

การศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าหลังการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและ CON-TREX ไดนาโมมิเตอร์

ชนนิษฐ์ ลิ้มสกุล¹, วิภาวรรณ ลีลาสำราญ¹, ชุติศักดิ์ ลิ้มสกุล², อลัน เฟรเดอริก กิเตอร์³, ปิยาวัฒน์ ศรีสวัสดิ์นุภาพ⁴

¹ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์และกายภาพบำบัด คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³หน่วยระบาดวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ⁴โรงพยาบาลศิรินครินทร์ หาดใหญ่

Comparison the Quadriceps Strength after Isokinetic Exercise Using a Modified NK Table and Con-Trex Dynamometer

Limsakul C¹, Leelasamran W¹, Limsakul C², Geater AF³, Srisawatnupap P⁴

¹Department of Orthopaedic Surgery and Physical Medicine, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University

²Department of electrical engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

³Epidemiology Unit, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, ⁴Sikarin Hospital, Hadyai

ABSTRACT

Objectives: To compare quadriceps strength after isokinetic exercise using a modified NK table and Con-Trex dynamometer.

Study design: Matched pairs randomized controlled trial.

Setting: Southern Medical Rehabilitation Center, Songklanagarind Hospital.

Methods: Healthy volunteers aged between 18-40 years were selected and matched in pairs as far as possible based on their similar quadriceps muscle strength, sex, age and BMI. Each member of each pair was randomly allocated to an exercise and a non-exercise group. Subjects in the exercise group exercised their right leg using the modified NK table and their left leg using the Con-Trex dynamometer 3 times per week for a total of 6 weeks. Subjects in the non-exercise group were instructed not to exercise for 6 weeks. Quadriceps muscle strength in both legs was measured in triplicate using the Con-Trex dynamometer at baseline and at the end of 6 weeks.

Results: In the exercise group, quadriceps muscle strength (mean peak torque) increased significantly from 83.10 Nm to 94.45 Nm in the right leg (modified NK table) ($p=0.004$) and from 79.15 Nm to 90.66 Nm in the left leg (Con-Trex dynamometer) ($p=0.003$). In the non-exercise group, quadriceps muscle strength showed a non-significant slightly decrease in both legs. The change in muscle strength in both legs in the exercise group was significantly different from that in the non-exercise group ($p=0.026$ and 0.003 , respectively). The increase in quadriceps muscle strength in the exercise group did not differ significantly between the right (11.35 Nm, 95%CI 3.7, 19.0) and the left legs (11.51 Nm, 95%CI 3.8, 19.2) ($p=0.98$).

Conclusion: Isokinetic exercise using the modified NK table at velocity of 30 degree per second can increase quadriceps muscle strength with a magnitude equivalent to the increase using the Con-Trex dynamometer as standard exercise equipment.

Keywords: muscle strength, quadriceps, isokinetic exercise

J Thai Rehabil Med 2017; 27(1): 4-10.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: ศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าโดยการออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและ Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์

รูปแบบการวิจัย: การศึกษาเชิงทดลองแบบจับคู่แล้วสุ่ม

สถานที่ทำการวิจัย: ศูนย์ฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์ภาคใต้ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

กลุ่มประชากร: อาสาสมัครสุขภาพดี อายุ 18-40 ปี ทั้งหมด 24 ราย

วิธีการศึกษา: สุ่มอาสาสมัครที่ถูกจับคู่ตามคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกันได้แก่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทั้งขาซ้ายและขวา, อายุ, BMI เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มออกกำลังกาย โดยขาขวาออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลง และขาซ้ายออกกำลังกายด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ กลุ่มไม่ออกกำลังกาย อาสาสมัครได้รับคำแนะนำให้งดการออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทั้ง 2 กลุ่มได้รับการวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขาซ้ายและขวา ก่อนและหลัง 6 สัปดาห์ ด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์

ผลการศึกษา: ในกลุ่มออกกำลังกาย ความแข็งแรง (แรงบิดสูงสุดเฉลี่ย) ของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขาข้างขวา (โต๊ะ NK ดัดแปลง) หลัง

Correspondence to: Chonnanid Limsakul, M.D.; Department of Orthopaedic Surgery and Physical Medicine, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand; E-mail address: chonnanid@hotmail.com

ครบ 6 สัปดาห์ เพิ่มขึ้นจาก 83.10 นิวตันเมตร เป็น 94.45 นิวตันเมตร ขาข้างซ้าย (เครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์) เพิ่มขึ้นจาก 79.15 นิวตันเมตร เป็น 90.66 นิวตันเมตร โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 2 กลุ่ม ($p=0.004$ และ 0.003 ตามลำดับ) ในขณะที่กลุ่มไม่ออกกำลังกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าในกลุ่มออกกำลังกาย ทั้งขาขวาและขาซ้าย มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มไม่ออกกำลังกาย ($p=0.026$ และ 0.003 ตามลำดับ) และพบว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของขาข้างขวาเมื่อเทียบกับขาข้างซ้าย ในกลุ่มออกกำลังกายด้วยกันนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.98$)

สรุป: การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าได้ เมื่อเทียบกับเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก

คำสำคัญ: ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ, กล้ามเนื้อเหยียดเข่า, การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก

เวชศาสตร์ฟื้นฟูการ 2560; 27(1): 4-10.

บทนำ

การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (isokinetic exercise) เป็นการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อวิธีหนึ่ง โดยมีไดนาโมมิเตอร์เป็นส่วนประกอบเพื่อบังคับให้ร่างกายส่วนที่ออกกำลังกายมีความเร็วเชิงมุมคงที่ ซึ่งทำให้กล้ามเนื้อบริเวณนั้นต้องออกแรงสูงสุดตลอดทุกมุมของการเคลื่อนไหว⁽¹⁾ กล้ามเนื้อบริเวณนั้นจึงแข็งแรงกว่าการออกกำลังกายทั่วไป

การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกทำให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงขึ้นและมีการเปลี่ยนจากกล้ามเนื้อชนิด IIB เป็นชนิด IIA⁽²⁾ จากการศึกษาการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกของกล้ามเนื้อขาพบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของไดนาโมมิเตอร์มีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยที่ความเร็วต่ำจะทำให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความเร็วสูง และมีความจำเพาะกับความเร็วนั้น ๆ กล่าวคือหากออกกำลังกายที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาที ความแข็งแรงที่วัดได้จะสูงที่สุดเมื่อวัดที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาทีเช่นกัน แต่หากวัดความแข็งแรงที่ความเร็วอื่น ๆ ความแข็งแรงจะลดลงตามลำดับ⁽²⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าในคนคนเดียวกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่ามักจะมากกว่ากล้ามเนื้องอเข่าเสมอ ผู้ชายมักมีความแข็งแรงมากกว่าผู้หญิง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาข้างที่ถนัดมักสูงกว่าขาอีกข้าง โดยพบว่าหากผู้ถูกวัดเป็นคนที่อยู่ในกลุ่มไม่ออกกำลังกาย ความแข็งแรงของขาทั้งสองข้างจะไม่ต่างกันมากนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้หญิง ในขณะที่ผู้ชายความแข็งแรงระหว่างขาสองข้างจะแตกต่างกันมาก⁽³⁾ จากการศึกษาของ Elliot⁽⁴⁾ เชื่อว่าหากความแข็งแรงของขาข้างถนัดและไม่ถนัดแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 10 อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บได้

จากการศึกษาทางคลินิกที่ผ่านมาพบว่า การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียด-งอเข่าได้จริงและ

ช่วยรักษาอาการของโรคต่าง ๆ ให้ดีขึ้นได้ เช่น การศึกษาของ Maurer และคณะ⁽⁵⁾ และ Huang และคณะ⁽⁶⁾ พบว่าการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกช่วยลดอาการปวดเข่าในผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมได้ ส่วนการศึกษาของ Lynberg และคณะ⁽⁷⁾ พบว่าการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการออกกำลังกายแบบไอโซเมตริก (isometric exercise) ในผู้ป่วยโรครูมาตอยด์ที่มีเยื่อหุ้มข้อเข่าอักเสบ การศึกษาของ Sharp⁽⁸⁾ ที่พบว่าการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีอาการอ่อนแรงข้างเดียวช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ทำให้ความเร็วในการเดินเพิ่มขึ้นได้และไม่ทำให้มีอาการเกร็งมากขึ้น และที่สำคัญการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกมีประโยชน์อย่างยิ่งในกลุ่มนักกีฬา เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแบบอื่น ๆ

ดังนั้น การมีอุปกรณ์เพื่อออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกไว้ในโรงพยาบาลทั้งระดับปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ ก็น่าจะมีประโยชน์เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและทำให้มีอาการของโรคที่พบได้บ่อยในโรงพยาบาลทุกระดับดีขึ้นได้

ในปัจจุบันนี้ได้มีการผลิตเครื่องออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกเพื่อจำหน่ายมากขึ้น แต่เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกที่จำหน่ายอยู่ในปัจจุบันล้วนมีราคาสูงทั้งสิ้น ทำให้โรงพยาบาลหลายแห่งไม่สามารถจัดซื้อเครื่องเพื่อนำมาใช้ได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้นำโต๊ะ NK มาดัดแปลงโดยติดตั้งไดนาโมมิเตอร์เพิ่มเข้าไปและได้รับการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้เครื่องออกกำลังกายข้อเข่าแบบไอโซคิเนติก⁽⁹⁾ โดยจากการศึกษาของ Hiruntanawat⁽⁹⁾ ได้รับการทดสอบในห้องทดลองมาแล้วว่ามีความถูกต้องในการควบคุมความเร็วที่คงที่ การใส่น้ำหนักและองศาในการเคลื่อนไหวที่เที่ยงตรงแต่ยังไม่เคยนำมาทดลองใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดงอเข่า จึงนำมาซึ่งการศึกษานี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าหลังออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงเปรียบเทียบกับ Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก และสามารถวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อออกมากในค่า torque หรือแรงบิด มีค่าเป็นนิวตันเมตร (Nm) ซึ่งจากการศึกษาของ Maffiuletti และคณะ (ค.ศ. 2007) พบว่าเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ มีความเชื่อมั่นในการวัดค่าแรงบิดสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดและงอเข่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (intraclass correlation coefficients >0.86) และพบว่ามีความเชื่อมั่นสูงที่สุดเมื่อวัดค่าแรงบิดสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าแบบคอนเซนตริก (intraclass correlation coefficients = 0.99)⁽¹⁰⁾

วิธีการศึกษา

กลุ่มประชากร

เกณฑ์การคัดเลือก ได้แก่ อาสาสมัครที่ไม่มีโรคประจำตัว, อายุ 18-40 ปี

เกณฑ์การคัดออก ได้แก่ อาสาสมัครที่เคยได้รับบาดเจ็บหรือได้รับ

การผ่าตัดที่ขา 2 ข้าง, มีอาการปวดเข่า ปวดสะโพกหรือปวดข้อเท้า, มีพิสัยข้อเข่า ข้อสะโพกหรือข้อเท้าน้อยกว่าปกติ, เป็นนักกีฬา⁽¹¹⁾

เกณฑ์การยุติการเข้าร่วมโครงการวิจัย ได้แก่ อาสาสมัครได้รับบาดเจ็บโดยมีสาเหตุเกี่ยวข้องกับการเข้าร่วมวิจัย เช่น เอ็นเข่าขาด หมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อนไปกดทับรากประสาท เป็นต้น

จำนวนประชากรจากการใช้การคำนวณขนาดตัวอย่างของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งสิ้น 24 ราย คือ

$$n = \frac{2(z_{\alpha} + z_{\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2} = 10 + 20\% \text{ (for a follow-up loss)} = 12$$

เนื่องจากไม่มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณประชากร ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าค่าความแปรปรวนในกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็น 2 เท่าของกลุ่มไม่ออกกำลังกาย

$$\sigma_T = 2\sigma_c$$

$$\therefore \sigma_{T_{\text{รวม}}}^2 = \frac{\sigma_T^2 + \sigma_c^2}{2} = \frac{\sigma_T^2 + (\frac{\sigma_T}{2})^2}{2} = \frac{\sigma_T^2 + \frac{\sigma_T^2}{4}}{2} = \frac{5\sigma_T^2}{8}$$

และต้องการตรวจพบความแตกต่าง (Δ) ที่ค่า = 1 standard deviation

$$\therefore \Delta = 1 SD = \sigma_T$$

กำหนดให้

n = the number of volunteers in each group

Z_{α} = 95% confidence interval (ค่ามาตรฐาน < 0.05=1.96)

A_{β} = Type II error (power at 80%=0.84)

นำมาแทนค่าในสูตร

$$\therefore n = \frac{2(z_{\alpha} + z_{\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2} = \frac{2(1.96 + 0.84)^2 5\sigma_T^2}{8\sigma_T^2} = 10$$

เพิ่มอีก 20% (for a follow-up loss)

$$\therefore n = 12$$

วัสดุอุปกรณ์/เครื่องมือ

1. โต๊ะ NK ดัดแปลง เป็นอุปกรณ์ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์สร้างขึ้นด้วยต้นทุนเพียง 50,000 บาท โดยดัดแปลงโต๊ะ NK ที่ไม่ใช่แล้วมาติดตั้งไดนาโมมิเตอร์ที่มีมอเตอร์กระแสตรง (DC motor) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของ lever arm มี potentiometer เป็นส่วนประกอบที่ควบคุมองศาของการเคลื่อนไหว มีระบบ PID controller เป็นระบบที่ควบคุมให้มีการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วที่คงที่ มี gear box เป็นอุปกรณ์ที่ให้แรงต้านสำหรับการออกกำลังกาย และมี strain gauge เป็นอุปกรณ์ที่วัดแรงที่คนกระทำต่ออุปกรณ์ออกมาเป็นแรงที่วัดได้ ส่วนประกอบทั้งหมดนี้ได้รับการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์โปรแกรม Labview (รูปที่ 1)⁽⁹⁾

2. เครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ไอโซคิเนติกไดนาโมมิเตอร์ที่ผลิตจากประเทศสวีเดนแลนด์ มีราคา 5,000,000 บาท เป็นอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก และวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ซึ่งมีใช้ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์สามารถออกกำลังกายได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งแบบ continuous passive motion (CPM), ไอโซโทนิค, ไอโซคิเนติกและบอลิสติก และ

สามารถออกกำลังกายได้ทั้งส่วนลำตัวและขา

3. แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล

4. แบบสอบถามหลังการทดลอง

ขั้นตอนการวิจัย

เมื่ออาสาสมัครยินยอมเข้าโครงการวิจัย อาสาสมัครได้รับการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (quadriceps) โดยใช้เครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ และได้รับการจับคู่โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ เพศ อายุ (ไม่เกิน 5 ปี), ดัชนีมวลกาย (ไม่เกิน 3 กก.ต่อม.²) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขาขวาและซ้าย จากนั้นอาสาสมัครในแต่ละคู่ถูกสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม (รูปที่ 2) คือ

กลุ่มออกกำลังกาย: อาสาสมัครออกกำลังกาย 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ (18 ครั้ง) รายละเอียดการออกกำลังกาย ดังนี้

1. ขาข้างขวาได้รับการออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลง ขาข้างซ้ายได้รับการออกกำลังกายด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์

2. ออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก-คอนเซนตริกของกล้ามเนื้อเหยียดงอเข่า ใช้เกณฑ์วิธีในการออกกำลังกายตามการศึกษาของ Huang และคณะ (ค.ศ. 2003)⁽⁶⁾

3. น้ำหนักที่เป็นแรงต้านคือ ร้อยละ 50 ของแรงบิดสูงสุดเฉลี่ยของอาสาสมัครที่วัดได้ก่อนเริ่มการวิจัย

4. ความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนไหวคือ 30 องศาต่อวินาที⁽⁶⁾, พิสัยการเคลื่อนไหวข้อเข่าคือ 0-70 องศา⁽¹²⁾

5. ปริมาณการออกกำลังกาย 5 การทำซ้ำของกล้ามเนื้อเหยียดงอเข่าต่อ 1 ชุด ทั้งหมด 5 ชุดต่อครั้ง

6. ก่อนและหลังการออกกำลังกาย อาสาสมัครต้องออกกำลังกายแบบเบา ๆ (calisthenic exercise) และยืดกล้ามเนื้อข้อเข่า 2 ข้าง นาน 5-10 นาที

กลุ่มไม่ออกกำลังกาย: อาสาสมัครถูกห้ามออกกำลังกายอื่น ๆ ตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์

อาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม ได้รับการรักษาพร้อมกัน ดังนี้ การลดอาการปวดกล้ามเนื้อบริเวณขาจากการออกกำลังกายและวัดความแข็งแรง ด้วยยาพาราเซตามอล และยืดกล้ามเนื้อ quadriceps, hamstrings และ gastrocnemius

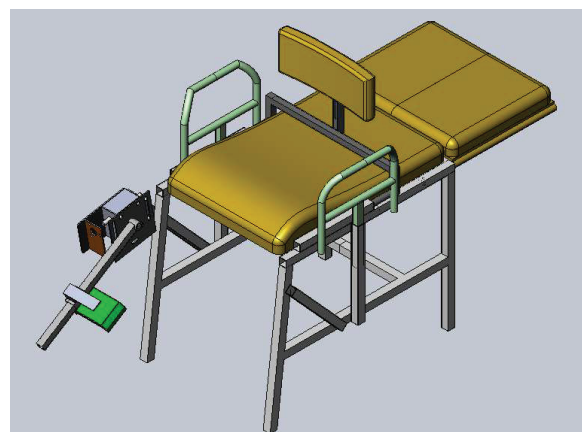


Figure 1. Modified NK table

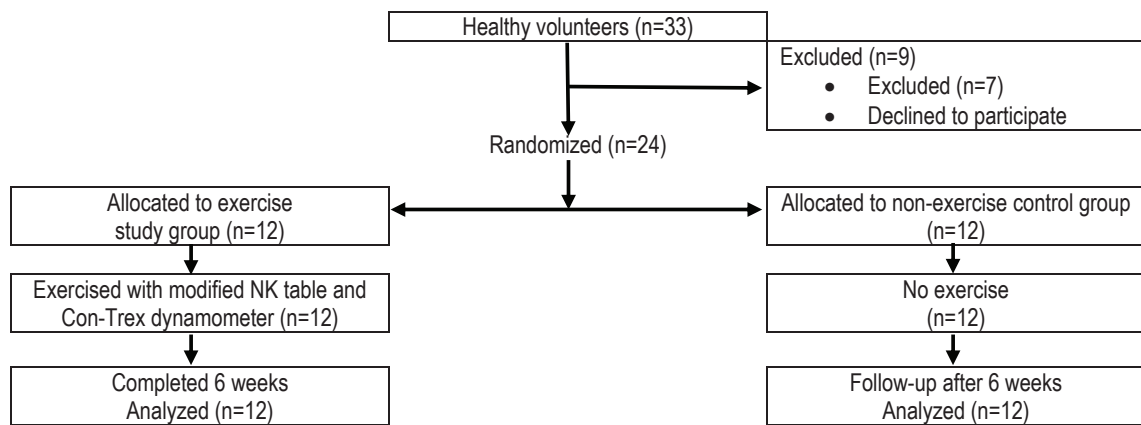


Figure 2. Flow of the study

ผลการศึกษาที่ต้องการวัด

ผลการศึกษาระดับปฐมภูมิ (primary outcome)

1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าของขาขวาและขาซ้าย หลังออกกำลังกายครบ 6 สัปดาห์ วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบไอโซคิเนติก-คอนเซนตริก ที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาที ด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ วัดชุดละ 3 การทำซ้ำ^(13,14) ได้ค่าออกมาเป็นแรงบิดสูงสุด 3 ค่า (Nm) วัดทั้งหมด 3 ชุด⁽¹²⁾ แล้วเลือกค่าที่สูงที่สุดของแต่ละชุดมาหาค่าเฉลี่ย เป็นแรงบิดสูงสุดเฉลี่ย⁽¹⁰⁾

ผลการศึกษาระดับทุติยภูมิ (secondary outcome)

1. ความพึงพอใจในออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์
2. ภาวะแทรกซ้อนจากการออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1. การแสดงข้อมูลพื้นฐาน
 - 1.1 วิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรชนิดต่อเนื่อง (continuous variable) นำเสนอในรูปค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
 - 1.2 วิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรชนิดนับ (discrete variable) นำเสนอในรูปร้อยละ
2. เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังออกกำลังกาย โดยใช้ paired t-test ร่วมกับ random-intercept mixed-effects linear regression เพื่อ adjust correlation เนื่องจากเป็นการวัดความแข็งแรงของขาที่เพิ่มขึ้นก่อนและหลังออกกำลังกายทั้งขาซ้ายและขาขวาในอาสาสมัครคนเดียวกัน
3. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มออกกำลังกายและไม่ออกกำลังกาย โดยใช้ unpaired t-test
4. เปรียบเทียบความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดโดยใช้ Wilcoxon signed ranks test
5. รายงานเป็น p-value โดย $p < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ โครงการวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการทำวิจัยในมนุษย์จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการได้ตามหมายเลข 57-275-11-1

ผลการศึกษา

ข้อมูลเบื้องต้นของอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม พบว่ามีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย และความถี่ในการออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 กลุ่ม ดังที่แสดงในตารางที่ 1

หลังออกกำลังกายครบ 6 สัปดาห์ พบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าของกลุ่มอาสาสมัครที่ออกกำลังกายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งขาขวาที่ออกกำลังกายด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงและขาซ้ายที่ออกกำลังกายด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ในขณะที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าของกลุ่มอาสาสมัครที่ไม่ได้ออกกำลังกายมีค่าลดลงทั้ง 2 ข้าง ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3 และ 4

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าในกลุ่มออกกำลังกายด้วยเครื่อง NK ดัดแปลงและเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มไม่ออกกำลังกาย ($p=0.026$ และ 0.003 ตามลำดับ) และพบว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นโดยการใช้อุปกรณ์ NK ดัดแปลงเมื่อเทียบกับเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ในกลุ่มออกกำลังกายด้วยกันนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.98$) ดังตารางที่ 3

จากการทำแบบสอบถามโดยอาสาสมัครกลุ่มออกกำลังกาย พบว่าความพึงพอใจในด้านความสะดวกสบายและรูปลักษณ์ภายนอก โต๊ะ NK ดัดแปลงได้คะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ดังตารางที่ 4

มีรายงานผลข้างเคียงไม่พึงประสงค์ คืออาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อต้นขาทั้ง 2 ข้าง ทั้งกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มไม่ออกกำลังกาย ในขณะที่มีอาการออกแรงเคลื่อนไหวข้อเข้าขณะออกกำลังกายและขณะวัดความแข็งแรง ซึ่งอาการทุเลาเองในเวลาไม่เกิน 1 วัน และมี 3 ราย ที่รายงานอาการปวดกล้ามเนื้อต้นขาซ้าย ข้อเท้าซ้าย และน่องขาด้านหลัง 2 ข้าง ซึ่งมีสาเหตุมาจากระบบคอมพิวเตอร์ที่ผิดปกติทั้งโต๊ะ NK ดัดแปลงและเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ แต่อาการปวดทุเลาภายในเวลา 1-2 วัน ไม่มีคนใดที่ต้องกินยาพาราเซตามอลหรือประคบเย็นหลังมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ

Table 1. Baseline characteristics of participants

Characteristics	Exercise (n=12)	Non-exercise (n=12)	p-value
Mean age, years (SD)	30.5 (4.2)	30.3 (3.7)	0.918 ^a
Female, n (%)	6 (50)	6 (50)	1 ^b
Mean height, cm (SD)	165.4 (8.5)	161.2 (8.7)	0.238 ^a
Mean weight, kg (SD)	60 (9.8)	57.3 (10.6)	0.528 ^a
BMI, kg./cm. ² , median (IQR)	21.3 (19.4,23.4)	20.9 (19.9, 23.1)	0.954 ^c
Right handedness, n (%)	11 (91.7)	11 (91.7)	1 ^d
Right footedness, n (%)	11 (91.7)	11 (91.7)	1 ^d
Frequency of exercise, n (%)			
1-2 times/week	3 (25)	2 (16.7)	0.644 ^d
3-4 times/week	2 (16.7)	4 (33.3)	
No	7 (58.3)	6 (50.0)	
Duration of exercise, n (%)			
< 30 minutes	1 (20)	0 (0)	0.072 ^d
> 60 minutes	3 (60)	1 (14.3)	
30-60 minutes	1 (20)	6 (85.7)	
Last exercise, n (%)			
> 1 week ago	4 (80)	4 (57.1)	0.576 ^d
1 week ago	1 (20)	3 (42.9)	
Mean quadriceps strength, Nm (SD)			
Right leg	83.1 (39.9)	82.9 (33.9)	0.99 ^a
Left leg	79.2 (33.5)	85.9 (37.4)	0.645 ^a

^a t-test, ^bChi-square test, ^cWilcoxon rank-sum test, ^d Fisher's exact test.

Table 2. Quadriceps strength at pre- and post- 6 weeks in exercise and non-exercise groups

Quadriceps strength (Nm)		Exercise (n=12)			Non-exercise (n=12)		
		Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI
Right	pre-	83.10	39.9	62.7, 103.5	82.91	33.9	65.3, 100.5
	post-	94.45	33.8	74.6, 114.9	81.80	26.7	64.3, 99.4
	p-value	0.004 ^a			0.76 ^a		
Left	pre-	79.15	33.5	58.7, 99.6	85.72	37.4	68.2, 103.3
	post-	90.66	39.0	70.2, 111.1	82.21	28.6	64.6, 99.8
	p-value	0.003 ^a			0.317 ^a		

^apaired t-test

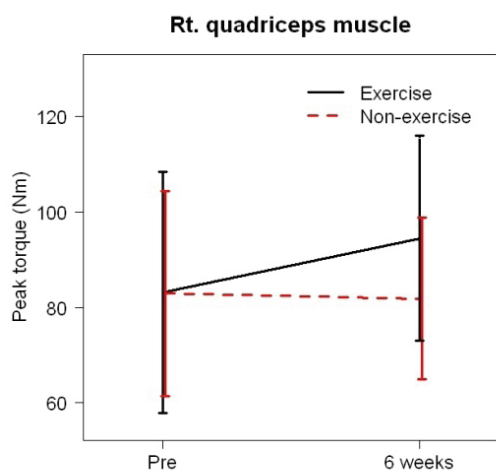


Figure 3. Right quadriceps muscle strength at pre- and post- 6 weeks in exercise and non-exercise groups
 $p < 0.05$ comparing pre- and post- 6 weeks in the exercise group
 All vertical lines represent 95%CI

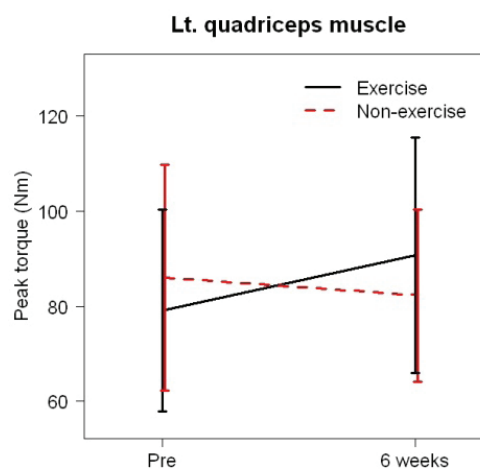


Figure 4. Left quadriceps muscle strength at pre- and post- 6 weeks in exercise and non-exercise groups
 $p < 0.05$ comparing pre- and post- 6 weeks in the exercise group
 All vertical lines represent 95%CI

Table 3. Comparison of the change in quadriceps strength of each leg between exercise and non-exercise groups

	Exercise (n=12)		Non-exercise (n=12)		<i>p-value</i>
	Mean (Nm)	95% CI	Mean (Nm)	95% CI	
Change in quadriceps strength					
Modified NK table (Right)	11.35	3.7, 19.0	-1.1	- 8.84, 6.66	0.026b
Con-Trex dynamometer (Left)	11.51	3.8, 19.2	-3.52	- 10.5, 3.4	0.003b
<i>p-value</i>	0.98 ^a		0.664 ^a		

^aWALD test, ^bUnpaired t-test

Table 4. Comparison of satisfaction (scale 1, low to 5, high) between the modified NK table and the Con-Trex dynamometer

	Modified NK table	Con-Trex dynamometer	<i>p-value</i>
	Mean (SD)	Mean (SD)	
Comfortable	3.58 (0.67)	4.17 (0.72)	0.026
Appearance	3.42 (0.79)	4.67 (0.49)	0.007
Usability	3.83 (0.72)	4.33 (0.78)	0.193
Overall satisfaction	4 (0.74)	4.33 (0.65)	0.33

Wilcoxon signed ranks test

บทวิจารณ์

โต๊ะ NK ดัดแปลงเป็นอุปกรณ์ต้นแบบที่ผลิตโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งอาศัยหลักการสำคัญในการผลิตเพื่อให้สามารถออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกได้ คือหลักการต้านแรงด้วยความเร็วคงที่ โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และได้รับการทดสอบในห้องทดลองมาแล้วว่าสามารถกำหนดแรงต้านและความเร็วในการเคลื่อนที่ของไดนาโมมิเตอร์ได้ถูกต้อง แต่ยังไม่เคยนำอุปกรณ์มาทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานจริง งานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลง

จากผลการวิจัยพบว่า การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าได้จริง และความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายด้วยเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการผลิตอุปกรณ์ให้สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่โดยใช้ระบบควบคุมแบบ PID controller และการใช้ gear box ซึ่งเป็นส่วนประกอบในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้ออกมาเป็นแรงต้านที่ต้องการ⁽²⁾

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Huang และคณะ⁽⁶⁾ การใช้ความเร็วที่ 30 องศาต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่ช้าน่าจะช่วยให้กล้ามเนื้อเพิ่มความแข็งแรงขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วที่เร็วกว่านี้ แต่ในแง่ของการวัดความแข็งแรง ผู้วิจัยเลือกใช้ความเร็วที่ 30 องศาต่อวินาที เช่นเดิม ในขณะที่การศึกษาของ Huang ใช้ความเร็วที่ 60 และ 180 องศาต่อวินาที ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ ความจำเพาะของความเร็วในการฝึกและการวัดก็มีผลเช่นกัน⁽²⁾ อย่างไรก็ตามความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากงานวิจัยของ Huang ศึกษาในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม และมีหลายปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น อายุ เชื้อชาติ รูปร่าง

ในแง่ความถนัดต่อผลของการออกกำลังกาย อาสาสมัครในกลุ่มที่ออกกำลังกาย การออกกำลังกายขาข้างขวาด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงเพียงอย่างเดียว อาจได้ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าความเป็นจริง

เนื่องจากขาข้างขวาเป็นขาข้างถนัดของอาสาสมัครส่วนใหญ่ ซึ่งมีความแข็งแรงอยู่เดิมอยู่แล้ว⁽³⁾ ในขณะที่อาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่มมีจำนวนคนที่ถนัดขาขวาเท่า ๆ กัน จึงไม่น่าก่อให้เกิดอคติระหว่างกลุ่ม

ในแง่ของเพศนั้น พบว่าเพศชายมีความแข็งแรงของขาข้างถนัดแตกต่างกับขาข้างไม่ถนัดชัดเจน ในขณะที่เพศหญิงความแตกต่างของความแข็งแรงของขาสองข้างไม่แตกต่างกันมากนัก การแบ่งจำนวนเพศชายและหญิงเท่า ๆ กันน่าจะช่วยลดอคติระหว่างกลุ่มได้^(3,15)

ผลด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่า เครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ได้คะแนนพึงพอใจสูงกว่าโต๊ะ NK ดัดแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านความสะดวกสบายและรูปลักษณ์ภายนอก ในขณะที่การใช้งานและภาพรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลจากการที่โต๊ะ NK ดัดแปลงที่นำมาใช้ยังเป็นต้นแบบที่ผลิตจากห้องทดลองโดยคำนึงถึงความสามารถในการใส่แรงต้านที่ถูกต้องและควบคุมความเร็วที่คงที่เป็นหลักสำคัญก่อน ส่วนเรื่องของการใช้งานและรูปลักษณ์ภายนอกจะพัฒนาต่อไปในอนาคต

ผลการวิจัยในครั้งนี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาโต๊ะ NK ดัดแปลงในอนาคต เนื่องจากการเน้นย้ำว่าระบบควบคุมของตัวต้นแบบนั้นสามารถนำมาใช้ในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกได้จริง และถือได้ว่าประสิทธิภาพของโต๊ะ NK ดัดแปลงในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกเทียบเท่ากับเครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน ในราคาที่ถูกกว่าถึง 100 เท่า อีกทั้งยังเป็นการนำโต๊ะ NK ที่เสื่อมคุณภาพแล้วมาใช้ใหม่อีกด้วย อย่างไรก็ตามโต๊ะ NK ดัดแปลงต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมให้สามารถออกกำลังกายได้ทั้งขาซ้ายและขวา เนื่องจากในปัจจุบันตัวต้นแบบสามารถออกกำลังกายได้เพียงขาขวาข้างเดียว รวมทั้งเรื่องของความสะดวกสบายในการใช้งานและรูปลักษณ์ภายนอกที่สวยงาม ซึ่งการพัฒนาโต๊ะ NK ดัดแปลงให้ใช้ได้จริงในอนาคตนั้น มีประโยชน์ในการนำไปใช้ในโรงพยาบาลปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เช่น อากาศอ่อนแรงจากโรคหลอดเลือดสมอง อากาศปวดเข่าจากโรคข้อเข่าเสื่อม ช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์มูลค่าสูงและค่าใช้จ่ายในการเดินทางของ

ผู้ป่วยที่ต้องเดินทางมารักษาในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ อีกทั้งยังสามารถนำออกขายสู่ตลาดได้อีกด้วย

สำหรับข้อจำกัดของการศึกษานี้คือ การออกกำลังกายด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิดในคนคนเดียวกัน อาจทำให้เกิดอคติในงานวิจัย ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากโต๊ะ NK ดัดแปลงที่ใช้นั้นเป็นอุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถใช้ออกกำลังกายขาขวาได้เพียงข้างเดียว แต่ทางผู้วิจัยตัดสินใจให้อาสาสมัครออกกำลังกายทั้ง 2 ข้าง เนื่องจากคิดว่าการออกกำลังกายทั้งสองข้างจะส่งผลเสียต่ออาสาสมัครน้อยกว่าการออกกำลังกายข้างเดียว ดังได้กล่าวข้างต้นว่าหากความแข็งแรงของขาทั้งสองข้างแตกต่างกันมากถือเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บของขาในอนาคตได้⁽⁴⁾ อีกทั้งการศึกษานี้ไม่ได้เพิ่มแรงต้านให้อาสาสมัครเนื่องจากอาสาสมัครมีปัญหาเรื่องความล่าช้าและหลายครั้งที่ออกกำลังกายพบว่าการออกกำลังกายเพียงข้างเดียวของขาทั้ง 2 ข้างลดลง ซึ่งทางผู้วิจัยสันนิษฐานว่าสาเหตุน่าจะมาจากความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนไหวอยู่ในระดับช้า (30 องศาต่อวินาที) ซึ่งทำให้อาสาสมัครรู้สึกหนักขณะที่ออกกำลังกาย นอกจากนี้การที่อาสาสมัครกลุ่มไม่ออกกำลังกายถูกห้ามไม่ให้ออกกำลังกายเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงไปกับกลุ่มที่ออกกำลังกายนั้นทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าลดลง ซึ่งอาจส่งผลเสียต่ออาสาสมัครได้เล็กน้อย

สรุป การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติกด้วยโต๊ะ NK ดัดแปลงที่ความเร็วในการออกกำลังกาย 30 องศาต่อวินาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าได้เทียบเท่าการใช้เครื่อง Con-Trex ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์แพทย์หญิงวิภาวรรณ ลีลาสำราญ และอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ร่วมศาสตราจารย์อฉัตร กิติเตอร์ รองศาสตราจารย์ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล และอาจารย์นายแพทย์ปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์นุภาพ และคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ออกกำลังกายและสถานที่สำหรับใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Nitschke JE. Reliability of isokinetic torque measurement: a review of the literature. *Aust J Physiother.* 1992;38:125-34.
2. Brown LE, editor. *Isokinetics in human performance.* Champaign (IL): Human Kinetics; 2000.
3. Wyatt MP, Edwards AM. Comparison of quadriceps and hamstring torque values during isokinetic exercise. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1981;3:48-56.
4. Elliott J: Assessing muscle strength isokinetically. *JAMA* 1987;10:2408-10.
5. Maurer BT, Stern AG, Kinossian B, Cook KD, Schumacher HR. Osteoarthritis of the knee: isokinetic quadriceps exercise versus an educational intervention. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80:1293-9.
6. Huang MH, Lin YS, Yang RC, Lee CL. A comparison of various therapeutic exercises on the functional status of patients with knee osteoarthritis. *Semin Arthritis Rheum.* 2003;32:398-406.
7. Lynberg KK, Ramsing BU, Nawrocki A, Harreby M. Safe and effective isokinetic knee extension training in rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum.* 1994;37:623-38.
8. Sharp SA, Brouwer BJ. Isokinetic strength training of hemiparetic knee effects on function and spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78:1231-6.
9. Hiruntanawat S. *Isokinetic Exercise System for Knee Rehabilitation [Thesis].* Songkhla: Prince of Songkla University; 2013.
10. Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinger U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007;27:346-53.
11. Murray DP, Brown LE, Zinder M, Noffal GJ, Bera SG, Garrett NM. Effects of velocity-specific training on rate of velocity development, peak torque, and performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21:870-4.
12. Andrade AC, Caserotti P, Pereira CM, André E, Sampaio AJ. Reliability of concentric, eccentric and isometric knee extension and flexion when using the REV9000 isokinetic dynamometer. *J Hum Kinet.* 2013;37:47-53.
13. Lund H, Sondergaard K, Zachariassen T, Christensen R, Bulow P, Henriksen M, et al. Learning effect of isokinetic measurements in healthy subjects, and reliability and comparability of Biodex and Lido dynamometers. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2005;25:75-82.
14. Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Athl Train.* 2013;48:610-20.
15. Pincivero DM, Coelho AJ, Campy RM, Salfetnikov Y, Bright A. The effects of voluntary contraction intensity and gender on perceived exertion during isokinetic quadriceps exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2001;84:221-6.