุญสินสุข. การรักษาด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ. กรุงเทพฯ : ไพศาลการพิมพ์, 2529
 20. บุญเรียง ขจรศิลป์. การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลในการวิจัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows. กรุงเทพฯ : ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541
 21. กัลยา วาณิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูลเวอร์ชัน 7-10. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี เค เอส ไฟโตสตูดิโอ, 2543
 22. บุญเรียง ขจรศิลป์. เอกสารประกอบการเรียน วิชาสถิติวิจัย II. กรุงเทพฯ : ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542: -24 .
 23. McMiken DF, Todd-Smith M, Thompson C. Strengthening of human quadriceps muscle by cutaneous electrical stimulation. *Scan J Rehgbil Med*; 15:25-28.
 24. Mohr T, CarlsonB, Sulentic C, Landry R. Comparison of isometric exercise and high votage galvanic stimulation on quadriceps

- femoris muscle strength. *Phys Ther* 1985; 58 :115-130 .
25. Moritani T, Devries HA. Neural Factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *AM J Phys Med* ; 58:15-30.
26. Karapondo D, Staron R, Hagerman F. The time course for fast-twitch fiber type conversions in resistance trained men and woman (Abstract) *Med Sci Sports Exerc*; 23(5):130 .
27. Staron RS. Correlation between myofibrillar ATPase activity and myosin heavy chain composition in single human muscle fibers. *Histochemistry*. 1991; 96: 21-24 .
28. เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ และ คณะ. สรีรวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2538 .
29. Hainaut K, Duchateau J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med* 1992; 14:100-113 .
30. Heath ME, Gibbs SB. High-voltage pulsed galvanic stimulation : Effect of frequency of current on blood flow in the human calf muscle. *Clin Sci (Colch)* 1992; 82(6): 607-613.