ความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าด้วยสมาร์ทโฟนในผู้ใหญ่สุขภาพดี

Validity and Reliability of Smartphone Knee Goniometry in Healthy Adults

ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์[1], ธนภัทร วิทยาวราพงศ์[1]* และ อ้อมเดือน ชื่นวารี[1]
Pattipon Kaongampanich[1], Thanapat Withayawarapong[1]* and Omduan Chunwaree[1]
[1] นักกายภาพบำบัด งานกายภาพบำบัด
[1] ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล
*Corresponding Author: email: thanapat.wit@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี โดยไม้บรรทัดวัดมุมถือเป็นเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือสูง ทั้งนี้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านการพกพาและจำนวนที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในทางคลินิก การใช้สมาร์ทโฟนเพื่อวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าจึงได้รับความนิยมในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น การศึกษาฉบับนี้จึงศึกษาความเที่ยงตรง ความน่าเชื่อถือภายในผู้วัดและความน่าเชื่อถือระหว่างผู้วัด โดยทำการศึกษาในผู้ใหญ่สุขภาพดีจำนวน 15 คน ทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าเปรียบเทียบระหว่างไม้บรรทัดวัดมุมและสมาร์ทโฟน ประเมินโดยนักกายภาพบำบัด 2 คน ใน 4 ท่า ได้แก่ ท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด ท่านั่งข้อเข่าเหยียด และท่านั่งข้อเข่างอ จากการศึกษาพบว่า สมาร์ทโฟนมีความเที่ยงตรงในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าเมื่อเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุมอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก (r = 0.55-0.94) มีความความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้ประเมินอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (ICC = 0.86 – 0.96, SEM = 0.70° – 1.38°) และความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินอยู่ในระดับปานกลางถึงดีมาก (ICC = 0.74 – 0.96, SEM = 1.29° - 1.90°) สมาร์ทโฟนจึงสามารถนำมาใช้วัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าทดแทนการใช้ไม้บรรทัดวัดมุมในทางคลินิกได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: องศาการเคลื่อนไหว; สมาร์ทโฟน; กายภาพบำบัด

Abstract

The assessment of knee joint range of motion is commonly performed using various tools. The universal goniometer is widely used for its precision and reliability. Despite its advantages, limitations such as portability and limited access are found in a clinical setting. Accordingly, the use of smartphone to measure the knee joint range of motion has become increasingly popular. This study investigated the validity, intra-rater reliability, and inter-rater reliability of smartphone compared to the universal goniometer. Fifteen healthy adults were assessed by two physical therapists using both methods across four positions: supine knee extension, supine maximal knee flexion, sitting knee extension, and sitting knee flexion. Results indicated that smartphone demonstrated moderate to very high validity compared with the universal goniometer (r = 0.55–0.94). Intra-rater reliability ranged from good to excellent (ICC = 0.86–0.96, SEM = 0.70° – 1.38°), while inter-rater reliability was moderate to excellent (ICC = 0.74–0.96, SEM = 1.29° - 1. 90°). These findings support the use of smartphones as a feasible and accurate tool for assessing knee ROM in clinical practice.

Keywords: Goniometry; Smartphone; Physical Therapy

วันที่รับบทความ: 30 เม.ย. 68 วันที่แก้ไขบทความ: 15 พ.ค. 68 วันที่ตอบรับบทความ: 30 พ.ค. 68 DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

1. บทนำ

ปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าหลายวิธี การวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiography) ถือเป็นเครื่องมือที่ถูกต้องเที่ยงตรงมากที่สุด (Gold standard)[1] แต่การที่ผู้ป่วยได้รับรังสีจากการตรวจบ่อยครั้งนั้น ส่งผลเสียต่อสุขภาพได้อีกด้วย เช่น ความผิดปกติต่อระบบภูมิคุ้มกัน และการทำงานที่ผิดปกติของเซลล์ เป็นต้น[2] นอกจากนี้ เครื่องยังมีขนาดใหญ่ หนัก และราคาที่แพงในการใช้งานในแต่ละครั้ง จึงไม่มีความสะดวกที่จะนำมาใช้ในทางคลินิก ไม้บรรทัดวัดมุม (Universal Goniometers) จึงเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่นิยมใช้ในทางคลินิกเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ราคาไม่แพง ขนาดเล็ก สะดวกต่อการพกพา ใช้งานง่าย และมีความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้ประเมิน (Intra-rater reliability) และความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater reliability) ที่สูงมาก[3] อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติงานทางคลินิกมัก พบว่าไม้บรรทัดวัดมุมเกิดความชำรุด สูญหาย หรือมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรและงบประมาณในการจัดสรรเครื่องมือ ส่งผลให้ไม่สามารถวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องด้วยในปัจจุบันสมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สะดวกมากกว่า พกพาง่ายมากขึ้นเมื่อเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุม สามารถนำไปพัฒนาใช้ในระบบการดูแลระยะไกล (Tele-Rehabilitation) และมีแอปพลิเคชันที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวได้ จึงมีหลายผลการศึกษาที่แสดงผลความน่าเชื่อถือ (Reliability) และความเที่ยงตรงในการวัด (Validity) ในระดับดีมาก ในการใช้แอพลิเคชั่นในสมาร์ทโฟนวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าในผู้ใหญ่สุขภาพดี[4-7] และการวัดในผู้ป่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม[3]

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การใช้แอปพลิเคชันสำหรับวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าในสมาร์ทโฟนมีหลากหลายมาก ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในการใช้งานของแต่ละแอปพลิเคชัน จากแต่ละรุ่นของสมาร์ทโฟนยี่ห้อต่าง ๆ และหลายแอปพลิเคชันหมดอายุการใช้งานไปแล้ว ส่งผลต่อการรักษาคุณภาพในการวัดหากต้องเปลี่ยนแอปพลิเคชันบ่อยครั้ง การศึกษานี้จึงสนในการใช้งานแอปพลิเคชัน Measure ของระบบปฏิบัติการ IOS ที่บริษัท Apple Inc. เป็นผู้พัฒนาด้วยตนเอง และมีผู้ใช้งานอย่างแพร่หลายตามจำนวนผู้ใช้งานระบบปฏิบัติการ IOS ในการนำมาใช้วัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าทดแทนการใช้ไม้บรรทัดวัดมุม จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของการวัดองศาการเคลื่อนไหวเข่าด้วยสมาร์ทโฟนและประเมินความเที่ยงตรงในการวัดเมื่อเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุมในผู้ใหญ่สุขภาพดี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความเที่ยงตรง (Validity) ของการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่า (Knee Range of Motion: Knee ROM) ด้วยสมาร์ทโฟนเมื่อเทียบกับ Universal Goniometer ในผู้ใหญ่สุขภาพดี 4 ท่า (นอนหงายข้อเข่าเหยียด, นอนหงายข้อเข่างอมากสุด, นั่งข้อเข่าเหยียด, นั่งข้อเข่างอ) ในการนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า (TKA) และผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม (Osteoarthritis) ในการวินิจฉัยและติดตามผลการรักษา
2. เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra-rater reliability) และความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater reliability) ของการวัด Knee ROM ด้วยสมาร์ทโฟนในผู้ใหญ่สุขภาพดี 4 ท่า (นอนหงายข้อเข่าเหยียด, นอนหงายข้อเข่างอมากสุด, นั่งข้อเข่าเหยียด, นั่งข้อเข่างอ) เพื่อสนับสนุนการใช้งานในงานคลินิกกายภาพบำบัด เช่น การประเมินผู้ป่วย และการดูแลระยะไกล (Tele-rehabilitation)

กรอบแนวคิดในการวิจัย (Conceptual Framework)

กรอบแนวคิดในการวิจัยนี้มุ่งประเมินความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของสมาร์ทโฟนในการวัด Knee ROM เทียบกับ Universal Goniometer โดยมี โครงสร้างดังนี้:

- **ตัวแปรอิสระ:** การวัด Knee ROM ด้วยสมาร์ทโฟนใน 4 ท่า (นอนหงายข้อเข่าเหยียด/งอมากสุด, นั่งข้อเข่าเหยียด/งอ) เพื่อศึกษาความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ
- **ตัวแปรควบคุม:** การวัดด้วยไม้บรรทัดวัดมุม (Goniometer) และกลุ่มตัวอย่างผู้ใหญ่สุขภาพดีเพื่อควบคุมปัจจัยด้านสุขภาพข้อเข่า
- **ตัวแปรตาม:**
  - ความเที่ยงตรง (Validity) วัดด้วย Pearson’s r correlation coefficient
  - ความน่าเชื่อถือภายในและระหว่างผู้ประเมิน (Intra-rater and Inter-rater Reliability) วัดด้วย ICC

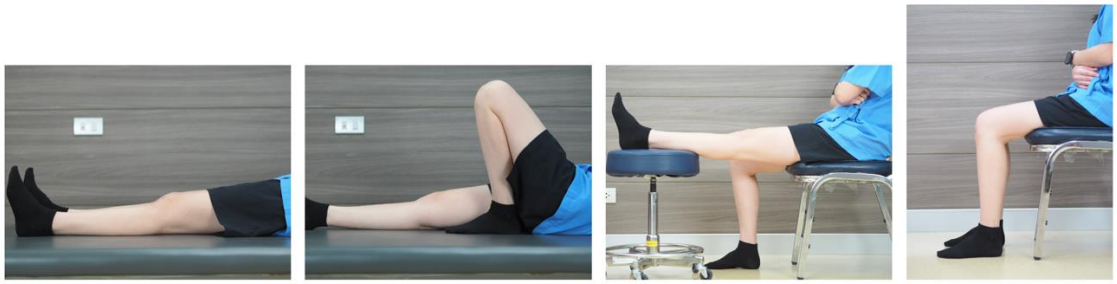
DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

- **ผลลัพธ์ทางคลินิก:** การเพิ่มประสิทธิภาพการวัด Knee ROM ในงานกายภาพบำบัด เช่น ลดระยะเวลาการประเมิน, ใช้งานง่ายในผู้ป่วยผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม ผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม และสนับสนุนการดูแลระยะไกล Tele-rehabilitation

2. วิธีการวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยประกอบไปด้วยผู้ใหญ่สุขภาพดีจำนวน 15 คน (จำนวนผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถคำนวณได้จากโปรแกรม G*Power version 3.1 (Universität Düsseldorf, Germany) โดยกำหนดตัวแปรอ้างอิงจากการศึกษาของ Bujang and Baharum ในปี 2017[8] ได้แก่ Minimum reliability=0.7, Alpha value=0.05, Power=90%) มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเข้า คือ เป็นผู้ใหญ่สุขภาพดี อายุมากกว่า 18 ปี และมีเกณฑ์การคัดออก ได้แก่ มีอาการปวดข้อเข่าขณะเคลื่อนไหว มีภาวะกระดูกข้อเข่าหักหรือผ่าตัดข้อเข่ามาก่อน และมีดัชนีมวลกาย ตั้งแต่ 40 กิโลกรัม/ตารางเมตร ขึ้นไป โดยได้รับการเชิญชวนให้เข้าร่วมงานวิจัยผ่านโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์และการเชิญชวนจากทีมวิจัย ณ ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนได้รับทราบรายละเอียดและยินยอมในการเข้าร่วมงานวิจัยด้วยความสมัครใจ งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองโดยคณะกรรมการจริยธรรมการจริยธรรมวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล (รหัสโครงการ 216/2568(IRB4), COA no.279/2025, วันที่รับรอง 01/04/2568)

ท่าทางที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าประกอบไปด้วย 4 ท่า ได้แก่ 1) ท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด[4, 9] โดยวางข้อเข่าราบกับเตียง จัดให้สะโพกให้อยู่ใน Neutral rotation ให้เหยียดข้อเข่าลงให้มากที่สุดเท่าที่รู้สึกตึงแต่ยังไม่เจ็บ 2) ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด[4, 9] ให้งอข้อเข่าให้มากที่สุดเท่าที่รู้สึกตึงแต่ยังไม่เจ็บ โดยติดเทปกำหนดระยะวางเท้าที่เตียงบริเวณปลายนิ้วเท้า 3) ท่านั่งข้อเข่าเหยียด[9] เริ่มต้นด้วยการวางเท้าไว้ที่เก้าอี้ที่มีความสูงเท่ากัน จัดสะโพกให้อยู่ในแนวหมุนตรง (Neutral rotation) และเหยียดเข่าลงให้มากที่สุดเท่าที่รู้สึกตึง แต่ยังไม่เจ็บ และ 4) ท่านั่งข้อเข่างอ[9] ให้งอเข่าให้มากที่สุดเท่าที่ส้นเท้าและนิ้วเท้าติดพื้น รู้สึกตึงแต่ยังไม่เจ็บ โดยติดเทปกำหนดระยะวางเท้าที่พื้นบริเวณปลายนิ้วเท้า (รูปที่ 1) โดยผู้วิจัย (A3) จะเป็นผู้จัดท่าทางผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในลักษณะที่ถูกต้องและคงค้างไว้ในท่าเดิมขณะเก็บข้อมูล ซึ่งจะมีการติดเทปกำหนดระยะวางเท้าที่เตียงหรือพื้นบริเวณปลายนิ้วเท้าของผู้เข้าร่วมวิจัยในท่างอเข่ามากที่สุดเพื่อป้องกันการเคลื่อนไหวข้อเข่า



1) 2) 3) 4)

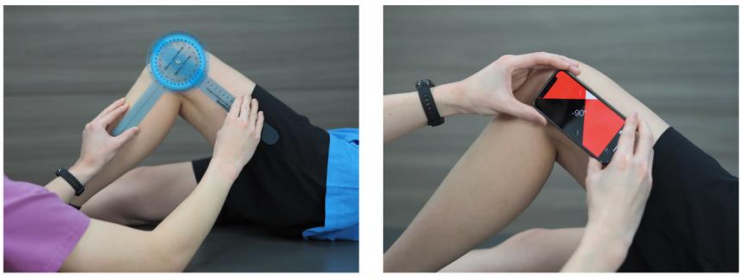
รูปที่ 1 แสดงท่าทางที่ใช้ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่า ประกอบด้วย 1) ท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด 2) ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด 3) ท่านั่งข้อเข่าเหยียด 4) ท่านั่งข้อเข่างอ

(ภาพจาก: ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์, ธนภัทร วิทยาวราพงศ์ และอ้อมเดือน ชื่นวารี)

ผู้ประเมินองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าเป็นนักกายภาพบำบัดที่มีประสบการณ์ทางคลินิกมากกว่า 9 ปี ประกอบไปด้วยผู้ประเมินคนที่ 1 (A1) และผู้ประเมินคนที่ 2 (A2) ทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าด้วยอุปกรณ์ทั้งสองชนิด ได้แก่ ไม้บรรทัดวัดมุม (Faculty of Physical Therapy Mahidol University, Nakhon Pathom, Thailand) และแอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟน (Apple Inc., Cupertino, California, United States) โดยอ้างอิงตำแหน่งการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าจากการศึกษาของ Norkin และ White ในปี 2016[10] สำหรับไม้บรรทัดวัดมุม ผู้ประเมินจะจัด Axis ของอุปกรณ์ไว้บริเวณ Lateral epicondyle of femur วางแขนของไม้บรรทัดวัดมุมส่วน Stationary arm ตามแนวของกระดูก Femur ชี้ตรงไปที่ปุ่มกระดูก Greater trochanter และวางแขนของไม้บรรทัดวัดมุมส่วน Movement arm ตามแนวของกระดูก Fibula ชี้ตรงไปที่ปุ่มกระดูก

DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

Lateral malleolus[4, 9] สำหรับแอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟน ผู้ประเมินจะจัดวางสมาร์ทโฟนในลักษณะเดียวกันกับไม้บรรทัดวัดมุม โดยวางมือถือตามแนวของกระดูก Femur ชี้ส่วนปลายของมือถือทั้งสองด้านตรงไปที่ Axis และปุ่มกระดูก Greater trochanter เป็นอันดับแรก จากนั้น กดบริเวณหน้าจอมือถือเพื่อปรับแกนของแอปพลิเคชัน และวางสมาร์ทโฟนอีกครั้งตามแนวของกระดูก Fibula ชี้ส่วนปลายของมือถือทั้งสองด้านตรงไปที่ Axis และ Lateral malleolus เพื่อวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แสดงการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าด้วยอุปกรณ์ทั้งสองชนิด ได้แก่ ไม้บรรทัดวัดมุม (ซ้าย) และ แอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟน (ขวา)
(ภาพจาก: ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์, ธนภัทร วิทยาวราพงศ์ และอ้อมเดือน ชื่นวารี)

การเก็บข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าในแต่ละท่า เริ่มต้นจาก 1) การวัดด้วยไม้บรรทัดวัดมุมโดย A1 2) การวัดด้วยสมาร์ทโฟนครั้งที่ 1 โดย A1 3) การวัดด้วยไม้บรรทัดวัดมุมโดย A2 4) การวัดด้วยสมาร์ทโฟนครั้งที่ 1 โดย A2 5) การวัดด้วยสมาร์ทโฟนครั้งที่ 2 โดย A1 6) การวัดด้วยสมาร์ทโฟนครั้งที่ 2 โดย A2 ซึ่งการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าในแต่ละท่าจะทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยผู้วิจัย A3 จะเป็นผู้อ่านข้อมูลองศาที่วัดได้ทุกครั้งจากไม้บรรทัดวัดมุมและสมาร์ทโฟน เพื่อบันทึกลงในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล โดยผู้ประเมิน A1 และ A2 จะไม่เห็นองศาการเคลื่อนไหวที่ตนเองและผู้อื่นวัดได้ (สามารถทำได้ด้วยวิธีการหันมองทางอื่นเมื่อวัดองศาด้วยไม้บรรทัดวัดมุมเสร็จแล้ว และลดแสงของหน้าจอสมาร์ทโฟนให้น้อยที่สุดร่วมกับการหันมองทางอื่นเมื่อวัดองศาด้วยสมาร์ทโฟนเสร็จแล้ว)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 29.0 (IBM Corp., Armonk, New York, United States) โดยข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย (Demographic data) ที่เป็นข้อมูลต่อเนื่องจะใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± Standard Deviation) หากเป็นข้อมูลแบ่งกลุ่มจะใช้ค่าความถี่และร้อยละ (Frequency and Percentage) ในการรายงานผล

การทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้ประเมิน (Intra-rater reliability) และการทดสอบความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater Reliability) ของการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าจะใช้สถิติการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC) โดยใช้แบบจำลอง ICC (3,1) และ แบบจำลอง ICC (3,k) ตามลำดับ (การแปลผล : <0.5, 0.5 – 0.74, 0.75 – 0.9, >0.9 หมายถึง มีระดับความน่าเชื่อถือต่ำ ปานกลาง ดี และดีมาก ตามลำดับ)[11] สำหรับการทดสอบความเที่ยงตรง (Validity) ของการใช้สมาร์ทโฟนวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าเปรียบเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุมจะใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson’s r Correlation Coefficient) เพื่อประเมินขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ (การแปลผล : 0.00–0.10, 0.10–0.39, 0.40–0.69, 0.70–0.89, 0.90–1.00 หมายถึง มีระดับความสัมพันธ์น้อยมาก ต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก ตามลำดับ)[12]

3. ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการศึกษาในอาสาสมัครผู้ใหญ่สุขภาพดีทั้ง 15 ราย (เพศชาย 2 ราย และเพศหญิง 13 ราย) อายุเฉลี่ย 30.60 ± 2.67 ปี ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 20.00 ± 2.54 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยทำการทดสอบทั้งหมด 15 เข่า (เข่าซ้าย 7 เข่า และเข่าขวา 8 เข่า) โดยข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครแสดงดังตารางที่ 1

DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย (Demographic data)

ข้อมูลพื้นฐาน (Demographic data)	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± Standard Deviation)
อายุ (ปี)	30.60 ± 2.67
เพศ (ชาย/หญิง)	2 (13.33%) / 13 (86.87%)
ส่วนสูง (เมตร)	1.63 ± 0.05
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	55.18 ± 5.89
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	20.00 ± 2.54
ด้านที่ทำการทดสอบ (ซ้าย/ขวา)	7 (46.67%) / 8 (53.33%)

ความเที่ยงตรง (Validity)

การทดสอบค่าความเที่ยงตรงในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของเข่าด้วยแอปพลิเคชัน Measure บนสมาร์ทโฟน เปรียบเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุม มีค่าความเที่ยงตรงในท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด ระดับปานกลาง (r = 0.55-0.71), ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด ระดับสูงมาก (r = 0.90-0.94) ท่านั่งข้อเข่าเหยียด ระดับสูง (r = 0.77-0.85) และท่านั่งข้อเข่างอ ระดับสูง (r = 0.78-0.86) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความเที่ยงตรง (Validity) ของการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าในท่าทางต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไม้บรรทัดวัดมุมและสมาร์ทโฟน

ท่าทางในการทดสอบ (Test position)	ค่าเฉลี่ยของ Pearson’s r (Mean of Pearson’s r)	ช่วงของค่า Pearson’s r (Range of Pearson’s r)	การแปลผล
1. นอนหงายข้อเข่าเหยียด (Supine knee extension)	0.62	0.55 - 0.71	มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง (Moderate correlation)
2. นอนหงายข้อเข่างอมากสุด (Supine maximal knee flexion)	0.92	0.90 - 0.94	มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก (Very strong correlation)
3. นั่งข้อเข่าเหยียด (Sitting knee extension)	0.81	0.77 - 0.85	มีความสัมพันธ์ในระดับสูง (Strong correlation)
4. นั่งข้อเข่างอ (Sitting knee flexion)	0.83	0.78 - 0.86	มีความสัมพันธ์ในระดับสูง (Strong correlation)

ความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้ประเมิน (Intra-rater reliability)

การทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้ประเมินของการใช้แอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟนวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า มีค่าความน่าเชื่อถือในท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด ระดับดี ถึง ดีมาก (ICC = 0.86-0.94), ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด ระดับดีมาก (ICC = 0.94-0.96), ท่านั่งข้อเข่าเหยียด ระดับดีมาก (ICC = 0.96) และท่านั่งข้อเข่างอ ระดับดีมาก (0.95-0.96) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้ประเมิน (Intra-rater reliability) ของการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าในท่าทางต่าง ๆ ด้วยสมาร์ทโฟน

ท่าทางในการทดสอบ (Test position)	ผู้ประเมิน	ICC (95% CI)	การแปลผล	SEM (องศา)	MDC (องศา)
1. นอนหงายข้อเข่าเหยียด (Supine knee extension)	คนที่ 1	0.94 (0.84 - 0.98)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	0.91	2.52
	คนที่ 2	0.86 (0.62 - 0.95)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดี (Good reliability)	0.96	2.67
2. นอนหงายข้อเข่างอมากสุด (Supine maximal knee flexion)	คนที่ 1	0.94 (0.82 - 0.98)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.16	3.20

DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

ท่าทางในการทดสอบ (Test position)	ผู้ประเมิน	ICC (95% CI)	การแปลผล	SEM (องศา)	MDC (องศา)
	คนที่ 2	0.96 (0.89 - 0.99)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.33	3.69
3. นั่งข้อเข่าเหยียด (Sitting knee extension)	คนที่ 1	0.96 (0.90 - 0.99)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	0.70	1.94
	คนที่ 2	0.96 (0.89 - 0.99)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	0.77	2.14
4. นั่งข้อเข่างอ (Sitting maximal knee flexion)	คนที่ 1	0.95 (0.85 - 0.98)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.33	3.68
	คนที่ 2	0.96 (0.88 - 0.99)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.38	3.84

หมายเหตุ

ICC หมายถึง การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient)

SEM หมายถึง ค่าแสดงความคลาดเคลื่อนของการวัด (Standard Error of Measurement)

MDC หมายถึง การเปลี่ยนแปลงขั้นต่ำที่สามารถวัดได้จริง ที่ไม่ได้เกิดจากความคลาดเคลื่อนของการวัด (Minimal Detectable Change)

ความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater reliability)

การทดสอบความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินของการใช้แอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟนวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า มีค่าความน่าเชื่อถือในท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด ระดับปานกลาง ถึง ดี (ICC = 0.74-0.75), ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด ระดับดี ถึง ดีมาก (ICC = 0.88-0.95), ท่านั่งข้อเข่าเหยียด ระดับปานกลาง ถึง ดี (ICC = 0.74-0.75) และท่านั่งข้อเข่างอ ระดับดีมาก (ICC = 0.94-0.96) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater reliability) ของการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเข่าในท่าทางต่าง ๆ ด้วยสมาร์ทโฟน

ท่าทางในการทดสอบ (Test position)	การทดสอบ	ICC (95% CI)	การแปลผล	SEM (องศา)	MDC (องศา)
1. นอนหงายข้อเข่าเหยียด (Supine knee extension)	ครั้งที่ 1	0.74 (0.24-0.91)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดปานกลาง (Moderate reliability)	1.63	4.51
	ครั้งที่ 2	0.75 (0.26-0.92)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดี (Good reliability)	1.30	3.61
2. นอนหงายข้อเข่างอมากสุด (Supine maximal knee flexion)	ครั้งที่ 1	0.93 (0.79-0.98)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.50	4.16
	ครั้งที่ 2	0.88 (0.64-0.96)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดี (Good reliability)	1.90	5.27
3. นั่งข้อเข่าเหยียด (Sitting knee extension)	ครั้งที่ 1	0.75 (0.26-0.92)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดี (Good reliability)	1.72	4.76
	ครั้งที่ 2	0.74 (0.23-0.91)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดปานกลาง (Moderate reliability)	1.63	4.53
4. นั่งข้อเข่างอ (Sitting maximal knee flexion)	ครั้งที่ 1	0.96 (0.87-0.99)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.29	3.58
	ครั้งที่ 2	0.94 (0.81-0.98)	ระดับความเชื่อมั่นในการวัดดีมาก (Excellent reliability)	1.53	4.24

DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

หมายเหตุ
การทดสอบครั้งที่ 1 หมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างการใช้สมาร์ทโฟนครั้งที่ 1 ระหว่างผู้ประเมินคนที่ 1 และผู้ประเมินคนที่ 2
การทดสอบครั้งที่ 2 หมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างการใช้สมาร์ทโฟนครั้งที่ 2 ระหว่างผู้ประเมินคนที่ 1 และผู้ประเมินคนที่ 2

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด (Standard Error of Measurement; SEM)

การทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด สำหรับแอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟนวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า ในท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด มีค่า SEM = 0.91-1.63 องศา, ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด มีค่า SEM = 1.16-1.90 องศา, ท่านั่งข้อเข่าเหยียด มีค่า SEM = 0.70-1.72 องศา และท่านั่งข้อเข่างอ มีค่า SEM = 1.29-1.53 องศา ดังตารางที่ 3 และ 4

ค่าที่น้อยที่สุดของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้เกิดจากข้อผิดพลาดในการวัด (Minimal Detectable Change; MDC)

การทดสอบหาค่าที่น้อยที่สุดของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้เกิดจากข้อผิดพลาดในการวัด สำหรับแอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟนวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า ในท่านอนหงายข้อเข่าเหยียด มีค่า MDC = 2.52-4.51 องศา, ท่านอนหงายข้อเข่างอมากสุด มีค่า MDC = 3.20-5.27 องศา, ท่านั่งข้อเข่าเหยียด มีค่า MDC = 1.94-4.76 องศา และท่านั่งข้อเข่างอ มีค่า MDC = 3.58-4.24 องศา ดังตารางที่ 3 และ 4

4. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบการประเมินความเที่ยงตรงของการใช้สมาร์ทโฟนเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุมซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และประเมินความน่าเชื่อถือของเครื่องมือภายในผู้วัดคนเดิมและระหว่างผู้วัด 2 คน ในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า พบว่า ในท่าทางการวัดแบบนอนหงายข้อเข่าเหยียด มีความเที่ยงตรงในการวัด (Validity) อยู่ในระดับปานกลาง ท่าทางนอนหงายข้อเข่างอมากสุด อยู่ในระดับสูงมาก และท่านั่งข้อเข่าเหยียด - ข้อเข่างอ อยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ ยังพบอีกว่า ความน่าเชื่อถือในการวัดภายในตัวผู้ประเมิน (Intra-rater reliability) ของการใช้สมาร์ทโฟนในการวัดซ้ำ อยู่ในระดับดี ถึง ดีมาก และมีความค่าเชื่อถือในการวัดซ้ำระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater reliability) อยู่ในระดับปานกลางถึงดีมาก แสดงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ตรวจประเมินองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าในทางคลินิก

ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ ในการทดสอบหาค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องมือแอปพลิเคชัน Measure ในสมาร์ทโฟนสำหรับวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า พบว่า มีความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra-rater reliability) ในทุกท่าทาง อยู่ในระดับดีมาก สำหรับผู้ประเมินคนที่ 1 (ICC = 0.94-0.96) และระดับดี ถึง ดีมาก ในผู้ประเมินคนที่ 2 (ICC = 0.86-0-96) ตามตารางที่ 3 และค่าความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater reliability) ในทุกท่าทาง อยู่ในระดับดี ถึง ดีมาก สำหรับการทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 (ICC = 0.75-0.96) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีค่าความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมินในท่านอนหงายงอเข่าอยู่ในระดับดี ถึง ดีมาก (ICC = 0.83 - 0.994)[4-6, 13] และความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินในระดับ (ICC = 0.99-0.994)[4, 6, 13] แต่ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินในท่าทางนอนหงายข้อเข่าเหยียด ครั้งที่ 1 และ ท่านั่งข้อเข่าเหยียด ครั้งที่ 2 อยู่ในระดับปานกลาง (ICC = 0.74) ตามตารางที่ 4 เช่นเดียวกันกับผลการศึกษาก่อนหน้าที่แสดงค่าความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินในจากการใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนไว้เพียงระดับต่ำ ถึง ปานกลาง (ICC = 0.25-0.63)[7, 14] ถึงแม้ว่าผู้ประเมินแต่ละคนจะยังมีประสบการณ์ในการใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนนี้ไม่มาก แต่การใช้สมาร์ทโฟนเป็นเครื่องมือในการวัดองศาการเคลื่อนไหวเข่านี้ ก็ยังแสดงข้อมูลทางสถิติของค่าความน่าเชื่อถือของการนำเครื่องมือนี้ไปใช้งานได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด (Standard Error of Measurement; SEM) ในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ที่ 0.7-1.72 องศา ในมุมเหยียดเข่า และ 1.16-1.90 องศา ในมุมงอเข่า ซึ่งเป็นค่าอย่างน้อยที่ยอมรับได้หากเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดมุมเข่าในสมาร์ทโฟน โดยใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีค่า 1.18 องศา ในมุมเหยียดเข่า และค่า 2.72 องศา ในมุมงอเข่า[6] และยังมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าผลการศึกษาอื่น ๆ ที่มีค่าอยู่ที่ 3.00-4.89 องศา อีกด้วย[7]

ในการทดสอบค่าคำนวณค่าที่น้อยที่สุดของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้เกิดจากข้อผิดพลาดในการวัด (Minimal Detectable Change; MDC) มีค่าอยู่ที่ 2.52-4.51 องศา ในมุมเหยียดเข่า และ 3.20-5.27 องศา ในมุมงอเข่า ของท่านอนหงาย

DOI 2 http://doi.org/10.14456/.....

และ มีค่าอยู่ที่ 1.94-4.76 องศา ในมุมเหยียดเข่า และ 3.58-4.24 องศา ในมุมงอเข่า ของท่านั่ง โดยงานวิจัยก่อนหน้าที่มีค่าอยู่ที่ 2.7 องศา ในมุมเหยียดเข่า และค่า 6.3 องศา ในมุมงอเข่า[6] ซึ่งต่างจากอีกผลการศึกษา ที่มีค่าอยู่ที่ 8.32-11.78 องศา[7]

ผลการทดสอบในงานวิจัยยังพบอีกว่า การใช้งานสมาร์ทโฟนเมื่อเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุมมีความเที่ยงตรงในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของเข่าในมุมงอเข่าในระดับที่สูง ถึง สูงมาก ขณะวัดในท่านอนหงายและนั่ง (0.90 - 0.94 และ 0.78 - 0.86 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้าในงานของ Hambly และคณะ ปี 2012 Milanese และคณะ ปี 2014 Mehta และคณะ ปี 2017 และ Miley และคณะ ปี 2022[6, 7, 13, 15] ที่แสดงความเที่ยงตรงในการวัดมุมงอเข่าในท่านอนหงาย ในระดับสูงมาก (r = 0.92-0.98) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ แสดงผลความเที่ยงตรงการวัดองศาการเคลื่อนไหวของเข่าในมุมเหยียดเข่าขณะนอนหงายไว้เพียงระดับปานกลาง (r = 0.55-0.71) เช่นเดียวกันกับผลการศึกษาก่อนหน้าที่มีค่าความเที่ยงตรงในการวัดในท่านอนหงายเช่นกัน อยู่ในระดับปานกลาง ที่ r = 0.68[6] โดยเป็นไปได้ว่าในท่านอนหงายข้อเข่าเหยียดอาจเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างผู้วัดแต่ละคนได้ง่ายในการวัดด้วยไม้บรรทัดวัดมุมเมื่อเทียบกันการวัดในท่านั่งข้อเข่างอ[9] เนื่องจาก วงกลมแสดงองศาของไม้บรรทัดวัดมุมมาตรฐาน (Universal Goniometer) นั้น มีขนาดใหญ่เมื่อวางอยู่บนพื้นเตียง การวางจุดหมุนของไม้บรรทัดวัดมุมจึงอาจคลาดเคลื่อนกับปุ่มกระดูกต้นขา (Lateral femoral epicondyle) ในขณะที่ปัญหาดังกล่าวไม่มีผลเมื่อใช้สมาร์ทโฟนในการวัดองศาการเคลื่อนไหวขอเข่าในท่าทางต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ที่มีการเปรียบเทียบการวัดในทั้ง 2 ท่าทาง จึงนำเสนอการทดสอบในท่านั่งข้อเข่าเหยียดที่มีค่าความเที่ยงตรงดีกว่า ในระดับสูง (r = 0.77 – 0.85)

งานวิจัยนี้ยังเกิดข้อจำกัดขึ้นหลายอย่าง และอาจนำไปพัฒนาสู่การศึกษาครั้งถัดไปได้ ดังนี้ 1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะในกลุ่มผู้ใหญ่สุขภาพดีที่มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในระดับปกติ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในกลุ่มอื่น ๆ ที่องศาการเคลื่อนไหวของเข่าสามารถช่วยแสดงผลความก้าวหน้าของการรักษาได้ โดยเฉพาะกลุ่มผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมหรือผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม ซึ่งมีข้อจำกัดมากกว่าในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเข่า เช่น ข้อต่อยึดรั้ง และปวดเข่า เป็นต้น[16, 17] หรือทดสอบในกลุ่มที่มีดัชนีมวลกายมากหรือน้อยกว่าปกติ และกลุ่มผู้ที่มีภาวะความผิดปกติทางกระดูกอื่น ๆ 2. กระบวนการวัดองศาการเคลื่อนไหวในงานวิจัยนี้ หากจะทดสอบให้เกิดความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือยังสามารถใช้ได้ในเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์ที่ต้องมีความรู้ทางกายวิภาค จึงควรศึกษาและมีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอื่น ๆ ที่บุคคลทั่วไปสามารถนำไปประยุกต์ใช้ อันจะนำไปสู่การประเมินตนเองได้ในการติดตามผลการรักษา เช่น การดูแลระยะไกล (Tele-rehabilitation) 3. งานวิจัยนี้ใช้แอปพลิเคชัน Measure ในระบบปฏิบัติการ IOS บนสมาร์โฟนยี่ห้อ iPhone (Apple Inc.) เท่านั้น การใช้งานจะเกิดประโยชน์มากขึ้นหากสามารถทดสอบค่าความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือร่วมกันกับแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้ทั้งในระบบปฏิบัติการสมาร์ทโฟนของ IOS และ Android 4. ขณะวัดองศาเข่าในแต่ละท่าทางยังมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อต่อ ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำขณะวัด โดยเฉพาะท่านอนหงายข้อเข่าเหยียดที่มีค่าความเที่ยงตรงเพียงระดับปานกลาง งานวิจัยครั้งถัดไปจึงควรปรับท่าทางการวัดที่มีการยึดตรึงการขยับของรยางค์ขาเพิ่มเติม และใช้ท่านั่งข้อเข่าเหยียดในการทดสอบ

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ ผลการทดสอบการใช้สมาร์โฟนในการวัดองศาการเคลื่อนไหวขอข้อเข่าในผู้ใหญ่สุขภาพดี พบว่า มีค่าความเที่ยงตรงเมื่อเทียบกับไม้บรรทัดวัดมุม อยู่ในระดับปานกลาง ถึง สูงมาก มีความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมินระดับดี ถึง ดีมาก และมีความเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน อยู่ในระดับปานกลาง ถึง ดีมาก จึงแสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชัน Measure ของสมาร์ทโฟน (iPhone) สามารถใช้สำหรับการวัดองศาการเคลื่อนไหวของเข่าท่าทางต่าง ๆ ในผู้ใหญ่สุขภาพดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. เอกสารอ้างอิง

1. Edwards JZ, Greene KA, Davis RS, Kovacik MW, Noe DA, Askew MJ. Measuring flexion in knee arthroplasty patients. J Arthroplasty 2004;19(3):369-72. DOI: 10.1016/j.arth.2003.12.001 PMID: 15067653
2. Liu G, Zhang R, Li Y, Niu L, Wu X, Liu YY, et al. Study on the long-term medical effects of radiation in overexposed people. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 2024;17(3):100955. DOI: 10.1016/j.jrras.2024.100955
3. Acar S, Aljumaa H, Şevik K, Karatosun V, Ünver B. The Intrarater and Interrater Reliability and Validity of Universal Goniometer, Digital Inclinometer, and Smartphone Application Measuring Range of Motion in Patients with Total Knee Arthroplasty. Indian J Orthop 2024;58(6):732-9. DOI: 10.1007/s43465-024-01129-z. PMID: 38812867; PMCID: PMC11130096.

4. Hancock GE, Hepworth T, Wembridge K. Accuracy and reliability of knee goniometry methods. J Exp Orthop 2018;5(1):46. DOI: 10.1186/s40634-018-0161-5
5. Jones A, Sealey R, Crowe M, Gordon S. Concurrent validity and reliability of the Simple Goniometer iPhone app compared with the Universal Goniometer. Physiother Theory Pract 2014;30(7):512-6. DOI: 10.3109/09593985.2014.900835. PMID: 24666408
6. Mehta SP, Barker K, Bowman B, Galloway H, Oliashirazi N, Oliashirazi A. Reliability, Concurrent Validity, and Minimal Detectable Change for iPhone Goniometer App in Assessing Knee Range of Motion. J Knee Surg 2017;30(6):577-84. DOI: 10.1055/s-0036-1593877 PMID: 27894147
7. Miley E, Reeves A, Baker R, Baker J, Hanna S. Reliability and Validity of the Clinometer Smartphone Application™ for Measuring Knee Flexion. International Journal of Athletic Therapy and Training 2022;28:1-7. DOI: 10.1123/ijatt.2021-0019
8. Bujang MA, Baharum N. A simplified guide to determination of sample size requirements for estimating the value of intraclass correlation coefficient: a review. Archives of orofacial science 2017;12(1).
9. Lenssen AF, van Dam EM, Crijns YH, Verhey M, Geesink RJ, van den Brandt PA, et al. Reproducibility of goniometric measurement of the knee in the in-hospital phase following total knee arthroplasty. BMC Musculoskelet Disord 2007;8:83. DOI: 10.1186/1471-2474-8-83 PMID: 17705860 PMCID: PMC2040146
10. Norkin CC, White DJ. Measurement of joint motion: a guide to goniometry: FA Davis; 2016.
11. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. J Chiropr Med 2016;15(2):155-63. DOI: 10.1016/j.jcm.2016.02.012. PMID: 27330520; PMCID: PMC4913118.
12. Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. Anesthesia & analgesia 2018;126(5):1763-8. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864. PMID: 29481436.
13. Milanese S, Gordon S, Buettner P, Flavell C, Ruston S, Coe D, et al. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. Man Ther 2014;19(6):569-74. DOI: 10.1016/j.math.2014.05.009. PMID: 24942491.
14. Pereira LC, Rwakabayiza S, Lécureux E, Jolles BM. Reliability of the Knee Smartphone-Application Goniometer in the Acute Orthopedic Setting. J Knee Surg 2017;30(3):223-30. DOI: 10.1055/s-0036-1584184. PMID: 27218479.
15. Hambly K, Sibley R, Ockendon M. Level of agreement between a novel smartphone application and a long arm goniometer for the assessment of maximum active knee flexion by an inexperienced tester. Int J Physio Rehab 2012;2.
16. Fitzsimmons SE, Vazquez EA, Bronson MJ. How to treat the stiff total knee arthroplasty?: a systematic review. Clin Orthop Relat Res 2010;468(4):1096-106. DOI: 10.1007/s11999-010-1230-y PMID: 20087698 PMCID: PMC2835585
17. Seo SS, Kim OG, Seo JH, Kim DH, Kim YG, Park BY. Comparison of the Effect of Continuous Femoral Nerve Block and Adductor Canal Block after Primary Total Knee Arthroplasty. Clin Orthop Surg 2017;9(3):303-9. DOI: 10.4055/cios.2017.9.3.303 PMID: 28861197 PMCID: PMC5567025