คณะสหเวชศาสตร์
School of Allied Health Sciences

การพัฒนาและทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังกาย ข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2

The Development and Quality of Continuous Passive Ankle Exercise Device Version 2

โดย

บุษริน กันทา
รมิตา ต๊ะวิชัย
ภูริชญา เพียจันทร์

ภาคนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญากายภาพบำบัดบัณฑิต
คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
ปีการศึกษา 2566

ภาคนิพนธ์ เรื่อง

การพัฒนาและทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังกาย ข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2

The Development and Quality of Continuous Passive Ankle Exercise Device Version 2

นำเสนอต่อ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เพื่อประกอบการศึกษา

ระดับปริญญากายภาพบำบัดบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 28 เดือน กันยายน พ.ศ. 2566

.....บุษริน กันทา.....	.....ณิชาภา พาราศิลป์.....
(นางสาวบุษริน กันทา)	(อาจารย์ ผศ.กภ.ณิชาภา พาราศิลป์)
นิสิต	อาจารย์ที่ปรึกษา
.....รมิตา ต๊ะวิชัย.....	.....จักรพงษ์ จำรูญ.....
(นางสาวรมิตา ต๊ะวิชัย)	(อาจารย์ ผศ.ดร.จักรพงษ์ จำรูญ)
นิสิต	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....ภูริชญา เพียจันทร์.....

(นางสาวภูริชญา เพียจันทร์)

นิสิต

คณะกรรมการสอบภาคนิพนธ์ได้อนุมัติให้

บุษริน กันทา
รมิตา ตั๊ะวิชัย
ภูริชญา เพียจันทร์

สอบผ่านในรายวิชาภาคนิพนธ์ เรื่อง

การพัฒนาและทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังกาย
ข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2
The Development and Quality of Continuous Passive Ankle
Exercise Device Version 2
เมื่อ วันที่ 28 เดือน กันยายน พ.ศ. 2566

.....	.....
(อาจารย์ ผศ.กภ.ณิชาภา พาราศิลป์)	(อาจารย์ ดร.กภ.วีระศักดิ์ ตั๊ะปัญญา)
ประธานกรรมการ	กรรมการ
.....	.....
(อาจารย์ กภ.มณฑินี วัฒนสุวกุล)	(อาจารย์ ดร.พนิดา หาญพิทักษ์พงศ์)
กรรมการ	ประธานหลักสูตรกายภาพบำบัดบัณฑิต

.....

(ผศ.ดร.กภ.พุทธิพงษ์ พลคำฮัก)
คณบดีคณะสหเวชศาสตร์

ชีวประวัติ

ชื่อ – สกุล ภาษาไทย	นางสาวบุษริน กันทา
ชื่อ – สกุล ภาษาอังกฤษ	Miss Bootsarin Kanta
วัน เดือน ปี เกิด	9 กุมภาพันธ์ 2544
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	102 หมู่ 3 ต.สันมะค่า อ.ป่าแดด จ.เชียงราย 57190
	E-mail: 63130238@up.ac.th
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2560
	โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย จังหวัดเชียงราย
	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2563
	โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย จังหวัดเชียงราย
	ปัจจุบันเป็นนิสิต (กายภาพบำบัด)
	คณะสหเวชศาสตร์
	มหาวิทยาลัยพะเยา
	จังหวัดพะเยา

ชีวประวัติ

ชื่อ – สกุล ภาษาไทย	นางสาวรมิตา ต๊ะวิชัย
ชื่อ – สกุล ภาษาอังกฤษ	Miss Ramita Tavichai
วัน เดือน ปี เกิด	7 พฤษจิกายน 2544
สถานที่เกิด	จังหวัดแม่ฮ่องสอน
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	12 ถ.มรรถสันติ ต.จองคำ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน 58000
	E-mail: 63130407@up.ac.th
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2560
	โรงเรียนห้องสอนศึกษาในพระอุปถัมภ์ณ จังหวัดแม่ฮ่องสอน
	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2563
	โรงเรียนห้องสอนศึกษาในพระอุปถัมภ์ณ จังหวัดแม่ฮ่องสอน
	ปัจจุบันเป็นนิสิต (กายภาพบำบัด)
	คณะสหเวชศาสตร์
	มหาวิทยาลัยพะเยา
	จังหวัดพะเยา

ชีวประวัติ

ชื่อ – สกุล ภาษาไทย	นางสาวภูริชญา เพียจันทร์
ชื่อ – สกุล ภาษาอังกฤษ	Miss Purichaya Phiajan
วัน เดือน ปี เกิด	16 ตุลาคม 2544
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	100 หมู่ 5 ต.ทุ่งก่อ อ.เวียงเชียงรุ้ง จ.เชียงราย 57210 E-mail: 63131262@up.ac.th
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2560 โรงเรียนองค์การบริหารส่วนจังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงราย ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย จังหวัดเชียงราย ปัจจุบันเป็นนิสิต (กายภาพบำบัด) คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กภ.ณิชาภา พาราศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาแนวทางในการทำภาคนิพนธ์ แก้ไข ตรวจทาน และให้คำแนะนำตลอดจนดูแลเป็นอย่างดีจนทำให้ภาคนิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึง อาจารย์ ดร.กภ.วีระศักดิ์ ตั๊ะปัญญา และ อาจารย์ กภ.มณฑินี วัฒนสุวกุล ที่ร่วมเป็นคณะกรรมการการสอบภาคนิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไข และตรวจทาน ให้ภาคนิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ จำรูญ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่คอยให้คำปรึกษาเรื่องของแนวทางการผลิตการออกแบบ รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงอาจารย์ ดร.สุธรรม อรุณ อาจารย์ ปิยะพงษ์ ยารวง และอาจารย์ สมบัติ สุยะ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่คอยตรวจสอบและประกอบอุปกรณ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ อาจารย์ ดร.สุธรรม อรุณ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ ดร.กภ.สุพรรณิการ์ ลดาวัลย์ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดในระบบประสาท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลออรัตน์ พัวพิทยาเลิศ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายวิภาคศาสตร์ ที่ร่วมเป็นผู้ประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหาในอุปกรณ์ และให้คำแนะนำในการปรับปรุงพัฒนาตัวเครื่อง

ขอขอบคุณคณบดีคณะสหเวชศาสตร์ คณาจารย์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชากายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยพะเยาทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำภาคนิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอบพระคุณอาสาสมัครที่ให้ความร่วมมือและให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลครั้งนี้จนการศึกษาสำเร็จไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

บุษริน กันทา
รมิตา ตั๊ะวิชัย
ภูริชญา เพียจันทร์
28 กันยายน 2566

คำรับรอง

ข้าพเจ้า นางสาวบุษริน กันทา นางสาวรมิตา ต๊ะวิชัย และนางสาวภูริชญา เพียจันทร์ นิสิตสาขาวิชากายภาพบำบัด ชั้นปีที่ 4 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ขอรับรองว่า ภาคนิพนธ์เรื่อง การพัฒนาและทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 (The Development and Quality of Continuous Passive Ankle Exercise Device Version 2) เป็นผลการศึกษาซึ่งเกิดจากการศึกษาจริงโดยมิได้คัดลอกหรือดัดแปลงมาจากผลการศึกษาของผู้อื่นที่เคยศึกษาก่อนหน้านี้แต่อย่างใด

บุษริน กันทา
รมิตา ต๊ะวิชัย
ภูริชญา เพียจันทร์
28 กันยายน 2566

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
คำรับรอง	ii
สารบัญ	iii
สารบัญรูป	v
สารบัญตาราง	vi
สารบัญคำย่อ	vii
บทคัดย่อภาษาไทย	viii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	3
สมมติฐาน	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	4
ความหมายของเท้าและข้อเท้า	4
ชีวกลศาสตร์ของข้อเท้า	10
โรคที่พบบ่อยของกระดูกข้อเท้า	11
วิธีการฟื้นฟูเท้าและข้อเท้า	14
อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้า	15
อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้า รุ่นที่ 1	16
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา	25
ขอบเขตการวิจัย	25
รูปแบบการวิจัย	25
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วัสดุและอุปกรณ์	25
ขั้นตอนการศึกษา	26
การวิเคราะห์ข้อมูล	30
แผนการดำเนินงาน	31
งบประมาณ	32
บทที่ 4 ผลการศึกษา	33
ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา	33
ผลทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพ	38
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการศึกษา	41
สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา	41
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	44
สรุปผลการศึกษา	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบคัดกรองอาสาสมัครสุขภาพดีที่ตรงตามเกณฑ์การคัดเลือก	50
ภาคผนวก ข แบบบันทึกข้อมูลอาสาสมัคร	52
ภาคผนวก ค แบบประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาการพัฒนาทดสอบ	55
ภาคผนวก ง แบบบนทึกขอมูลการทดสอบ	58
ภาคผนวก จ เอกสารเชิญชวนอาสาสมัครเข้าร่วมวิจัย	61

สารบัญรูป

รูป		หน้า
รูปที่ 1	การเคลื่อนไหวปกติข้อเท้า	11
รูปที่ 2	กระดูกเท้าปูนที่โคนนิ้วหัวแม่เท้า	12
รูปที่ 3	กระดูกเท้าปูนที่โคนนิ้วหัวแม่เท้าที่ 5	12
รูปที่ 4	กระดูกเท้าปูดที่หลังเท้า ส่วนใหญ่เกิดจากข้อกลางเท้าสึก	12
รูปที่ 5	กระดูกเท้าปูดที่ด้านในของเท้า เกิดจากกระดูกงอกในเส้นเอ็น	13
รูปที่ 6	กระดูกเท้าปูดที่เอ็นร้อยหวาย	13
รูปที่ 7	กระดูกเท้าหัก แตก ร้าว	13
รูปที่ 8	กระดูกเท้าหลุดหรือเคลื่อน	14
รูปที่ 9	อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้า	15
รูปที่ 10	อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าต้นแบบรุ่น 1	16
รูปที่ 11	เครื่องช่วยขยับข้อเท้า	18
รูปที่ 12	Control unit of the ankle-foot continuous passive motion device	19
รูปที่ 13	Ankle-foot continuous passive motion device	19
รูปที่ 14	อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ Ruud W. Selles และคณะ	20
รูปที่ 15	อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ Norihiko Saga และคณะ	21
รูปที่ 16	อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ Norihiko Saga และคณะ	21
รูปที่ 17	อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ C.T. Ang และคณะ	22
รูปที่ 18	การทำงานของอุปกรณ์ที่ตำแหน่งเหยียดเข้าสุด	23
รูปที่ 19	การทำงานของอุปกรณ์ที่ตำแหน่งเหยียดออกสุด	23
รูปที่ 20	Ankle rehabilitation machine	24
รูปที่ 21	Developed ankle joint stretching device	24
รูปที่ 22	วิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในท่า Dorsiflexion และ Plantar flexion	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
รูปที่ 23	วิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในท่า Inversion และ Eversion	30
รูปที่ 24	การหมุนของข้อเท้ามนุษย์	34
รูปที่ 25	ภาพรวมของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2	34
รูปที่ 26	ภาพเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2	35
รูปที่ 27	ด้านบนของอุปกรณ์	35
รูปที่ 28	ด้านบนของอุปกรณ์	35
รูปที่ 29	คณะผู้วิจัยทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพของอุปกรณ์	39

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	องศาการเคลื่อนไหวปกติของข้อเท้า	11
ตารางที่ 2	ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)	36
ตารางที่ 3	ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra-reliability)	38
ตารางที่ 4	ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงผลมุมการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 และ Goniometer ในการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก	39

สารบัญคำย่อ

CPM	=	Continuous Passive Motion
DF	=	Dorsiflexion
EV	=	Eversion
ICC	=	Intraclass Correlation coefficient
IOC	=	Index of Item–Objective Congruence
IV	=	Inversion
PF	=	Plantar Flexion
PWM	=	Pulse–width modulation
ROM	=	Range of motion
TOR	=	Term of Reference

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ : เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง (Ankle Continuous Passive Motion Device) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งเสริมการฟื้นตัวของช่วงการเคลื่อนไหว (ROM) ของข้อต่อปกติและช่วยลดภาระงานของนักกายภาพบำบัดในการฟื้นฟูผู้ป่วย เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 1 ที่ได้ผลิตขึ้นก่อนนั้น ยังมีข้อจำกัดหลายประการในการนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีปัญหาการเคลื่อนไหวข้อเท้าที่ไม่สุดช่วงการเคลื่อนไหว ทางคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 นี้ขึ้น

วัตถุประสงค์ : เพื่อพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องได้ตามคุณลักษณะของเครื่องที่กำหนดภายใต้หลักวิศวกรรมศาสตร์และหลักทางการแพทย์ และเพื่อทดสอบคุณภาพของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องต่อการเคลื่อนไหวตามชีวกลศาสตร์ของข้อเท้า

ขั้นตอนการศึกษา : การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบพัฒนาทดลอง เพื่อพัฒนาและทดสอบคุณภาพของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 โดยกำหนดผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validiy) ตามคุณลักษณะที่กำหนด (TOR) และทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity) ด้วยผลมุมการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 และ Goniometer

ผลการศึกษา : เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ที่พัฒนาขึ้น มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาในระดับสูง (IOC=1) ได้แก่ น้ำหนักเบา ไม่เกิน 5 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามคุณสมบัติอื่น ๆ ที่กำหนดยังมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาในระดับต่ำ (IOC<0.5) เนื่องจากอุปกรณ์ไม่มีความเสถียรในการปรับมุมค่าองศา และยังไม่มีความมั่นคงเพียงพอ ในขณะที่อุปกรณ์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก คือ 0.97 9.96 0.98 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงเครื่องมือมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพสูง แต่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สรุปผลการศึกษา : เครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 มีข้อดีอย่างมาก คือ มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบ อย่างไรก็ตามยังขาดความเสถียรในการปรับองศาการเคลื่อนไหว และบันทึกข้อมูลด้วยหน้าจอดิจิตอล หากมีการพัฒนาต่อยอดให้มีความเสถียรมากขึ้นและนำไปทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่อไป จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งหากต้องนำไปใช้กับผู้ป่วยในชุมชนในอนาคต

คำสำคัญ: เครื่องออกกำลังกายข้อเท้า เครื่องช่วยการเคลื่อนไหวแบบต่อเนื่อง การทดสอบคุณภาพของเครื่องมือ การพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าเพื่อฟื้นฟูผู้ป่วย

Abstract

Background : The Continuous Passive Motion Ankle Exercise Device is a device that can promote recovery of normal joint range of motion (ROM). And it is a device that reduces the workload of physical therapists in rehabilitating patients. The Continuous Passive Ankle Exercise Device Version 1 that was produced before that. There are also several limitations to its use in patients with limited range of ankle motion. The research team is therefore interested in developing the continuous ankle exercise device version 2.

Objective : To develop a Continuous Passive Ankle Exercise Device according to the characteristics of the device specified under engineering and medical principles, and to assess the quality of the continuous ankle exercise device on the biomechanical movement of the ankle.

Medthod : This study is an experimental study aimed at developing and testing the quality of the continuous ankle exercise device version 2 through designated experts. Three people evaluated the Content Validity based on TOR and tested the the Concurrent Validity with Range Of Motion display of the Continuous Passive Ankle Exercise Device

Result : The Continuous Passive Ankle Exerciser Device Version 2 developed has a high level of content validity (IOC=1), light weight not exceeding 5 kilograms. However, other specified properties still have a low level of content validity (IOC<0.05), the device is not stable in adjusting the angle value and is not stable enough. While the device there is a correlation coefficient of ankle dorsiflexion, Plantar flexion, Inversion, and Eversion are 0.97, 9.96, 0.98, and 0.95, respectively, which have values close to 1, indicating that the tool has high Concurrent Validity. However, there was no statistically significant relationship ($p>0.05$).

Conclution : The Continuous Passive Ankle Exercise Device Version 2 has great advantages. It is light weight and can move two planes, but it lacks stability in mobility adjustment and digital screen recording. If it is further developed, it will be more stable. Further testing of the efficacy of this device will be very beneficial if it is applied to community patients in the future.

Keywords: Ankle Exercise Device, Continuous Passive Ankle Exercise Divice, Inspection of equipment quality, Development of Ankle Exercise Equipment for rehabilitation

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ข้อเท้าเป็นส่วนหนึ่งของรยางค์ส่วนล่างที่ครอบคลุมส่วนปลายของขา และส่วนใกล้เคียงของเท้า ครอบคลุมข้อต่อข้อเท้า ซึ่งเป็นข้อต่อระหว่างกระดูกหน้าแข้ง และกระดูกน่อง (tibia and fibula) ของขาและกระดูกเท้าทาลัส (talus) เท้าถูกปกคลุมบนพื้นผิวด้านหลังโดยผิวหนังที่บางนุ่มและบนพื้นผิวฝ่าเท้าปกคลุมด้วยผิวที่ไม่มีขนหนาซึ่งเหนียวและยึดติดกับเอ็นใต้ฝ่าเท้า (plantar aponeurosis) เท้ามีกระดูกขนาดเล็ก 26 ชิ้นที่ออกแบบมาสำหรับการรับน้ำหนักและการกระจายแรง [1]

ข้อเท้ามีความสำคัญในเคลื่อนย้ายร่างกายจากการปรับให้เข้ากับพื้นผิวที่เดิน และเป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพในการลงน้ำหนัก ซึ่งรวมถึงรองรับน้ำหนักตัว ให้ความสมดุลการดูดซับแรงกระแทก ชดเชยการจัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมในบริเวณส่วนต้นของรยางค์ เป็นต้น [2] การเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นและองศาการเคลื่อนไหวปกติ (ROM) ของข้อเท้า ได้แก่ plantarflexion (0°–40°), dorsiflexion (0°–20°), inversion (0°–30°) และ eversion (0°–20°) [3]

ปัญหาช่วงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าลดลง มักพบได้บ่อยในผู้ป่วยทางระบบประสาท เช่น ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง กล้ามเนื้อเท้าเป็นอัมพาต (Paralysis foot) ผู้ที่ได้รับการผ่าตัดเส้นประ สาทส่วนปลาย เป็นต้น ผู้ป่วยมักมีภาวะกล้ามเนื้อหดรั้ง (Contracture) จากการไม่ได้การขยับเคลื่อนไหว ซึ่งนำไปสู่ภาวะข้อติด (Joint stiffness) ได้ในระยะยาว [4]

การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหว (Range of motion exercise) สามารถป้องกันและลดปัญหาภาวะกล้ามเนื้อหดรั้งได้ จากรายงานที่ผ่านมาพบว่า การรักษาด้วยการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวโดยนักกายภาพบำบัด หรือการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่นักกายภาพบำบัดแนะนำด้วยตนเองที่บ้าน (Home exercise program) สามารถเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อในผู้ป่วยได้ ทั้งนี้เพื่อประสิทธิภาพของการรักษาผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการรักษาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ [5]

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันพบว่าผู้ป่วยยังได้รับการส่งเสริมการเคลื่อนไหวที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวร่างกายของผู้ป่วย โดยเฉพาะปัจจัยด้านผู้ป่วย พบว่ามีความสำคัญที่สุดเพราะการส่งเสริมการเคลื่อนไหวร่างกายต้องอาศัยการมีส่วนร่วมและการกระทำด้วยตนเองของผู้ป่วยเป็นหลัก แต่ในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถที่จะขยับหรือเคลื่อนไหวร่างกายได้เองนั้น จึงต้องได้รับการฟื้นฟูหรือการออกกำลังกายจากนัก

กายภาพบำบัดอย่างต่อเนื่อง จึงจะเป็นผลที่ดีต่อผู้ป่วย อย่างไรก็ตามการให้บริการจากนักกายภาพบำบัดยังมีข้อจำกัด เช่น นักกายภาพบำบัดมีจำนวนไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ป่วย [6] ดังนั้นการส่งเสริมให้ผู้ป่วยมีการเคลื่อนไหวร่างกายที่ต่อเนื่องและสม่ำเสมอจึงมีความจำเป็นยิ่งในการป้องกันภาวะกล้ามเนื้อและข้อติดแข็งในผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดการเคลื่อนไหว [7] การเลือกใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อช่วยในการออกกำลังกายข้อเท้าจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

การบำบัดด้วยเครื่องช่วยขยับข้อต่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Passive Motion; CPM) โดยที่ผู้ป่วยไม่ต้องใช้ความพยายามใดๆ อุปกรณ์ที่ใช้จะช่วยขยับข้อต่อซ้ำๆ ในรูปแบบของจำนวน องศา และความเร็วในการเคลื่อนไหว ซึ่งกำหนดโดยนักกายภาพบำบัด เครื่อง CPM มักถูกนำมาใช้กับเข่า แต่มีรุ่นสำหรับข้อต่ออื่นๆ เช่น ข้อเท้า สะโพก ไหล่ และข้อศอก การใช้ CPM มักใช้หลังการผ่าตัดข้อต่อเพื่อส่งเสริมการฟื้นตัวของช่วงการเคลื่อนไหวข้อปกติ (ROM) ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำบ่อยครั้งหลังการเปลี่ยนข้อหรือการผ่าตัดซ่อมแซมกระดูกอ่อนข้อ เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนของข้อฝืด CPM ถูกนำมาใช้ในช่วงต้นหลังการผ่าตัดและรวมกับกายภาพบำบัดเพื่อผลลัพธ์สูงสุดในการฟื้นฟูข้อต่อ

ความฝืดของข้อต่อ (joint stiffness) หลังการผ่าตัดหรือการบาดเจ็บมีการฟื้นฟูผ่าน 4 ขั้นตอน ได้แก่ เลือดออก (bleeding), บวมน้ำ (edema), เนื้อเยื่อแกรนูล (granulaton tissue) และพังผืด (fibrosis) เมื่อใช้ในช่วงสองขั้นตอนแรก CPM สามารถบำรุงรักษาและป้องกันความฝืดโดยช่วยสูบฉีดเลือดและของเหลวที่บวมน้ำออกจากข้อต่อและเนื้อเยื่อรอบนอก [8]

ในประเทศไทยมีความนิยมใช้อุปกรณ์ขยับข้อเท้าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเพื่อลดภาระของผู้ดูแลในการช่วยขยับข้อเท้าแก่ผู้ป่วย อย่างไรก็ตามพบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในประเทศไทยล้วนเป็นอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีวิธีการใช้ซับซ้อนทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์และใช้ได้เองตามลำพัง อีกทั้งยังดูแลรักษายากและมีราคาแพง จึงพบการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวเฉพาะในคลินิกเวชศาสตร์ฟื้นฟูเท่านั้น [9] ในปี พ.ศ.2562 นางสาวธิดารัตน์ เจือจาง, นางสาวพรพิมล วรรณภักดี และนางสาวสุพรรษา เทพปณะ ได้ทำการออกแบบเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 1 โดยได้กำหนดความสามารถพื้นฐานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้จากพื้นฐานความรู้ด้านกายวิภาคศาสตร์ของข้อเท้า สรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์การเคลื่อนไหว พบว่าอุปกรณ์ควรมีคุณลักษณะหลัก ได้แก่สามารถเคลื่อนไหวในทิศทางกระดกข้อเท้าขึ้นและถีบปลายเท้าลงได้ โดยมีสเกลแสดงการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในมุมต่างๆ (มุมกระดกข้อเท้าขึ้นและลงอย่างน้อย 20 และ 45 องศา ตามลำดับ) และสามารถอ่านค่ามุมการเคลื่อนไหวได้ละเอียดทุก 5 องศา

เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมหรือองศาการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ที่พัฒนากับอุปกรณ์วัดองศาการเคลื่อนไหวมาตรฐานทางกายภาพบำบัด ได้แก่ Universal goniometer พบว่า ทิศทางการเคลื่อนไหวในการกระดกข้อเท้าขึ้นนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ คือ 0.922 แสดงถึงเครื่องมือมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพสูง เนื่องจากมีค่าเข้าใกล้ 1 เช่นเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนไหวในการถีบปลายเท้าลง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ 0.972 แสดงถึงเครื่องมือมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพสูง [6]

เนื่องจากเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 1 มีข้อจำกัด คือ ฐานของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าไม่มั่นคงและมีน้ำหนักที่มาก เสียงดัง เมื่อเพิ่มความเร็ว มีสายไฟที่ยากต่อการจัดเก็บ ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่และหนัก ไม่มีค่าแสดงความเร็ว ปรับองศายาก ไม่ชัดเจนและขาดความแม่นยำ

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 ที่มีความมั่นคง น้ำหนักเบา ง่ายต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย ใช้งานง่ายและมีความแม่นยำสูง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสำหรับข้อเท้าได้ตามคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่กำหนดภายใต้หลักวิศวกรรมและหลักทางการแพทย์
2. เพื่อทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังกายสำหรับข้อเท้าต่อการเคลื่อนไหวตามชีวกลศาสตร์ของข้อเท้า

สมมติฐาน

เครื่องออกกำลังกายแบบต่อเนื่องสำหรับข้อเท้ามีคุณภาพระดับดีต่อการเคลื่อนไหวตามชีวกลศาสตร์ของข้อเท้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าที่มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพ
2. สามารถประยุกต์อุปกรณ์กับผู้ป่วยทั้งในชุมชนและสถานการแพทย์ได้อย่างสะดวกปลอดภัย
3. สามารถนำอุปกรณ์ไปพัฒนาโดยช่วยขยับข้อเท้าได้มากกว่า 2 ระนาบ และใช้งานได้หลากหลาย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

เท้าและข่อเท้า

เท้าทำหน้าที่รับน้ำหนักของร่างกาย รองรับการเคลื่อนไหวและสะท้อนการทำงานของอวัยวะอื่นๆในร่างกาย กระดูกเท้าประกอบด้วยกระดูกชิ้นเล็ก ๆ 26 ชิ้น กระดูกรอบข้อเท้าประกอบด้วย ส่วนปลายของกระดูกหน้าแข้ง มีส่วนนูนของกระดูก เรียกว่า กระดูกตาตุ่มด้านใน (Medial Malleolus) และกระดูกส่วนปลายของกระดูกน่อง มีส่วนนูนของกระดูกเรียกว่า กระดูกตาตุ่มด้านนอก (Lateral Malleolus) และ กระดูกเท้า (Tarsal Bone) ซึ่งกระดูกส่วนต่าง ๆ และเส้นเอ็นรอบ ๆ ข้อเท้า ร่วมกันทำหน้าที่ของข้อเท้าในการขยับ เหยียด กระดก และหมุนข้อเท้า ช่วยในการทรงตัวยืน–เดิน และถ่ายรับน้ำหนักตัว [10]

1. กระดูกเท้า (Ankle bones)
    1.1. เท้าส่วนหน้า (forefoot) ประกอบด้วย
        1.1.1. กระดูกฝ่าเท้า 5 ชิ้น (metatarsal bone)
        1.1.2. กระดูกนิ้วเท้าทั้ง 5 นิ้ว (phalanges) โดยแต่ละนิ้วจะประกอบไปด้วย กระดูก 3 ชิ้น ยกเว้นนิ้วหัวแม่เท้าจะมีกระดูก 2 ชิ้น รวมเป็น 14 ชิ้น
    1.2. เท้าส่วนกลาง (midfoot) กระดูกเท้าส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นส่วนอุ้งเท้าเมื่อทำงานร่วมกับเอ็น กล้ามเนื้อ และพังผืดฝ่าเท้า ประกอบด้วย
        1.2.1. กระดูก navicular
        1.2.2. กระดูก cuneiform 3 ชิ้น (medial, middle และ lateral cuneiform)
        1.2.3. กระดูก cuboid
    1.3. เท้าส่วนหลัง (hindfoot) ประกอบด้วย
        1.3.1. กระดูกส้นเท้า (calcaneus bone) ซึ่งเป็นกระดูกส่วนส้นเท้า เป็นจุดเกาะของเอ็นร้อยหวายและพังผืดฝ่าเท้า ทำหน้าที่รับน้ำหนักของเราขณะยืน เดิน วิ่ง
        1.3.2. กระดูกข้อเท้า (talus bone) ซึ่งเป็นกระดูกที่เป็นห้องเครื่องของข้อเท้า เป็นตัวเชื่อมการทำงานระหว่างกระดูกชิ้นต่างๆ เป็นส่วนส่งผ่านแรงจากปลายขากับกระดูกเท้า [11]
2. ข้อต่อในข้อเท้า (Joint of Ankle foot)

ข้อเท้าของมนุษย์เป็นข้อต่อที่มีความซับซ้อน เนื่องจากประกอบด้วยกระดูกหลากหลายรูปทรง จำนวน 26 ชิ้น เรียงต่อกัน โดยจะเชื่อมต่อกันเป็นข้อต่อ ประกอบด้วยข้อต่อสำคัญ (Joint) 4 ข้อต่อ ได้แก่

2.1. ข้อต่อกระดูกข้อเท้าและกระดูกส้นเท้า (subtalar joint)

กระดูกส้นเท้า (The calcaneus) เป็นกระดูกที่ใหญ่และแข็งแรงที่สุดในกระดูกเท้าทั้งหมด วางตัวอยู่ด้านหลังสุดของเท้า และล่างต่อกระดูกข้อเท้า (Talus) เป็นจุดเกาะของ เอ็นร้อยหวาย การเชื่อมต่อกันของกระดูกสองชิ้นนี้ทำให้เกิดการบิดข้อเท้าเข้าและบิดข้อเท้าออก และช่วยในการเคลื่อนไหวในทิศทางอื่นๆ อีกด้วย บริเวณผิวข้อของกระดูกสองชิ้นนี้มีเอ็นยึดข้อที่สำคัญมาเกาะได้แก่ interosseous talocalcaneal ligament เป็นเอ็นยึดที่หนาและแข็งแรง เกาะจากผิวด้านล่างของกระดูกข้อเท้า (Talus) ไปยังผิวด้านบนของกระดูกส้นเท้า (Calcaneus) ส่วนเอ็นยึดอีกสองเส้น ได้แก่ the lateral talocalcaneal ligament และ the anterior talocalcaneal ligament ช่วยให้ความมั่นคงกับข้อต่อนี้แต่เป็นเอ็นที่ไม่ค่อยมีความแข็งแรง ข้อต่อ talocalcaneal ยังได้รับการเสริมความมั่นคงจากโครงสร้างอื่น ๆ ร่วมด้วย ได้แก่ เอ็นของกล้ามเนื้อ peroneus longus, peroneus brevis, flexor hallucis longus, tibialis posterior, and flexor digitorum longus

2.2. ข้อต่อ The tibiotalar (Talocrural joint)

เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างปลายของกระดูกหน้าแข้ง (Tibia) กระดูกน่อง (fibula) และกระดูกข้อเท้า (Talus) ส่วนที่รับน้ำหนักของข้อต่อนี้คือส่วนที่เชื่อมกันของกระดูกหน้าแข้งและกระดูกข้อเท้า ไม่มีส่วนของกล้ามเนื้อมาเกาะ การเชื่อมต่อของข้อต่อนี้มีลักษณะคล้ายบานพับ (hinge joint) การเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ของข้อต่อนี้จะช่วยให้เกิดการถีบปลายเท้าลง (plantar flexion) และการกระดกข้อเท้าขึ้น (dorsiflexion) ของเท้า การที่กระดูกข้อเท้ามีด้านหน้าที่กว้างทำให้ข้อต่อมั่นคงขึ้นในทิศทางการกระดกข้อเท้าขึ้น (dorsiflexion)

ข้อต่อ tibiotalar จะทำให้เกิดความมั่นคงในท่ายืนเท้าสัมผัสพื้นในช่วงของการเดิน (Stance phase) รูปทรงของข้อต่อสามารถต้านแรงการบิดข้อเท้าออก เนื่องจากความมั่นคงนั้นมาจากโครงสร้างของเนื้อเยื่ออ่อน ข้อต่อ tibiotalar เป็น diarthrosis และถูกปกคลุมด้วยแคปซูลบาง ๆ ที่ติดบนต่อกระดูกหน้าแข้ง ล่างต่อกระดูกข้อเท้าได้รับการเสริมความมั่นคงของข้อต่อจากเอ็นยึดข้อต่อสามกลุ่ม ได้แก่ The tibiofibular syndesmosis จะจำกัดการเคลื่อนไหวระหว่างกระดูกหน้าแข้งและกระดูกน่องขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ทางด้าน medial ของข้อเท้าถูกสร้างความมั่นคงโดยเอ็นยึดที่ชื่อว่า medial collateral ligaments (deltoid ligaments) ซึ่งเป็นแรงต้านที่สำคัญต่อทิศทางการบิดข้อเท้าออก The lateral collateral

ligaments ช่วยลดการเกิดการบิดเท้าเข้าด้านใน จำกัด varus และลดการหมุน ประกอบด้วย anterior และ posterior talofibular ligaments และ the calcaneofibular ligament anterior และ posterior talofibular ligaments ทนต่อแรงดึงใต้ฝ่าเท้าและขณะกระดกข้อเท้าขึ้น

เอ็นเหล่านี้ให้ความมั่นคงกับข้อต่อ tibiotalar ด้านข้างและได้รับการบาดเจ็บบ่อย ครั้งในท่าเท้าบิดเข้า เช่น ข้อเท้าแพลง เอ็น calcaneofibular เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันโดยตรงระหว่าง tibiotalar และข้อต่อ subtalar

2.3. ข้อต่อ Inferior tibiofibular

ข้อต่อนี้มีความเกี่ยวข้องกับข้อต่อ tibiotalar ลักษณะของข้อต่อนี้เป็นแกนของข้อต่อtibiotalar แต่เป็นข้อต่อที่แตกต่างกัน เนื่องจากข้อต่อนี้ไม่ใช่ข้อต่อที่เป็นแบบ synovial articulating หน้าที่หลักของข้อต่อ Inferior tibiofibular คือให้ความมั่นคงกับเท้าและข้อเท้าขณะมีการเคลื่อนไหว อีกทั้งเอ็นยึด anterior และ posterior tibiofibular ligaments และ interosseous ligament อาจมีการบาดเจ็บของเอ็นยึดเหล่านี้ได้เมื่อเกิดการบาดเจ็บจากท่าทางการบิดข้อเท้าออกและการหักของข้อเท้า

2.4. ข้อต่อ Transverse tarsal (Chopart's)

เป็นข้อต่อที่เชื่อมต่อกันระหว่างกระดูก talus และ navicular โดยด้านหน้าของหัวกระดูก Talus จะเชื่อมกับด้านหลังของกระดูก navicular และข้อต่อ calcaneocuboid เป็นข้อต่อระหว่างกระดูกส้นเท้า (Calcaneus) กับกระดูกทรงลูกบาศก์ (Cuboid) ข้อต่อ transverse tarsal เป็นข้อต่อที่ทำงาร่วมกับข้อต่อ subtalar เนื่องจากใช้แกนการเคลื่อนไหวร่วมกัน อีกทั้งมีส่วนในการทำให้เกิดการบิดเท้าเข้าและบิดเท้าออกอีกด้วย

3. กล้ามเนื้อของข้อเท้า (Muscles of the ankle)

การเคลื่อนไหวหลักของเท้าและข้อเท้าอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อ 12 มัด ที่มีจุดเกาะต้น (Origin) ที่กระดูกขาท่อนล่าง และมีจุดเกาะปลายบริเวณเท้า แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

3.1. ส่วนด้านหน้า (anterior compartment) ประกอบด้วย 4 มัด คือ

3.1.1. The tibialis anterior และ the extensor hallucis longus ทำให้เกิด dorsiflexion และ Inversion ของข้อเท้า

3.1.2. The extensor digitorum longus ทำให้เกิด dorsiflexion

3.1.3. The peroneoustertius ทำให้เกิด dorsiflexion และ eversion

3.2. ส่วนด้านข้างด้านนอก (lateral compartment) ประกอบด้วย 2 มัด คือ

3.2.1. The peroneus longus และ The peroneus brevis ซึ่งทำให้เกิด plantarflexion และ eversion ของข้อเท้า

3.3. ส่วนด้านหลัง (posterior compartment) ประกอบด้วย 3 มัด คือ

3.3.1. The gastrocnemius

3.3.2. The soleus

3.3.3. The plantaris

ทั้ง 3 มัด ช่วยในการเคลื่อนไหวในลักษณะ plantar flexion

3.4. กล้ามเนื้อส่วนหลังชั้นลึก (Deep posterior compartment) ประกอบด้วย 3 มัด คือ

3.4.1. The tibialis posterior

3.4.2. The flexor digitorum longus

3.4.3. The flexor hallucis longus

ทั้ง 3 มัด ช่วยในการเคลื่อนไหวในลักษณะ plantar flexion และ inversion

4. เอ็นบริเวณข้อเท้า (Ligaments of ankle joint)

Medial collateral ligament (deltoid ligament) มีรูปร่างเป็นรูปสามเหลี่ยมมี apex ยึดอยู่ที่ margins and tip of the medial malleolus มี base ยึดอยู่ที่กระดูก talus, navicular และ calcaneus ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงทางด้าน medial side of ankle joint และช่วยเสริม medial longitudinal arch ของ Lateral collateral ligament เป็นเอ็นที่แข็งแรงน้อยกว่าด้าน medial แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

4.1. Anteriortalofibular ligament มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนแข็งแรงยึดระหว่าง lateral malleolus และ neck of talus

4.2. Posteriortalofibular ligament เป็นแถบหนา แข็งแรงปานกลาง ยึดระหว่าง lateral malleolus กับ lateral tubercle of the posterior process of the talus

4.3. Calcaneofibular ligament มีลักษณะเป็นแท่งกลม ยึดจาก tip of lateral malleolus กับ lateral surface of calcaneus ถูกทอดข้ามทางด้านนอกโดย tendons of peroneus longus and brevis

Ankle joint จะมีความมั่นคงมากที่สุดขณะอยู่ในท่า dorsiflexion เพราะเป็นท่าที่ได้รับการเสริมโดย ligaments, tendons ที่พาดผ่าน และความกระชับระหว่าง malleoli กับ

trochlea of talusแต่ ankle joint ก็มักเกิดการบาดเจ็บได้ง่ายเช่นกัน โดยเฉพาะที่ lateral ligament เพราะแข็งแรงน้อยกว่า

5. เส้นประสาทของเท้า (Nerves of the plantar of foot)

Medial planter nerve เป็นแขนงของ tibial nerve ทอดเข้าสู่ฝ่าเท้าโดยผ่านลึกต่อกล้ามเนื้อ abductor halluces โดยทอดคู่ไปกับ medial plantar artery ให้ motor branches ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อในฝ่าเท้าได้แก่ abductor halluces, flexor digitorum brevis, flexor hallucis brevis และ medial lumbrical 1 มัด และให้ sensory branches รับความรู้สึกจากผิวหนังบริเวณ 3 ½ of medial toes

Lateral plantar nerve เป็นอีกหนึ่งแขนงของ tibial nerve ทอดคู่ไปกับ lateral plantar artery ให้ cutaneous branches รับความรู้สึกจากผิวหนังของนิ้วเท้าที่ 1 1/2ที่อยู่ทางด้าน lateral และให้ motor branches ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อของฝ่าเท้าทั้งหมดที่นอกเหนือจากที่ถูกเลี้ยงโดย medial plantar nerve

6. เส้นเลือดของเท้า (Arteries of the plantar of foot)

Arterial suppies ของกล้ามเนื้อในฝ่าเท้า ได้มาจาก medial และ lateral planter arteries เป็นแขนงปลายของ posterior tibial artery

6.1. Medial plantar artery ทอดคู่ขนานกับ medial plantar nerve ไปเลี้ยงด้าน medial ของฝ่าเท้า

6.2. Lateral plantar artery ทอดคู่ขนาน lateral plantar nerve ทอดแทรกผ่านระหว่างกล้ามเนื้อ flexor digitorum brevis และ quadratus plantae ที่ระดับ base of fifth metatarsal bone ทอดเฉียงไปทางด้าน medial และผ่านระหว่างกล้ามเนื้อฝ่าเท้าชิ้นที่ 3 และ 4 ไปสิ้นสุดที่ base of first metatarsal bone โดยไปเชื่อมต่อกับ deep plantar artery ซึ่งเป็นแขนงจาก dorsalis pedis artery และทะลุลงมาจากบริเวณง่ามนิ้วหัวแม่เท้าและนิ้วชี้เพื่อประกอบเป็น plantar arterial arch

เลือดดำส่วนใหญ่จากเท้าจะผ่านขึ้นไปทาง deep vein ตั้งต้นจาก plantar digital veins ที่มีการรวมกันเป็น planter venous arch ที่ทอดคู่ไปกับ arterial arch ต่อขึ้นมาเป็น anterior และposterior tibial veins

7. ส่วนโค้งของเท้า (Arches of the foot)

กระดูกของเท้าเรียงตัวกันโดยมีความโค้งเล็กน้อย เพื่อเป็นตัวรับแรงกระแทก (shock absorbers) และเป็นตัวช่วยให้ก้าวไปข้างหน้า โครงสร้างของ arch of foot จะคล้ายกับสะพานโค้งที่ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 4 อย่าง ได้แก่

7.1. Shape of stones มีรูปร่างคล้ายลิ่ม เรียงแถวกัน โดยด้านแคบของลิ่มอยู่ด้านล่างกระดูกชิ้นที่สำคัญที่สุดซึ่งทำหน้าที่ยึดให้ส่วนโค้งคงอยู่ได้เรียกกระดูกชิ้นนี้ว่า Keystone

7.2. Inferior binder เป็นตัวล็อคทางด้านล่างของกระดูกชิ้นที่อยู่ติดกัน เพื่อกันกระดูกแยกออกหากมีน้ำหนักกดผ่านส่วนโค้งลงมา อาจเรียกว่า staples

7.3. Tie beams เป็นตัวขึงยึดฐานของส่วนโค้ง

7.4. Suspension เป็นตัวดึงส่วนโค้งในแนวดิ่ง

ส่วนโค้งของเท้าแบ่งออกเป็น

1. Longitudinal arch ซึ่งแยกออกเป็น Medial longitudinal arch และ Lateral longitudinal arch

2. Transverse arch

Medial longitudinal arch เป็นส่วนโค้งตามแนวยาวด้าน media ของเท้า ประกอบด้วย กระดูก calcaneus, talus, navicular, cuneiforms ทั้ง 3 ชิ้น, medial metatarsal bones 3 ชิ้น มี head of talus เป็น keystone ที่ด้านล่างมี spring (plantar calcaneonavicular) ligament รองรับเป็น inferior binder มี plantaraponeurosis ทำหน้าที่เป็น tie beams มี tibialis anterior และ tibialis posterior tendons ทำหน้าที่เป็น suspension

Lateral longitudinal arch เป็นส่วนโค้งตามแนวยาวด้าน lateral ของเท้า ประกอบด้วยกระดูก calcaneus, cuboid และ lateral 2 metatarsal bones มี cuboid เป็น keystone ด้านล่างมี short plantar & long plantar ligaments เป็น inferior binder มี plantar aponeurosis ทำหน้าที่เป็น tie beams มี peroneus longus and brevis tendons ทำหน้าที่เป็น suspension

Transverse ach เป็นส่วนโค้งของเท้าตามแนวขวางโดยด้าน medial จะสูงกว่าด้าน lateral ประกอบขึ้นจากกระดูก cuboid, cuneiforms 3 ชิ้น, และ base of metatarsal bones มี plantar metatarsal ligament และ tarsometatarsal ligament เป็น inferior binder และมี peroneus longus tendon เป็น tie beams

ชีวกลศาสตร์ของข้อเท้า (Biomechanics of the Ankle)

1. การเคลื่อนไหวของเท้าและข้อเท้า (Motion of the foot and ankle)

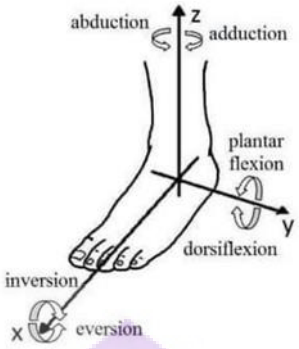
การเคลื่อนไหวที่สำคัญของข้อเท้า คือ การถีบปลายเท้าลง (Plantar flexion) และกระดกข้อเท้าขึ้น (dorsi flexion) ซึ่งเกิดขึ้นในระนาบขึ้น–ลง (Sagittal plane) ส่วนการบิดเท้าเข้าด้านใน (inversion) และการบิดเท้าออกด้านนอก (eversion) เกิดขึ้นในระนาบ frontal plane การรวมกันของการเคลื่อนไหวเหล่านี้ทั้งข้อต่อ subtalar และ tibiotalar สร้างการเคลื่อนไหวสามมิติที่เรียกว่า supination และ pronation

2. แกนหมุนของข้อเท้า (Axis of rotation of the ankle)

ในขณะที่ผู้เขียนหลายคนคิดว่าข้อต่อข้อเท้า (tibiotalar joint) เป็นข้อต่อแบบบานพับที่เรียบง่าย แต่ก็มีข้อเสนอแนะว่าเป็นแบบหลายแกนเนื่องจากการหมุนภายใน (internal rotation) ที่เกิดขึ้นในช่วงกระดกข้อเท้าขึ้น (dorsifexion) และการหมุนภายนอก (external rotation) ที่เกิดขึ้นในช่วงถีบปลายเท้าลง (plantar flexion) อย่างไรก็ตามมีหลักฐานที่บ่งบอกว่าข้อต่อข้อเท้า (tibiotalar joint) นั้นเป็นแกนเดียว แต่การเคลื่อนที่ที่สังเกตพร้อมกันนั้นเกิดขึ้นจากแกนเอียง (oblique axis) แกนของการหมุนของข้อต่อข้อเท้าในระนาบขึ้น ลง (sagittal plane) เกิดขึ้นรอบ ๆ เส้นผ่านทะลุตาตุ่มทั้งสองข้าง (malledli) ที่อยู่ตรงกลางและด้านข้าง(เส้นประ) แกนระนาบการหมุนเกิดขึ้นรอบจุดตัดระหว่างตาตุ่มทั้งสองข้าง (malleoi) และแกนยาวของกระดูกหน้าแข้งในระนาบด้านหน้าแกนระนาบตามขวาง (transverse plane axis) ของการหมุนเกิดขึ้นรอบแกนยาวของกระดูกหน้าแข้งตัดกับกึ่งกลางของเท้า

การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของข้อเท้าได้เน้นถึงความแตกต่างของความโค้งในแนวรัศมีในด้านที่อยู่ตรงกลางและด้านข้างซึ่ง ระบุว่าแกนของการหมุนของข้อต่อข้อเท้าจะแตกต่างกันไปตามการเคลื่อนไหวของการเคลื่อนไหว จากสิ่งนี้ผู้เขียนจำนวนหนึ่งได้เสนอการเคลื่อนที่ของข้อต่อหลายข้อในระหว่างกิจกรรมปกติ ตั้งแต่ปี 1950 ถูกเสนอมีแกน plantar flexion ซึ่งชี้ขึ้นไปทางด้านข้างของข้อต่อข้อเท้าและแกน dorsiflexion ซึ่งเอียงลงและด้านข้าง สิ่งเหล่านี้ขนานกันในระนาบแนวขวาง แต่สามารถแตกต่างกันได้มากถึง 30° ในระนาบหน้าหลัง (Coronal plane) การเคลื่อนที่เกี่ยวกับแกนเหล่านี้ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้และการเปลี่ยนระหว่างแกน ระหว่างการเคลื่อนไหวนั้นคาดว่าจะเกิดขึ้นใกล้กับตำแหน่งที่เป็นกลางของข้อต่อ แกนของข้อต่อระหว่างกระดูกส้นเท้าและกระดูกข้อเท้า(subtalar joint) ยังเป็นแกนเฉียงที่วิ่งจากด้านหลังไปด้านหน้าสร้างมุมประมาณ 40° กับแกน anteroposterior ในระนาบทัลและสร้างมุม 23° กับกึ่งกลางของเท้าในระนาบตามขวาง ในทำนองเดียวกันกับข้อต่อ tibiotalar ข้อต่อ

subtalar สร้างการเคลื่อนไหวหลายครั้งในระหว่าง plantar และ dorsiflexion ทำให้เกิด pronation และ supination [12]



รูปที่ 1 การเคลื่อนไหวปกติข้อเท้า [13]

ตารางที่ 1 องศาการเคลื่อนไหวปกติของข้อเท้า [13]

Type of Motion	Max.Allowable Motion
Dorsiflextion	20.3° a 29.8°
Plantarflextion	37.6° a 45.8°
Inversion	14.5° a 22.0°
Eversion	10.0° a 17.0°
Abduction	15.4° a 25.9°
Adduction	22.0° a 36.0°

โรคที่พบบ่อยของกระดูกข้อเท้า

1. กระดูกเท้าปูด กระดูกเท้าผิดรูปโดยกระดูกเท้าที่ปูดออกมา เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น โครงสร้างเท้าผิดรูป, ข้อสึก และมีกระดูกงอก, จุดเกาะเอ็นเสื่อม, กระดูกงอกในเส้นเอ็น เป็นต้น โดยการรักษากระดูกเท้าปูด ควรได้รับการวินิจฉัยก่อนว่าเกิดจากอะไร เพื่อวางแผนการรักษาต่อไป

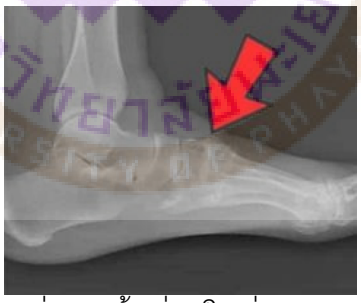
1.1. กระดูกเท้าปูดที่โคนนิ้วหัวแม่เท้า (Bunion, Hallux valgus)

รูปที่ 2 กระดูกเท้าปูดที่โคนนิ้วหัวแม่เท้า [11]

1.2. กระดูกเท้าปูดที่โคนนิ้วเท้าที่ 5 (Bunionette)

รูปที่ 3 กระดูกเท้าปูดที่โคนนิ้วเท้าที่ 5 [11]

1.3. กระดูกเท้าปูดที่หลังเท้า ส่วนใหญ่เกิดจากข้อกลางเท้าสึก (midfoot osteoarthritis)

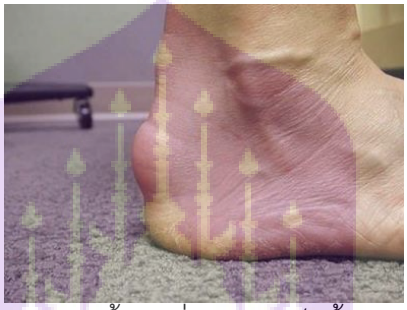


รูปที่ 4 กระดูกเท้าปูดที่หลังเท้า ส่วนใหญ่เกิดจากข้อกลางเท้าสึก [11]

1.4. กระดูกเท้าปูดที่ด้านในของเท้า เกิดจากกระดูกงอกในเส้นเอ็น (accessory navicular)

รูปที่ 5 กระดูกเท้าปูดที่ด้านในของเท้า เกิดจากกระดูกงอกในเส้นเอ็น [11]

1.5. กระดูกเท้าปูดที่จุดเกาะเอ็นร้อยหวาย (insertional Achilles tendinitis)



รูปที่ 6 กระดูกเท้าปูดที่จุดเกาะเอ็นร้อยหวาย

2. กระดูกเท้าหัก แตก ร้าว

กระดูกเท้าหัก ส่วนใหญ่จะต้องมีอุบัติเหตุบางอย่างนำมาก่อน เช่น อุบัติเหตุจากการเล่นกีฬา อุบัติเหตุจากการจราจร

รูปที่ 7 กระดูกเท้าหัก แตก ร้าว [11]

3. กระดูกเท้าหลุดหรือเคลื่อน เกิดจากอุบัติเหตุอย่างรุนแรงที่เท้า ทำให้เอ็นที่ยึดกระดูกและข้อต่างๆในเท้าฉีกขาด และทำให้กระดูกเท้าหลุด หรือเคลื่อนได้ อาการที่พบภาวะนี้คือ ปวด บวม เท้าผิดรูป เดินลงน้ำหนักไม่ได้เนื่องจากเสียวและปวดมาก พักแล้วไม่ทุเลา [11]

รูปที่ 8 กระดูกเท้าหลุดหรือเคลื่อน [11]

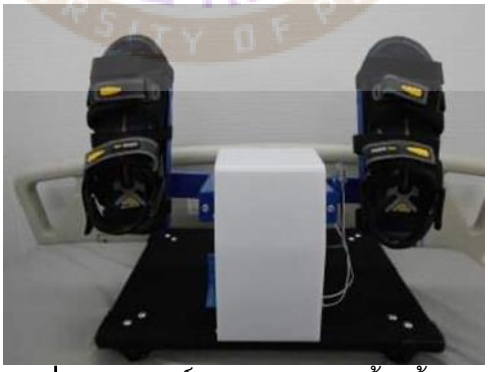
วิธีการฟื้นฟูเท้าและข้อเท้า

1. การรักษาโดยไม่ผ่าตัด
    1.1. การฝึกสมรรถนะร่างกาย เพื่อกลับไปเล่นกีฬาได้
    1.2. การใช้ยาลดอักเสบและกลุ่มยาบำรุงข้อชนิดต่างๆ
    1.3. การฉีดยาเพื่อการลดปวด ลดอักเสบเฉพาะจุด
    1.4. การทำกายภาพบำบัดเพื่อลดปวด เช่น Shockwave, Laser, Ultrasound
    1.5. การบริหารยืดเหยียดเส้นเอ็น บริหารเพิ่มกำลังเส้นเอ็น
    1.6. การใช้อุปกรณ์เสริม เช่น การตัดรองเท้าพิเศษ, แผ่นเสริมอุ้งเท้า, แผ่นรองเท้าในตำแหน่งที่ปวด
2. การรักษาโดยการผ่าตัด
    2.1. การผ่าตัดเส้นเอ็น ยืดเส้นเอ็น, ย้ายเส้นเอ็น
    2.2. การผ่าตัดกระดูกเพื่อการดามกระดูกหัก, จัดเรียงกระดูกเชื่อมข้อ
    2.3. การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเท้าเทียม
    2.4. การผ่าตัดโดยใช้เทคนิคแผลเล็ก เพื่อการฟื้นตัวที่เร็วขึ้น
    2.5. การผ่าตัดส่องกล้องข้อเท้า, เส้นเอ็น [1]

เครื่องออกกำลังกายข้อเท้า

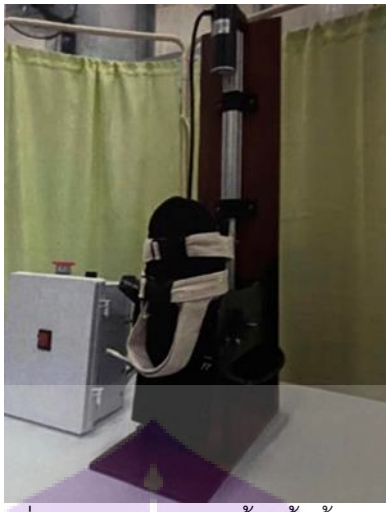
ภาวะข้อเท้าตกจำเป็นต้องได้รับการฟื้นฟูสมรรถภาพที่ถูกวิธี ได้แก่ การช่วยขยับข้อเท้าและการออกกำลังกายที่ถูกวิธีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ได้แก่ ภาวะข้อเท้าติดและภาวะกล้ามเนื้อหดรั้งได้ โดยในปัจจุบันเริ่มมีผู้ให้ความสนใจใช้เครื่องช่วยขยับข้อเท้าแบบ ต่อเนื่อง (Continuous passive movement) ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะข้อเท้าตกมากขึ้น จึงมีนักวิจัยสนใจประดิษฐ์เครื่องช่วยขยับข้อเท้าเพื่อช่วยในการขยับข้อเท้าในหลากหลายรูปแบบ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดภาระของผู้ดูแลในการช่วยขยับข้อเท้าแก่ผู้ป่วยที่มีภาวะข้อเท้าตก

ในประเทศไทยพบว่าอุปกรณ์ช่วยขยับข้อเท้าที่ใช้อยู่ส่วนมากเป็นอุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และวิธีการใช้ซับซ้อน ซึ่งผู้ป่วยที่มีภาวะข้อเท้าตกไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์และใช้ได้เองตามลำพัง การดูแลรักษาอุปกรณ์ค่อนข้างยากและมีราคาแพงมาก ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงผู้ป่วยตามบ้านได้ ส่วนใหญ่มีใช้เฉพาะตามคลินิกเวชศาสตร์ฟื้นฟูขนาดใหญ่เท่านั้น [2] ในปี พ.ศ.2555 นิดา วงศ์สวัสดิ์ และเบญจพร ศักดิ์ศิริ ได้ทำการวิจัยและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เครื่องช่วยขยับข้อเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ผลิตจากโลหะเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมประกอบเข้ากับรองเท้าสำหรับยึดข้อเท้า มีเฟืองและแกนเป็นจุดหมุน มีระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของข้อเท้าทั้งท่าถีบปลายเท้าลงและกระดกข้อเท้าขึ้น แต่อุปกรณ์นี้ยังมีข้อจำกัดคือ ขนาดของเครื่องมีขนาดใหญ่ ยากลำบากต่อการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือชุมชน ตัวเครื่องยังไม่มีระบบแสดงผลองศาที่ผู้ป่วยเคลื่อนไหวได้ อีกทั้งยังไม่มีระบบสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency stop) [9]



รูปที่ 9 อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้า [9]

เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าต้นแบบรุ่น 1



รูปที่ 10 เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าต้นแบบรุ่น 1 [6]

จากการศึกษารูปแบบของการเคลื่อนไหวของข้อเท้า พบว่าการเคลื่อนไหวที่สำคัญของข้อเท้าที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน เช่น การเดิน คือการกระดกข้อเท้าลง (Plantar flexion) และการกระดกข้อเท้าขึ้น (Dorsifexion) ซึ่งเกิดขึ้นในระนาบแนวดิ่ง (Sagittal plane) มักพบปัญหาการเคลื่อนไหวไม่สุดช่วงของข้อเท้า ซึ่งจะนำไปสู่ภาวะข้อติด (Joint sifiness) ได้ในระยะยาว การใช้อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าจึงเริ่มมีส่วนช่วยในการป้องกันและรักษาผู้ป่วยที่มีปัญหาดังกล่าว การศึกษาที่ผ่านมามีการพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าขึ้นโดยพัฒนาเครื่องมือการฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับป้องกันการหดตัวของข้อเท้า ซึ่งมีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา ง่ายต่อการสวมใส่และการถอดออก จากการที่ได้นำไปทดลองใช้พบว่าอุปกรณ์ชิ้นนี้สามารถทำการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมสำหรับการพักฟื้นที่ข้อเท้าได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ Ankle CPM ยังขาดองค์ประกอบบางส่วนที่ง่ายต่อการใช้งาน เช่น ตัวแสดงผลช่วงองศาการเคลื่อนไหว ซึ่งถ้ามีตัวแสดงผลองศาการเคลื่อนไหวนี้จะสามารถทำให้เคลื่อนไหวข้อเท้าได้ในองศาที่ถูกต้อง ลดการบาดเจ็บจากการใช้อุปกรณ์ ได้ช่วงการเคลื่อนไหวที่ถูกต้องและแม่นยำ [6]

1. ข้อดีของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าต้นแบบรุ่นที่ 1

1.1. สามารถบอกค่าการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในระนาบแนวดิ่งได้ตรงตามเนื้อหาที่กำหนดในการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในคนปกติ

1.2. สามารถตั้งค่าการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในทิศทางและมุมการเคลื่อนไหวของข้อเท้าที่ต้องการได้

1.3. อุปกรณ์สามารถเปิด-ปิดการใช้งานได้ง่าย

1.4. ไม่ซับซ้อนในการสวมใส่อุปกรณ์

1.5. อุปกรณ์ออกกำลังกายสามารถเคลื่อนไหวในระนาบแนวดิ่ง (Sagittal plane)

1.6. การทำงานของเครื่องจะช่วยขยับข้อเท้าของผู้ป่วยโดยไม่ต้องออกแรงอย่างต่อเนื่อง (Continues passive movement) [6]

2. ข้อจำกัดของอุปกรณ์ออกกำลังข้อเท้า

2.1. ฐานของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าไม่มั่นคงและมีน้ำหนักที่มาก

2.2. เครื่องออกกำลังข้อเท้ามีเสียงดัง เมื่อเพิ่มความเร็ว

2.3. เครื่องออกกำลังกายข้อเท้ามีสายไปที่ยากต่อการจัดเก็บ

2.4. ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ ทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก

2.5. ปุ่มปรับความเร็วไม่มีค่าแสดงความเร็ว

2.6. สเกลการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเท้าไม่ชัดเจนและแม่นยำ

2.7. มีความยากลำบากในการปรับค่าองศสการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้า

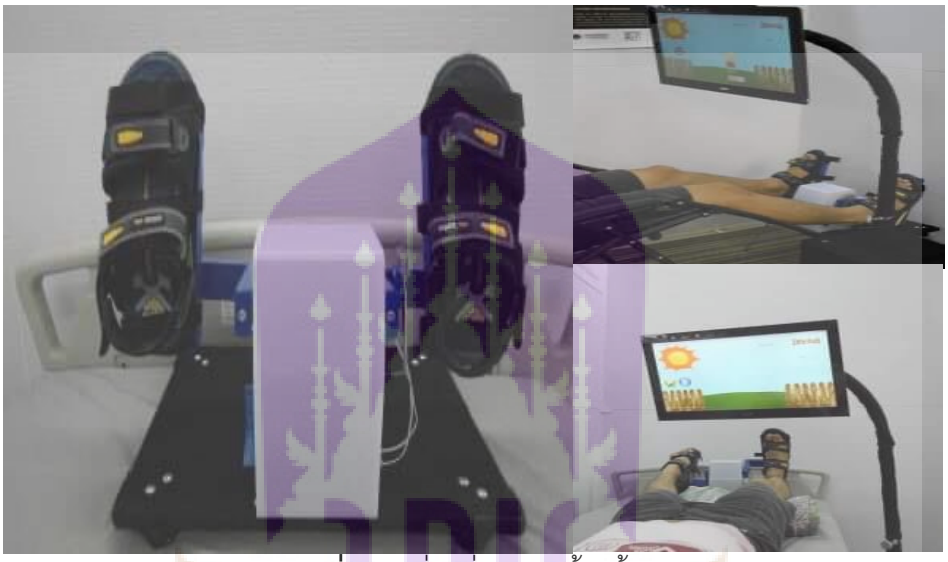
3. การพัฒนาต่อยอดอุปกรณ์การออกกำลังกายข้อเท้า

การพัฒนาต่อยอดอุปกรณ์ ควรมีการออกแบบอุปกรณ์ให้มีความแข็งแรงและมั่นคงมีอุปกรณ์รองรับขาเพื่อสะดวกต่อการจัดตำแหน่งของเท้า ตัวเครื่องมีน้ำหนักเบากว่านี้เพื่อง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บ มีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศาและการแสดงผล และนำอุปกรณ์ไปทดสอบประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้งานกับกลุ่มผู้ป่วยที่มีปัญหาจำกัดการเคลื่อนไหวของข้อเท้า เพื่อส่งเสริมการเคลื่อนไหวของข้อเท้าให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องช่วยขยับข้อเท้าช่วยผู้ป่วยภาวะข้อเท้าตก

เครื่องช่วยขยับข้อเท้าสำหรับผู้ที่มีภาวะข้อเท้าตกของ นางสาวนิดา วงศ์สวัสดิ์ นักกายภาพบำบัด ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก ร่วมกับนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุดมุ่งหมายของการประดิษฐ์ เพื่อการฟื้นฟูและป้องกันภาวะแทรกซ้อนภายหลังจากมีภาวะข้อเท้าตก



รูปที่ 11 เครื่องช่วยขยับข้อเท้า [16]

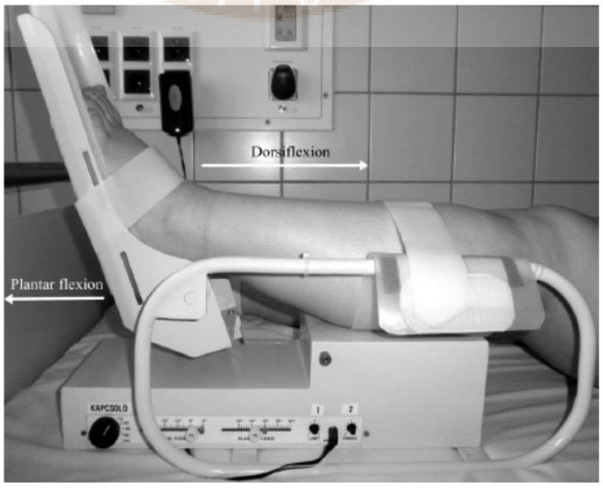
เช่น ภาวะข้อเท้าติด และภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งใช้หลักการ Passive movement อุปกรณ์ช่วยขยับข้อเท้าสำหรับผู้ที่มีภาวะข้อเท้าตก สามารถปรับมุมการเคลื่อนไหวได้ตามความสามารถในการเคลื่อนไหวของผู้ที่มีภาวะข้อเท้าตกจริงในทุก ๆ 1 องศา ใช้ได้ทั้งในท่านั่งและท่านอน ในทุกสภาพแวดล้อม โดยสามารถเลือกการตอบสนองกลับในกรณีที่ช่วยขยับข้อเท้าถึงมุมที่กำหนดได้ 2 รูปแบบ ทั้งเสียงและแสงนอกจากนี้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อกับเกมคอมพิวเตอร์ Virtual– Reality ซึ่งเป็นเกมเสมือนจริง เพื่อเพิ่มแรงจูงใจในการใช้อุปกรณ์ช่วยขยับข้อเท้าและสามารถควบคุมในเรื่องความเร็วในการช่วยขยับข้อเท้าได้ โดยได้มีการทดลองใช้กับผู้ป่วยที่ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าได้ผลดี ซึ่งหลังจากใช้อุปกรณ์ช่วยขยับข้อเท้า ผู้ป่วยมีภาวะกล้ามเนื้อข้อเท้าหดเกร็งลดลงตามลำดับ [3]

Ankle–Foot Continuous Passive Motion Device for Mobilization of Acute Stroke Patients Csilla Ver, Gergely Hofgart, Laszlo Menyhart, Laszlo Kardos, Laszlo Csiba, Department of Neurology, University of Debrecen, Debrecen, Hungary

ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฝ่าเท้าและฝ่าเท้าแบบพาสซีฟ ในกลุ่มโรคหลอดเลือดสมองระยะเฉียบพลันที่อาจนำไปสู่อาการเกร็ง การตึงตัวของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้ช่วงของการเคลื่อนไหวลดลง

รูปที่ 12 Control unit of the ankle–foot continuous passive motion device [17]

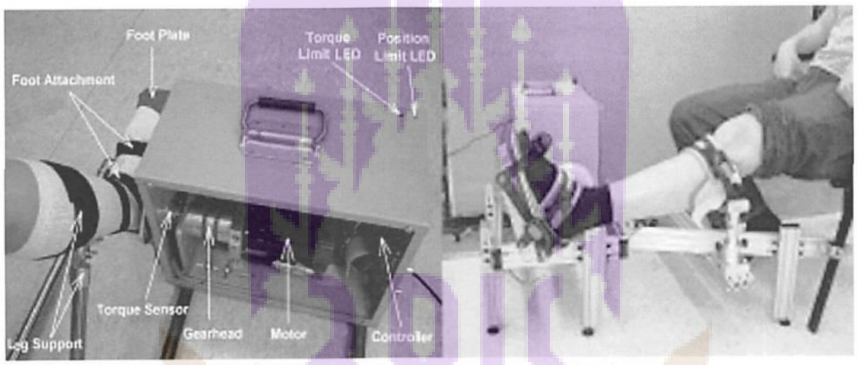
โดยทำการยืดกล้ามเนื้อ soleus แบบพาสซีฟเป็นเวลา 30 นาที จากการทดลองอุปกรณ์เครื่องช่วยขยับข้อเท้าพบว่าการใช้อุปกรณ์ CPM ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยตัวเองสามารถเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าได้ดียิ่งขึ้น [4]



รูปที่ 13 Ankle–foot continuous passive motion device [17]

Feedback-Controlled and Programmed Stretching of the Ankle Plantarflexors and Dorsiflexors in Stroke: Effects of a 4-Week Intervention Program

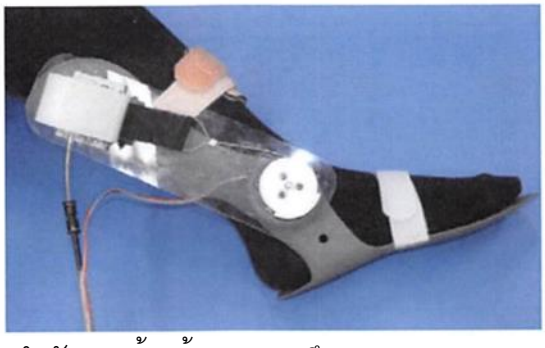
การศึกษาของ Ruud W. Selles, PhD และคณะ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบผลการควบคุมการให้ข้อมูลป้อนกลับและการตั้งโปรแกรมอัจฉริยะในการยืดกล้ามเนื้อข้อเท้าในท่าถีบปลายเท้า (plantar flexion) และท่ากระดกปลายเท้าขึ้น (dorsiflexion) เพื่อรักษากลุ่มตัวอย่างที่มีการหดเกร็งของกล้ามเนื้อในผู้ป่วยหลอดเลือดสมอง โดยให้ยืดกล้ามเนื้อข้อเท้าในท่าดังกล่าว 3 ครั้ง/สัปดาห์ ครั้งละ 45 นาที ระยะเวลาในการรักษาทั้งหมด4 สัปดาห์ โดยพบว่าการยืดมีผลช่วยลดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อของข้อเท้า ในการยืดกล้ามเนื้ออุปกรณ์นี้อาจเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยสำหรับใช้ในการรักษาด้วยการเคลื่อน ไหวต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องได้รับการยืดหรือการเคลื่อนไหว (Passive movement) จากนักกายภาพบำบัด [5]



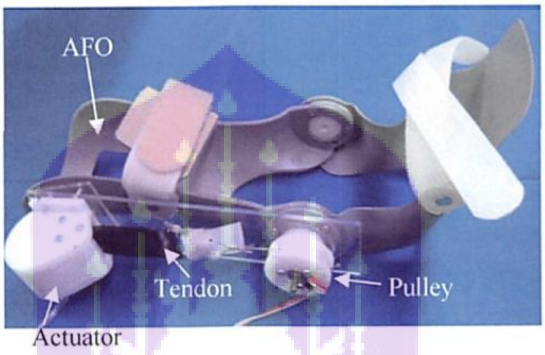
รูปที่ 14 เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ Ruud W. Selles, PhD และคณะ [18]

Development of an ankle CPM trainer for prevent contracture using the Pneumatic balloon actuator

การศึกษาของ Norihiko Saga เกี่ยวกับอุปกรณ์ฟื้นฟูสมรรถภาพเพื่อป้องกันการหดตัวของข้อเท้าเป็นอุปกรณ์ที่พกพาและติดตั้งง่าย ใช้งานสะดวก เหมาะกับผู้ป่วยอ่อนแรงครึ่งซีกที่มีภาวะข้อเท้าหดเกร็ง กลไกคือให้มีการขยับที่เส้นเอ็น (Tendondrive system) โดยระบบการกระตุ้นบอลลูน (Pneumatic balloon actuator) จากการศึกษาทดลองพบว่าอุปกรณ์สามารถทำการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟูสมรรถภาพข้อเท้าได้ [6]



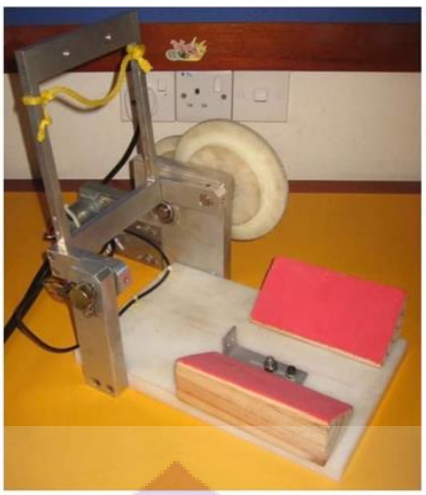
รูปที่ 15 เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ Norihiko Saga และคณะ [6]



รูปที่ 16 เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ Norihiko Saga และคณะ [6]

Continuous Passive Ankle Motion Device for Patient Undergoing Tibial Distraction Osteogenesis

การศึกษาของ C.T. Ang, N.A. Hamzaid, Y.P. Chua, and A. Saw การศึกษานี้อธิบายถึงการพัฒนาอุปกรณ์ Standalone Continuous Passive Motion (CPM) สำหรับข้อเท้าที่พกพาสะดวก ใช้งานง่ายซึ่งตั้งใจลดภาระงานของนักกายภาพบำบัดเนื่องจากจำนวนผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นการรักษาด้วย Ilizarov Ring ในระยะยาว และ ผู้ป่วยไม่สะดวกเข้ารับการทำกายภาพบำบัดบ่อยครั้ง องค์ประกอบหลักในการสร้างอุปกรณ์ CPM สำหรับข้อเท้าถูกกล่าวถึงใน 2 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์รวมถึงการออกแบบโครงสร้างทางกลและข้อกำหนดของมอเตอร์ ส่วนซอฟต์แวร์เป็นรหัสโปรแกรมโดยใช้ PIC18F4520 ผลลัพธ์ที่คาดหวังคือการทำงานของอุปกรณ์ CPM ที่มีการควบคุมโดยผู้ใช้ [7]



รูปที่ 17 เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าจากการศึกษาของ C.T. Ang และคณะ [7]

การพัฒนาเครื่องช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพก

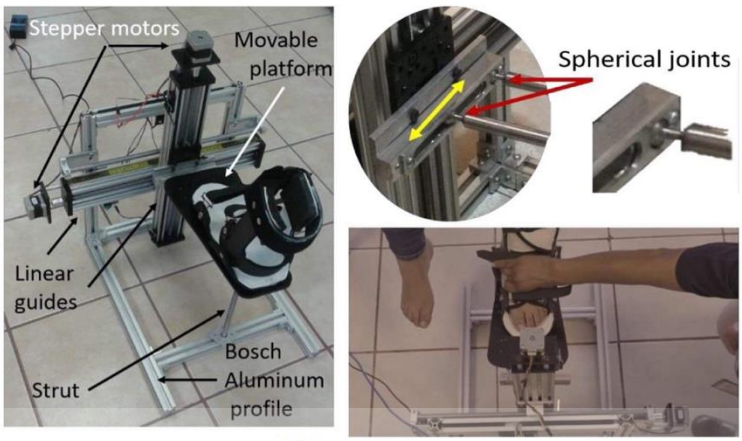
การทดลองของคมสัน มุ่ยสี, กฤษณะ จันทสิทธิ์, และ ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยการเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า ส่วนข้อเข่า และส่วนข้อสะโพกในอุปกรณ์เดียว ใช้ระบบควบคุมฟัซลอจิก กำหนดสมาชิกอินพุตส่วนข้อเท้า 5 ตัวแปร ส่วนข้อเข่าและข้อสะโพก 3 ตัวแปร สมาชิกเอาต์พุตส่วนข้อเท้า ประกอบด้วย 5 สมาชิก และการเคลื่อนที่ส่วนข้อเข่าและข้อสะโพกประกอบด้วย 3สมาชิก สัญญาณควบคุม PWM ควบคุมควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีช่วงการออกแบบอยู่ในช่วง 0 – 250 พัสส์ โดยเครื่องที่มีการพัฒนาขึ้นนี้ยังเป็นการพัฒนาและทดลองในระดับเบื้องต้นร่วมกับนักกายภาพบำบัด ศูนย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลพระปกเกล้า อุปกรณ์สามารถตั้งเวลาการรักษา สามารถตั้งองศาในการเคลื่อนไหว และสามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ อีกทั้งยังมีการออกแบบเครื่อง CPM ให้มีการเคลื่อนที่ได้อย่างราบเรียบ ไม่กระตุก สามารถปรับขนาดของเครื่องให้เหมาะสมกับขนาดขาของผู้ป่วยได้ด้วย ซึ่งมีคุณสมบัติครบทุกด้านเช่นเดียวกับเครื่องที่มีใช้กันทั่วไป [8]

รูปที่ 18 การทำงานของอุปกรณ์ที่ตำแหน่งเหยียดเข้าสุด [8]

รูปที่ 19 การทำงานของอุปกรณ์ที่ตำแหน่งเหยียดออกสุด [8]

CNC Machines for Ankle Rehabilitation

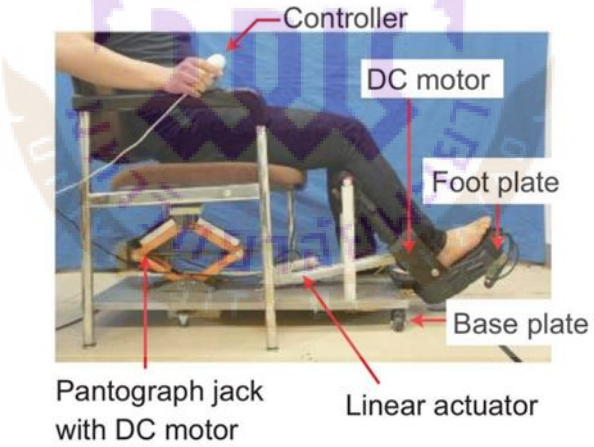
การทดลองของ Andrés Blanco Ortega, Andrea Magadán Salazar, César. H. Guzmán Valdivia, Fabio Abel Gómez Becerra, Manuel J. Palacios Gallegos, Miguel A. García Velarde and José Alfonso Santana Camilo เกี่ยวกับเครื่องช่วยเคลื่อนไหวแบบต่อเนื่อง (Continuous passive motion ; CPM) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการฟื้นฟูสมรรถภาพที่ช่วยเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวและป้องกันภาวะติดแข็ง โดยใช้การควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้มีต้นทุนต่ำ สามารถช่วยเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบ ได้แก่ 1) dorsiflexion/plantarflexion, 2) abduction/adduction [9]



รูปที่ 20 Ankle rehabilitation machine [9]

Ankle Joint Stretching Device Using Tension Rod for Self Rehabilitation

การศึกษาของ Hideki Toda และ Shin Sugihara ทำอุปกรณ์ยืดข้อต่อที่มีไว้สำหรับการฟื้นฟูสมรรถภาพข้อเท้าโดยมุ่งเน้นไปที่การบำบัดฟื้นฟูและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการบำบัดก่อนและหลังการบำบัดเครื่องสามารถติดตั้งได้ง่ายในเก้าอี้หรือเตียงในบ้านผู้ป่วยได้ [10]



รูปที่ 21 Developed ankle joint stretching device [10]

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาและทดสอบคุณภาพของเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง โดยทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2

รูปแบบการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นรูปแบบการออกแบบและพัฒนา (Research and Development) และตรวจสอบน่าเชื่อถือของเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เมื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบได้แล้ว อุปกรณ์ดังกล่าวได้รับการทดสอบ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity) โดย ไม่มีอาสาสมัครในการทดสอบอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์สำหรับการศึกษาคุณภาพของเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง

1. เครื่องออกกำลังข้อเท้า 1 ชิ้น
2. เตียง 1 เตียง
3. หมอน 1 ใบ
4. เบาะรองขา 1 ใบ

วัสดุอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล

1. Goniometer 1 ชิ้น
2. แบบคัดกรองอาสาสมัคร
3. แบบบันทึกข้อมูลอาสาสมัคร

ขั้นตอนการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นต้นแบบ เพื่อสร้างกรอบแนวคิดและกำหนดคุณลักษณะของเครื่องโดยมีรายละเอียด เงื่อนไข และขอบเขตการประดิษฐ์ (Term of Reference; TOR) ดังนี้

เครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 (continuous passive ankle exercise device version 2) ถูกพัฒนาออกแบบมาใช้สำหรับผู้ที่มีปัญหาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าไม่สุดช่วง ตัวเครื่องต้องมีความมั่นคง น้ำหนักเบาไม่เกิน 5 กิโลกรัม สะดวกต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายโดยตัวเครื่องต้องสามารถพับเก็บและมีที่จับสำหรับถือพกพาได้ ใช้งานง่ายด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อน และมีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน อุปกรณ์เคลื่อนไหวในทิศทาง กระดกข้อเท้าขึ้น 20 องศา ถีบปลายเท้าลง 50 องศา บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน 35 องศา และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก 15 องศา มีปุ่มกดเพื่อคงค้างและขยับในทิศทางต่าง ๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ

2. ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ ผศ.ดร.จักรพงษ์ จำรูญ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ภายใต้พื้นฐานความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์

3. ทดสอบอุปกรณ์

3.1. ทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity)

3.1.1 กำหนด TOR ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมเป็นบรรทัดฐานในการประเมินคุณลักษณะของอุปกรณ์

1) ตัวเครื่องต้องมีความมั่นคง

2) น้ำหนักเบาไม่เกิน 5 กิโลกรัม

3) สะดวกต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายโดยตัวเครื่องต้องสามารถพับเก็บและมีที่จับสำหรับถือพกพาได้

4) ใช้งานง่ายด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อน

5) มีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน

6) อุปกรณ์เคลื่อนไหวในทิศทาง กระดกข้อเท้าขึ้น 20 องศา ถีบปลายเท้าลง 40 องศา บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน 30 องศา และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก 20 องศา

7) มีปุ่มกดเพื่อคงค้างและขยับในทิศทางต่างๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ

8) มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ

9) ตัวเครื่องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จแบตได้ ซึ่งในการชาร์จแบต 1 ครั้งสามารถออกกำลังแบบต่อเนื่องได้นาน 60 นาที

10) ตัวเครื่องสามารถบันทึกข้อมูล เช่น องศา และระยะเวลาออกกำลังของผู้ใช้แต่ละคนได้

3.1.2. กำหนดผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีประสบการณ์ในการประดิษฐ์/ใช้เครื่องมือ จำนวน 3 ราย เพื่อประเมินวิเคราะห์อุปกรณ์ ให้ประเมินในแบบประเมินพร้อมกันทั้ง 3 คน โดยแบ่งเกณฑ์การให้คะแนนเป็น 3 ระดับ คือ

คะแนน 1+ เนื้อหามีความสอดคล้อง

–1 เมื่อเนื้อหาไม่สอดคล้อง

0 ไม่แน่ใจ การกำหนดผู้เชี่ยวชาญได้ดังนี้

1) ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีความรู้พื้นฐานเป็นอย่างดีเยี่ยมเกี่ยวกับการประดิษฐ์อุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้าต้นแบบ

2) ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2 เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดในระบบประสาท ที่ มีความรู้และประสบการณ์ในการฟื้นฟูผู้ป่วยทางระบบประสาท

3) ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3 เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายวิภาคศาสตร์และการเคลื่อนไหวของข้อเท้า

3.2. ทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent validity)

3.2.1. ทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ขยับข้อเท้าด้านการเคลื่อนไหว (เลือกมุมให้ตัวเครื่องทำงานแล้วใช้ goniometer วัดมุมนั้น ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

3.2.2. ทดสอบความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra–reliability) โดยทดสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ด้านการเคลื่อนไหวและทดสอบความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมินด้วยวิธี test–retest reliability ในอาสาสมัครสุขภาพดี จำนวน 10 ราย โดยใช้ goniometer วัดมุมการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดปลายเท้าเข้าด้านในและบิดปลายเท้าออกด้านนอก ทำซ้ำท่าละ 3 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบซ้ำหลังจาก 24 ชั่วโมงของการทดสอบครั้งแรกในอาสาสมัครคนเดิม บันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ทาง

สถิติ โดยขนาดตัวอย่างจำนวน อาสาสมัครสุขภาพดีอ้างอิงมาจากการศึกษาของ นิดา วงศ์สวัสดิ์ (พ.ศ. 2555) เกณฑ์ของอาสาสมัครกลุ่มนี้ คือ

เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion criteria)

1. อาสาสมัครเพศชายและหญิง
2. ไม่มีโรคประจำตัว
3. ไม่มีการบาดเจ็บของข้อเท้า
4. ไม่มีการรับประทานยาคลายกล้ามเนื้อ ในช่วง 24 ชั่วโมงของการทดสอบ

อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกและยินยอมให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเซ็นยินยอมการเข้าร่วมวิจัยตามแบบฟอร์มขอจริยธรรมในมนุษย์

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้ที่มีความผิดปกติของข้อเท้า เช่น ข้อเท้าผิดรูป เท้าแบน
2. ความบกพร่องหรือมีโรคที่เกี่ยวข้องกับผิวหนัง

เกณฑ์การถอนอาสาสมัคร (Withdrawal criteria)

1. อาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบขาดการนัดภายใน 24 ชั่วโมง
2. หากประเมินได้ว่าอาสาสมัครได้รับยาในกลุ่มยาคลายกล้ามเนื้อหรือยาออก ฤทธิ์กดประสาทขณะเข้ารับการทดสอบ
3. ผู้ที่มีการบาดเจ็บของข้อเท้าในระหว่างช่วงการทำการทดสอบ

3.2.2. ทดสอบความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-reliability) ดำเนินการทดสอบในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 10 ราย โดยใช้ goniometer วัดมุมการกระดกข้อเท้าขึ้นและลงทำซ้ำท่าละ 3 ครั้ง เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับผู้เชี่ยวชาญด้วยสถิติสหสัมพันธ์

4. ผู้วิจัยวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในอาสาสมัครโดยใช้ Goniometer วัดองศาการเคลื่อนไหวในท่ากระดกเท้าขึ้น (Dorsiflexion) ถีบปลายเท้า (Plantar flexion) บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน (Inversion) และบิดหมืนปลายเท้าออกด้านนอก (Eversion)โดยมีวิธีดังนี้

4.1. วัดองศาการเคลื่อนไหวปกติในท่ากระดกข้อเท้า (Ankle dorsiflexion) 0-20 องศา

Starting position : นอนหงายหรือเหยียดขา ใช้หมอนรองใต้เข่า ข้อเท้ายื่นจากปลายเตียง ตั้งฉาก 90 องศา

Axis : Lateral malleolus

Stationary arm : ขนาน fibula

Moveable arm : ขนาน 5th metatarsal หรือตั้งฉากกับ stationary arm

Testing : ให้ผู้ถูกทดสอบกระดกเท้าขึ้น (dorsiflexion)

4.2. วัดองศาการเคลื่อนไหวปกติในท่าถีบปลายเท้าลง (Ankle Plantar flexion) 0–50 องศา

Starting position : นอนหงายหรือเหยียดขา ใช้หมอนรองใต้เข่า ข้อเท้ายื่นจากปลายเตียง ตั้งฉาก 90 องศา

Axis : Lateral malleolus

Stationary arm : ขนาน fibula

Moveable arm : ขนาน 5th metatarsal หรือตั้งฉากกับ stationary arm

Testing : ให้ผู้ถูกทดสอบถีบปลายเท้าลง (Plantar flexion)

Starting position Dorsiflexion Plantar flexion

รูปที่ 22 วิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้า [11]

4.3. วัดองศาการเคลื่อนไหวปกติในท่าบิดปลายเท้าเข้าด้านใน (Foot Inversion) 0–35 องศา

Starting position : นั่งห้อยขาบนเตียง เท้าไม่สัมผัสพื้น

Axis : mid–point front of ankle

Stationary arm : ขนาน tibia

Moveable arm : ขนาน 2 metatarsal bone

Testing : ให้ผู้ถูกทดสอบบิดปลายเท้าเข้าด้านใน

4.4. วัดองศาการเคลื่อนไหวปกติในท่าบิดปลายเท้าออกด้านนอก (Foot-eversion) 0-15 องศา

Starting position : นั่งห้อยขาบนเตียง เท้าไม่สัมผัสพื้น

Axis : mid-point front of ankle

Stationary arm : ขนาน tibia

Moveable arm : ขนาน 2 metatarsal bone

Testing : ให้ผู้ถูกทดสอบบิดปลายเท้าออกด้านนอก

Starting position Inversion Eversion

รูปที่ 23 วิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้า [11]

5. นำข้อมูลไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้สถิติสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence, IOC) เพื่อ วิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของอุปกรณ์

2. ใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) เพื่อวิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงสภาพของอุปกรณ์

แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการ (เดือนที่)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ทบทวนวรรณกรรม												
2. ส่งแบบเสนอชื่อวิจัย												
3. ส่งแบบเสนอโครงร่างวิจัย												
4. นำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์												
5. ขออนุมัติจริยธรรม												
6. ประชาสัมพันธ์โครงการแก่กลุ่มเป้าหมาย												
7. คัดเลือกอาสาสมัครตามเกณฑ์คัดเข้า												
8. เตรียมเครื่องมือ												
9. เก็บข้อมูล												
10. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ												
11. สรุปข้อมูลและอภิปรายผล												
12. เขียนรายงานและจัดทำเล่มรายงาน												
13. นำเสนอผลการวิจัย												

งบประมาณ

รายการ	**จำนวนเงิน (บาท)**
หมวดค่าตอบแทน	1000
หมวดค่าวัสดุ/อุปกรณ์	20000
หมวดค่าใช้สอย	500
รวม	21500

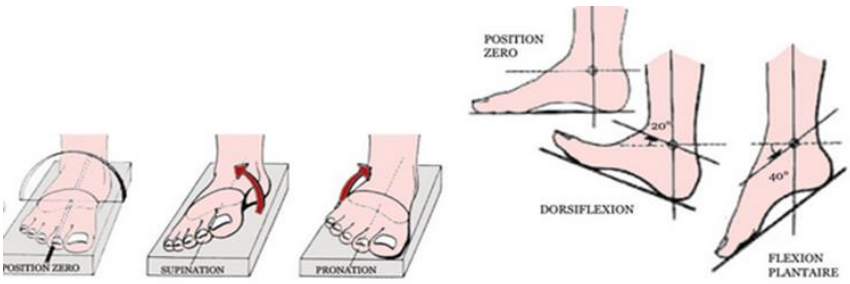
บทที่ 4
ผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 ตามคุณลักษณะของเครื่องที่กำหนดภายใต้หลักวิศวกรรมและหลักทางการแพทย์ โดยตัวเครื่องต้องมีความมั่นคง น้ำหนักเบา สะดวกต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย ใช้งานง่ายด้วยหน้าจอดิจิตอลและมีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศา ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนไหวในทิศทาง กระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก และเพื่อทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ต่อการเคลื่อนไหวตามชีวกลศาสตร์ของข้อเท้า ตลอดจนทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้า รุ่นที่ 2 ได้แก่ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity) ในการแสดงผลการวัดมุมการเคลื่อนไหวของข้อเท้า โดยมีผลการศึกษา ดังนี้

ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)

1. การทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา

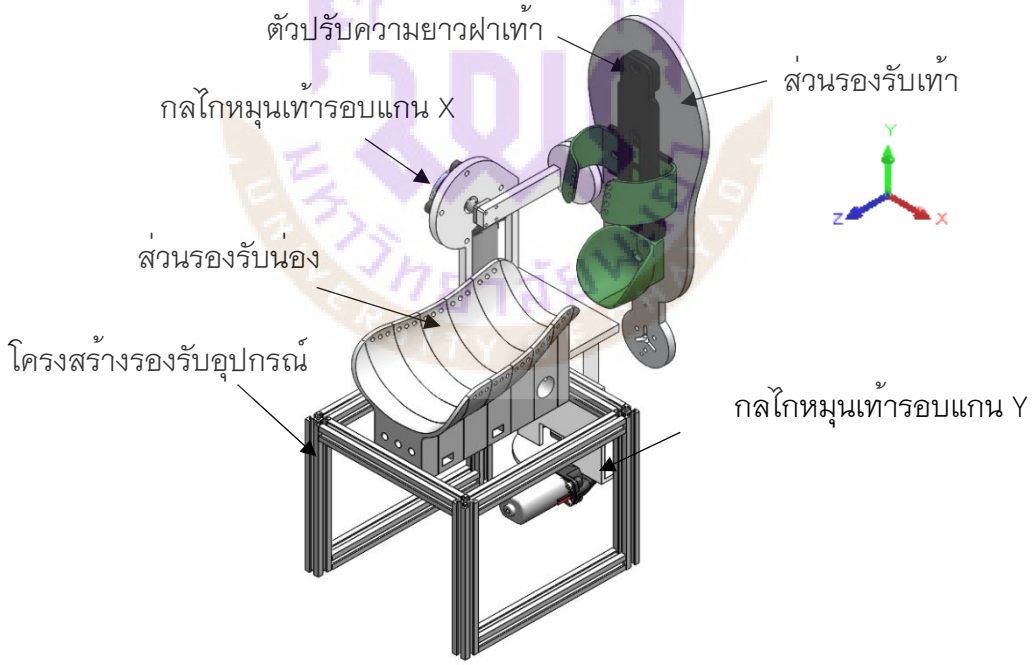
เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ได้รับการพัฒนาต่อจากเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถทำการเคลื่อนไหวข้อเท้าได้เพียง 1 แกน ตามแนวการหมุน Sagittal rotation (รูปที่ 24 (ข)) ซึ่งไม่เพียงพอต่อการทำกายภาพข้อเท้าที่ต้องมีการหมุนในแนว Frontal rotation (รูปที่ 24 (ก)) ด้วย ดังนั้นเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 จึงได้รับการออกแบบให้มีแกนหมุน 2 แกน คือ แกนหมุน Frontal rotation และแกนหมุน Sagittal rotation โดยยึดตำแหน่งตาตุ่มด้านในข้อเท้า (Medial malleolus) เป็นจุดศูนย์กลางการหมุน



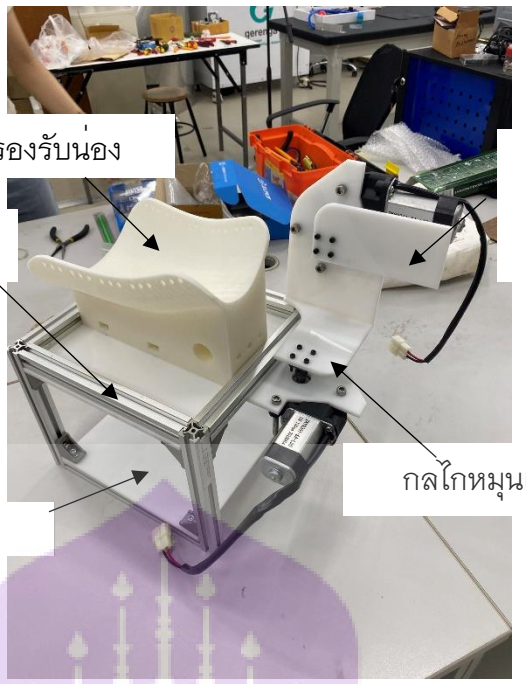
(ก) การหมุน frontal Rotation (ข) การหมุน Sagittal Rotation

รูปที่ 24 การหมุนของข้อเท้ามนุษย์ [24]

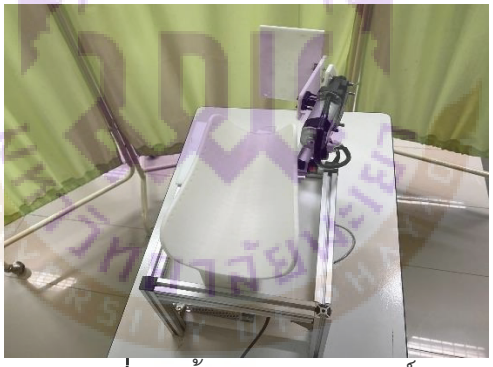
องค์ประกอบสำคัญและการจัดวางอุปกรณ์ของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้า รุ่นที่ 2 ซึ่งจะมีโครงสร้างรองรับอุปกรณ์เป็นอะลูมิเนียม ส่วนอุปกรณ์รองรับน่องและโครงสร้างที่เคลื่อนที่ (ส่วนรองรับเท้า กลไกหมุนรอบแกน x และ y) ทำจากพลาสติกเพื่อลดน้ำหนักในการขนย้าย อุปกรณ์นี้ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแรงบิดสูง 2 ตัวเพื่อทำหน้าที่ขับกลไกหมุนเท้ารอบแกน Frontal rotation และ Sagittal rotation ดังรูปที่ 25 และ 26



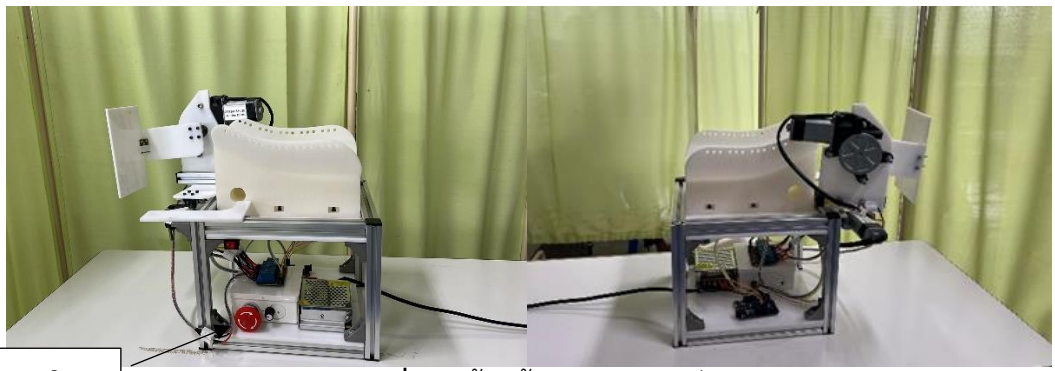
รูปที่ 25 ภาพรวมของเครื่องออกกำกายภาพข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2



รูปที่ 26 ภาพเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2



รูปที่ 27 ด้านบนของอุปกรณ์



รูปที่ 28 ด้านข้างของอุปกรณ์

การใช้งานอุปกรณ์จะเปิดมอเตอร์เพื่อใช้งานได้ครั้งละ 1 ตัว ซึ่งนักกายภาพบำบัดจะต้องเลือกว่าจะทำการหมุนข้อเท้ารอบแกนใด แล้วจึงทำการเปิดสวิตซ์มอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนข้อเท้ารอบแกนนั้น จากนั้นจึงทำการเพิ่มความเร็วรอบและช่วงกว้างของมุมการหมุนเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการกายภาพผู้ป่วยแต่ละคน

จากนั้นดำเนินการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ราย สำหรับการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ดังนี้

ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีความรู้พื้นฐานเป็นอย่างดีเยี่ยมเกี่ยวกับการประดิษฐ์เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าต้นแบบ

ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2 เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดในระบบประสาท ที่ มีความรู้และประสบการณ์ในการฟื้นฟูผู้ป่วยทางระบบประสาท

ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3 เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายวิภาคศาสตร์และการเคลื่อนไหวของข้อเท้า โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้ประเมินความตรงของเนื้อหาในเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ที่พัฒนาขึ้น แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)

คุณสมบัติของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 (Term of reference)	IOC
1. ตัวเครื่องต้องมีความมั่นคง	0.00
2. น้ำหนักเบาไม่เกิน 5 กิโลกรัม	1.00
3. สะดวกต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย โดยตัวเครื่องต้องสามารถพับเก็บ และมีที่จับสำหรับถือพกพา	-0.33
4. ใช้งานง่าย ด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อน	-0.67
5. มีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน	-1.00
6. อุปกรณ์สามารถเคลื่อนไหวในทิศทาง	
6.1. กระดกข้อเท้าขึ้น 20 องศา	-0.67
6.2. ถีบปลายเท้าลง 50 องศา	-0.67
6.3. บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน 35 องศา	-0.33
6.4. บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก 15 องศา	-0.33
7. มีปุ่มกดเพื่อคงค้าง และขยับในทิศทางต่าง ๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ	-1.00

คุณสมบัติของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 (Term of reference)	IOC
8. มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ	-0.33
9. ตัวเครื่องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ที่สามารถชาร์จแบตได้ ซึ่งในการชาร์จแบต 1 ครั้ง สามารถออกกำลังกายแบบต่อเนื่องได้อย่างน้อย 60 นาที	-0.67
10. ตัวเครื่องสามารถบันทึกข้อมูล เช่น องศา และระยะเวลาออกกำลังของผู้ใช้แต่ละคนได้	-1.00

ใช้สถิติ Index of term-Objective Congruence (IOC) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาในระดับดีเยี่ยม คือ น้ำหนักเบา ไม่เกิน 5 กิโลกรัม โดยมีค่า IOC เท่ากับ 1

อย่างไรก็ตามพบว่า คุณลักษณ์อื่น ๆ ที่กำหนด ไม่มีความสอดคล้องกับเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ได้แก่ ตัวเครื่องมีความมั่นคง สะดวกในการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย โดยตัวเครื่องต้องสามารถพับเก็บ และมีจับสำหรับถือพกพา ใช้งานง่าย ด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน การเคลื่อนไหวของตัวเครื่องในทิศทางกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก มีปุ่มกดเพื่อคงค้าง และขยับในทิศทางต่าง ๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ตัวเครื่องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ที่สามารถชาร์จแบตได้ ซึ่งในการชาร์จแบต 1 ครั้ง สามารถออกกำลังกายแบบต่อเนื่องได้อย่างน้อย 60 นาที และตัวเครื่องสามารถบันทึกข้อมูล เช่น องศา และระยะเวลาออกกำลังของผู้ใช้แต่ละคนได้ (โดยมีค่า IOC = 0.00 -0.33 -0.67 -1.00 -0.67 -0.67 -0.33 -0.33 -1.00 -0.33 -0.67 -1.00 ตามลำดับ)

นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ยังได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ดังนี้

1. ควรมีการบอกมุมการเคลื่อนไหว ในตำแหน่งของจุดหมุนเพื่อควบคุมมุมขณะมีการเคลื่อนไหวของข้อเท้า

2. ควรปรับความเร็วให้ช้าลงได้ เพื่อความเหมาะสมต่อการฟื้นฟูผู้ป่วย

3. ควรคำนึงถึงความแข็งแรงของเครื่องหากต้องรองรับน้ำหนักขาที่มากแตกต่างกันของผู้ป่วย

4. ควรให้ตัวเครื่องสามารถปรับความสูงให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละรายได้

5. ปุ่มฉุกเฉินควรมีสายเชื่อมยาวมากพอที่ผู้ป่วยสามารถกดเองได้หากมีการเจ็บปวด

6. ควรมีที่รองรับสำหรับข้อเท้าขณะมีการเคลื่อนไหว

7. ควรปรับโครงสร้างเพื่อความมั่งคง โดยเพิ่มฐานรองรับด้านล่างของเครื่องบริเวณมอเตอร์บิดหมุนเข้าด้านใน และออกด้านนอก เนื่องจากมอเตอร์ค่อนข้างหนัก หากมีการใช้งานจริงอาจทำให้เครื่องล้มลงได้

ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity)

1. การทดสอบความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra-reliability)

โดยผู้วิจัยทั้ง 3 คน ได้ทำการประเมินด้วยวิธี test-retest reliability ในอาสาสมัครสุขภาพดี จำนวน 10 ราย โดยใช้ goniometer วัดมุมการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก ทำซ้ำท่าละ 3 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบซ้ำหลังจาก 24 ชั่วโมงของการทดสอบครั้งแรกในอาสาสมัครคนเดิม ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra-reliability)

ทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อเท้า	ICC		
	ผู้วิจัยคนที่ 1	ผู้วิจัยคนที่ 2	ผู้วิจัยคนที่ 3
กระดกข้อเท้าขึ้น	0.82	0.85	0.96
ถีบปลายเท้าลง	0.95	0.72	0.87
บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน	0.86	0.74	0.75
บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก	0.92	0.69	0.84

ใช้สถิติ Intraclass Correlation coefficient (ICC) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ผู้วิจัยคนที่ 1 มีความน่าเชื่อถือในการวัดมุมองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในทิศทาง ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก (โดยมีค่า ICC เท่ากับ 0.95 0.86 และ 0.92 ตามลำดับ) โดยมีค่า ICC เข้าใกล้ 1 มากที่สุด แสดงถึงมีความแม่นยำในการวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในทิศทางต่าง ๆ มากที่สุด

2. การทดสอบความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-reliability) กับเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2

คณะผู้วิจัยทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ด้วยการทดสอบด้วยการวัดซ้ำองศาการเคลื่อนไหวขณะที่ตัวเครื่องทำงานเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดองศาการเคลื่อนไหวมาตรฐาน ได้แก่ Goniometer ดังรูปที่ 29 และผลการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 4

รูปที่ 29 คณะผู้วิจัยทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพของอุปกรณ์

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงผลมุมการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 และ Goniometer ในการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก

ทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อเท้า	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value
กระดกข้อเท้าขึ้น	0.97	0.99
ถีบปลายเท้าลง	0.96	0.99
บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน	0.98	0.99
บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก	0.95	0.99

ใช้สถิติ Pearson's Correlation ในการวิเคราะห์ข้อมูล

จากตารางที่ 4 เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมหรือองศาการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ที่พัฒนากับอุปกรณ์วัดองศาการเคลื่อนไหวมาตรฐานทางกายภาพบำบัดได้แก่ Goniometer พบว่า ทิศทางการเคลื่อนไหวในการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ 0.97 9.96 0.98 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงเครื่องมือมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพสูง แต่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการแสดงผลมุมการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 และ Goniometer ในการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก (p-value > 0.05)

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยพัฒนาทดลอง เพื่อพัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 โดยมีการทดสอบความเที่ยงตรง (Validity) ของเครื่อง ได้แก่ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity)

ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)

การกำหนดคุณสมบัติของ เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและต่อยอดการพัฒนาจากจุดอ่อนของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้า รุ่นที่ 1 จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 1 ยังมีข้อจำกัด ได้แก่ อุปกรณ์ไม่มั่นคงและมีน้ำหนักที่มาก ขนาดใหญ่ ทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก มีสายไฟที่ยากต่อการจัดเก็บ ปุ่มปรับความเร็วไม่มีค่าแสดงความเร็ว สเกลการวัดองศาการเคลื่อนไหวข้อเท้าไม่ชัดเจน มีความยากในการปรับค่าองศาการเคลื่อนไหวของเครื่อง [6] และพบว่าการเคลื่อนไหวที่สำคัญและจำเป็นต่อการเคลื่อนไหวของข้อเท้ามี 2 ระนาบ ได้แก่ ระนาบขึ้น–ลง (Sagittal plane) และระนาบด้านหน้า (Frontal plane) [12] ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ ได้แก่ ตัวเครื่องต้องมีความมั่นคง น้ำหนักเบาไม่เกิน 5 กิโลกรัม สะดวกต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย ใช้งานง่ายด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อนและมีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน [25] ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนไหวในทิศทาง กระดกข้อเท้าขึ้น 20 องศา ถีบปลายเท้าลง 50 องศาบิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน 35 องศา และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก 15 องศา [26] มีปุ่มกดเพื่อคงค้างและขยับในทิศทางต่างๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ และมีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการออกกำลังกาย [27]

จากการทดสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 พบว่า เครื่องออกกำลังข้อเท้าที่พัฒนาขึ้นนี้มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาในประเด็นน้ำหนักของเครื่อง ระดับดีเยี่ยม (IOC = 1) กล่าวคือเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 มีน้ำหนักเบา เหมาะสมและตรงตามเนื้อหา TOR โดยเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่องรุ่นที่ 2 นี้มีน้ำหนักสุทธิ 4.5 กิโลกรัม ซึ่งโครงสร้างผลิตจากเนื่องจากอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาประกอบเข้ากับแกนหมุนมอเตอร์จำนวน 2 ชุดและพลาสติก ABS Filament for 3D Printer ซึ่งมีความยืดหยุ่น แข็งแรง ทนความร้อนสูง สามารถปรับแต่งรูปแบบได้ตามต้องการและน้ำหนัก

เบา [28] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 1 ที่มีโครงสร้างหลักทำจากไม้ ประกอบเข้ากับมอเตอร์แบบคันชัก จึงทำให้ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากถึง 7.9 กิโลกรัม [6]

อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาในประเด็นคุณลักษณะอื่นๆ ของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 พบว่าไม่มีความสอดคล้องของเนื้อหากับเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ในคุณลักษณะด้าน “ความมั่นคงของเครื่อง” (IOC = 0.00) โดยผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นในประเด็นโครงสร้างมีความไม่มั่นคงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของมอเตอร์สำหรับการหมุนแกนบนระนาบด้านหน้า (Frontal plane) มีน้ำหนักมากถึง 1.3 กิโลกรัม เมื่อต่อเข้ากับแกนพลาสติก ABS Filament และเปิดใช้งาน พบว่าแรงหมุนของมอเตอร์ขณะทำงานและน้ำหนักของมอเตอร์ที่ค่อนข้างมากทำให้เกิดความไม่เสถียรของแกนพลาสติก โดยมีการโยกเอนและตกลงตามแรงโน้มถ่วง ส่งผลให้เมื่อนำไปใช้งานตัวเครื่องอาจจะไม่สามารถรองรับน้ำหนักของตัวมอเตอร์ได้หากมีการใช้งานต่อเนื่อง นอกจากนี้โครงสร้างพลาสติกบริเวณสำหรับรองรับฝ่าเท้าผู้ป่วยมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกประกอบยึดกันด้วยน็อตในรูปแบบบานพับ ส่งผลให้ความแข็งแรงในการรองรับน้ำหนักเท้าของผู้ป่วยมีจำกัด การพัฒนาต่อยอดในอนาคต ควรปรับเปลี่ยนโครงสร้าง บริเวณที่รองรับน้ำหนักฝ่าเท้าของผู้ป่วยจากพลาสติก ABS Filament เป็นอะลูมิเนียม เพื่อให้อุปกรณ์มีความแข็งแรง คงทน และสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blanco Ortega A และคณะ ค.ศ. 2022 ได้พัฒนาเครื่องออกกำลังข้อเท้าและข้อไหล่ที่ควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเชิงตัวเลข (Computer Numerical Control, CNC) ใช้โครงสร้างเป็น Aluminum profile เนื่องจากมีความแข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี ทนทานต่อการใช้งาน น้ำหนักเบา และขึ้นรูปได้ง่าย [29] จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถรองรับน้ำหนักของตัวมอเตอร์และฝ่าเท้าของผู้ป่วยได้มากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาโครงสร้างหลักของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 นี้ พบว่ายังมีความมั่นคงและทนทานพอสำหรับการรองรับน้ำหนักขาของผู้ป่วยขณะออกกำลังกายได้

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของตัวเครื่อง ด้านการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย พบค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา IOC = –0.33 โดยผู้วิจัยได้กำหนดคุณสมบัติด้านการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย คือ ตัวเครื่องสามารถพับเก็บและมีที่จับสำหรับถือพกพาได้ แต่เครื่องออกกำลังกายข้อเท้ารุ่นที่ 2 นี้ ยังไม่สามารถพับเก็บและไม่มีที่จับเพื่อเคลื่อนย้ายได้ เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้า รุ่นที่ 2 นี้ ต้องการลดน้ำหนักของอุปกรณ์ให้มากที่สุด แต่ยังคงความแข็งแรงและรองรับน้ำหนักได้ดี จึงมีการปรับวัสดุที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมที่

น้ำหนักเบา โดยยึดโครงสร้างต่างๆ เข้ากันไว้ด้วยน็อต เพื่อวัตถุประสงค์ด้านความแข็งแรง ส่งผลให้ยังไม่สามารถพับเก็บได้ ทั้งนี้ปรับให้ตัวเครื่องสามารถกางออกและพับเก็บและมีตัวล็อคเพื่อเพิ่มความมั่นคง [30]

สำหรับคุณสมบัติด้านการใช้งานผ่านหน้าจอดิจิตอล (IOC = –0.67) ความแม่นยำในการปรับค่าองศาการเคลื่อนไหว (IOC = –1.00) ปุ่มกดคงค้างและขยับในทิศทางต่างๆ (IOC = –1.00) ตัวเครื่องสามารถบันทึกข้อมูลได้ (IOC = –1.00) และการใช้งานจากแบตเตอรี่ (IOC = –0.67) แสดงถึงตัวเครื่องไม่มีการใช้งานผ่านหน้าจอดิจิตอลในการปรับค่าองศา ไม่มีปุ่มกดคงค้าง ไม่สามารถบันทึกข้อมูลผ่านหน้าจอดิจิทอล และไม่สามาถใช้งานจากแบตเตอรี่ เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตที่มากจึงไม่สามารถผลิตให้ตัวเครื่องใช้งานผ่านหน้าจอดิจิตอลและจากแบตเตอรี่ได้ โดยตัวเครื่องใช้งานผ่านการใช้ไฟฟ้า หากปรับให้ตัวเครื่องมีการใช้งานผ่านหน้าจอดิจิตอลได้ จะสะดวกต่อการใช้งานกับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yupeng Ren และคณะ ค.ศ. 2022 ได้พัฒนาเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าที่สามารถสวมใส่ (A wearable ankle rehabilitation robotic device) ได้โดยมีการควบคุมและแสดงผลร่วมกับหน้าจอดิจิตอล ส่งผลให้สามารถเพิ่มแรงจูงใจในการฝึกให้ผู้ป่วยได้ดี และสามารถฝึกการกระดกข้อเท้าขึ้นและถีบปลายเท้าลงได้อย่างแม่นยำมากขึ้น [25] อย่างไรก็ตามเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 นี้ มีปุ่มกดที่สามารถปรับให้เคลื่อนไหวในทิศทางที่ต้องการได้ ซึ่งใช้งานง่ายกว่าเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 1

คุณสมบัติด้านการเคลื่อนไหว โดยเครื่องออกกำลังข้อเท้ารุ่นที่ 2 ที่ผลิตขึ้นนี้ สามารถเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบ ในทิศทางกระดกข้อเท้าขึ้น (IOC = –0.67) ถีบปลายเท้าลง (IOC = –0.67) บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน (IOC = –0.33) บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก (IOC = –0.33) แต่ไม่มีความแม่นยำต่อการแสดงผลและตั้งค่าองศา หากมีการพัฒนาต่อควรปรับปรุงเป็นอย่างยิ่ง โดยต้องปรับให้ตัวเครื่องมีความเสถียรมากขึ้น อาจมี digital inclinometer ซึ่งจะแสดงผลมุมเอียงเป็นองศาที่ละเอียดขนาดทศนิยม 1 ตำแหน่ง และมีเข็มทิศมาติดบริเวณจุดหมุนของตัวเครื่องเพื่อแสดงค่าองศาการเคลื่อนไหวของข้อเท้า [31]

สำหรับคุณสมบัติด้านความปลอดภัยของอุปกรณ์ พบค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา IOC = –0.33 โดยผู้วิจัยได้กำหนดคุณสมบัติตัวเครื่อง คือ มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉิน (Emergency stop) เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายและเกิดความเจ็บปวดระหว่างใช้งาน โดยเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ที่ผลิตขึ้นนี้มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินที่ติดอยู่ทางด้านข้างของตัวเครื่อง หากมีการใช้งานจริงต้องมีผู้ดูแลอยู่ด้วย เนื่องจากยังไม่มีสายเชื่อมที่ยาวมากพอสำหรับให้ผู้ป่วยกดเองเมื่อมีการเจ็บปวด ดังนั้นจึงต้องออกแบบปุ่มกดหยุดฉุกเฉินให้มีสายเชื่อมให้ผู้ใช้งาน

สามารถกดได้ด้วยตนเอง โดยห่วงเกี่ยวนิรภัย (carabineer) ต้องรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 6 เท่าของแรงดึงสูงสุดที่ออกแบบไว้ เชือก และอุปกรณ์ในการยึดโยงต้องไม่แตกหักและใช้งานได้จริง [27]

ผลการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity)

เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมหรือองศาการเคลื่อนไหวของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 กับอุปกรณ์ Goniometer พบว่า ทิศทางการเคลื่อนไหวในการกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน และบิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ 0.97 9.96 0.98 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึง เครื่องมือมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพสูง (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง –1.0 จนถึง +1.0 โดยหากค่า r เข้าใกล้ –1.0 หมายถึงตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันในเชิงตรงกันข้าม แต่หากค่า r มีค่าเข้าใกล้ +1.0 หมายถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และหากค่า r เท่ากับ 0 หมายถึงตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน) แต่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p–value > 0.05) เนื่องจากมีจำนวนการเปรียบเทียบที่น้อย (n=40) [32] ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าองศาของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 กับ goniometer ในการวัดมุมเปรียบเทียบกัน จำนวน 40 ครั้ง พบว่าค่าตรงกันเพียง 3 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 7.5 แสดงถึงตัวเครื่องไม่มีความเสถียรในการปรับค่าองศา อาจเนื่องมาจากตัวมอเตอร์มีน้ำหนักที่มาก อาจทำให้ตัวเครื่องเอียงออกจากแนวระนาบปกติ จึงส่งผลให้มุมการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้จึงต้องเปลี่ยนตัวมอเตอร์และโครงสร้างให้มีความเสถียรโดยสามารถล็อคมุมพร้อมบอกองศาการเคลื่อนไหวได้ [6]

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 นี้มีการพัฒนาไปในทางที่ดี แต่ยังไม่เสถียรในการปรับค่าองศา ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการใช้งานของเครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 หากมีการพัฒนาต่อยอดควรออกแบบให้มีความแม่นยำในการปรับค่าองศาและการแสดงค่าองศาที่ชัดเจน ควรมีการใช้งานและการบันทึกข้อมูลผ่านหน้าจอดิจิตอล ตัวเครื่องควรปรับความเร็วให้ช้าลงได้มากกว่านี้เพื่อความเหมาะสมต่อการฟื้นฟูผู้ป่วย ควรคำนึงถึงความแข็งแรงของเครื่องหากต้องรองรับน้ำหนักขาที่มากแตกต่างกันของผู้ป่วย ตัวเครื่องสามารถปรับความสูงให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละรายได้ ปุ่มฉุกเฉินควรมีสายเชื่อม

ยาวมากพอที่ผู้ป่วยสามารถกดเองได้หากมีการเจ็บปวด ควรมีที่รองรับสำหรับข้อเท้าขณะมีการเคลื่อนไหว ควรปรับโครงสร้างเพื่อความมั่งคง โดยเพิ่มฐานรองรับบริเวณมอเตอร์

สรุปผลการศึกษา

เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 ที่ออกแบบและผลิตขึ้นมานี้มีข้อดีอย่างมาก คือ มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบ อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะอื่น ๆ ที่กำหนด ยังไม่มีความสอดคล้องเชิงเนื้อหา ได้แก่ ตัวเครื่องมีความมั่นคง สะดวกในการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย โดยตัวเครื่องต้องสามารถพับเก็บ และมีจับสำหรับถือพกพา ใช้งานง่าย ด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน การเคลื่อนไหวของตัวเครื่องในทิศทางกระดกข้อเท้าขึ้น ถีบปลายเท้าลง บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก มีปุ่มกดเพื่อคงค้าง และขยับในทิศทางต่าง ๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ตัวเครื่องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ที่สามารถชาร์จแบตได้ ซึ่งในการชาร์จแบต 1 ครั้ง สามารถออกกำลังกายแบบต่อเนื่องได้อย่างน้อย 60 นาที และตัวเครื่องสามารถบันทึกข้อมูล เช่น องศา และระยะเวลาออกกำลังของผู้ใช้แต่ละคนได้ เครื่องออกกำลังกายข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 นี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพานิชย์ได้ ดังนั้นหากมีการพัฒนาต่อยอดให้มีความเสถียรมากขึ้นและนำไปทดสอบประสิทธิภาพของตัวเครื่องต่อไปจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งหากต้องนำไปใช้กับผู้ป่วยในชุมชนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Physiopedia. **Ankle and Foot.** [online] 2020 [cited 2022 Dec 18]. Available from: https://www.physio-pedia.com/Ankle_and_Foot?fbclid=IwAR3jA0ylbv4MN-Mw-2306d0suLS4dwsYSo5SqbajaNCMFSkzIvkzZgmzL3I.

2. Physiopedia. **Foot and Ankle Structure and Function.** [online] 2020 [cited 2022 Dec 18]. [Available from: https://www.physio-pedia.com/Foot_and_Ankle_Structure_and_Function?fbclid=IwAR26Zrucj6Jvf0KXZhNd3N5DcCftCxCPfb_2NbqRb8CaEs3kxtOMSn5wmm8.

3. Quinn E. **Generally Accepted Values for Normal Range of Motion (ROM) in Joints.** [online] 2021 [cited 2022 Dec 18]. [Available from: https://www.verywellhealth.com/what-is-normal-range-of-motion-in-a-joint-3120361.

4. ทศพร พิชัยยา, ศิริพันธุ์ คงสวัสดิ์, รัตนา ภินันท์ชัย. **กายภาพบำบัดในผู้ป่วยทางระบบประสาท 1**. 2545.

5. Saga N, editor Development of an ankle CPM trainer for prevent contracture using the pneumatic balloon actuator. **IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human–Machine Systems**; 2010.

6. ธิดารัตน์ เจือจาน, พรพิมล วรรณภักดี, สุพรรษา เทพปณะ. **การพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายข้อเท้า** [ปริญญากายภาพบำบัดบัณฑิต]. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา; 2562.

7. ศศิธร มุกประดับ, ประณีต ส่งวัฒนา, วิภา แซ่เซี้ย. โปรแกรมส่งเสริมการเคลื่อนไหวแบบมุ่งเป้าหมายต่อผลลัพธ์ด้านกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่อในผู้ป่วยบาดเจ็บที่มีข้อจำกัดการเคลื่อนไหว: การศึกษานำร่อง. **Thai Journal of Nursing Council**. 2014;29(2):49-60.

8. Physiopedia. **Continuous Passive Motion (CPM).** [online] 2020 [cited 2022 Dec 18]. [Available from: https://www.physio-pedia.com/Continuous_Passive_Motion_(CPM)?fbclid=IwAR0iflXYyKqrAisRY2eYQXIAJ6fgmxbdh8tP98lEcOv26vYGRRQ5MzGeqcg.

9. นิดา วงศ์สวัสดิ์, เบญจพร ศักดิ์ศิริ. **การวิจัยและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เครื่องช่วยขยับข้อเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง**. วิทยาลัยราชสุดาเพื่อการวิจัยและพัฒนาคนพิการ. 2555;8.

10. Hospital BI. **Reboot Your Step รักษ์เท้าเพื่อก้าวที่มั่นคง.** [ออนไลน์] 2565 [อ้างเมื่อ 12 ธันวาคม 2565]. [Available from: https://www.bangkokinternationalhospital.com/th/health-articles/diseases-and-treatments/reboot-your-step-safe-your-feet?fbclid=IwAR3C0z9hCieIcB5rIGzz-0LqdCpkiCeEyjxmKqEdQwjdF4JN9ErJ3szOxNA.

11. นายแพทย์ศุภโชค รัศมีมงคล. **กระดูกเท้า**. [ออนไลน์] 2565 [อ้างเมื่อ 12 ธันวาคม 2565]. [Available from: https://supachokclinic.com/foot-bone/?fbclid=IwAR37uLNzNWyrOX1hjyZCG9jazD0bVn4FBvCpY5tV3tsadLnXgVw7LXDhb50.

12. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. **Orthop Trauma**. 2016;30(3):232-8.

13. Tsoi Y-H, Xie SQ, Graham AE. Design, Modeling and Control of an Ankle Rehabilitation Robot. In: Liu D, Wang L, Tan KC. **Design and Control of Intelligent Robotic Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009. p. 377-99.

14. KDMS. **การรักษาโรคเท้าและข้อเท้าที่ KDMS**. [ออนไลน์] 2565 [อ้างเมื่อ 12 ธันวาคม 2565]. [Available from: https://kdmshospital.com/service/foot-and-ankle-surgery/?fbclid=IwAR0S-wcntGVDzpGaYdi01MKDorHP3vntxhXbRLBGnhVe5BR88ZLHNjXwzk8.

15. Wongkarnpat. **อุปกรณ์ช่วยขยับข้อเท้าช่วยผู้ป่วยภาวะข้อเท้าตก ม.มหิดล ฟื้นฟูกล้ามเนื้อข้อเท้า ใช้ง่าย ติดตั้งได้ที่บ้าน**. [ออนไลน์] 2560 [อ้างเมื่อ 12 ธันวาคม 2565]. [Available from: https://www.wongkarnpat.com/viewpat.php?id=530&fbclid=IwAR1GsoN1ru00u6Bn1CGXCHDkhx80dIIagqBTUs25lxJVldRHhc5fiJFKGiM.

16. กรุงเทพธุรกิจ. **นักกายภาพไทย เจ๋งประดิษฐ์อุปกรณ์ช่วยผู้ป่วยข้อเท้าตก**. [ออนไลน์] 2556 [อ้างเมื่อ 13 ธันวาคม 2565]. [Available from: https://www.bangkokbiznews.com/tech/534465?fbclid=IwAR2asszkcraRj8hNZ-13dS8phhZ__beaHG28ZidoftO7-LrVMF2Gm2TvP18.

17. Ver C, Hofgart G, Kardos L, Csiba L. Ankle-Foot Continuous Passive Motion Device for Mobilization of Acute Stroke Patients. **Open Journal of Therapy and Rehabilitation**. 2015;Vol.03No.02:12.

18. Selles RW, Li X, Lin F, Chung SG, Roth EJ, Zhang LQ. Feedback-controlled and programmed stretching of the ankle plantarflexors and dorsiflexors in stroke: effects of a 4-week intervention program. **Arch Phys Med Rehabil**. 2005;86(12):2330-6.

19. Ang CT, Hamzaid NA, Chua YP, Saw A, editors. **Continuous Passive Ankle Motion Device for Patient Undergoing Tibial Distraction Osteogenesis2011**; Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

20. คมสัน มุ่ยสี, กฤษณะ จันทสิทธิ์, ศรายุทธ์ จินตรพัฒนากุล. **การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพก**. 2563;20.

21. Ortega AB, Salazar AM, Valdivia CG, Becerra FAG, Gallegos MP, Velarde MG, et al. CNC Machines for Rehabilitation: Ankle and Shoulder. **Machines**. 2022;10(11):1055.

22. Toda H, Sugihara S. Ankle joint stretching device using tension rod for self rehabilitation. **Journal of Robotics and Mechatronics**. 2021;33(4):843-50.

23. Clarkson HM. **Musculoskeletal Assessment: Joint Motion and Muscle Testing**. United State: Lippincott Williams and Wilkins; 2012.

24. Ankleinfo. **Biomechanics.** [serial online] 2018 [cited 2023 Sep 23]. Available from:https://www.ankleinfo.net/biomechanics?fbclid=IwAR2GlLKUi_wypHFA5QqGeIBNYMWKsYwesB-IHXP6Xo1yUccV0g51DywTX1M

25. Ren Y, Wu Y, Yang C, Xu T, Haevey RL, Zhang L. Developing a Wearable Ankle Rehabilitation Robotic Device for in-Bed Acute Stroke Rehabilitation. **IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng**. 2017;25(6):589-96.

26. ExRx. **Joint Range of Motions and Interactions**. [serial online] 2015 [cited 2023 Sep 23]. Available from: https://exrx.net/Testing/JointROM?fbclid=IwAR22PJImkJoKfGp_keXs99LCAGHvKDW4y0ifQu0EHA4isaFTyPAdLtJugyk

27. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องออกกำลังกายในที่ร่มเล่ม 1 ข้อกำหนดทั่วไปด้านความปลอดภัยและวิธีทดสอบ**. [ออนไลน์] 2560 [อ้างเมื่อ 23 กันยายน 2566]. [Available from: https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2880_1-25xx.pdf

28. Xometry. **All About ABS 3D Printing Filament: Materials, Properties, Definition.** [serial online] 2022 [cited 2023 Sep 23]. Available from:

https://www.xometry.com/resources/3d-printing/abs-3d-printing-filament/?fbclid=IwAR2GAFDLRIdlrXA2Aw7UlV1buqQaOABxvrCDeNt4sUqRiJdTIP7otlRm2z8

29. Ortega AB, Salazar AM, Valdivia CHG, Becerra FAG, Gallegos MJP, Velarde MAG, et al. CNC Machines for Rehabilitation: Ankle and Shoulder. **Machines** 2022; 10,1055.

30. Chattanooga group. **Optiflex Ankle CPM**. [serial online] 2020 [cited 2023 Sep 23]. Available from: v=1586289868&fbclid=IwAR17fzj__yjkxSzj7Zi9dkm0b2L0hYjI_q__AY0JdlMF8hg4GdgxSEAFYVk

31. Panngooluem K, Euegpinichpong W. Reliability and validity of a "WE-CAP" device for measurement of cervical range of motion. **J Med Tech Phy Ther**. 2018; 30(2): 237-43.

32. Opexresources. **Interpreting the Pearson Coefficient**. [serial online] 2017 [cited 2023 Oct 8]. Available from: https://opexresources.com/interpreting-pearson-coefficient/

ภาคผนวก ก
แบบคัดกรองอาสาสมัครสุขภาพดีที่ตรงตามเกณฑ์การคัดเลือก

แบบคัดกรองอาสาสมัครสุขภาพดีที่ตรงตามเกณฑ์การคัดเลือก

รหัสอาสาสมัคร..... อายุ.....ปี เพศ.....

น้ำหนัก..... กก. ส่วนสูง.....ซม. BMI.....Kg/m2

โรคประจำตัว .....

กรุณากรอกข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริงจากการสัมภาษณ์หรือตรวจประเมิน หรือทำเครื่องหมาย ในช่องว่างที่กำหนดให้

1. อายุระหว่าง 20–30 ปี
   ใช่ ไม่ใช่
2. ไม่มีโรคประจำตัว
   ใช่ ไม่ใช่
3. ไม่มีการบาดเจ็บของข้อเท้า
   ใช่ ไม่ใช่
4. ไม่มีการได้รับประทานยาคลายกล้ามเนื้อ ใน 24 ชั่วโมงก่อนมาร่วมทำการทดสอบ
   ใช่ ไม่ใช่

*ถ้า “ใช่” ทั้ง 4 ข้อข้างต้น แสดงว่าตรงตามเกณฑ์ที่กำหนด

5. มีความผิดปกติของข้อเท้า
   ใช่ ไม่ใช่
6. เคยได้รับการผ่าตัดข้อเท้า
   ใช่ ไม่ใช่
7. มีความบกพร่อง หรือมีโรคที่เกี่ยวกับผิวหนัง
   ใช่ ไม่ใช่
8. ไม่ให้ความร่วมมือในการทดสอบ
   ใช่ ไม่ใช่

*ถ้ามีข้อที่ “ใช่” อย่างน้อย 1 ข้อ ในข้อที่ 5–8 แสดงว่าไม่ตรงตามเกณฑ์กำหนด

ภาคผนวก ข
แบบบันทึกข้อมูลอาสาสมัคร

แบบบันทึกข้อมูลอาสาสมัคร

รหัสอาสาสมัคร	

รายการ	ข้อมูลอาสาสมัคร
อายุ	
เพศ	
โนคประจำตัว	
น้ำหนัก	
ส่วนสูง	
BMI	

การเคลื่อนไหวของข้อเท้า	จำนวนการวัด	เก็บข้อมูลครั้งที่ 1	เก็บข้อมูลครั้งที่ 2
dorsiflexion	ครั้งที่ 1		
	ครั้งที่ 2		
	ครั้งที่ 3		
	ค่าเฉลี่ย		
Plantar flexion	ครั้งที่ 1		
	ครั้งที่ 2		
	ครั้งที่ 3		
	ค่าเฉลี่ย		
Inversion	ครั้งที่ 1		
	ครั้งที่ 2		
	ครั้งที่ 3		
	ค่าเฉลี่ย		
Eversion	ครั้งที่ 1		
	ครั้งที่ 2		
	ครั้งที่ 3		
	ค่าเฉลี่ย		
บันทึกข้อมูลครั้งที่ 1 เมื่อวันที่			

.....

บันทึกข้อมูลครั้งที่ 2 เมื่อวันที่

.....

ผู้ประเมิน.....

( )

ภาคผนวก ค
แบบประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาการพัฒนาทดสอบ

แบบประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาการพัฒนาทดสอบ

คำชี้แจง : แบบสอบถามนี้จัดขึ้นเพื่อใช้ประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาการพัฒนาทดสอบอุปกรณ์ของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบคุณภาพเครื่องออกกำลังข้อเท้าแบบต่อเนื่อง รุ่นที่ 2 โดยขอความกรุณาผู้ตอบแบบสอบถามให้คำตอบตามความเป็นจริงโดยเติมเครื่องหมาย / ในแต่ละข้อของการประเมิน

1+ หมายถึง เนื้อหามีความสอดคล้อง

–1 หมายถึง เมื่อเนื้อหาไม่สอดคล้อง

0 หมายถึง ไม่ แน่ใจ

	1+	–1	0
1. ตัวเครื่องต้องมีความมั่นคง			
2. น้ำหนักเบาไม่เกิน 5 กิโลกรัม			
3. สะดวกต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายโดยตัวเครื่องต้องสามารถพับเก็บและมีที่จับสำหรับถือพกพาได้			
4. ใช้งานง่ายด้วยปุ่มกดผ่านหน้าจอดิจิตอลที่ไม่ซับซ้อน			
5. มีความแม่นยำสูงในการปรับค่าองศารวมถึงหน้าจอการแสดงผลอย่างชัดเจน			
6. อุปกรณ์เคลื่อนไหวในทิศทาง 6.1 กระดกข้อเท้าขึ้น 20 องศา 6.2 ถีบปลายเท้าลง 50 องศา 6.3 บิดหมุนปลายเท้าเข้าด้านใน 35 องศา 6.4 บิดหมุนปลายเท้าออกด้านนอก 15 องศา			
7. มีปุ่มกดเพื่อคงค้างและขยับในทิศทางต่าง ๆ ตามการเคลื่อนไหวที่ต้องการ			
8. มีปุ่มกดหยุดฉุกเฉินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ			
9. ตัวเครื่องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จแบตได้ ซึ่งในการชาร์จแบต 1 ครั้งสามารถออกกำลังแบบต่อเนื่องได้อย่างน้อย 60 นาที			

10. ตัวเครื่องสามารถบันทึกข้อมูล เช่น องศา และระยะเวลาออกกำลังของผู้ใช้แต่ละคนได้			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง
แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

Random No.	Ankle Exercise Device		Universal Goniometer	
	Direction	ROM (°)	Direction	ROM (°)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				

25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				
33.				
34.				
35.				
36.				
37.				
38.				
39.				
40.				

ภาคผนวก จ
เอกสารเชิญชวนอาสาสมัครเข้าร่วมวิจัย

เอกสารเชิญชวนอาสาสมัครเข้าร่วมวิจัย