

TOE CLEARANCE AND LOWER LIMB KINEMATICS DURING SWING PHASE OF WALKING  
OVER THE OBSTACLES IN POSTOPERATIVE TOTAL KNEE ARTHROPLASTY



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy in Biomedical Sciences  
Inter-Department of Biomedical Sciences  
GRADUATE SCHOOL  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2020  
Copyright of Chulalongkorn University

การยกเท้าพื้นพื้นและจลศาสตร์ของรยางค์ล่างขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยน  
ข้อเข่า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาชีวเวชศาสตร์ สหสาขาวิชาชีวเวชศาสตร์  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title TOE CLEARANCE AND LOWER LIMB KINEMATICS DURING  
SWING PHASE OF WALKING OVER THE OBSTACLES IN  
POSTOPERATIVE TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

By Miss Archrawadee Srijaroon

Field of Study Biomedical Sciences

Thesis Advisor Associate Professor Sompol Sanguanrungririkul, M.D.

Thesis Co Advisor Associate Professor Pongsak Yuktanandana, M.D.

---

Accepted by the GRADUATE SCHOOL, Chulalongkorn University in Partial  
Fulfillment of the Requirement for the Doctor of Philosophy

..... Dean of the GRADUATE SCHOOL  
(Associate Professor Dr. THUMNOON NHUJAK, Ph.D.)

DISSERTATION COMMITTEE

..... Chairman  
(Professor Prawit Janwantanakul, Ph.D.)

..... Thesis Advisor  
(Associate Professor Sompol Sanguanrungririkul, M.D.)

..... Thesis Co-Advisor  
(Associate Professor Pongsak Yuktanandana, M.D.)

..... Examiner  
(Professor Sittisak Honsawek, M.D.)

..... Examiner  
(Assistant Professor Anong Tantisuwat, Ph.D.)

..... External Examiner  
(Assistant Professor Sunee Bovonsunthonchai, Ph.D.)

อัจฉราวดี ศรีจรูญ : การยกเท้าพ้นพื้นและจลศาสตร์ของรยางค์ล่างขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า. ( TOE CLEARANCE AND LOWER LIMB KINEMATICS DURING SWING PHASE OF WALKING OVER THE OBSTACLES IN POSTOPERATIVE TOTAL KNEE ARTHROPLASTY) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. นพ.พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันท์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยกเท้าพ้นพื้นและจลศาสตร์ของรยางค์ล่างขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า อาสาสมัครเป็นผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม จำนวน 20 คน โดยผู้ป่วยจะได้รับการทดสอบและติดตามผลก่อนการผ่าตัด หลังการผ่าตัดเดือนที่ 3 และ 6 และกลุ่มควบคุมเป็นอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี จำนวน 20 คน ทำการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่ม อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มมีอายุระหว่าง 65-85 ปี อาสาสมัครจะได้รับการทดสอบการเคลื่อนไหวของข้อต่อรยางค์ล่าง ความยาวขา ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา การรับรู้สึกของข้อต่อรยางค์ล่าง การยืนทรงตัวขาเดียว แบบประเมินข้อเข่าเสื่อม KOOS การทดสอบการเดินจะให้อาสาสมัครเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางที่มีความสูง 3 ระดับ (2.5 ซม., 5 ซม., 10 ซม.) ที่ตั้งอยู่ตรงกลางทางเดิน และเดินด้วยความเร็วปกติของแต่ละคนเป็นระยะทาง 8 เมตร จากนั้นนำผลการตรวจมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของบอนเฟอร์นี ผลการวิจัยพบว่า หลังผ่าตัดเป็นเวลา 6 เดือน ผู้ป่วยสามารถเดินได้เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม ขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางที่มีความสูง 2.5 ซม. ผู้ป่วยหลังผ่าตัดเป็นเวลา 6 เดือน ยกเท้าพ้นพื้นได้ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมที่ระยะเริ่มยกเท้า เมื่อเดินข้ามสิ่งกีดขวางที่สูงขึ้นระดับ 5 ซม. และ 10 ซม. ผู้ป่วยหลังผ่าตัดเป็นเวลา 6 เดือน ยกเท้าได้ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ทำการทดสอบในช่วงเวลาเดียวกันจะพบว่าผู้ป่วยหลังผ่าตัดเป็นเวลา 6 เดือน มีการงอข้อสะโพก และงอข้อเข่าได้อ่อนคือน้อยกว่ากลุ่มควบคุม แต่ในช่วงเริ่มยกเท้าไม่พบการเปลี่ยนแปลงขององศาการกระดกข้อเท้าของทั้งสองกลุ่ม หลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าจะมีลักษณะการเดินที่เปลี่ยนแปลงไปโดยที่จะมีการยกเท้าพ้นพื้นได้ลดลง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัจจัยเสี่ยงต่อการสะดุดล้มขณะก้าวข้ามสิ่งกีดขวางขึ้นได้ เนื่องจากการลักษณะเคลื่อนไหวของเท้าอยู่ใกล้กับพื้น นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยหลังผ่าตัดเป็นเวลา 6 เดือน มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอ่อนกว่ากลุ่มควบคุมและยังพบว่าการทรงตัวขณะอยู่นิ่งค่อนข้างน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ถึงแม้ว่าผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมที่ได้รับการผ่าตัดจะไม่สามารถเดินได้ในลักษณะที่ใกล้เคียงเทียบเท่าคนปกติ แต่ผู้ป่วยที่ผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าก็มีความพึงพอใจในการผ่าตัด เพราะการผ่าตัดทำให้คนไข้มีอาการปวดเข่าลดลง สามารถทำกิจวัตรประจำวันต่างๆ ได้ดีขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะคงสมรรถภาพทางกายหลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า โปรแกรมการฝึกการย่างค้ำ เช่น การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อรยางค์ล่าง การฝึกการทรงตัว อาจเป็นปัจจัยสำคัญรูปแบบหนึ่งของโปรแกรมการฟื้นฟูภายหลังการผ่าตัดอย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา ชีวเวชศาสตร์  
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ นิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5787829420 : MAJOR BIOMEDICAL SCIENCES

KEYWORD: Toe clearance, Lower limb kinematics, Knee osteoarthritis, Total knee arthroplasty, Obstacle, Walking, Tripping, Falling

Archrawadee Srijaroon : TOE CLEARANCE AND LOWER LIMB KINEMATICS DURING SWING PHASE OF WALKING OVER THE OBSTACLES IN POSTOPERATIVE TOTAL KNEE ARTHROPLASTY. Advisor: Assoc. Prof. Sompol Sanguanrungrasirikul, M.D. Co-advisor: Assoc. Prof. Pongsak Yuktanandana, M.D.

The purpose of this study was to determine minimum toe clearance and lower limb kinematics at initial swing and mid-swing phase during walking over the obstacles in patients with knee osteoarthritis after total knee arthroplasty (TKA). Twenty patients aged 65-85 years with knee OA were included to the study before surgery, three and six months following TKA and twenty age-matched healthy controls were collected the data for comparisons. All participants were asked to perform range of motion test, muscle length test, leg length, leg muscles strength test, joint position sense test, single-leg balance test, Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). For gait analysis, participants were assessed while walking crossed the obstacles (2.5, 5, 10 cm) which placed at the center of an 8-m along walking path. The data were analyzed using ANOVA with repeated measure followed by Bonferroni's multiple comparisons. The results revealed the six-month postoperative patients improved gait speed among the TKA patients. When they crossed over the obstacle (2.5 cm), it showed no significant difference in toe clearance at the initial swing phase. At obstacle heights of 5 and 10 cm, toe clearances of the six-month postoperative patients were lower than those of the controls. At the same time points, they also exhibited decreased hip flexion and knee flexion at the initial swing phase but ankle dorsiflexion was changed in a similar pattern of both groups. These altered gait movement pattern with decreased toe clearance had identified as risk factors for tripping during obstacle-crossing due to the toe trajectory closed to the ground surface. Additionally, the lower limb strength of the six-month postoperative patients was weaker than those controls and they also had slightly decreased in static balance compared with the controls. Although the TKA patients could not return to their normal gait patterns, their treatment proved to be successful in terms of knee arthritis, which delivered relatively high satisfaction because the patients experienced pain relief and functional recovery and required improvement in the quality of life. In order to maintain physical performance after TKA, training program of lower extremity such as strengthening of lower limb muscle or balance training exercise may be an important component of the effective postoperative rehabilitation programs.

Field of Study: Biomedical Sciences

Academic Year: 2020

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## ACKNOWLEDGEMENTS

I am deeply grateful to my advisor, Assoc. Prof. Sompol Sanguanrungsirikul who spent numerous hours sharing his knowledge and intelligence. He continuously provided valuable guidance, comments and enthusiasm with his patience throughout this study. I could not have imagined having a better advisor and mentor for my Ph.D. study. I am also grateful to my co-advisor, Assoc Prof. Pongsak Yuktanandana for his excellent guidance about the TKA processing and providing the knee OA patients.

I also would like to thank my thesis committee, Prof. Dr. Prawit Janwantanakul, Prof. Dr. Sittisak Honsawek, M.D., Asst. Prof. Dr. Anong Tantisuwat and Asst. Prof. Dr. Sunee Bovonsunthonchai for their insightful comments and suggestions.

My special thanks to the lab supervisor and research unit on the Excellent Center for Gait and Motion, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Faculty of medicine, Chulalongkorn University, which furnished hospitality for learning and conducting research. I also thank co-workers in sport medicine program, department of physiology for their help, generousness and support.

I would like to thank my volunteers for their participation in this program and acknowledge Chulalongkorn University for funding through the Ratchadapisek Sompoch Endowment Fund and the 90th Anniversary of Chulalongkorn University Scholarship that supported my study.

Finally, my deep application goes to my parents, aunts and grandmother who have supported and encouraged me for higher academic achievement. Thankful for their loves and supporting me spiritually throughout my life.

Archrawadee Srijaroon

## TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT (THAI) .....	iii
ABSTRACT (ENGLISH) .....	iv
ACKNOWLEDGEMENTS .....	v
TABLE OF CONTENTS .....	vi
LIST OF FIGURES .....	x
LIST OF TABLES .....	xii
CHAPTER I .....	1
INTRODUCTION .....	1
Background and Rationales .....	1
Research questions .....	5
Objectives .....	6
Hypotheses .....	6
Conceptual Frameworks .....	7
Scope of research .....	8
Assumptions .....	8
Limitations .....	8
Keywords .....	9
Operational definitions .....	9
Expected benefits and applications .....	9
CHAPTER II .....	11
BACKGROUND AND LITERATURE REVIEWS .....	11

Osteoarthritis of the knee .....	11
Prevalence, etiology and risk factors of knee OA .....	11
Physiopathology.....	12
Sign and symptom.....	13
Treatment of osteoarthritis.....	14
Total knee arthroplasty .....	15
Outcomes of total knee arthroplasty.....	17
Gait phase and parameters.....	18
Gait analysis.....	21
Falling.....	22
Tripping .....	23
Risk factors of falling following a tripping.....	25
Walking gait following total knee replacement patients.....	30
Tripping on the obstacles in knee osteoarthritis patients.....	31
CHAPTER III.....	34
MATERIAL AND METHODS .....	34
Research design.....	34
Population and sample size.....	34
Eligibility Criteria .....	34
Inclusion criteria for participants in the total knee arthroplasty group.....	34
Inclusion criteria for control participants.....	35
Exclusion criteria for both groups.....	36
Sample size determination.....	36
Instrumentation.....	39



Procedure .....	39
Preparation for the testing protocol .....	39
Anthropometric measurement and body composition analysis .....	40
Bioelectrical impedance analysis (BIA) .....	40
Range of motion of lower limb.....	41
Muscle length test.....	48
Leg length discrepancy.....	52
Leg muscles strength test.....	55
Proprioception testing of the knee joint.....	57
Single-leg standing balance.....	60
Gait analysis Equipment .....	61
Gait analysis protocol.....	63
Data Analysis.....	66
CHAPTER IV .....	68
RESULTS.....	68
CHAPTER V .....	98
DISCUSSION.....	98
APPENDIX.....	108
APPENDEX A.....	109
APPENDIX B .....	125
APPENDIX C .....	129
APPENDIX D.....	139
REFERENCES .....	146
VITA.....	162

## LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1 Conceptual Framework.....	7
Figure 2 Prevalence of musculoskeletal diseases (Palazzo C et al., 2015).....	11
Figure 3 Risk factor of knee osteoarthritis.....	12
Figure 4 Development of knee osteoarthritis.....	13
(Goldring SR and Goldring MB., 2016).....	
Figure 5 The treatment for osteoarthritis of the knee .....	15
(Michael JWP et al., 2010)	
Figure 6 Incisions for total knee arthroplasty (Pryde JA, 2007).....	16
Figure 7 Total knee arthroplasty .....	17
(Wong J and Ries MD., 2013, Liddle AD et al., 2013)	
Figure 8 The phases of gait events (Janet M and Adams KC., 2018).....	20
Figure 9 Step (---) and stride (—) lengths for symmetrical walking.....	20
Figure 10 Stride width for symmetrical walking.....	21
Figure 11 Model of walking from gait analysis (Ancillao A., 2018).....	22
Figure 12 Risk factors of fall (Lim SC, 2010).....	23
Figure 13 Trip of right foot during left foot stance. (Ko et al., 2017).....	24
Figure 14 Illustration of parameters are extracted to represent the foot clearance.	24
(Dadashi et al., 2014)	
Figure 15 (A) Neutral alignment of lower limb, (B) Varus alignment of the knee.....	25
Figure 16 The differential neuronal control of leg extensor and flexor muscles(Dietz, 2002).....	28
Figure 17 Proprioceptive receptors of the knee (Roos et al., 2011).....	29
Figure 18 The afferent somatosensory feedback (Rossignol et al., 2006).....	30
Figure 19 Flow chart diagram of the study.....	38
Figure 20 bioelectrical impedance analysis.....	41
Figure 21 Hip flexion.....	43
Figure 22 Hip extension.....	44

Figure 23 Knee flexion.....	45
Figure 24 Knee extension.....	46
Figure 25 Ankle plantarflexion.....	47
Figure 26 Ankle dorsiflexion.....	48
Figure 27 Iliopsoas Muscle Length.....	49
Figure 28 Rectus Femoris Muscle Length.....	50
Figure 29 Hamstring Muscle Length.....	51
Figure 30 Gastrocnemius Muscle Length Test.....	52
Figure 31 Leg length discrepancy.....	54
Figure 32 A modified isometric dynamometer.....	55
Figure 33 Leg muscles strength test.....	57
Figure 34 Proprioception testing of the knee joint.....	59
Figure 35 Single-leg standing balance.....	61
Figure 36 Retro-reflective markers.....	62
Figure 37 Location of body landmarks.....	63
Figure 38 A height-adjustable obstacle.....	64
Figure 39 Computer set for data analysis.....	65
Figure 40 Walking crossed a height-adjustable obstacle.....	66
Figure 41 Toe clearance at the level walk.....	87
Figure 42 Toe clearance over the obstacle at 2.5 cm.....	87
Figure 43 Toe clearance over the obstacle at 5 cm.....	88
Figure 44 Toe clearance over the obstacle at 10 cm.....	89
Figure 45 Swing phase during walking before stepping over the obstacles.....	90
Figure 46 Sagittal kinematics of the hip, knee, and ankle when walking over the obstacle at 2.5 cm	92
Figure 47 Sagittal kinematics of the hip, knee, and ankle when walking over the obstacle at 5 cm	94
Figure 48 Sagittal kinematics of the hip, knee, and ankle when walking over..... the obstacle at 10 cm	96

## LIST OF TABLES

	Page
Table 1 Characteristics of the participants.....	68
Table 2 The knee characteristics of patient groups before TKA (P1), ..... three months after TKA (P2), six months after TKA (P3).	69
Table 3 Characteristics of patients with Knee Injury Osteoarthritis Outcome ..... Score (KOOS) data before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3).	71
Table 4 Description of the limb length discrepancies before TKA (P1),..... three months after TKA (P2), six months after TKA (P3) and compared to the control group (CG).	73
Table 5 Description of the lower extremity range of motion before TKA (P1),..... three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).	75
Table 6 Description of leg muscle strength before TKA (P1), three months ..... after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).	77
Table 7 Description of leg muscle length before TKA (P1), three months ..... after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).	79
Table 8 Description of joint position sense before TKA (P1), three months..... after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).	81
Table 9 Description of single leg balance with affected side before TKA (P1),..... three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).	83
Table 10 Characteristics of gait parameters for the patient groups..... before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG) at the level walk.	85

## CHAPTER I

### INTRODUCTION

#### Background and Rationales

Osteoarthritis (OA) is the most common form of arthritis and the knee is one of the most commonly affected joints. The high prevalence of knee osteoarthritis (KOA) is related to age and found more frequently in women than in men, especially in persons aged over 50. Knee osteoarthritis has characterized by the breakdown of the joint's cartilage. It causes the bones rubbing against each other which leads to cartilage loss, osteophyte development, and associated inflammation (1-3). The symptoms of osteoarthritis include pain, strength deficit, proprioceptive deficit, and loss of balance. For those individuals affected, these conditions have been indicated as a major cause of functional limitation and a decreased capacity to perform activities of daily living such as difficulty with standing up and sitting down from a chair, walking, and stair ascent and descent (4-6). In addition, lower limb arthritis has been shown to be a risk factor for fall with up to 50% reporting one or more falling each year (7). Guidelines for the treatment of KOA are aimed to lessen the pain and may stop the progression of the disease by giving conservative treatments such as physiotherapy, orthopedic aids, and orthoses, pharmacotherapy. In case that none of those treatments are achievable, total knee replacement surgery should be considered (8).

Total knee arthroplasty (TKA) is the most frequently performed joint replacement surgery of end-stage knee osteoarthritis (9). Joint replacement procedures are involved with the cutting of proximal and distal surfaces and replacing them with artificial joint implants that are made of chromium cobalt, titanium, or stainless steel (10). The goal of total knee replacement is to provide pain relief, improve knee function, and correct deformities (11, 12). After surgical treatment for severe knee osteoarthritis, the patients had decreased in pain and

improved physical activity (13). In addition, a primary indicator of functional recovery is attributed to walking (14). However, post-operative patients cannot fully reach their normal joint function in walking (15, 16). Furthermore, the study of elderly people who underwent TKA after 6-month revealed that an incidence of falling at 32.9% which is higher than healthy elderly people (17) and also found that there was approximately decrease by half in fear of falling one year after TKA (18).

The impact of falls in older persons is a matter of increasing concern to public health system since falling causes fragility fractures in aging. This condition leads to decrease their daily activity, may bring to needs for nursing care, and can be associated with the cause of death in older adults (19, 20). The majority of fall occurs during walking, and gait dysfunction is a risk factor which involves with fall as well (21). Tripping during walking or over an obstacle is usually found as an important factor that leads to fall in older people (22, 23). It has been documented in the literature that 21% of tripping was commonly reported cause of falls, accounting for 49% of falls while walking in older adults (24). Additionally, the study reported that osteoarthritis of the knee had a tendency to trip on obstacle in individual patients (25).

Tripping occurs when the swing foot contact the ground or an object during walking (26). One of the tripping indicators is minimum toe clearance. During walking, minimum toe clearance (MTC) is a critical event close to mid-swing in the walking gait cycle (27). It is defined as the minimum distance between the distal inferior surface of the shoe/foot and the ground surface (28). Such trips during walking may result if insufficient clearance is maintained during swing phase to avoid uneven ground or unseen obstacles (29). During this MTC event, the foot travels very close to the walking surface and MTC fluctuation has the potential to cause of tripping (30). Likewise, the study of Begg et al. (2007) suggested that a reduced MTC decreased the ability to clear surface irregularities associated with naturally occurring hazards such as broken paving, uneven floor coverings, and discarded objects (27).

Most of KOA patients have varus malalignment which affects the structure of joints (31). The patients will have multi-joint coordination of posture (i.e., trunk, pelvis, hip, knee, and ankle joint) with an increase of flexion position (32). Such change in posture can affect stability of body and could be attributed to a factor of tripping. In related research, it focused on kinematic strategies of individual with knee osteoarthritis at stance phase of walking. The result reveals that the effects of pre- and post-operative patients on the joint kinematic (the hip, knee, ankle range of motion) had no significantly change but there was the increased of ankle dorsiflexion in post-operative group compared to control group (14). Whereas, another study showed post-surgery TKA patients improved knee range of motion compared to pre-surgery patients but it indicated that the knee flexion was decreased compared to control group (33). Although it can be seen that the TKA has been successful in correct deformity, the knee recovery is still unable to fully function and it has impact on the function of ankle as well. Besides, individuals with KOA have neuromuscular changes which are negative impact on proprioception. This condition relates to the receptor in the knee (34). Thus, the roles of sensory information during walking is another factor that might be attributed to tripping. In osteoarthritis patients, receptors in the knee joint are located in the cruciate ligaments and menisci. Their function is to provide the mechanical stimulation to the central nervous system (35, 36). During walking, sensory signals enter the spinal cord through the dorsal roots. After that sensory signals travel to the higher levels and to the brain. Finally, the brain integrates and sends command signals to the spinal cord to set into motion of walking process (37). Therefore, after total knee replacement, the cruciates are resected. This condition can contribute to the loss of sensory input, which leads to alterations in gait pattern of lower extremity, and may accelerate tripping after TKA as well.

According to the literature review, it reveals that KOA patients who had yet to be receiving surgery were able to step across obstacles with different heights (10%, 20%, 30% of their leg lengths) and the distance between the toe and obstacle was

higher than those of the control group. Researcher suggested that KOA group had slightly swing knee flexion when the toe was over the obstacles and showed greater swing ankle dorsiflexion as well (38). Additionally, in the study on post-operative TKR patients, it shows that they could lift their feet over the obstacles of 6 and 18 cm and the distance between foot and objects was also higher than those of the control group. Moreover, it indicates that post-operative TKR patients compensate for deficits in surgical knee with more hip flexion during the elevation phase of swing. It can be seen that post-operative patients could walk across obstacles with a higher average displacement than those of healthy people (39).

It has come to my attention that post-TKA patients still had been having kinematic of lower extremity changes from normal group such as increased ankle dorsiflexion, decrease knee flexion, increased hip flexion. Interestingly, the tripping problem still persists in post-TKA patients even though such the pattern of movement can help those patient walk across the obstacles. As mentioned earlier, the literature review reveals that while the patients were walking across the obstacles, the researchers measured only the displacement between the foot and the obstacles. However, little research has been conducted to examine the evidence of MTC during initial swing phase where the foot position is close to the walking surface. Thus, it is likely that the foot will contact the obstacles and leads to tripping eventually. In this study the researcher would like to investigate the minimum toe clearance and lower limb kinematics in post-TKA patients who have resected the knee cruciate while walking over the obstacles. This research can provide data for assessment and prevention of fall in post-TKA and also guidelines for those patients to gain functional stability so that they can get back to their normal activities as soon as possible.



### Research questions

- How does minimum toe clearance in patients with knee osteoarthritis following total knee arthroplasty during swing phase of walking over the obstacles differ from a healthy control population?
- How does lower limb kinematics in patients with knee osteoarthritis following total knee arthroplasty during swing phase of walking over the obstacles differ from a healthy control population?

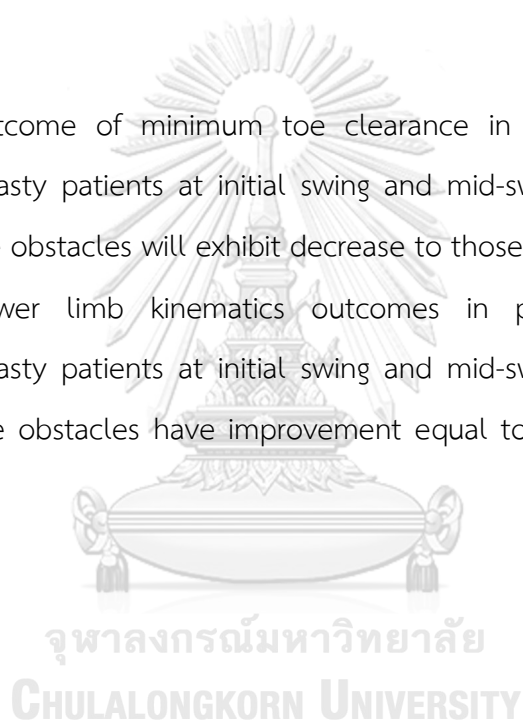


## Objectives

- To determine minimum toe clearance at initial swing and mid-swing phase during walking over the obstacles in patients with knee osteoarthritis after total knee arthroplasty compared to healthy control group.
- To investigate lower limb kinematics at initial swing and mid-swing phase during walking over the obstacles in patients with knee osteoarthritis after total knee arthroplasty compared to healthy control group.

## Hypotheses

- The outcome of minimum toe clearance in postoperative total knee arthroplasty patients at initial swing and mid-swing phase during walking over the obstacles will exhibit decrease to those of healthy control group.
- The lower limb kinematics outcomes in postoperative total knee arthroplasty patients at initial swing and mid-swing phase during walking over the obstacles have improvement equal to those of healthy control group.



## Conceptual Frameworks

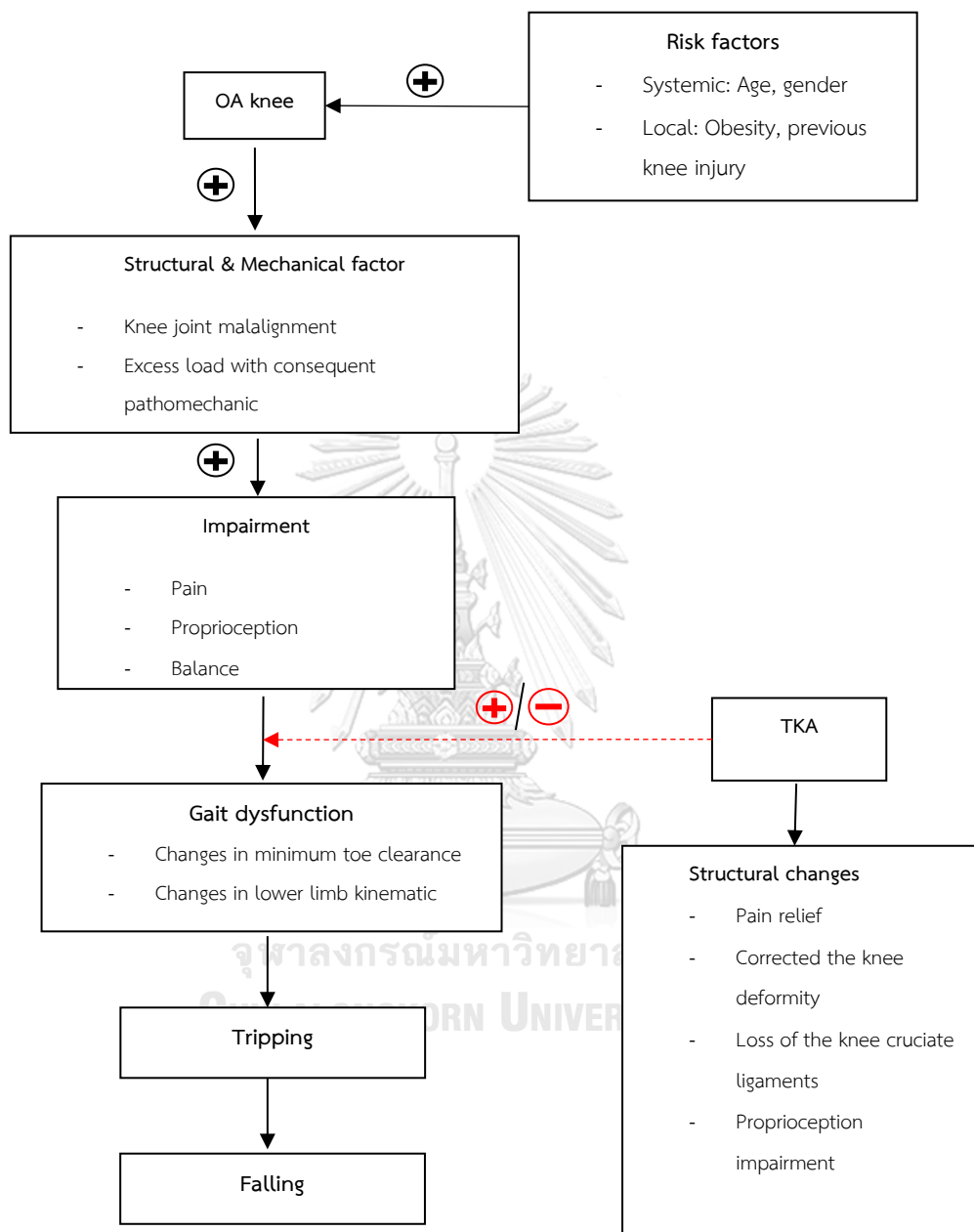


Figure 1 Conceptual Framework

### Scope of research

This study is a human experimental research in which elderly persons with or without total knee arthroplasty as the participants. They were able to engage the program for 6 months.

The study approval was obtained from the University Ethics Committee, Institutional Review Board, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University (No. 668/60). Written informed consent was obtained from each participant prior to participation. On attendance, participants were given the details of the research procedure and risk involved and reminded of their right to withdraw at any stage of the study.

### Assumptions

1. All participants voluntarily participated in this study
2. Participants had a diagnosis of knee OA with stage III or IV degenerative osteoarthritis according to the standards of Kellgren/Lawrence (K/L) by an orthopedic surgeon and had scheduled to receive total knee arthroplasty at King Chulalongkorn Memorial Hospital.
3. Participants for control group should be healthy with no physical problem that impeded the research.
4. The equipment was calibrated for standard accuracy and reliability.

### Limitations

1. This study required cooperation of various institutes which all equipment were used for the test.
2. The result of the study could not be extended to the general population who has total knee arthroplasty in all age range.

## Keywords

Toe clearance, lower limb kinematic, knee osteoarthritis, total knee arthroplasty, obstacle, walking, tripping, falling

## Operational definitions

1. Elderly is defined as participants aged between 65 to 85 years old.
2. Osteoarthritis of the knee is defined as participants who had stage III or IV degenerative osteoarthritis of the knee according to the standards of Kellgren/Lawrence (K/L).
3. Total knee arthroplasty is the surgical treatment for end-stage OA. It was done through standard medial parapatellar approach with patellar resurfacing under tourniquet control. It involves removing the damaged parts of bone at the end of the femur and top of the tibia and replaces them with prosthetic components such as chromium cobalt, titanium, or stainless steel.
4. Tripping is the situation that occurs when foot motion during the swing phase of gait makes unanticipated contact with an obstacle or an abrupt change in elevation of the walking surface.
5. Minimum toe clearance can be defined as the minimum vertical distance between the distal inferior surface of the shoe or foot and the walking surface near mid-swing.
6. Swing phase is the time when the foot is airborne during one gait cycle (GC) i.e., right foot toe-off to right foot initial contact. It occurs from 62% to 100% GC and divided into 3 phases such as initial swing 62%-75%, mid-swing 75%-87%, terminal swing 87%-100%.
7. Obstacle is the soft sponge material which consists of three different heights (depth =5 cm, width = 70 cm, heights =2.5 cm, 5 cm, and 10 cm).

## Expected benefits and applications

1. To provide data for assessment and prevention of fall in postoperative total knee arthroplasty.

2. To guideline for postoperative total knee arthroplasty patients to gain functional capacity in order to get back to their normal activity daily living.
3. Providing the preliminary data for the future research.



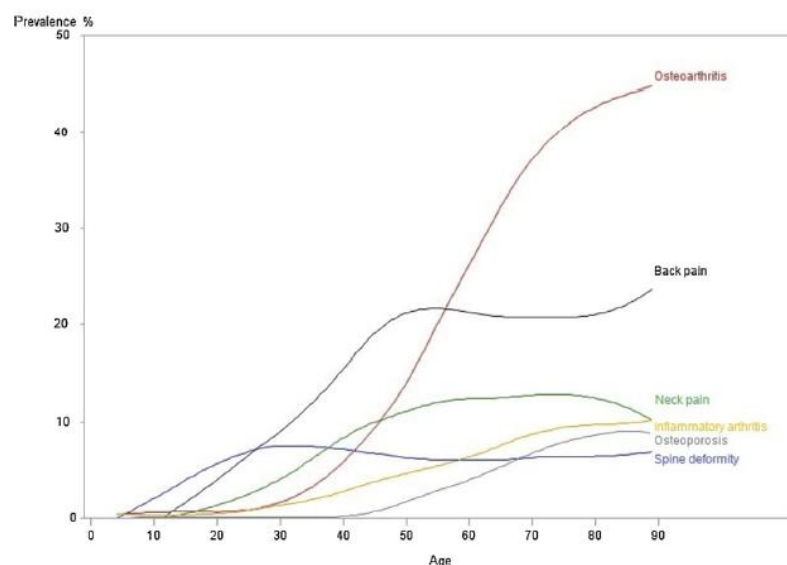
## CHAPTER II

## BACKGROUND AND LITERATURE REVIEWS

## Osteoarthritis of the knee

## Prevalence, etiology and risk factors of knee OA

Osteoarthritis (OA) is the most common form of arthritis in older people, affecting about 10% of adults aged over 60 years (40, 41) as shown in figure 2. The prevalence of knee osteoarthritis increases with age, especially, females are associated with a higher prevalence and severity of OA than men (42). Knee osteoarthritis is classified in two types: primary or idiopathic OA results from joint degeneration, this type of osteoarthritis is more commonly diagnosed. Secondary OA causes by injuries or a variety of hereditary, inflammatory, or developmental, metabolic, and neurologic disorders (43).



**Figure 2** Prevalence of musculoskeletal diseases (Palazzo et al., 2015)

The risk factors of OA can be divided into systemic risk factors include factors such as age, ethnicity, gender and genetic variables, genetics which are related the

development of OA and local risk factors are variables such as obesity, previous knee injury and occupational activities. Local factors have led to result in abnormal biomechanical loading of affected joints. Such a different set of risk factors acting together may cause OA onset in any given individual (Figure 3) (44, 45).

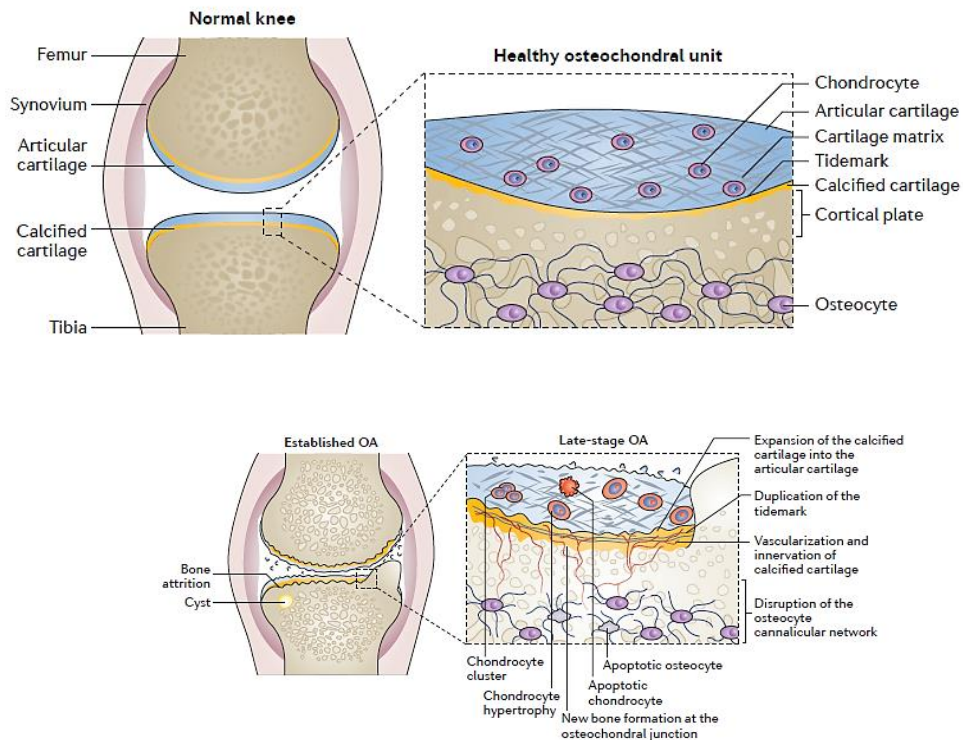
Risk factors	
Systemic Risk Factors	Local Biomechanical Risk Factors
Ethnicity	Joint injury
Age	Obesity
Gender and hormonal status	Occupation
Genetics	Sports and physical activity
Bone density	Joint biomechanics
Nutritional factors	Muscle weakness

Figure 3 Risk factor of knee osteoarthritis (Garstang SV et al., 2006)

### Physiopathology

Osteoarthritis affects all structures within a joint. It is caused by joint degeneration. In early stage, it has development of surface fibrillation, increased in water content and swelling of the cartilage matrix. Subsequently, it has increased in remodeling of cortical plate and the loss of cartilage leads to development of cleft and fissure. The articular cartilage loss can cause secondary changes in synovial tissue, ligaments, and the muscles. Therefore, the role of muscle can be decreased in normal muscle function due to the decreased knee joint motion. Finally, these effects may bring to knee muscle atrophy. In late-stage OA, chondrocytes die by apoptosis. The calcified cartilages expand into the articular cartilage. Finally, the bone may become exposed (45, 46) (Figure 4).





**Figure 4** Development of knee osteoarthritis (Goldring SR and Goldring MB., 2016)

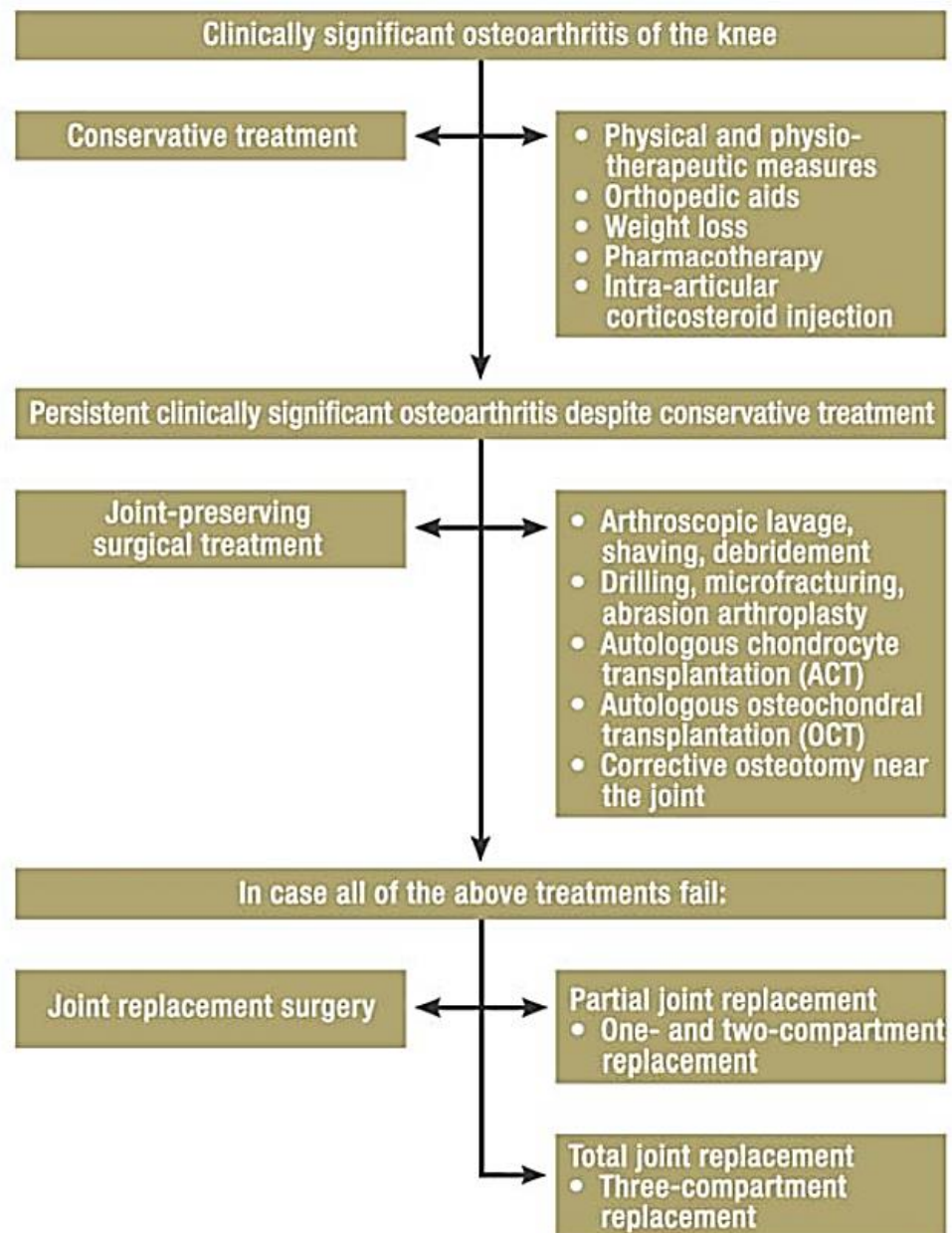
### Sign and symptom

Early phase of the disease, patients had intermittent pain and pain episodes were self-limited. By then, the patients became severe disease and the pain episodes were progressed into the chronic pain (47). The clinical symptoms of OA are pain, stiffness, strength deficit, proprioception deficit, and loss of balance. Patients suffering from osteoarthritis have a profound effect on a major cause of functional limitation and a decreased capacity to perform activities of daily living such as difficulty with standing up and sitting down from a chair, walking, and stair ascent and descent (4-6). These findings suggest that knee arthritis patients are an established risk factor for falling with pain, stiffness and functional limitation. It has been reported to increase the risk of falls with up to 50% reporting one or more falling each year (7).

### Treatment of osteoarthritis

The goal of treatment is to alleviate the signs and symptoms of the disease. There are a number of treatments that can help ease symptoms and reduce the chances of osteoarthritis becoming worse. Conservative treatment which consists of physical therapy, orthopedic aids and orthosis, weight loss and pharmacotherapy should begin the early stage of the treatment. The effects of these treatments are able to reduce pain, improve mobility, improve walking improve quality of life and delayed progression of osteoarthritis. When the patients at the end-stage level of the disease fail to conservative treatment, surgical intervention becomes the treatment of choice (Figure 5) (8, 48).



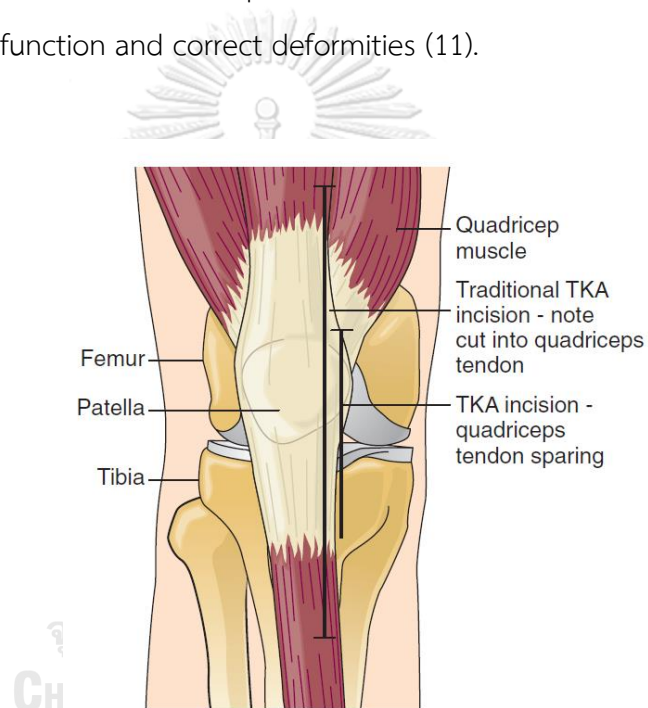


**Figure 5** The treatment for osteoarthritis of the knee (Michael JWP et al., 2010)

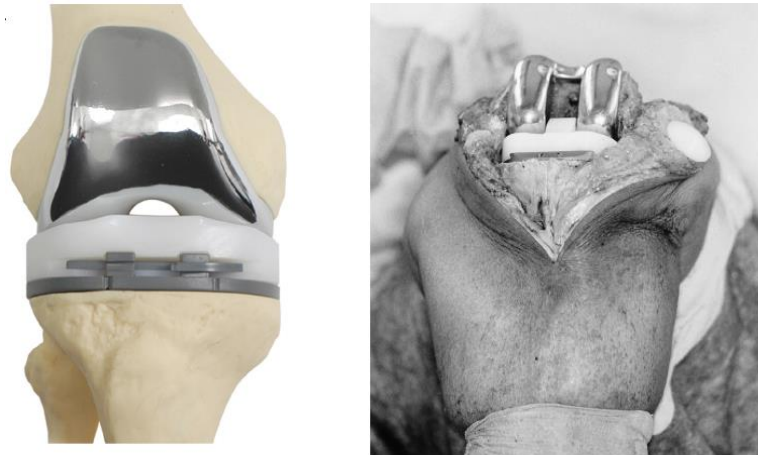
### Total knee arthroplasty

Knee replacements are the most common surgical treatment for end-stage OA and the numbers of knee replacements performed each year has increased in parallel with the increasing incidence of OA (49). Total knee arthroplasty (TKA) procedure is incised the skin along the anterior aspect of the knee from the patella

to the tibial tubercle. (Figure 6) Then, split or removed the quadriceps aside to expose the joint (50). Removing the damaged portions of bone at the end of the femur and top of the tibia and replaces them with prosthetic components. The principal components of these prosthetic are made of chromium cobalt, titanium, or stainless steel. Following the surgical procedure, the anterior cruciate ligament is excised and the posterior cruciate ligament may be resected which depends on the severity of disease and surgeon preference (10, 51, 52) (Figure 7). The purpose of total knee replacement is to relieve pain, allow the knee motion with joint stability, improve the knee function and correct deformities (11).



**Figure 6** Incisions for total knee arthroplasty (Pryde JA, 2007)



**Figure 7** Total knee arthroplasty (Wong J and Ries MD., 2013, Liddle AD et al., 2013)

### Outcomes of total knee arthroplasty

TKA patients have benefited greatly from the surgery in terms of reduced knee pain and improved physical activity (13). Similarly, Kahlenberg et al. reported that patient satisfaction after TKA had been described as ranging from 80% to 100% with post-operative functional outcome and pain release which was an important casual factor of satisfaction (53). Furthermore, OA patients also had experienced significantly improvement in their quality of life and satisfied with their surgeries following total knee arthroplasty (54). Likewise, Papakostidou et al. presented that TKA patients had significantly improved their quality of life in the first three months after uncomplicated TKA and those improvement also remained until the twelve postoperative month (55). Additionally, it has been documented that improvements in physical function following TKA for osteoarthritis are sustained beyond 5 years (56). A primary indicator of functional recovery is attributed to walking (14). Brandes et al. demonstrated that clinical outcome of gait cycle increased significantly within 12 months of TKA follow up (57). After surgery, the kinematic alignment was one of the important factors that involved knee function recovery. Because the kinematic alignment had been developed to improve patient's knee function and pain control minimizing for ligaments balance (58). Further, there is the evidence related to the effect of TKA on kinematic and kinetic of the knee during gait. The researchers

reported that patients had improved changes in knee joint motion and joint loading after 1-year surgery (59). Also, Christensen et al. presented that the quadriceps muscle strength improved after TKA for six months. But the strength of the affected sides was not equal to those contralateral sides. The researcher suggested that weakness of quadriceps muscle is an important factor related with changing in compensation patterns of gait cycle. (60). Likewise, Thomas et al. performed isometric muscle strength testing before surgery, 1-month TKA, and 6-month TKA. Quadriceps muscle had significantly increased strength after post-surgery at the affected side of TKA patients. When compared the strength between patient group and control group was found muscle strength was significantly decreased over time points (61). Moreover, outcome of TKA had involved with standing balance. Clark et al. reported patients had increased high velocity ML sway at 12 weeks post-TKA. This sway may produce instability of the postural control system and could have implications for physical function during activities of daily living (62). However, post-operative patients cannot fully reach their normal joint function in walking (15, 16). Even though significant improvements in pain, physical function, and strength have been reported as mentioned earlier. These factors when combined would be predicted to reduce the prevalence of falling in TKA patients. Nevertheless, the study of elderly people who underwent TKA after 6-month revealed that an incidence of falling at 32.9% which is higher than healthy elderly people (17).

### **Gait phase and parameters**

Walking is a characteristic of the body movement by periods of loading and unloading of the limbs. It is independent event and uses for many of the activities of daily living. The series of movements which is repeated is referred to as a gait cycle (GC) (63). Gait cycle is the time period of walking which one foot contacts the ground and ends when the foot contacts the ground again including both stance phase and swing phase (64). The gait cycle has two phases: stance phase occurs when the foot remains in contact with the ground, and the swing phase occurs when the foot is not

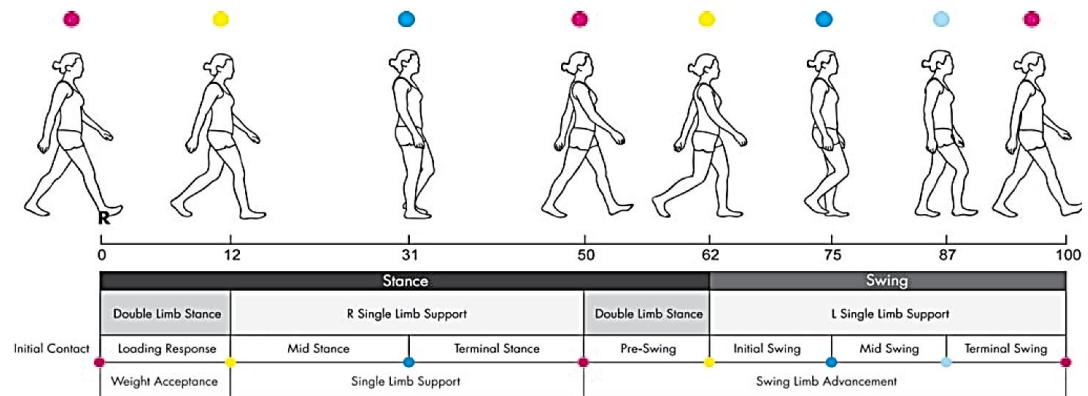
in touch with the ground. In healthy adult, stance phase occurs from 0% to 62 % GC and swing phase happens about 62% to 100% GC (64).

Stance phase is consisted of initial contact, loading response, midstance, terminal stance and preswing (Figure 8).

- Initial contact (0% to 2% GC): It is called as heel strike which occurred when the foot contacts the ground.
- Loading response (2% to 12% GC): It immediately happens following initial contact of the foot and continues till the contralateral limb lifts off the ground for swing phase.
- Mid stance (12% to 31% GC): It begins with the contralateral limb lifts off the ground where the body weight is positioned with the forefoot.
- Terminal stance (31% to 50% GC): It begins following the heel arises in frontal plane and continues to prior of the initial contact of the contralateral limb.
- Pre swing (50% to 62% GC): It begins with initial contact of the contralateral limb and end with the lifting ipsilateral limb from the ground.

Swing phase has three components as follows; initial swing, mid swing and terminal swing.

- Initial swing (62% to 75% GC): It is called toe off which occurred when the foot lifts off the ground until the knee had increased to maximum flexion position.
- Mid swing (75% to 87% GC): It immediately starts after knee flexion and ends when the tibia aligns in vertical position at midpoint of swing phase when minimal toe clearance (MTC) is achieved (at 81% GC).
- Terminal swing (87% to 100% GC): It starts after the tibia aligns in vertical position to just before the initial contact (64, 65).

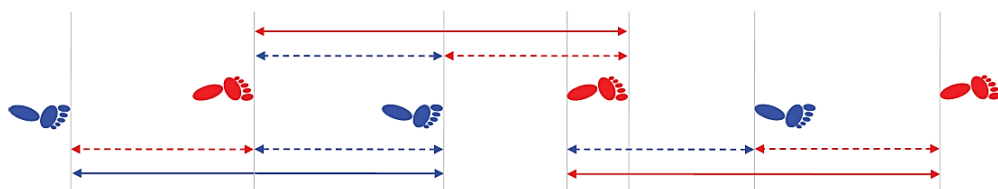


**Figure 8** The phases of gait events (Janet M and Adams KC., 2018)

The gait parameters are the information that obtained from gait events. They will be used to refer to quantities defined for a whole gait cycle or part of it. They are separated into two parts; spatial parameters and temporal parameters (Figure 9, 10).

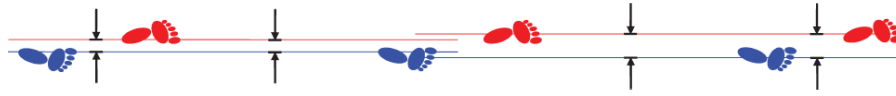
#### Spatial parameters

- Step length is the distance which occurs when one part of the foot moves in front of the same part of the other foot.
- Stride length is the distance which occurs when one part of the foot moves between the same instant in two consecutive gait cycles.
- Stride width is the distance measured between the heels.



**Figure 9** Step (---) and stride (—) lengths for symmetrical walking.





**Figure 10** Stride width for symmetrical walking.

#### Temporal parameters

- Stride time is the duration between two consecutive heel strikes by the same leg which is completed one gait cycle.
- Walking speed is the distance travelled in a specified time period (63).

#### Gait analysis

Gait analysis is a study of human gait that has an important role for disease diagnosis and monitoring, treatment and planning of surgeries. This field of study is involved a subject within biomechanics and kinesiology (65) . The test is performed in a motion analysis laboratory by utilizing motion capture techniques to record several walking strides of the patient or healthy people. Data which obtained by computer software and force plates enable to reconstruction of a biomechanical model of the walking (Figure 11). After that, the results were computed a set of biomechanical parameters. A standardised clinical report was consisted of various parameters such as 1) kinematics parameters, these parameters involved the anatomical angles and their variation across three anatomical reference planes (sagittal, coronal, and horizontal); 2) kinetic parameters, these parameters related with ground reaction forces in three dimensions; 3) spatiotemporal parameters, these parameters presented in cadence, velocity, step length, stance time, stride time, so on (66).

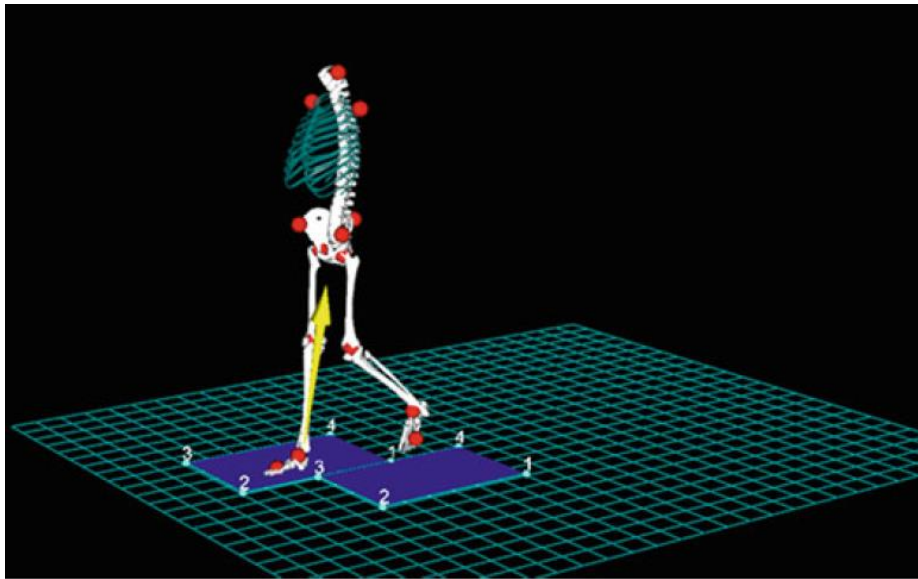


Figure 11 Model of walking from gait analysis (Ancillao A., 2018)

### Falling

Falls are the most common cause of injury and hospitalisation in older people with the age of 65. It is estimated that about 28-35% of people over the age of 65 falling each year and the incidence of falls is increasing to 32-42% for those over the age of 70 (67). Falls in older people are attributed to physical injuries such as bony fractures, subdural haematoma as well as the psychological effect of fear of falling and depression (68). There are various causes for falls in older adults that include predisposing factor (intrinsic factors and extrinsic factors) and precipitating factors (54). (Figure 12) Falls are known to occur while walking. Gait dysfunction and gait and balance are the primary risk factors which involve with fall in older adults (17, 69). It has been documented in the literature that 49 % of falls occurred while walking and 21 % were caused by tripping (24). In addition, the evidence was reported post-operative fall incidence rates in TKA patients. After discharge within one month, it was found that about 52% of post-THA/TKA patients fell. The fall rate of TKA patients ranged from 6.2% to 42.6% for the first 12 months. Falling risk factor in TKA patients was reported in various factors as follows; advanced age (65-74 years), male gender, electrolyte/fluid abnormalities, coagulopathy, history of falls,

and reduced knee range of motion (ROM) (70). Even though, finding evidence proved that TKA patients reduced the frequency of falls, reduced the fear of and falling rate over a year period after TKA. However, post-TKA patients have not fully recovered in knee extension strength, proprioception and balance performance (13, 18, 71).

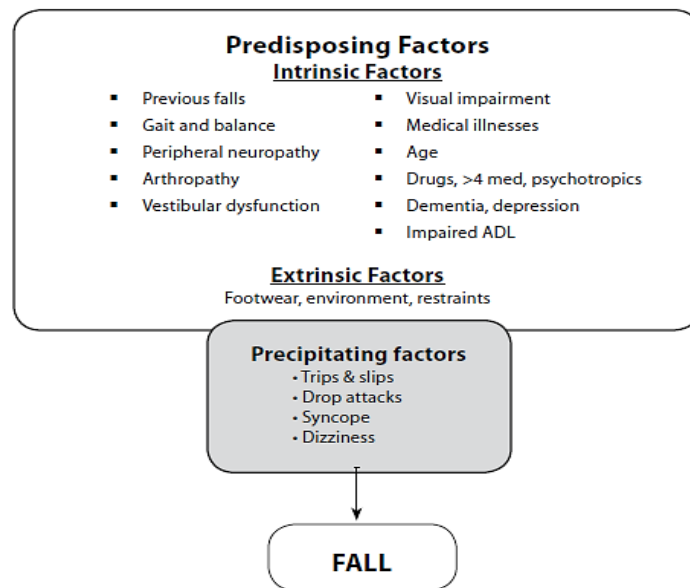


Figure 12 Risk factors of fall (Lim SC, 2010)

### Tripping

Tripping during walking is the predominant cause of falls in the older persons. It occurs when the leg is interrupted by an unexpected force during swing the foot contact the ground or crossing the obstacles leading to a forward rotation of the body (Figure 13) (26, 72, 73). Tripping can be divided into two phases. The primary phase is defined as the swing limb impacted with the obstacle. The position phase occurred when the recovery foot or contralateral foot placed on the floor by reactions in the recovery limb (74). Toe clearance is a gait variable that is directly linked to the mechanism of a tripping. There is no universal standard for toe clearance, its definition depends on which objective and research methodology being used by each researcher. During walking, this parameter is called minimum toe clearance (MTC) which is defined as the minimum distance between the distal inferior surface of the shoe/foot and the ground surface close to mid-swing phase of

gait cycle (28, 75) (Figure 14). In healthy adults, the MTC is approximately 10-20 mm (76). At this MTC event, the foot travels very close to the ground surface and MTC fluctuation has the possible cause tripping, especially for unseen obstacle (77). Additionally, foot trajectory during swing phase of the gait cycle must not only maintain progression in the direction of travel, but also incorporate a vertical displacement component sufficient to accommodate changes in support surface elevation (78). Thus, low toe clearance at MTC has been investigated as a predictor of tripping risk (27).

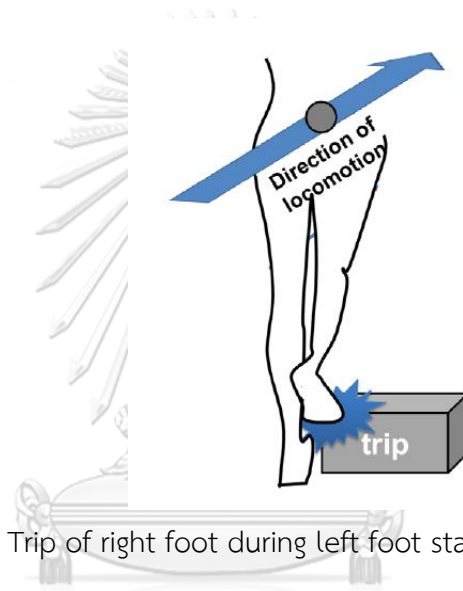
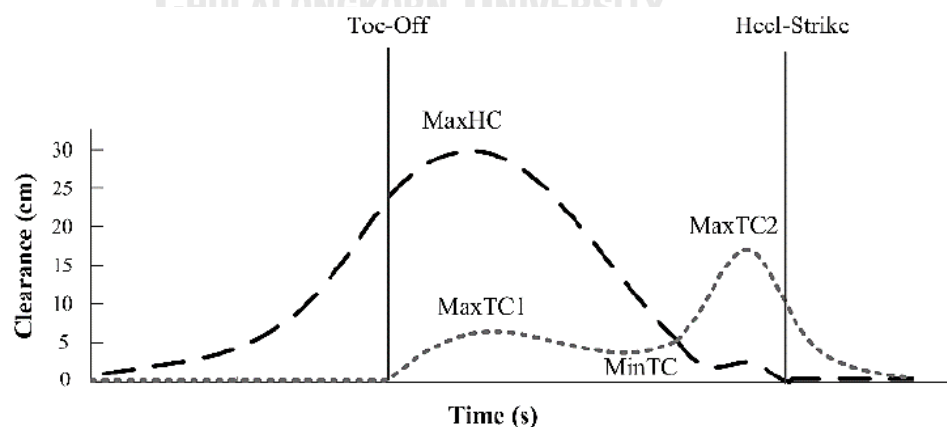


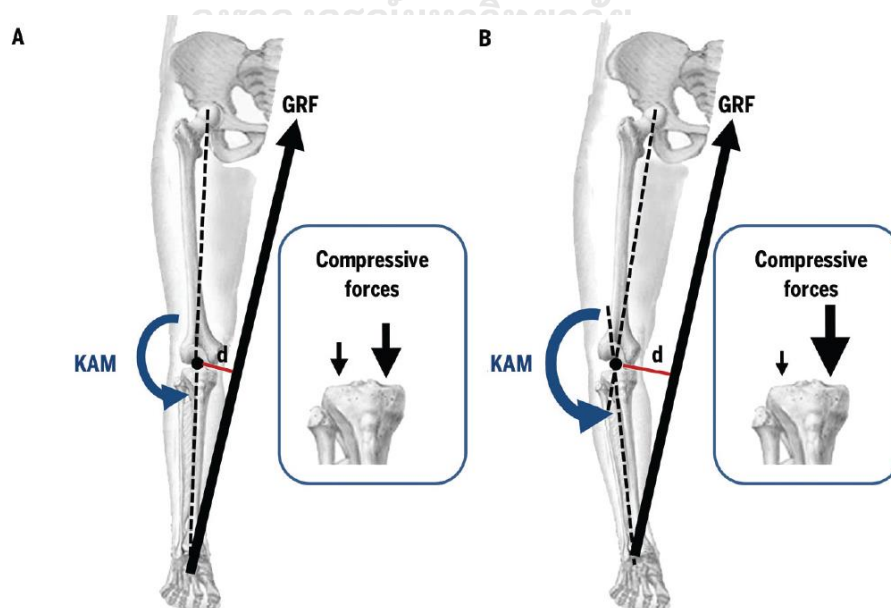
Figure 13 Trip of right foot during left foot stance. (Ko et al., 2017)



**Figure 14** Illustration of parameters are extracted to represent the foot clearance. The first and second local maxima of the toe clearance (MaxTC1 and MaxTC2 respectively) and minimum of the toe clearance (MinTC). The heel (black line) and toe (light gray line) trajectories during swing phase. (Dadashi et al., 2014)

### Risk factors of falling following a tripping

The advancement of OA disease in knee attributes to changes in knee alignment. Varus malalignment appears to be the most common deformity. Varus alignment is involved with progression of medial tibiofemoral osteoarthritis. The latter deformity is valgus malalignment. It is associated with progression of lateral osteoarthritis. The ratio of prevalence of medial compartment is higher than lateral compartment. The more severe the disease progression is; the more loss of medial cartilage would have (31, 79, 80). The causes of malalignment consist of following factors: increased load over the narrowed side of joint space leads to damage of cartilage (Figure 15), released debris into joint space results inflammation, and bone remodeling creates malalignment. The mechanism of coexisting factors is called vicious cycle of joint damage (77, 81).



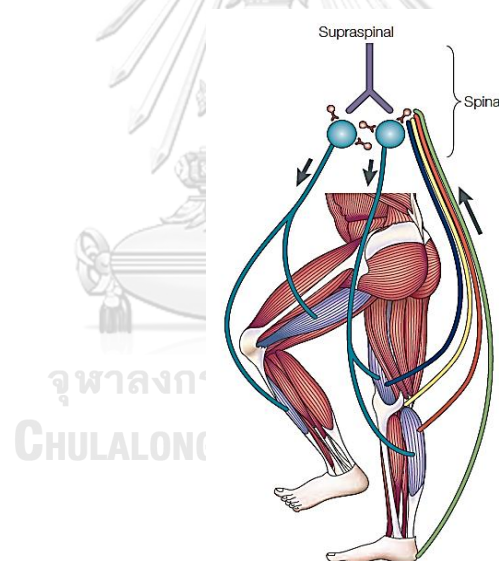
**Figure 15** (A) Neutral alignment of lower limb, the ground reaction force (GRF) passing medial to the knee center of rotation creates a small knee adduction moment (KAM) that concentrates higher compressive loads on the medial tibiofemoral compartment. (B) Varus alignment of the knee, the increase in the perpendicular distance between the GRF and the center of rotation of the knee (d) increases both KAM and compressive loads on the medial tibiofemoral compartment. (Farrokhi et al., 2013)

KOA patients with varus deformity are rather prone to injury in lower extremity. It affects negatively to a pelvic, leg and ankle joint malformation, changes in motion of the pelvis, leg and ankle joints, a change in tension line of muscles, the great amount of the imposed gravitational attraction to ligaments on the outside of the knee in both static and dynamic positions, stretching and loosening of lateral collateral ligament and eventually a change in the signals sending from their mechanical receptors to the central nervous system (82). The patients will have multi-joint coordination of posture (i.e., trunk, pelvis, hip, knee, and ankle joint) with an increase of flexion position (32). It can be suggested that individuals with KOA may be associated with poor posture, resulting in increased stress on the structures around the knee and deficient balance over the base of support. Impairment of postural control is able to limitation of participants which had capacity to maintain the centre of mass within the base of support in the upright position in diverse situations (83). Additionally, such change in knee alignment can affect stability of body and could be attributed to a factor of tripping. OA patients have decreased in postural control due to the individuals have neuromuscular disorder which is relevant in knee OA. Subsequently, neuromuscular disorder might lead to activity limitations because of neuromuscular adaptation. The patients have been presented in reduced balance, evidenced by a higher incidence of falls, increased postural sway, altered muscle activation patterns including increased activity and co-contraction of thigh muscles during the stance phase of gait (84, 85). According to the study, Sanchez-Ramirez et al. determined the association of postural control with

muscle strength, proprioception, self-reported knee instability and activity in patients with knee osteoarthritis. The patients showed quadriceps and hamstrings muscles weakness, proprioceptive inaccuracy and performance-based activity limitations which were associated with decreased postural control (86).

Additionally, knee alignment abnormality also affected the biomechanics of the lower limb. In related research, it focused on kinematic strategies of distinct levels of knee OA disease severity: asymptomatic, moderate OA, and severe OA. The results revealed that peak knee flexion angles in stance were reduced from the asymptomatic to the moderate group and from the moderate group to the severe group. Researchers suggested that the severe group had reduced peak knee flexion angles as compared to the asymptomatic and moderate groups. Furthermore, they also found a decreased in hip flexion and ankle plantarflexion in the severe group (87). Likewise, Hohee et al., reported that patients with degenerative knee osteoarthritis had the biomechanical changed in the lower extremities during gait on level ground, ramps, and stairs. The patients had more difficulty with gait on stairs or ramps of high inclination than on flat ground due to they had changed the kinematic variables by increasing the flexion angles of the hip joints, knee joints, and ankle joints during movement (88). On the other hand, there are a few studies to investigate the effect of the knee kinematic following total knee arthroplasty for instance, Levinger et al. examined the effect of kinematic strategies of OA patients. The data showed the effects of pre- and post-operative patients on the joint kinematic (the hip, knee, ankle range of motion) had no significantly change but there was the increased of ankle dorsiflexion in post-operative group compared to control group (14). Notably, the knee function has not fully restored in even though the patients have corrected deformity after TKA and it has impact on ankle as well. Similarly, Bonnefoy-Mazure et al. demonstrated OA had improved knee kinematics up to 1 year after TKA. The changes were frequently occurred after 3 months. Especially, TKA patients recovered the same level of gait velocity compared to the controls. However, they still did not achieve the values of a healthy control (89).

Knee osteoarthritis patients are associated with neuromuscular changes which have a negative impact on proprioception (34). This alteration may contribute to tripping due to the roles of sensory information in the knee receptors. Walking involves all levels of the nervous system and many parts of the musculoskeletal system (90). Normal gait is dependent upon the central pattern generator (CPG) which is a neural circuit to produce the basic rhythm and neural activation pattern underlying locomotion (91). During locomotion, leg muscles are activated by a programmed pattern which is produced in spinal neural circuit. This pattern is modulated by multisensory afferent input. In control of the leg muscles, extensor muscles group is primarily activated by proprioceptive feedback, and the flexors muscles group is principally under central control (Figure 16) (92).

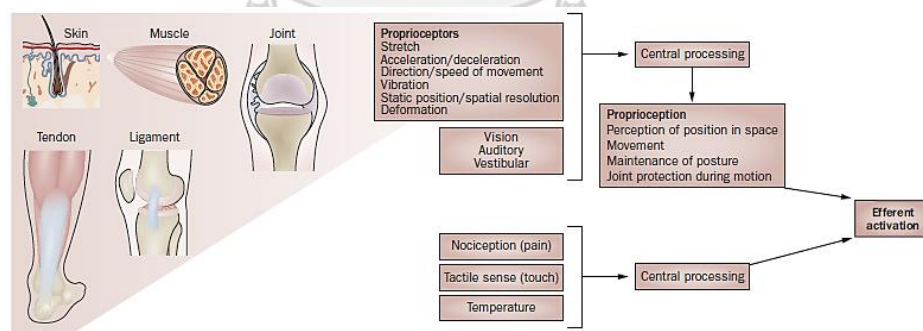


**Figure 16** The differential neuronal control of leg extensor and flexor muscles. (Dietz, 2002)

Similarly, in osteoarthritis patients, proprioceptive afferent information is derived from various mechanoreceptors such as musculotendinous mechanoreceptors (muscle spindles, golgitendon organs), articular mechanoreceptors (parcinian corpuscles, ruffini endings), and golgi receptor that provide movement, stretching, perception of position and motion in space (35, 93) (Figure 17). Sensory



signals enter the spinal cord through dorsal roots and provide the signals to supraspinal centers where it is integral to motor learning and the proceeding program of complex movements (37) (Figure 18). After total knee arthroplasty, intraarticular structure of the knee, especially the cruciates, are resected. These sensorimotor deficiencies had been shown to persist even after joint replacement. For example, Lvinger et al. found the patients with TKA at least 12 months still had proprioceptive deficits of lower extremity (94). Additionally, Poh et al. determined the progression of sensorimotor function after total hip (THA) or knee (TKA) arthroplasty. The patients were assigned to perform three weeks of a standard rehabilitation protocol, which included exercise training, physical therapy, seminars, and educational group therapy. After rehabilitation, the patients had unimproved in measures of proprioception and static balance during quiet bipedal stance which showed no significant main effects for time or intervention (95). This can lead to alteration in proprioception and also change in gait pattern of lower limb. Finally, this condition may accelerate tripping after TKA.



**Figure 17** Proprioceptive receptors of the knee (Roos et al., 2011)

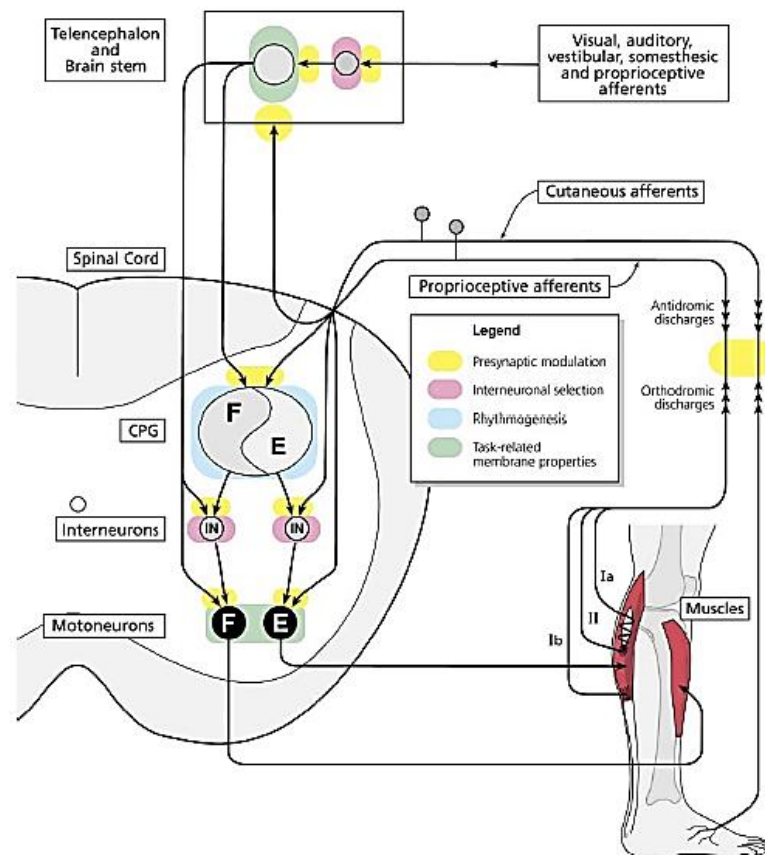


Figure 18 The afferent somatosensory feedback (Rossignol et al., 2006)

### Walking gait following total knee replacement patients

Previous studies had examined TKA and its influence on gait. From the literature review revealed that TKA patients walking at self-selected speed at approximately range 0.8–1.1 m/s. Moreover, when compared to their respective control groups, patient groups walked at a significantly slower speed (16). McClelland et al. investigated walking at self-selected comfortable and fast speeds using three dimensional motion analysis. The data showed that TKA group had decrease in cadence, reduced stride length, less knee flexion during stance and swing phases compared to control group. Both groups increased their velocity, cadence and stride length by a similar proportion when walking at fast speed. Nonetheless, TKA group presented residual deficits of walking speed following 12-month surgery (96).

Additionally, Kramers-de Quervain et al. described elderly adults with the operated limb were significantly improved gait velocity and cadence for two years after TKA surgery as well as peak vertical force at weight acceptance and loading/unloading rates during walking (97). Thewlis et al. performed dynamic loading during walking gait in preoperative, 6-week, 3- and 6-month postoperative groups in order to detect gait asymmetries. The results presented at 6 months following TKA load distribution during a bilateral quiet stance task remained unchanged and asymmetrical (98). In addition, Rahman et al. reported out-patient with 12-month TKA surgery had improved in knee flexion in swing more than pre-operative patients and gait patterns were symmetrical (99). Despite the apparent success of TKA, the patients cannot attain the normal joint function of walking. Falling incidence rates in TKA patients quite persisted (70). Interestingly, many gait analysis studies have been performed on an unobstructed laboratory floor but falling rate may be frequently occurred when the patients were required to walk under unfamiliar and possibly more destabilizing conditions (14, 100, 101).

### **Tripping on the obstacles in knee osteoarthritis patients**

Tripping during walking is the predominant cause of falls in healthy elderly and the osteoarthritis patients. In order to reduce the incident of trip-related falls, identification of the factors that increases an individual's risk of falling following a tripping is needed. Toe clearance is considered as a primary factor used for a marker of tripping risk (76). Raffegau et al. investigated the healthy elderly women while they walking over the obstacle (a wooden dowel fixed at 10 cm height). The finding reported that women adapt walking in a way that might predispose them to tripping or falling by stepping closer to the obstacle without increasing trail toe-clearance. In addition, the researcher suggested that step length is one of the factors which might be at risk of mobility impairments during adaptive walking tasks in women (102). Shin et al. determined obstacle height-related differences in movements while stepping over obstacles (5-cm, 20-cm height). In the swing phase of walking, the elderly

women presented greater ankle and hip adduction angles for the leading limb during stepping over the 20-cm obstacle compared with the young women. Considering the trailing limb, the elderly women had increased ankle dorsiflexion, knee flexion, hip flexion, and foot inversion in order to step over the obstacle. These movement patterns were characteristic of the elderly who were unable to lift their lower limb off the ground due to they had decreased in strength of lower extremity (103). Similarly, Pan et al. evaluated lower limb kinematics during walking over the obstacle heights of 10%, 20%, and 30% of leg length. Elderly adults showed greater toe-obstacle clearance of the leading leg, increased toe-obstacle distance, and shortened swing phase of the leading limb. The researcher suggested that the data could be provided to clinicians with a quick screening tool to identify patients at risk of falling (104).

Tuning to the ability of knee OA patients to cross the obstacles. According to the literature review, Lu et al. determined biomechanical strategies in knee osteoarthritis patients during over the obstacle. It reveals that OA patients were able to step across obstacles with different heights (10%, 20%, 30% of leg length) and the vertical distance between the toe marker and the obstacle was higher than those of the control group. Researcher suggested that KOA group had slightly swing knee flexion when the toe was over the obstacles and showed greater swing ankle dorsiflexion as well (38). Similarly, Chen et al. studied biomechanical strategies in knee osteoarthritis patients during over the obstacles of height 10%, 20%, 30% of leg length with the trailing limb. They found the OA group had higher displacement than control group. The data showed OA group had greater swing hip abduction in the trailing limb when the trailing toe over the obstacles. For the leading stance, the data revealed that OA group had slightly knee flexion and ankle eversion. These results indicated that an increased displacement in trailing limb may be beneficial for decreasing the risk of tripping (105). Additionally, in the study on post-operative TKA patients, it shows that they could lift their feet over the obstacles of 6 and 18 cm and the vertical distance between the toe and the top of the obstacle was also higher than those of the control group. Moreover, it indicates that post-operative TKR

patients compensate for deficits in surgical knee with more hip flexion during the elevation phase of swing. It can be seen that post-operative patients could walk across obstacles with a higher average displacement than those of healthy people (39).



## CHAPTER III

### MATERIAL AND METHODS

#### Research design

This research study was a prospective analytical descriptive study which is designed to determine toe clearance height, toe trajectory and lower limb kinematics at initial swing phase during walking over the obstacles in post-operative total knee arthroplasty. Participants were recruited as explained below and evaluated before surgery, three-month post-surgery, and six-month post-surgery in comparison with an age-matched healthy control group.

#### Population and sample size

**Target population:** Thai elderly people between 65-85 years of age, diagnosed with stage III or IV degenerative osteoarthritis of the knee, and healthy elderly people.

**Study population:** Thai elderly people between 65-85 years of age, diagnosed with stage III or IV degenerative osteoarthritis of the knee and healthy elderly people with eligible criteria, and living in Bangkok and perimeter area.

**Sample:** Thai elderly people between 65-85 years of age, diagnosed with stage III or IV degenerative osteoarthritis of the knee and healthy elderly people with eligible criteria, and living in Bangkok and perimeter area. They are willing to participate in the study.

#### Eligibility Criteria

##### Inclusion criteria for participants in the total knee arthroplasty group

1. Participants aged between 65-85 years (38, 106).
2. Patients with stage III or IV degenerative osteoarthritis of the knee according to the standards of Kellgren/Lawrence (K/L).

3. Participants have a diagnosis of symptomatic bilateral knee OA in the medial or lateral compartment by an orthopaedic surgeon according to the American College of Rheumatology criteria and have scheduled to receive total knee arthroplasty at King Chulalongkorn Memorial Hospital. (If a participant has bilateral knee OA fitting the criteria, the more involved knee, as identified by the patient, is used for analysis).
4. Participants are able to walk along the walkway without assistive devices.
5. Participants have no excessive pain (visual analog score less than 6) affecting their gait while they are walking at a self-selected pace on an 8-m walkway (38).
6. Participants have normal or corrected vision.
7. Participants are informed about the nature of the study and will sign a consent form prior to participation. In case that the participants have no ability to write, a consent form must be signed by the participants' legally authorized representative.

#### **Inclusion criteria for control participants**

1. Participants are healthy individuals with no signs or symptoms of knee OA (14).
2. Participants must neither undergo radiographic examination nor meet any of the American College of Rheumatology criteria (107).
3. The affected limbs for the control group will be matched to corresponding limbs of the total knee arthroplasty group.
4. Participants will be matched to members of the total knee arthroplasty group on the variables of age ( $\pm 2$  years) and sex (108).
5. Participants have normal or corrected vision.
6. Participants are informed about the nature of the study and will sign a consent form prior to participation. In case that the participants have no

ability to write, a consent form must be signed by the participants' legally authorized representative.

#### **Exclusion criteria for both groups**

1. Participants have neuromuscular diseases; disorders of the feet, ankles, hips or spine which may have affected gait or cognitive dysfunction.
2. Participants have received an intraarticular corticosteroid injection in the preceding 2 months (38).
3. Participants have a history of lower extremity surgery, experienced a lower extremity injury or any condition within the previous six months, or reported any current lower extremity pain (109).
4. Participants with a history of cardiovascular disease, respiratory disease, autoimmune diseases, rheumatoid arthritis or other systemic inflammatory arthritis, cancer, uncontrolled hypertension.
5. Participants have BMI > 40.0 (110).

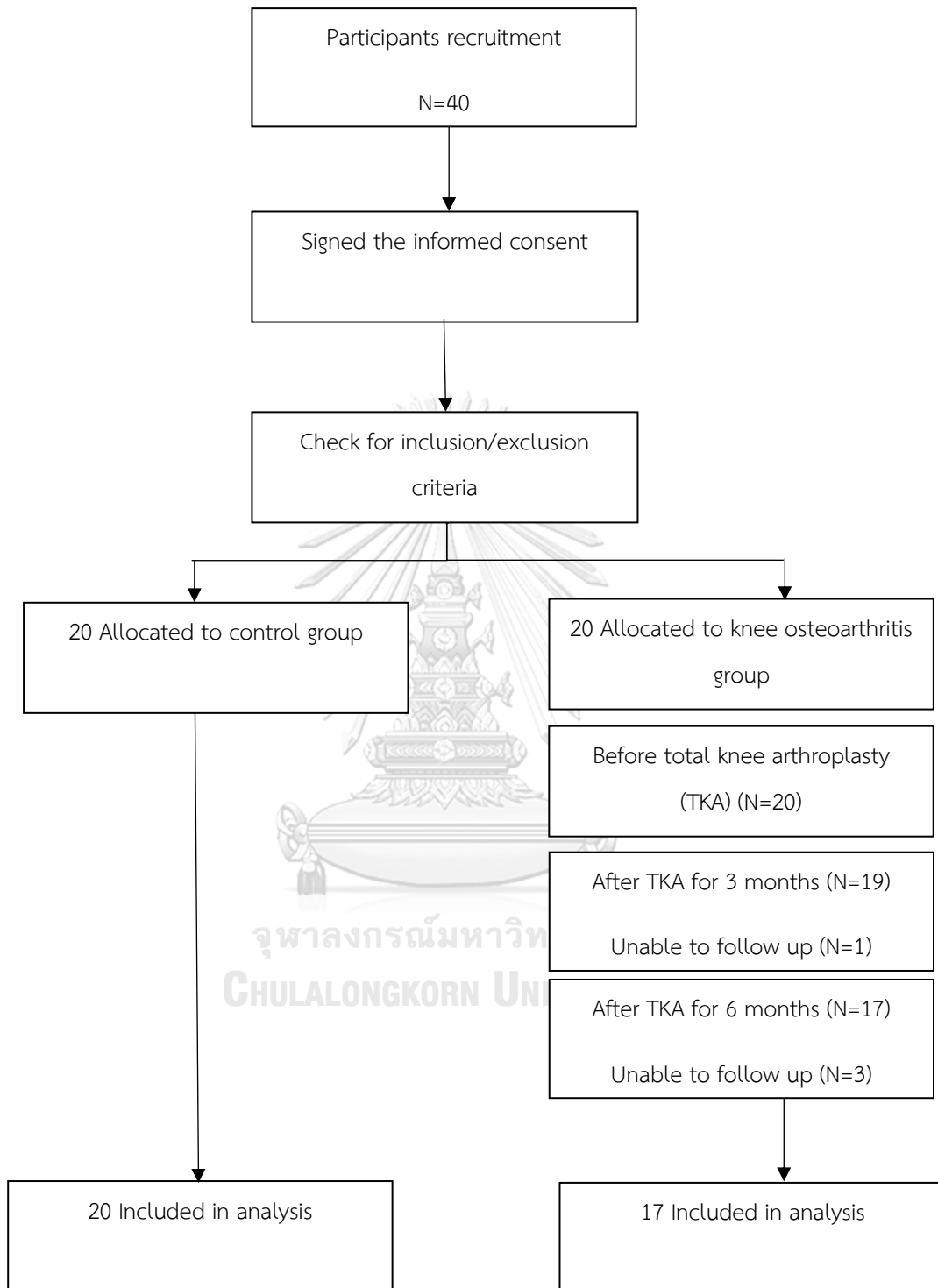
#### **Sample size determination**

Sample size determination of this study was calculated as follows: according to Chen et al. in Biomechanical strategies for successful obstacle crossing with the trailing limb in older adults with medial compartment knee osteoarthritis. Journal of biomedical 2008; 41: 753-61., they demonstrated the outcome of the toe height was above the obstacle in knee osteoarthritis patients: the OA group had higher displacement than control group. The data of distance between the toe and the obstacle (mm) will be presented as mean  $\pm$  standard deviation; OA group = 154.19  $\pm$  33.98, control group = 119.44  $\pm$  39.35; n=15. In this present study, the researcher had chosen the mean ( $\bar{x}$ ), and standard deviation (SD) from the displacement. Thereby, the sample size of this study was estimated by using 2- independent group



$$\begin{aligned}
 n / \text{group} &= 2 (z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2 \sigma^2 / (x_1 - x_2)^2 \\
 \alpha &= 0.05 \text{ (two-sided), } Z_{\alpha/2} = 1.96 \\
 \beta &= 0.20 \text{ (two-sided), } Z_{\beta} = 0.84 \\
 \sigma^2 &= \text{Pooled variance} \\
 &= \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \\
 &= \frac{(15-1)(33.98)^2 + (15-1)(39.35)^2}{15+15-2} \\
 &= 1351.53 \\
 n / \text{group} &= 2 (1.96 + 0.84)^2 (1351.53) / (154.19 - 119.44)^2 \\
 &= 17.55
 \end{aligned}$$

Sample sizes for each group was 18 persons. To prevent dropout rate during the experiment and detect more reliability, participants were added for more 10%. Thus, total participants were 20 persons for each group.



**Figure 19** Flow chart diagram of the study

## Instrumentation

1. A certificate of approval
2. A case record form
3. A portable stadiometer
4. A portable electronic scale
5. A Jamar tape measurement (Sammons Preston, USA)
6. A Jamar goniometer (Sammons Preston, USA)
7. An Isometric dynamometer
8. A biopac MP 100 system (Biopac System Inc., Canada)
9. An acqKnowLedge software version 3.7.3 (Biopac System Inc., Canada)
10. The H-frame device; an active motion apparatus for joint position sense assessment
11. The soft sponge obstacle bar which had three different heights (depth = 5 cm, width = 70 cm, heights = 2.5 cm, 5 cm, and 10 cm)
12. InBody 770 Body Composition Analyzer (InBody, USA)
13. Qualisys Camera Oqus 500 model 5-series: 10 cameras (Qualisys, Sweden)
14. Bertec force plate model FP 4060-08 (Bertec Corporation, USA)
15. Reflective marker; Pearl marker size 15.9 mm sphere (B&L Engineering, USA)

## Procedure

### Preparation for the testing protocol

All participants were informed about experimental protocol and they signed a consent form prior to study enrolment. After that, their personal information data were recorded as well as healthcare screening questionnaires were conducted. Then, they were asked to wear a compression pants and got a seated rest period before starting the experimental protocol.

## **Anthropometric measurement and body composition analysis**

### **Standing Height**

1. Height was measured by using a portable stadiometer which was fixed on the wall.
2. Participants were asked to stand with barefeet with feet paralleled to each other, toes pointing forward and soles flat on the floor. Their weight was distributed on both feet.
3. Then, they were informed to stand fully erection, inhale deeply breath in and out, and relax their shoulders with arms by sides. The buttocks, scapulae, and head were positioned back against the vertical scale.
4. All measurements were recorded in centimeters.

### **Body weight measurement**

The body weight, body mass index, and skeletal muscle mass were measured by using bioelectrical impedance analysis (InBody770®USA)

### **Bioelectrical impedance analysis (BIA)**

Bioelectrical impedance analysis is a noninvasive method of assessing the body composition. It measures the impedance by applying alternating currents on the human body. It has 30 impedance measurements by using 6 different frequencies (1kHz, 5kHz, 50kHz, 250kHz, 500kHz, 1000kHz) at each of 5 segments (Right arm, left arm, trunk, right leg, and left Leg).

### **BIA measurement protocol**

1. Participants were advised to dispose of urine and remove everything from their pockets and all accessories prior to the measurement.
2. The InBody770 was turned on and automatically started booting and performed a self-weight calibration for 5 minutes.

3. Participants stepped on the footplate barefoot by placing their feet on the footpads as the shape of electrodes guide. After that participants' information was filled in following the machine protocol.
4. While the assessment begins, participants should keep their elbows straight and did not touch the sides of the body, their thumb placed on the top of the handgrip, and the other four fingers loosely grasped the bottom surface of the handgrip.
5. Participants stood on the machine until the data analysis was completed 100 percent. After that the results was showed on the screen.



**Figure 20** bioelectrical impedance analysis

### **Range of motion of lower limb**

The universal goniometer is the instrument most commonly used to measure joint position and motion at all joints of the body (Jamar goniometer; Sammons

Preston, USA). It's consisted of two parts such as movable arm and stationary arm. A range of motion is measured in degrees. Six measurements were taken in each position. All range of motion measurements were collected by the same investigator and analysis of these data revealed excellent reliability as follows: hip flexion (ICC=0.989), hip extension (ICC=0.972), knee flexion (ICC=0.992), knee extension (ICC=0.984), plantarflexion (ICC=0.983), dorsiflexion (ICC=0.953)

### **The hip flexion**

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees extended and both hips in 0 degrees of abduction, adduction, and rotation. After that, researcher instructed the participants to perform active hip flexion by lifting the thigh off the bed and passive knee flexion during the motion. Additionally, the participants were not allowed the hip to flex past point at which pelvic motion begins to occur (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: greater trochanter of the femur
  - Movable arm: lateral midline of the femur toward the lateral femoral epicondyle
  - Stationary arm: lateral midline of the pelvis and trunk
3. At the end of the hip flexion, researcher used one hand to align the movable arm and to maintain the hip in flexion. The other hand shifted from the pelvis to hold stationary arm aligned with the lateral midline of the participants' pelvis. Then, range of motion was recorded.
4. Participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 21 Hip flexion

### The hip extension

1. Participants were advised to lie down on the bed in prone position with the hips, the knees extended. After that, researcher instructed the participants to perform active hip extension by raising the lower extremity from the bed and maintain the knee in extension throughout the movement (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: greater trochanter of the femur
  - Movable arm: lateral midline of the femur toward the lateral femoral epicondyle
  - Stationary arm: lateral midline of the pelvis and trunk
3. At the end of hip extension, researcher used one hand to hold the stationary arm in alignment. The other hand supported the participants' femur and kept the movable arm in alignment. Then, range of motion was recorded.
4. Participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 22 Hip extension

### The knee flexion

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees extended. After that, researcher instructed the participants to perform active knee flexion by sliding the foot toward the pelvis (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: lateral epicondyle of the femur.
  - Movable arm: lateral midline of the fibula, in line with the fibular head and lateral malleolus
  - Stationary arm: lateral midline of the femur toward greater trochanter
3. At the end of the knee flexion, researcher used one hand to maintain knee flexion and also to keep the movable arm of the goniometer aligned with the lateral midline of the leg. Then, range of motion was recorded.
4. Participants were performed 3 successful trial for each leg.





Figure 23 Knee flexion

#### The knee extension

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees extended. After that, researcher instructed the participants to perform active knee extension by straightening the knee as far as possible (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: lateral epicondyle of the femur.
  - Movable arm: lateral midline of the fibula, in line with the fibular head and lateral malleolus
  - Stationary arm: lateral midline of the femur toward greater trochanter
3. At the end of the knee extension, researcher used one hand to maintain the stationary arm of the goniometer aligned with the lateral midline of femur and also to keep the movable arm of the goniometer aligned with the lateral midline of the leg. Then, range of motion was recorded.
4. Participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 24 Knee extension

#### The ankle plantarflexion

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees flexed and supported by a towel. After that, the researcher instructed the participants to perform active ankle plantarflexion (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: at intersection of lines through lateral midline of the fibula and lateral midline of the 5<sup>th</sup> metatarsal
  - Movable arm: lateral midline of the 5<sup>th</sup> metatarsal
  - Stationary arm: lateral midline of the fibula, in line with the fibular head
3. At the end of the plantarflexion, researcher used one hand to maintain plantarflexion and to align the movable arm. The other hand stabilized the fibular and aligned the stationary arm of the goniometer. Then, range of motion was be recorded.
4. Participants will be performed 3 successful trial for each leg.



Figure 25 Ankle plantarflexion

#### The ankle dorsiflexion

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees flexed and supported by a towel. After that, researcher instructed the participants to perform active ankle dorsiflexion (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: at intersection of lines through lateral midline of the fibula and lateral midline of the 5<sup>th</sup> metatarsal
  - Movable arm: lateral midline of the 5<sup>th</sup> metatarsal
  - Stationary arm: lateral midline of fibula, in line with the fibular head
3. At the end of dorsiflexion, researcher used one hand to align the stationary arm along the line of fibular head while the other had maintained dorsiflexion and alignment of the movable arm. Then, range of motion was recorded.
4. Participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 26 Ankle dorsiflexion

### Muscle length test

Muscle length of lower limb was assessed by using universal goniometer (Jamar goniometer; Sammons Preston, USA). Pilot testing revealed excellent intrarater reliability of all muscle length test as follows: iliopsoas (ICC=0.995), rectus femoris (ICC=0.997), hamstrings (ICC=0.985), gastrocnemius (ICC=0.905).

### Iliopsoas Muscle Length: Thomas Test

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips extended and the knee extended pass the edge of the bed. After that, the participants were instructed to grasp knee to chest, only enough to flatten lumbar spine against support surface of the bed (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: greater trochanter of the femur
  - Movable arm: lateral epicondyle of the femur
  - Stationary arm: lateral midline of the trunk
3. The end of the motion for testing the length of the hip flexor muscle. Range of motion was recorded. The participants have normal length of the hip

flexors: the hip is able to extend to 10 degrees and the thigh is remained on the bed. If decreased muscle length of iliopsoas is present, participants' thigh will rise off the bed.

4. The participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 27 Iliopsoas Muscle Length

#### Rectus Femoris Muscle Length: Thomas Test

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips extended and the knee extended pass the edge of the bed. After that, participants were instructed to grasp knee to chest, only enough to flatten lumbar spine against support surface of the bed (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: lateral epicondyle of the femur
  - Movable arm: the lateral malleolus
  - Stationary arm: greater trochanter of the femur

3. The end of the motion for testing the length of the knee extensor muscle. Range of motion was recorded. The participants have normal length of the knee extensor: the knee is able to extend at 90 degrees. If the muscle length decreases, the patients' knee will slightly extend.
4. The participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 28 Rectus Femoris Muscle Length

#### Hamstring Muscle Length: Straight Leg Raise Test

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees extended. After that, researcher flexed the participant's hip by lifting the lower extremity off the bed and kept the knee in full extension by applying firm pressure to the anterior thigh. Their pelvis and lower back were flattening against the bed (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:
  - Axis: greater trochanter of the femur

- Movable arm: lateral epicondyle of the femur
  - Stationary arm: lateral midline of the trunk
3. The end of the testing motion for the length of the hamstring muscles occurred when the resistance was felt from the muscle tension. Range of motion was recorded. The participants have normal length of the hamstrings: the hip can be passively flexed to 70 to 80 degrees with the knee held in full extension.
  4. The participants were performed 3 successful trial for each leg.



**Figure 29** Hamstring Muscle Length

#### **Gastrocnemius Muscle Length Test**

1. Participants were advised to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees extended. After that, researcher was passive dorsiflexion of the ankle through full available ROM. The foot was not allowed to rotate and move into inversion or eversion during the test (111, 112).
2. Researcher measured the motion by using goniometer which was located as follows:

- Axis: the lateral malleolus
  - Movable arm: parallel to the fifth metatarsal
  - Stationary arm: head of the fibula
3. The end of the testing motion for the length of the gastrocnemius muscles took place when researcher could not move the foot further because the resistance was felt from muscle tension. Range of motion was recorded.
  4. The participants were performed 3 successful trial for each leg.



Figure 30 Gastrocnemius Muscle Length Test

#### Leg length discrepancy

1. Participants were informed to lie down on the bed in supine position with the hips, the knees extended. The legs separated and paralleled to each other about 15 to 20 cm. The ankles put in neutral position with no rotation of the foot.
2. The test was performed 3 times by using tape measure (Jamar tape measurement; Sammons Preston, USA) between two parts of the lower extremity: firstly, femur length was defined by using tape measure between the anterior superior iliac spine (ASIS) and the joint space. Secondly, tibia



length was identified by using tape measure between the joint space and the lateral malleolus (113). All tests were collected by the same investigator. Intrarater reliability (n=30) based on a Cronbach's Alpha was  $r=0.993$  (femur length) and  $r= 0.997$  (Tibia length).

3. During the test, the thumb pressed the tape firmly and fixed it against the inferior aspect of the right ASIS. The thumb of the other hand was instantly placed to lateral aspect of the joint space and the lateral malleolus and pushed against it respectively. Then, the procedure was repeated on the other leg.
4. Leg length was recorded and analyzed. The difference between both leg is approximately 1-1.5 cm which is considered normal (114).





Figure 31 Leg length discrepancy

### Leg muscles strength test

Leg muscles strength was measured by using a modified load cell strain gauge isometric dynamometer (Max. 120 kilogram-force, error  $\pm 5\%$  kgf). It was utilized to measure the peak force of knee extensor and flexor muscles on isometric module by using a biopac MP 100 system with an acqKnowLedge software version 3.7.3 (Biopac System Inc, Canada). Knee extensor/flexor strength were quantified in kilogram force. The data was normalized to body weight for between-subject comparisons.

Test-retest reliability was performed with isometric knee flexion and extension. The test was conducted on two separate occasions by the same tester. The data were collected from 10 participants (age  $61.40 \pm 4.60$ ). Analysis of these data revealed excellent reliability as follows: knee flexion (ICC=0.920), knee extension (ICC=0.969)



Figure 32 A modified isometric dynamometer

### Isometric testing procedure

1. Participants performed bilaterally stretching exercise for the lower limbs (stretching of the quadriceps, hamstrings and gastrocnemius muscles). During exercise, participants stretched the leg muscles at a point of mild discomfort or tightness at the end of the range of motion and hold the final position for 15 seconds. The exercise has performed for 4 times (115). To achieve stability, participants could avoid falling by standing with their hands supported on a steady chair when they perform the exercise.
2. The participants sat on the chair and stabilized them with fastened belts around the trunk, waist, and distal part of the thigh. They were tested in the seated position with hip flexion of  $90^\circ$  (116) and the knee flexion  $90^\circ$  (117, 118). Additionally, Shin pad which was fixed of a modified isometric dynamometer was positioned perpendicular to anterior or posterior aspect of the tibia and 5 cm proximal of the medial malleolus as described by Koblbauer et al. (119).
3. They were asked to perform three 3-second maximal voluntary isometric contractions flexion and extension trials with one-minute rest between the trials (120). While performing the test, they were required to fold their arms across their chest and were not permitted to hold on to the equipment in order to prevent compensation movement. To ensure maximal effort, verbal encouragement could be given. Prior to actual trial, they were familiarizing with the testing procedures by performing non-operated leg for example by manual isometric testing.
4. The participants were performed 3 sets of leg extension or flexion for each leg. Then, the highest peak force among trials of both quadriceps and hamstring muscles were recorded in kilogram-force for analysis.



Figure 33 Leg muscles strength test

### Proprioception testing of the knee joint

The test used an H-frame for joint position sense assessment which was developed similar to the one that was used for knee active joint position sense test (121). Reliability data were collected from 10 participants. All joint position sense measurements were collected by the same investigator and analysis of these data revealed high reliability as follows: knee flexion (ICC=0.993) and knee extension (ICC=0.993). Prior to the measurements, participants wore a compression pants and were barefoot. Reflexive markers were attached to each participant, either directly to the skin, onto clothing to the following body locations; the lateral malleolus, head of fibula, femoral lateral epicondyle, and mid-point between the femoral lateral epicondyle and greater trochanter (121).

1. Participants comfortably seated on a chair with the lower legs hanging relaxed and unsupported. The knee joint was maintained in individual flexion position which was defined as starting position.

2. Participants were passively moved their legs to the target angles ( $15^\circ$  of knee flexion and  $15^\circ$  of knee extension) (122) and held at the target position for 5 seconds (121, 123) Subsequently, participants actively moved their legs to the starting position. To make certain that these target angles were corrective position, participants were cued by using the H-frame. It is an instrument which used as a range of motion guide. The uprights were made of steel pipes and the crossbar was formed elastic stretch tighten around the uprights. While participants hold the target angles, the H-frame was placed until the crossbar contacted the anterior or posterior ankle joint line.
3. After learning and practicing, participants were blindfolded to eliminate visual cue. They were passively moved their legs to the target position again and asked to maintain and mentally visualize this position for 5 seconds. Then moved their legs back to the starting position and moved the H-frame aside (121).
4. After a relaxation period of 5 seconds, participants were instructed to actively re-position the legs at the same joint angle and maintained the position for 5 seconds. Each of the angles were reproduced for 3 times with five seconds rest between each trial (121, 123).



Figure 34 Proprioception testing of the knee joint

5. The knee joint position test was captured by using reflexive markers and Oqus cameras and the data was analyzed by qualisys software. The repositioning absolute angular error (AAE) was obtained through the

calculation of the difference between the target angle and repositioning angle.

### Single-leg standing balance

1. Participants were asked to stand barefoot on force plate (Bertec force plate model FP 4060-08, USA) feet aligned about hip-width apart, and their arms placed at their sides.
2. Participants were instructed to lift the contralateral leg off the ground and kept their leg from touching while maintaining balance on the affected leg for as much as possible. During the test, they were allowed to keep their eyes open (124). Three successful standing balance trials were recorded.
3. After participants had completed the test with eyes open, they were continued to the test with eyes close as the same procedure.
4. The mean of each COP path area for the three eyes-open and eyes-closed trials was used for statistical analysis.

C

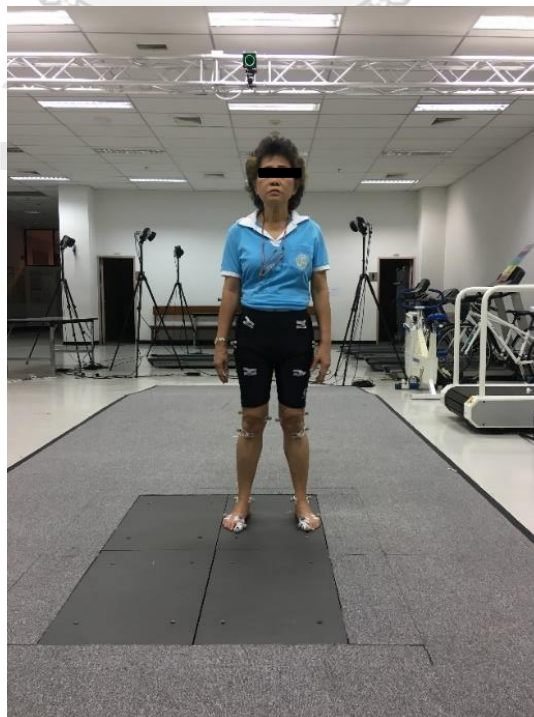






Figure 35 Single-leg standing balance

#### Gait analysis Equipment

1. A three dimensional motion analysis system (Qualisys Camera Oqus 500 model 5-series) with 10 cameras at a sampling rate of 100 Hz were used to capture and analyze motion of the lower leg.
2. Two force plates (Bertec Corporation, Ohio, USA) embedded in the floor were used to detect gait cycle events. The kinematics and the force plate data were synchronized and sampled at 100 Hz.
3. Thirty retro-reflective markers (B & L Engineering, California, USA) were placed at anatomical landmarks, including the pelvis (ASISs and PSISs), as well as each thigh (greater trochanter, mid-thigh, medial and lateral epicondyles), shank (head of fibula, tibial tuberosity, medial and lateral malleolus) and foot (first and fifth metatarsal base, big toe and heel) as described by Chen et al (105).



Figure 36 Retro-reflective markers

4. Marker trajectory data were collected at low-pass filtered using a Butterworth filter with cut-off frequency of 6 Hz.

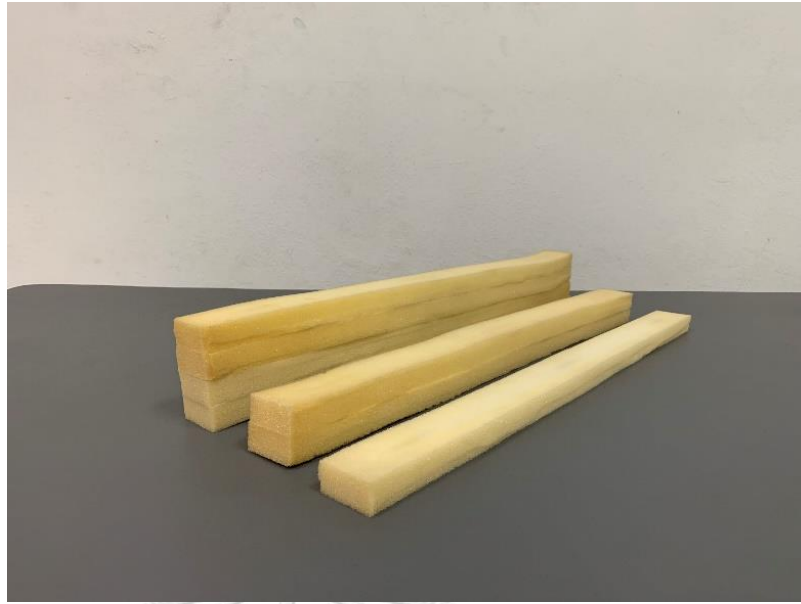




Figure 37 Location of body landmarks

#### Gait analysis protocol

1. After putting on markers as described above and a 2 min seated rest period, each participant was instructed to walk barefoot at a self-selected walking pace along the level walkway. They were asked to walk for three trials and had taken a 5 min rest period in between each of the trials (125).
2. Then participants were asked to walk barefoot at a self-selected walking pace along the walkway and crossed three different obstacle heights which were placed in the middle of the walkway in random order and kept walking to the end of the walkway.
  - The obstacles consist of three different heights (depth = 5 cm, width = 70 cm, heights = 2.5 cm, 5 cm, and 10 cm) (120).



**Figure 38** A height-adjustable obstacle

- The material was made of soft sponge to prevent falls associated with contact and was placed at the middle of the walkway.
  - The reflective markers were put inside it in order to detect the incidence of tripping when the participants could not lift their legs over the obstacles.
3. Participants were instructed to walk and crossed obstacles with their affected leg first and kept the same walking pace throughout the experiment. To avoid the influence of fatigue, they had taken a 5 min rest period in between each of the trials.
  4. Before the experiment was collected, participants were allowed to familiarize themselves with the walkway.
  5. Three successful trials were collected for the affected leg at each obstacle height.
  6. Data was recorded and analyzed by a computer running Qualisys Motion Capture System and Visual-3D Basic /RT ver.3.99.25.6. The kinematic parameters of lower extremity: joint angles of the hip, knee, and ankle in sagittal plane and minimum toe clearance at level walk and crossing over the

obstacles were evaluated as well as the spatiotemporal gait outcomes of walking speed, stride length, step length, and step width.

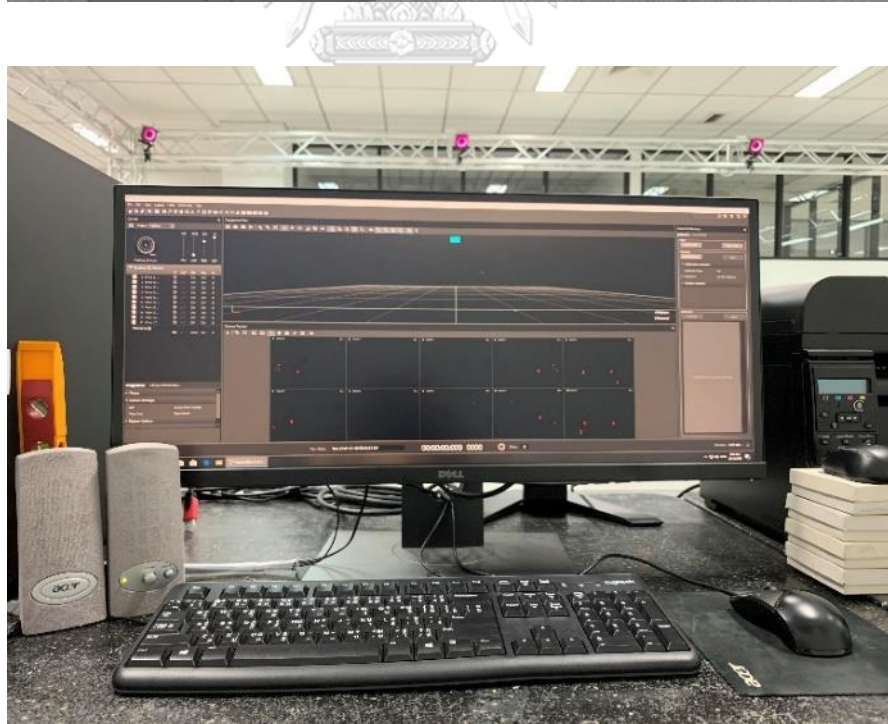


Figure 39 Computer set for data analysis



Figure 40 Walking crossed a height-adjustable obstacle

### Data Analysis

All analyses were performed using the IBM SPSS Statistics, ver. 22.0 (IBM Co., Armonk, NY, SA), with an  $\alpha$  level of  $P < 0.05$ . The results were reported in terms of mean  $\pm$  standard deviation and percentage. The Shapiro-Wilk Goodness of Fit test was used to test the data distribution. For the normally distributed variable i.e. differences between the time points of assessment (pre-operatively and three- and six-month postoperatively) were analyzed in terms of KOOS score, spatiotemporal parameters, MTC, and joint angle. TC heights, the slope of toe trajectory, and lower limb kinematics for each parameter at the swing phase (swing phase: 62%–100% gait cycle; initial swing 62%–75%, mid-swing: 75%–87%; terminal swing: 87%–100%) (60), limb length discrepancies, lower extremity range of motion, leg muscle strength, leg muscle length, knee joint position sense test and single leg balance were evaluated using the repeated measure for the analysis of variance (ANOVA). The Bonferroni post hoc adjusted test was used to assess the differences of pairwise. Differences between

the six-month postoperative group and the control group were assessed using the independent t-test for the aforementioned variables. The intraclass correlation coefficients were used to determine an instrument's capability and intrarater reliability of continuous measurements in testing protocol.



## CHAPTER IV

## RESULTS

Forty eligible participants were selected according to set criteria of TKA patients and healthy controls. Twenty were elected to undergo TKA before surgery and were followed up at the third- and the sixth- postoperative month; of these, three participants withdrew from the study as they did not proceed to follow-up after surgery. Thirty-seven participants were included in the final analysis. Twenty participants did not attend the knee surgery and could be invited as the control group. Baseline characteristics of the participants were shown in Table 1. In general, characteristics of age, height, and skeletal muscle mass were similar between pre-operative and control groups, except body weight, percent body fat and body mass index. It was found the preoperative group was heavier than control group.

**Table 1 Characteristics of the participants.**

Parameters	Pre-operative group n= 20, Mean (SD)	Control group n=20, Mean (SD)	P Value
Gender			
Male, n (%)	0 (0%)	0 (0%)	-
Female, n (%)	20 (100%)	20 (100%)	-
Age (yr)	71.65 (5.90)	70.40 (3.69)	0.427
Height (cm)	150.30 (6.16)	153.33 (4.44)	0.083
Body weight (kg)	61.43 (10.69)	54.34 (8.08)	0.023*
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	27.09 (3.63)	22.99 (2.80)	0.000*
Percent body fat	39.93 (6.91)	33.33 (5.21)	0.002*
Skeletal muscle mass (kg)	18.91 (2.54)	18.92 (2.06)	0.995

\* Significant differences between groups are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ .



Table 2 The knee characteristics of patient groups before TKA (P1) and three months after TKA (P2).

Parameters	Patients		Group comparisons
	Before TKA, n=20, Mean (SD)	After TKA 3 mo, n=19, Mean (SD)	
K/L grade, number (%)			
Grade 3	14 (70%)	-	-
Grade 4	6 (30%)	-	-
Symptomatic knee arthritis			
Unilateral, n (%)	4 (20%)	-	-
Bilateral, n (%)	16 (80%)	-	-
Knee OA localization, number (%)			
Right	13 (65%)	-	-
Left	7 (35%)	-	-
Knee alignment, number (%)			
Varus	15 (75%)	-	-
Valgus	5 (25%)	-	-
Tibiofemoral angle, mean (SD)	168.30 (39.88)	175.75 (41.43)	0.000**

\*\* Significant differences between P1 and P2 are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ .

The severity of knee OA with Kellgren/Lawrence was as follows: 70% knees had grade 3 (moderate) lesions and 30% knees had grade 4 (severe) lesions (Table 2). Among those with knee OA, 13 participants had the right knee pain, whereas the other seven participants had the left knee pain. In patient group, fifteen participants had varus knee alignment except for five participants who presented with valgus knee alignment. Tibiofemoral angles (TF) at the pre-operation was  $168.30 \pm 39.88^\circ$  and the three-month postoperation was  $175.75 \pm 41.43^\circ$ . The result showed a significant difference of mean TF angle between assessment times.



Table 3 Characteristics of patients with Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) data before TKA (P1), three months after TKA (P2) and six months after TKA (P3).

Parameters	Patients			P Value
	Before TKA, n=20, Mean (SD)	After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)	
KOOS (range 0-100)				
Symptoms	75.35 (13.11)	85.79 (10.31)	91.18 (5.64)	0.000 <sup>**</sup> , †
Pain	71.20 (13.95)	93.16 (6.92)	96.18 (4.93)	0.000 <sup>**</sup> , †, §
ADL	66.60 (14.14)	83.26 (10.25)	87.82 (6.72)	0.000 <sup>**</sup> , †
Sports/recreation	21.00 (13.63)	31.05 (11.62)	25.59 (8.64)	0.065
Quality of life	41.35 (16.33)	83.31 (13.05)	82.47 (12.11)	0.000 <sup>**</sup> , †

<sup>\*\*</sup> Significant differences between P1 and P2 are reported with a significance value set at P<0.05, † Significant differences between P1 and P3 are reported with a significance value set at P<0.05. § Significant differences between P2 and P3 are reported with a significance value set at P<0.05.

When comparing with Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) subscales among the patient groups, the six-month postoperative group had reported good outcome of symptoms, pain, ADL and quality of life ( $p < 0.05$ ) (Table 3). For Sport and recreation, the outcome was not significantly difference among the patient groups ( $p=0.065$ ). However, the global satisfaction with five subscales was improved especially the quality of life.



Table 4 Description of the limb length discrepancies before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3) and compared to the control group (CG).

Parameters	Patients			Control group n=20, Mean (SD)	Group comparisons		
	Before TKA, n= 20, Mean (SD)	After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P 3
Leg length discrepancy (LLD)							
Femoral length (cm)	0.21 (0.36)	0.07 (0.00)	0.07 (0.20)	0.14 (0.21)	0.295	0.069	
Tibial length (cm)	0.02 (0.07)	0.19 (0.00)	0.00 (0.00)	0.07 (0.14)	0.100	0.030 <sup>††</sup>	0.332

<sup>††</sup> Significant differences between P3 and CG are reported with a significance value set at P<0.05.

The leg length discrepancy which is considered normality is approximately 1-1.5 cm (114). From the data analysis, the results of all groups in this study had normal leg length discrepancy. The mean femoral and tibial length difference was not significant difference ( $p > 0.05$ ) among time points. Additionally, lower limb length difference tended to decrease after surgery for six months. It could be interpreted that the knee joint alignment had changed due to the effect of total knee arthroplasty. Thus, those change might be involved the lower limb length. The LLD of the control and pre-operative groups was not significantly difference ( $p > 0.05$ ). After surgery for six months, the femoral length also had no difference ( $p=0.295$ ) but the tibial length demonstrated a significant difference in comparison with the control group ( $p=0.030$ ).

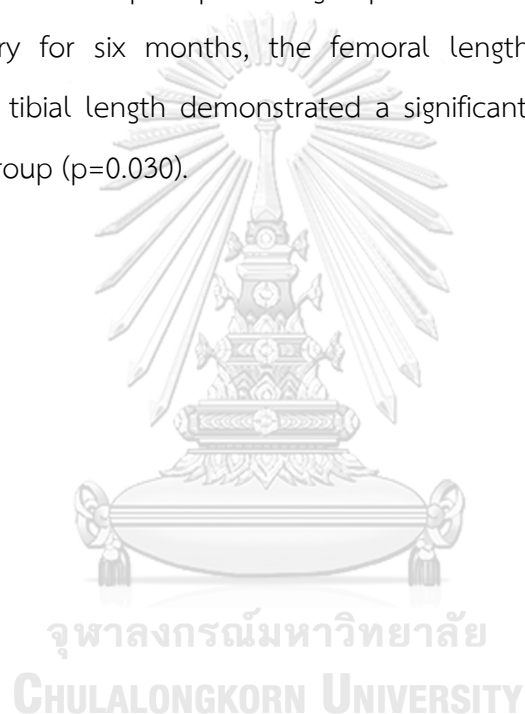


Table 5 Description of the lower extremity range of motion before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).

Parameters	Patients			Control group n=20, Mean (SD)	Group comparisons		
	P1; Before TKA, n= 20, Mean (SD)	P2; After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	P3; After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P3
Range of motion in operated limb							3
Hip flexion	115.90 (6.16)	118.89 (2.44)	118.90 (2.62)	118.40 (2.78)	0.033*	0.578	0.015
Hip extension	14.61 (2.78)	15.33 (2.88)	14.86 (0.62)	17.43 (2.42)	0.002*	0.003 <sup>††</sup>	0.474
Knee flexion	121.40 (19.14)	110.84 (17.41)	112.51 (18.12)	144.82 (3.58)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.013**
Knee extension	5.97 (5.31)	6.44 (4.81)	5.43 (4.21)	0.00 (0.00)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.800
Ankle plantarflexion	41.00 (4.96)	42.00 (4.76)	40.25 (4.67)	40.17 (2.52)	0.507	0.942	0.498
Ankle dorsiflexion	13.02 (3.12)	13.49 (3.40)	13.78 (2.30)	14.55 (2.74)	0.107	0.368	0.539

\* Significant differences between P1 and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , <sup>††</sup> Significant differences between P3 and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , \*\* Significant differences between P1 and P2 are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ .

Before knee surgery, the patients had significantly decreased in hip flexion, hip extension, knee flexion and knee extension compared with the control group;  $p=0.033$ ,  $p=0.002$ ,  $p=0.000$ ,  $p=0.000$ , respectively. Additionally, the means ankle plantarflexion and dorsiflexion were found no significantly difference between both groups ( $p=0.507$ ,  $p=0.107$ ).

There was no statistically significant difference in mean hip flexion, hip extension, knee extension, ankle plantarflexion and ankle dorsiflexion among the patient groups ( $p > 0.05$ ). In addition, it was observed that mean knee flexion was significantly difference between the pre-operative and the three-month postoperative groups ( $p=0.013$ ).

Following TKA for 6 months, the patients also had significantly decreased in hip extension, knee flexion and knee extension compared with the control group;  $p=0.003$ ,  $0.000$ ,  $0.000$  respectively. Furthermore, the six-month post-operative group had no significantly difference in hip flexion, ankle plantarflexion and ankle dorsiflexion compared with control group ( $p=0.578$ ,  $p=0.942$ ,  $p=0.368$ ).



Table 6 Description of leg muscle strength before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).

Parameters	Patients			Control group n=20, Mean (SD)	Group comparisons		
	P1; Before TKA, n= 20, Mean (SD)	P2; After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	P3; After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P3
Leg muscle strength (kgf/KgBW)							
Quadriceps muscle	0.26 (0.09)	0.20 (0.07)	0.23 (0.08)	0.50 (0.13)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.048**
Hamstring muscle	0.12 (0.04)	0.11 (0.03)	0.11 (0.03)	0.20 (0.05)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.690

\* Significant differences between P1 and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , <sup>††</sup> Significant differences between P3 and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , \*\* Significant differences between P1 and P2 are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ .

kgf/KgBW = Kilogram-force/kilogram bodyweight.

Quadriceps muscle strength were significantly decreased from  $0.26 \pm 0.09$  kgf/KgBW in pre-operative group to  $0.20 \pm 0.07$  kgf/KgBW in the three-month postoperative group ( $p=0.048$ ). In addition, the strength of quadriceps muscle tended to increase after surgery for six months ( $0.23 \pm 0.08$  kgf/KgBW). No significant difference was observed in hamstrings muscle strength among the patient groups ( $p=0.690$ ).

Knee extensor strength in pre-operative and six-month postoperative groups were significantly lower strength than control group ( $p=0.000$ ,  $p=0.000$ ). Similar result was observed in hamstrings muscle. Flexor muscles strength were significantly decreased compared with the control group ( $p=0.000$ ,  $p=0.000$ ) (Table 6).



Table 7 Description of leg muscle length before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).

Parameters	Patients			Control group n=20, Mean (SD)	Group comparisons		
	P1; Before TKA, n= 20, Mean (SD)	P2; After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	P3; After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P3
Leg muscle length (degree)							
Iliopsoas muscle	3.98 (1.97)	3.00 (1.02)	4.27 (0.89)	4.53 (2.03)	0.392	0.632	0.001 <sup>†, §</sup>
Quadriceps muscle	112.43 (8.79)	108.33 (5.43)	107.08 (4.71)	111.40 (7.30)	0.688	0.043 <sup>††</sup>	0.078
Hamstring muscle	95.00 (14.85)	96.35 (12.16)	99.20 (16.06)	96.23 (16.21)	0.803	0.582	0.474
Gastrocnemius muscle	16.37 (3.18)	15.72 (3.40)	15.76 (3.30)	17.00 (3.06)	0.525	0.246	0.806

<sup>††</sup> Significant differences between P3 and CG are reported with a significance value set at P<0.05, <sup>†</sup> Significant differences between P1 and P3 are reported with a significance value set at P<0.05. <sup>§</sup> Significant differences between P2 and P3 are reported with a significance value set at P<0.05.

All groups had normal iliopsoas muscle length. The six-month post-operative group had significantly increased in muscle length compared with the pre-operative and three-month post-operative groups ( $p=0.001$ ). In addition, iliopsoas muscle length of control group was no significantly difference compared with the pre-operative and six-month post-operative groups ( $p=0.392$ ,  $p=0.632$ ).

Participants had tightness of knee extensor length. In patient groups, the data revealed that there was no significantly difference in quadriceps muscle length among the groups ( $p=0.078$ ). Likewise, the pre-operative groups had no significantly difference in knee extensor muscle length compared with control group ( $p=0.688$ ). Moreover, the six-month post-operative group had significantly increased in knee extensor length than control group ( $p=0.043$ ).

The hamstrings muscle length was normal in all groups. There was no significantly difference in knee flexor muscle among the patient groups ( $p=0.474$ ). Furthermore, the result presented that hamstrings muscle length of control group was no significantly difference compared with the pre-operative and six-month post-operative groups ( $p=0.803$ ,  $p=0.582$ ).

All participants had tightness of gastrocnemius muscle length. There was no significantly difference among the groups in gastrocnemius muscle length ( $p=0.806$ ). Additionally, the pre-operative and six-month post-operative groups had no significantly difference in gastrocnemius muscle length compared with control group ( $p=0.525$ ,  $p=0.246$ ).

Table 8 Description of joint position sense before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).

Parameters	Patients			Control group n=20, Mean (SD)	Group comparisons		
	P1; Before TKA, n= 20, Mean (SD)	P2; After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	P3; After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P3
Absolute angle error (degree)							
Flexion	3.04 (3.58)	3.49 (2.37)	2.54 (1.41)	3.48 (2.23)	0.642	1.141	0.319
Extension	6.49 (2.47)	5.09 (2.41)	5.24 (2.55)	4.94 (3.15)	0.093	0.756	0.267

Significant differences tested at p-value < 0.05.

The mean absolute measures of the knee flexion were not significantly difference among the patient groups ( $p=0.319$ ). In the same test positions, the mean absolute errors of pre-operative groups had no significantly difference compared with control group ( $p=0.642$ ). After surgery for 6 months, it was found that the absolute error of knee flexion had no significantly difference compared with the control group ( $p=1.141$ ). Besides, the average absolute error values of the knee extensor were not significantly difference among the patient groups ( $p=0.267$ ). There were no significantly differences between the pre-operative and control groups with respect to the knee extensor absolute error ( $p=0.093$ ). When compared the knee extensor absolute error between six-month postoperative and control groups, it was showed no significantly difference of the two groups ( $p=0.756$ ).



Table 9 Description of single leg balance with affected side before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG).

Parameters	Patients			Control group	Group comparisons		
	P1; Before TKA, n= 20, Mean (SD)	P2; After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	P3; After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P3
Center of pressure path area with affected side (cm <sup>2</sup> )							
Eye closed	4.17 (3.04)	4.30 (2.21)	6.41 (5.73)	5.72 (2.18)	0.071	0.621	1.745
Eye opened	3.60 (2.28)	3.43 (2.95)	6.84 (5.61)	4.85 (4.18)	0.249	0.226	5.421

Significant differences tested at p-value < 0.05.

For all the analyzed parameters, the value of the differences among the results obtained in patients with the eyes closed and eyes opened trials had no significantly difference in the study groups ( $p \geq 0.05$ ). Also, there were no statistically significant differences in the results of eyes closed and eyes opened between the pre-operative and control groups ( $p=0.071$ ,  $p=0.249$ ). Additionally, the areas of COP between six-month post-operative and control groups were not significantly difference in the eyes closed and eyes opened ( $p=0.621$ ,  $p=0.226$ ).





Table 10 Characteristics of gait parameters for the patient groups before TKA (P1), three months after TKA (P2), six months after TKA (P3), and compared to the control group (CG) at the level walk.

Parameters	Patients			Control group n=20, Mean (SD)	Group comparisons		
	P1; Before TKA, n= 20, Mean (SD)	P2; After TKA 3mo, n=19, Mean (SD)	P3; After TKA 6 mo, n=17, Mean (SD)		P Value P1/CG	P Value P3/CG	P Value P1/P2/P3
Spatiotemporal-operated limb							
Gait speed (m/s)	0.61 (0.13)	0.61 (0.12)	0.73 (0.12)	1.03 (0.16)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.005 <sup>§</sup>
Stride width (m)	0.13 (0.05)	0.12 (0.03)	0.16 (0.14)	0.09 (0.02)	0.001*	0.028 <sup>††</sup>	0.267
Stride length (m)	0.79 (0.23)	0.82 (0.13)	0.90 (0.10)	1.11 (0.11)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.176
Step length (m)	0.40 (0.09)	0.42 (0.08)	0.44 (0.08)	0.56 (0.06)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.495
MTC of swing phase (cm)	2.50 (0.71)	2.77 (1.03)	2.43 (0.72)	2.22 (0.67)	0.199	0.347	0.187
Joint angle in sagittal plane at the time of MTC (degree)							
Hip flexion	18.81 (7.93)	14.20 (8.27)	13.21 (6.95)	23.53 (7.07)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.030 <sup>**</sup>
Knee flexion	39.10 (5.06)	35.85 (4.62)	38.37 (6.93)	48.65 (7.30)	0.000*	0.000 <sup>††</sup>	0.464
Ankle dorsiflexion	4.01 (5.06)	3.34 (4.62)	2.25 (5.70)	2.77 (3.74)	0.682	0.692	0.386

\* Significant differences between P1 and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , <sup>††</sup> Significant differences between P3 and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , <sup>\*\*</sup> Significant differences between P1 and P2 are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ , <sup>§</sup> Significant differences between P2 and P3 are reported with a significance value set at  $P < 0.05$ .

The results revealed that the pre-operative group had significantly decreased in speed ( $0.61 \pm 0.13$  m/s vs  $1.03 \pm 0.16$  m/s;  $p = 0.000$ ), increased stride width ( $0.13 \pm 0.05$  m vs  $0.09 \pm 0.02$ ;  $p = 0.001$ ), shorter stride length ( $0.79 \pm 0.23$  m vs  $1.11 \pm 0.11$  m;  $p = 0.000$ ), and reduced step length ( $0.40 \pm 0.09$  m vs  $0.56 \pm 0.06$  m;  $p = 0.000$ ) compared to the control group. Following six-month post-surgery, the spatiotemporal parameters were significantly different compared to the control group (Table 1). In term of any parameters were found no significant difference among the patient groups, while the gait speed of TKA at six months was found to be higher than those with TKA at three months ( $p = 0.005$ ).

At the swing phase, the height of MTC in control group was similar to those pre-operative group ( $p = 0.199$ ) (Table 10, Figure 41). Likewise, the six-month postoperative groups demonstrated that same MTC height as the control group ( $2.43 \pm 0.72$  cm vs  $2.22 \pm 0.67$  cm,  $p = 0.347$ ). In addition, the MTC height exhibited no significant difference among the patient groups ( $p=0.187$ ). At the time of MTC, the pre-operative group showed significantly higher hip flexion than the three-month postoperative group ( $p=0.030$ ). The knee flexion and ankle dorsiflexion were not different among the patient groups ( $p=0.464$ ,  $p=0.386$ ). After surgery for six months, the hip flexion and the knee flexion had significantly decreased compared to control group ( $p=0.000$ ,  $p=0.000$ ). However, there was found no significantly different in ankle dorsiflexion between the groups ( $p=0.692$ ).

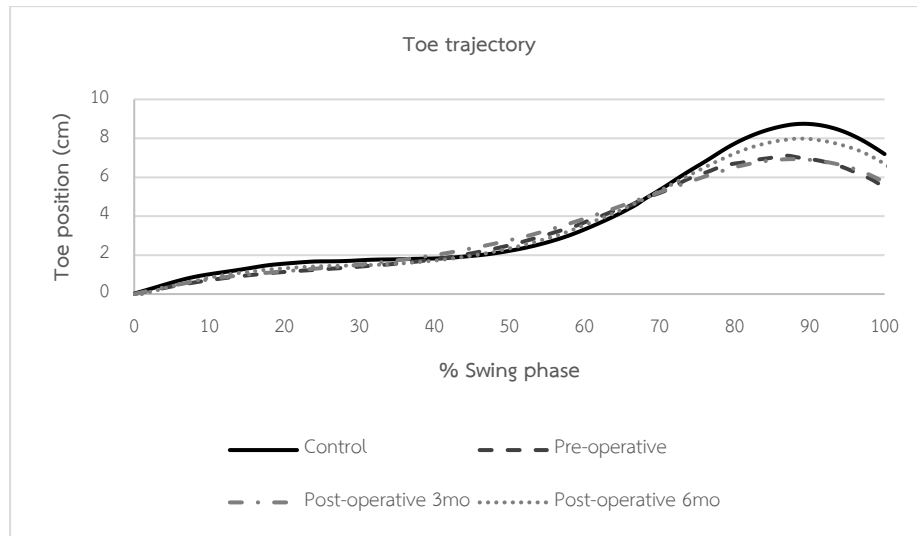


Figure 41 Toe clearance at the level walk

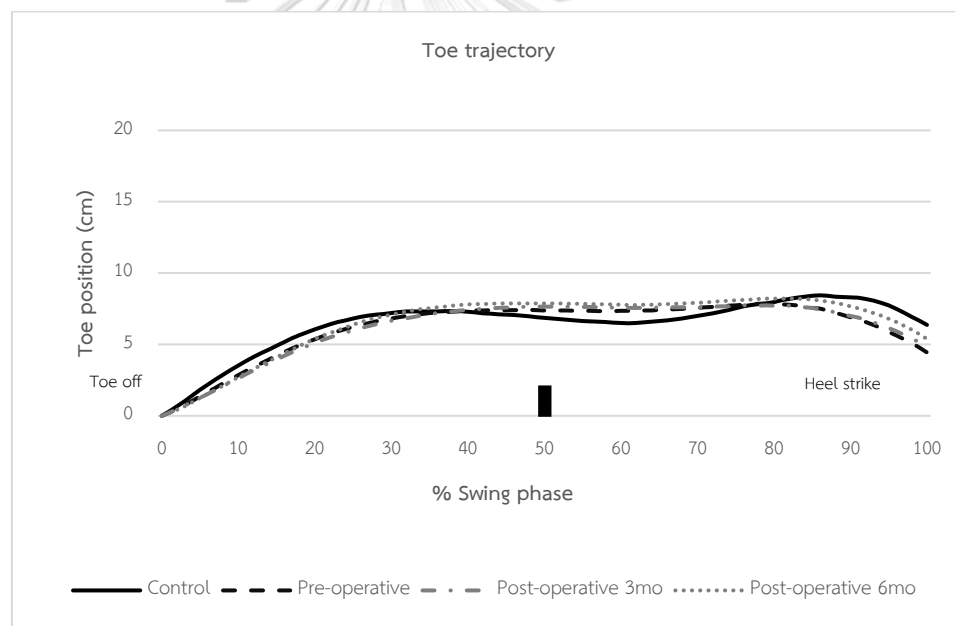


Figure 42 Toe clearance over the obstacle at 2.5 cm

■ Obstacle

Figure 42 The line graph represented the swing phase which was the time when the foot is airborne during one gait cycle i.e., operated foot toe-off to operated foot initial contact while crossing the obstacle. Toe clearance of the knee OA groups had no significant differences at the initial phase (0–34%) of the swing phase, mid-swing phase (34–65%), and terminal swing phase (65–100%) ( $p = 0.212$ ,  $p = 0.485$ ,  $p$

= 0.564). Also, the toe clearance data between the control and six-month postoperative groups had no significant differences at the initial, mid-, and terminal swing phases ( $p = 0.261$ ,  $p = 0.122$ ,  $p = 0.890$ ).



**Figure 43** Toe clearance over the obstacle at 5 cm

■ Obstacle

In the knee OA patient groups, it was found that toe clearance heights had no significant differences throughout the swing phase when crossing over the obstacle (Figure 43) ( $p = 0.587$ ,  $p=0.183$ ,  $p=0.604$ ). In comparison, toe clearance of the control group was higher than that of the six-month postoperative groups at the initial swing phase ( $p = 0.004$ ). Nevertheless, toe clearance heights of both groups were not significantly difference at the mid- and terminal swing phases ( $p = 0.363$ ,  $p = 0.560$ ).



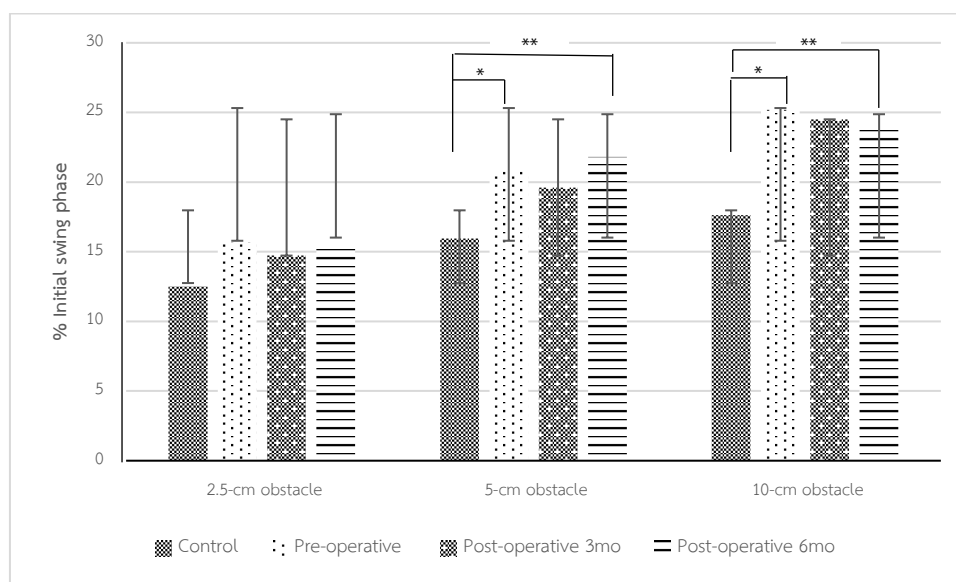
**Figure 44** Toe clearance over the obstacle at 10 cm

■ Obstacle

Toe clearance of the knee OA groups illustrated no significant difference in the swing phase (Figure 44) ( $p = 0.474$ ,  $p = 0.767$ ,  $p = 0.744$ ). Furthermore, the toe clearance of control group was significantly higher toe clearance at the initial phase ( $p = 0.001$ ) and smaller toe clearance compared to the six-month postoperative group at the terminal swing phase ( $p = 0.035$ ). Besides, the toe clearance value of both groups was not significantly different in the mid-swing phase ( $p = 0.470$ ).

When the patient groups stepped with their operated limb to cross all obstacles in accordance with figure 42-44, their gait cycle and toe trajectory had a similar pattern of movement in all conditions of the swing phase. As stated earlier, movement of the foot during the swing phase comes in contact with the surface or obstacle can cause tripping (24-26). Therefore, the initial swing phase is the primary marker which involved the tripping accident because the foot position is close to the object. Considering at the slope of the line graphs. At the initial swing phase, the line graphs of toe trajectory in the knee OA groups were exhibited in a similar pattern and had no significant changes in the slope of the trajectory at all conditions as follows: slope at 2.5-cm, 5-cm, and 10-cm obstacle;  $p = 0.297$ ,  $p = 0.930$ ,  $p = 0.558$ .

Additionally, the slopes of the six-month postoperative group were smaller than those control group at 5-cm and 10-cm obstacles ( $p = 0.028$ ,  $p = 0.010$ ), except the slope of 2.5-cm obstacle ( $p = 0.060$ ).



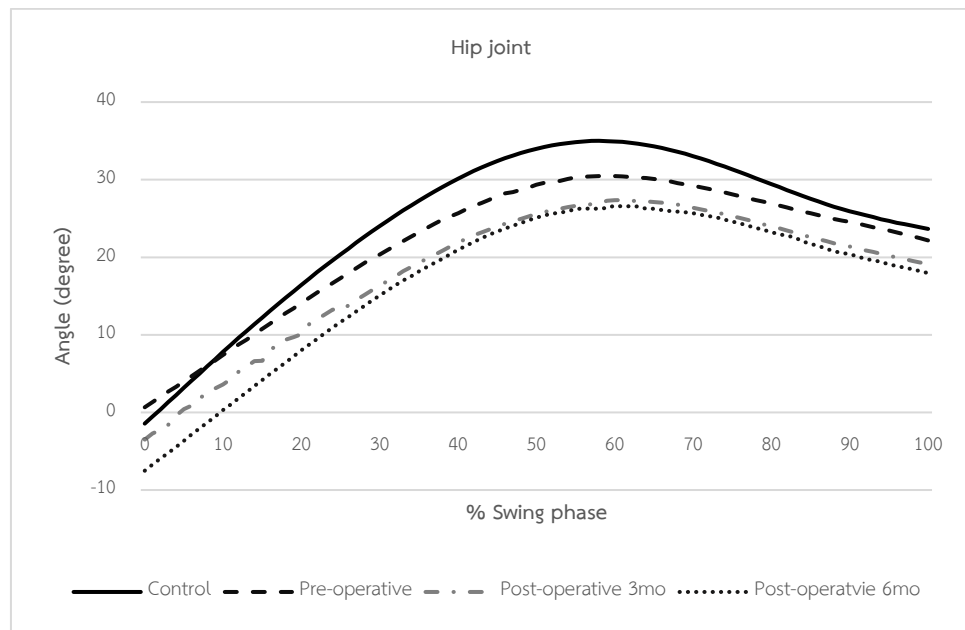
\* Significant differences between pre-operative and CG and \*\* Significant differences between post-operative 6mo and CG are reported with a significance value set at  $P < 0.05$

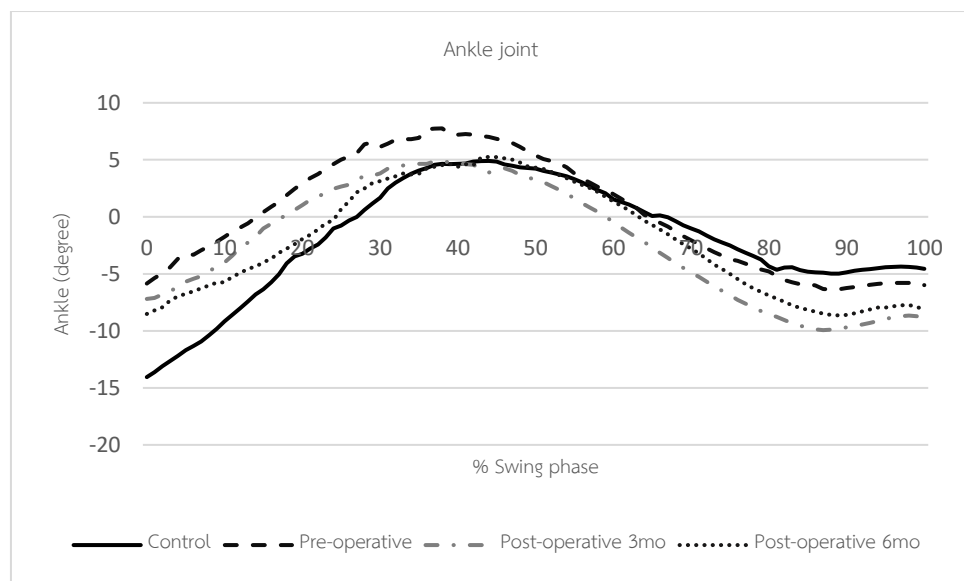
**Figure 45** Swing phase during walking before stepping over the obstacles

Before crossing the obstacles, the participants put forward their lower extremities higher than the obstacle heights at different time points of the initial swing phase (Figure 45). Comparison among the patient groups revealed no significant difference time points at the initial swing phase of 2.5-cm, 5-cm, and 10-cm obstacle heights ( $p = 0.872$ ,  $p = 0.386$ ,  $p = 0.819$ ). At 2.5-cm obstacle height, pre-operative group had no significantly different time point compared with control group ( $p=0.100$ ). At 5-cm and 10-cm obstacle heights, the pre-operative group showed the decreased time points compared with the control group ( $p=0.010$ ,  $p=0.000$ ).

In addition, the six-month postoperative group had no significantly different time points compared with the control group at the 2.5-cm obstacle height ( $p = 0.110$ ). At 5-cm and 10-cm obstacle heights, the six-month postoperative group could

not swing the leg faster than control group ( $p = 0.003$ ,  $p = 0.000$ ). In order to clear the top of the obstacle, postoperative patients tended to lift their limb higher with an increase in the obstacle height. However, the patients still moved their leg slower than the control group at the initial swing phase.





**Figure 46** Sagittal kinematics of the hip, knee, and ankle when walking over the obstacle at 2.5 cm; positive hip joint angle, flexion; positive knee joint angle, flexion; positive ankle joint angle, dorsiflexion

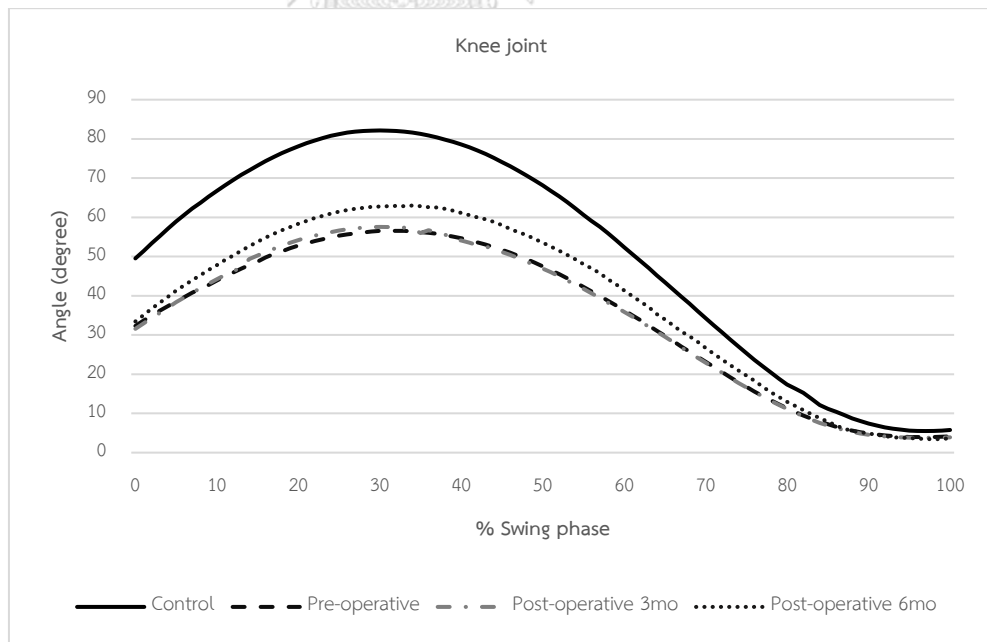
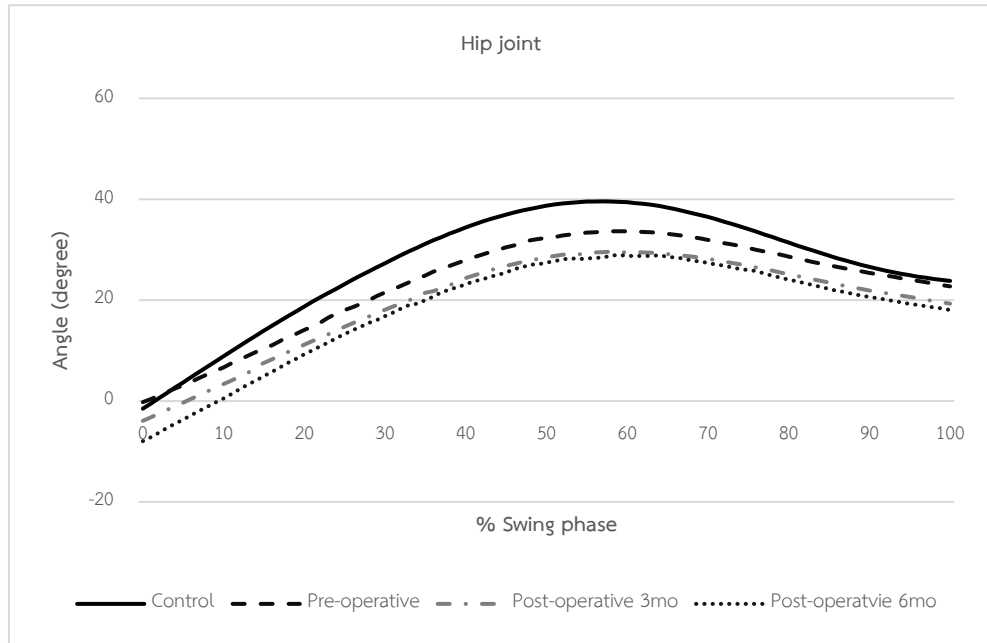
Figure 46 illustrated that the pre-operative group had higher hip flexion at initial swing than the six-month postoperative group ( $p = 0.003$ ). At mid-swing and the terminal swing phase, the pre-operative group still had significantly increased hip flexion compared to the three-month postoperative group ( $p = 0.016$ ,  $p = 0.036$ ). However, the six-month postoperative group had significantly decreased hip flexion compared to the control group when crossing over the obstacle of the swing phase ( $p = 0.002$ ,  $p = 0.001$ ,  $p = 0.013$ ).

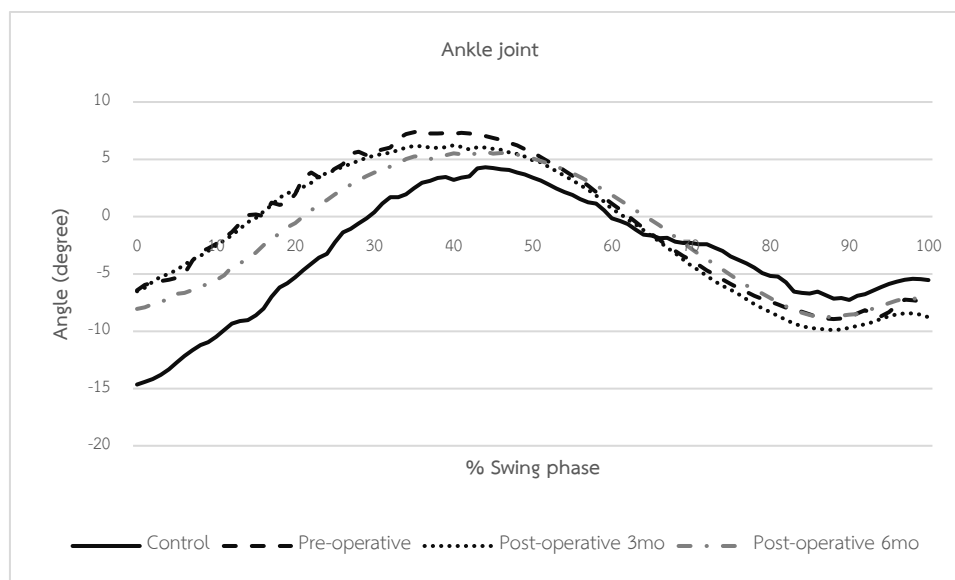
No significant differences in knee flexion were found at the initial, mid-, and terminal swing phases ( $p = 0.430$ ,  $p = 0.088$ ,  $p = 0.802$ ) among the patient groups. In addition, the six-month postoperative group had reduced in knee flexion compared to the control group at the initial and mid-swing phases ( $p = 0.000$ ,  $p = 0.000$ ).

At the ankle, the pre-operative group had higher ankle dorsiflexion compared to the postoperative groups throughout the swing phase ( $p = 0.335$ ,  $p = 0.948$ ,  $p = 0.085$ ). Following the surgery, no significant differences were observed at the ankle



dorsiflexion of the six-month postoperative group compared to the control group ( $p = 0.247$ ,  $p = 0.948$ ,  $p = 0.085$ ).





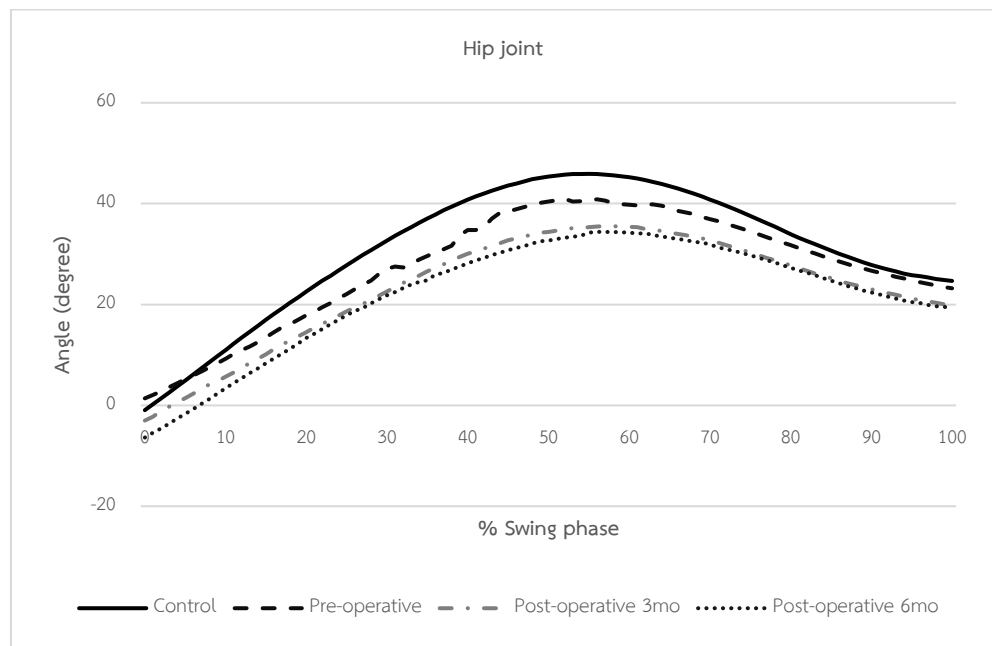
**Figure 47** Sagittal kinematics of the hip, knee, and ankle when walking over the obstacle at 5 cm; positive hip joint angle, flexion; positive knee joint angle, flexion; positive ankle joint angle, dorsiflexion

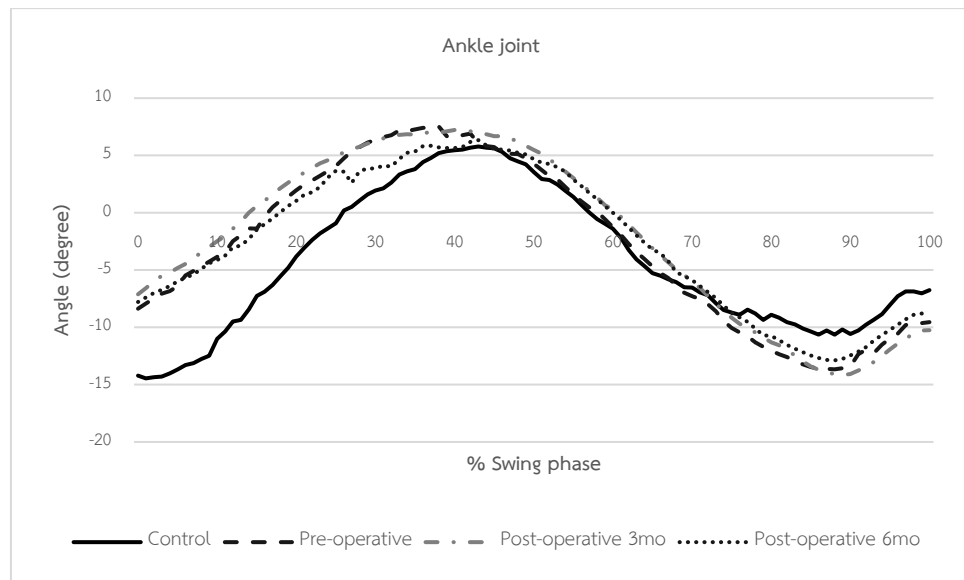
At the hip, the pre-operative group exhibited greater hip flexion at initial and mid-swing phases compared to the postoperative groups ( $p = 0.003$ ,  $p = 0.008$ ). At terminal swing phase, the results showed hip flexion of the pre-operative group was higher than the three-month postoperative group ( $p = 0.027$ ). After surgery for six months, the hip flexion was significantly decreased throughout the swing phase compared to the control group ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.000$ ,  $p = 0.005$ ).

When crossing over the obstacle, the patient groups exhibited no significant differences in knee flexion at the initial, mid-, and terminal swing phases ( $p = 0.344$ ,  $p = 0.209$ ,  $p = 0.599$ ). Further, the six-month postoperative group had decreased in knee flexion compared to the control group at the initial and mid-swing phases ( $p = 0.000$ ,  $p = 0.000$ ).

There were no significant differences in ankle dorsiflexion among the patient groups throughout the swing phase groups ( $p = 0.552$ ,  $p = 0.944$ ,  $p = 0.665$ ). Similarly,

the patients following TKA in the sixth month indicated no significant difference in ankle dorsiflexion compared with the control group throughout the phase ( $p = 0.074$ ,  $p = 0.271$ ,  $p = 0.461$ ).





**Figure 48** Sagittal kinematics of the hip, knee, and ankle when walking over the obstacle at 10 cm; positive hip joint angle, flexion; positive knee joint angle, flexion; positive ankle joint angle, dorsiflexion

At the hip, the pre-operative group had higher hip flexion compared with the three-month postoperative group at the initial swing ( $p = 0.002$ ) and the ranges of this group were also higher than the postoperative group from the mid-swing to the terminal swing phase ( $p = 0.003$ ,  $p = 0.022$ ). Besides, the six-month postoperative group displayed significantly decreased hip flexion throughout the swing phase compared to the control group ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.000$ ,  $p = 0.010$ ).

No significant differences in knee flexion was found for the patient groups at the initial, mid-, and terminal swing phases ( $p = 0.333$ ,  $p = 0.479$ ,  $p = 0.756$ ). Additionally, the six-month postoperative group showed a decrease in knee flexion at the swing phase compared with the control group ( $p = 0.000$ ,  $p = 0.000$ ,  $p = 0.001$ ).

From the initial to the terminal swing phase, the patient groups displayed no significant difference in ankle dorsiflexion among the groups ( $p = 0.459$ ,  $p = 0.824$ ,  $p = 0.768$ ). In addition, the six-month postoperative group had showed no significant

difference in ankle dorsiflexion compared to the control group at the swing phase ( $p = 0.100$ ,  $p = 0.617$ ,  $p = 0.487$ ).

The results revealed the six-month postoperative group had decreased in hip flexion, knee flexion, and increased in ankle dorsiflexion at all the swing phases when walking over the obstacles. It could be suggested that the kinematics of the lower extremity had not completely returned to their normal function although the patient had improved in walking pattern from total knee arthroplasty.



## CHAPTER V

### DISCUSSION

The present study found that no significant differences in participant demographics were observed between pre-operative group and control group for age, height and skeletal muscle mass. The mean body weight ( $61.43 \pm 10.69$  kg) and BMI ( $27.09 \pm 3.63$ ) of the pre-operative group was significantly greater than the mean of those ( $54.34 \pm 8.08$  kg,  $22.99 \pm 2.80$ ) control group. Although the researcher attempted to match knee OA participants to healthy control for body weight and BMI, the differences of these variables between groups in current study were similar to what others had reported in earlier for participants of the same age range with knee OA (126, 127). According to previous reported, the body mass in an individual increase was associated an increased risk of knee OA onset and progression (128). Similarly, the increased in weight or adiposity excess were prevalent condition of the disease in knee OA patients (129). Additionally, the three-month postoperative group had difference in mean tibiofemoral angles compared with pre-operative group. It was suggested that the knee joint alignment was improved closed to normal knee alignment after surgery (130).

Changes in lower extremity movement were observed following the surgery. The six-month TKA patients had decreased in hip extension, decreased in knee flexion and extension compared with control group. However, the values of those TKA patients showed no significant difference in hip flexion, ankle plantarflexion and ankle dorsiflexion compared with control group. Generally, the researchers mostly performed the knee range of motion i.e. knee flexion and knee extension. Siow et al. conducted knee joint motion in 2-year TKA patients among three ethnic groups, namely, Chinese, Malays, and Indians. The data found no differences for flexion and extension among the ethnic races preoperatively. The average knee flexion was 114.8-116.1 degrees and knee extension was 4.8-7.4 degrees. After surgery, the ROM

revealed that the patients had no significant knee flexion but the knee extension was decreased (131). Additionally, Mutsuzaki et al. studied the time course of improvement in knee ROM for up to 12 months after TKA. At pre-operatively, the mean value of knee flexion was  $118.5 \pm 18.3$  degree; knee extension was  $8.7 \pm 9.6$  degree. After surgical for 12 months, the patients had  $113.6 \pm 15.3$  degrees of knee flexion and  $1.5 \pm 3.8$  degrees of knee extension. Researchers suggested that the alteration of knee flexion was plateaued three months following TKA and the changes in knee extension was plateaued six months following TKA. In order to maintain knee joint motion, the patients should continue rehabilitation from 3-12 months for knee flexion and from 6-12 months for knee extension (132). As mentioned earlier, the patients had slightly improved knee flexion after surgery compared with pre-operative group. However, the values of those TKA patient could not reach at the knee flexion level of the control group. It may be stated that preoperative soft tissue condition can influence the postoperative flexion and extension angle. Even though they had corrected knee alignment and improved quality of life, the range of motion was revealed movement deficiency due to decreased quadriceps and hamstrings muscle strength.

Considering leg muscle strength after TKA respected to gait kinematics. In the current study, quadriceps muscle strength in the six-month postoperative groups was significantly lower than control group. Likewise, Schache et al. performed the systematic review to determine lower limb strength following TKA. The results illustrated that TKA patients had weaker quadriceps than the controls at time period postoperatively (4–6 months, 1–3 years or greater than 3 years). In addition, hamstring muscles strength in patients 4–6 months following TKA had decreased compared with control group. Hamstring strength for patients 1–3 years post-operatively also showed weakness and no significant difference in hamstring strength at more than 3 years post-operatively (133). Accordingly, Lauermann et al. investigated muscle strength in elderly adults with TKA for 4-8 months. The data showed that quadriceps muscles strength of the patients were weaker than the

control group (134). Yoshida et al. designed a structured and progressive rehabilitation protocol for the TKA patients. After finishing the program, the patients were conducted maximal voluntary isometric contraction of the quadriceps femoris muscle strength. It was found that the TKA patients also had decreased in muscle strength compared with control group even though they had rehabilitation program (135). As mentioned previously, patients continually presented weakness of quadriceps following TKA and had not reached levels similar to control group. The persistent phenomenon of knee muscle weakness could be related the long-term outcomes of OA on knee structures, the severity of soft tissue injury produced by TKA surgery, and arthrogenic muscle inhibition (134). Arthrogenic muscle inhibition is a reflex response after joint injury. This response had inability to completely contract of the muscle and protect it from further damage. Thus, the protective mechanism might be led to lower leg muscle weakness (136, 137).

Following 6-month TKA, the patients had a normative range of values for muscle length in the hamstrings, iliopsoas compared with control group. Both groups had gastrocnemius and quadriceps muscle tightness. Although, the six-month postoperative group show slightly increased in degree of quadriceps muscle length. It could be suggested that the patients were given exercise prescription such as knee range of motion exercise (flexion/extension), walking exercise by orthopedic surgeons in order to enhance physical performance whereas the control group had not performed following the instruction.

In the current study found that the six-month postoperative group had no significant difference in joint position sense (knee flexion and extension) compared with the control group. Considering of the knee joint extension test, the absolute error angle of the six-month postoperative group was slightly higher than control group. Wada et al. investigated the active knee joint position sense in the elderly patients with posterior cruciate ligament retaining prosthesis. The results revealed that pre-operative group had the mean absolute angular error at  $4.4 \pm 2.4^\circ$  and the values had changed to  $3.6 \pm 1.9^\circ$  after 18-month surgery. When compared the



absolute angular error with the control group ( $2.4 \pm 1.1^\circ$ ), those values of postoperative group showed significantly increase (138). The average absolute angle error range might be differed from the current study due to the patients still had partially parts of the knee receptor. Similarly, Mahmoudian et al. examined the effects of proprioceptive input in patients with early and established knee OA compared to asymptomatic controls. The patients performed active repositioning test in sitting position. At  $20^\circ$  flexion, there were no significantly different repositioning error among the groups but the established OA group showed slightly high repositioning error values compared to the control group (139). From this previous study, it had been manifested that knee OA patients had been associated with proprioceptive deficits (140). Thus, knee OA patients might deliver inadequate or distorted proprioceptive information to their central nervous system (141). Additionally, active tests of knee proprioception had been performed using concentric-to-isometric quadriceps and hamstring muscles actions (121). These actions quite related to function of the joint mechanoreceptor and muscle spindles which had important roles in joint position. The severity of OA pathology can cause the alteration in knee receptors (142, 143). In the current study was suggested that performing knee surgery might be effected the proprioceptive sensory due to the patients had resected the cruciate ligaments. The surgical technique may affect in joint position sense as well because it acted directly to muscle fibers that could contribute to muscle spindle impairment (144). Thus, differences in absolute error angle could be described by differences in severity of knee OA and consequently to the joint mechanoreceptor which was presented in the six-month postoperative group compared with control group.

Patients with six-month TKA tended to decrease in single leg balance compared with the controls. Similarly, Butler et al. conducted single leg balance in 12-month TKA patients. The patients had passed single leg balance for 10 s with their eyes open at the rate 69% (145). Moutzouri et al performed the systematic review which involved in the effects of TKA on balance and incidence of falls. The resulted

presented TKA patients had improved in static-limb stance about 60% after 11- day surgery compared with pre-surgery group (71). In addition, there was the related literature which studied of the effects of postural stability with double-limb standing. Shin et al. examined static ability balance of patients after TKA. The data revealed TKA patients had decreased in static balance compared with the control group (146). As mentioned earlier, it could be suggested that the maintaining standing balance with the single leg depended on the knee joint proprioception. However, the TKA patients had loss the knee joint proprioception due to the surgical treatment. Thus, the patient could not reach the level of single balance compared with the control.

Spatiotemporal gait parameters were examined among the patient groups during level walk. These characteristics were presented that the patients following TKA for six months exhibited improvement in spatiotemporal gait parameters, i.e., the six-month postoperative group was walking faster than the three-month postoperative group. When compared those variables to the control group, the six-month postoperative group still had slow walking speed, increased in stride width, decreased in stride length and step length. The previous study presented that the elderly adults walked with larger step widths because they tried to control their body posture during walking (147). In addition, other researchers also suggested that decreased in stride length and gait speed in knee OA patients caused by the mechanoreceptors damage in the proprioceptive system from the degenerative joint disease (34, 147). Even though the changes achieved with surgery were associated with knee pain release, corrected knee alignment and improved gait ability, participants with TKA could not gain walking performance as the same as healthy individuals. For MTC, the study findings indicated that the patients with TKA surgery for six months had a decrease in slope of TC at the initial swing phase and tend to slightly decrease MTC closed to the control group during level walk. At the time of MTC, the six-month postoperative group had significantly decreased hip flexion and knee flexion compared to control group. A similar phenomenon was observed in knee OA patient who had no surgical treatment, the result indicated that the MTC

height of knee OA participants was found to be resemble to asymptomatic controls even though the significant differences in the joint motion of the hip, knee, and ankle of the affected lower extremity reached the same height (148). A restricted knee flexion was frequently described in knee OA patients with or without knee surgery which had been aspect to the decreased range of motion of the affected limb (99, 149). The patients who had limited in knee flexion might not be efficient in achieving higher foot clearance and this could be an important problem in case that obstacle clearance was required. The patients who had conservative treatment or undergone TKA compensated their lower extremity movements to accomplish mobility functions. It could be suggested that the progressive knee OA patients had negative effect on sensorimotor skills including proprioception (150) and neuromuscular control. The inefficient of sensorimotor demonstrated with movement patterns and muscle weakness. Furthermore, these problem had been represented carry on with TKA patients (98, 151). Thus, the degrade of sensory information in knee receptors which manifested as the gait movement pattern change could contribute to tripping during walking.

Generally, all groups of the knee OA patients exhibited no significant difference in toe clearance height when they crossed over the obstacles (2.5 cm, 5 cm, and 10 cm) at initial and mid-swing phase. After surgery for six months, the patients showed no significant difference in toe clearance at 2.5-cm obstacle height compared to the control group. At the same period, they illustrated decreased in toe clearance compared with control group while increasing the obstacle height (5 cm and 10 cm) at initial swing phase. In contrast, Byrne et al. had examined knee OA patients and undergone unilateral posterior cruciate-retaining knee replacement while walking crossed a 6 or 18 cm obstacle. The results reported that the patients had higher toe clearance of the affected limb than that of control group at all different heights. To maintain the toe clearance ability, the patients usually showed the increased hip hiking and hip flexor work during swing over the obstacle (39). It also appeared that toe clearance height and toe trajectory of TKA patients were

varied due to the effect of different surgical techniques. In the current study the patients with TKA had resection of anterior and posterior cruciate ligaments. Therefore, the gait movement pattern especially the knee joint could be altered knee joint function because proprioceptive sensory loss is presented. Besides, Lu et al. performed obstacle crossing in elderly adults with bilateral knee OA. It was found that the patients were able to cross obstacles of heights of 10%, 20% and 30% of their leg lengths. During swing the lower limb, the patients presented in decreased knee flexion and increased ankle dorsiflexion. Additionally, toe clearance of the patients was higher than healthy adults (38). It may be concluded that progression of knee OA and typical surgery treatment were involved impaired proprioceptive of the knee that could be effect on gait movement. Although, all groups of the patients are able to cross the obstacle by using compensate biomechanics of lower extremity. These affects may influence on the risk of falls especially in knee OA patients undergoing TKA.

Interestingly, the patients following TKA surgery for six months exhibited a decrease in slope of the toe trajectory at the initial swing phase compared to the control group (5-cm and 10-cm obstacles). In addition, they had tended to swing their legs faster the pre-operative group and showed the movement of their legs slower than the control group when lifting their leg off the ground before crossing the obstacles. These circumstance which occurred at the initial swing phase were relatively crucial because the toe moved close to the obstacles and it might lead to a trip-related fall. Furthermore, toe clearance of the surgical limb was manifestly relative in the lower extremity joint kinematics when swing the lower limb crossed over the three different obstacles (2.5 cm, 5 cm, and 10 cm) (Figure 45-47). The six-month postoperative group exhibited a significant decrease in hip flexion and knee flexion compared to the control group. On the other hand, there was no significant difference in the angle of ankle dorsiflexion of both groups. Likewise, Byrne et al. investigated the kinematic analysis of the gait over the obstacles. The TKA patients had decrease in knee flexion and increase in hip hiking compared with the control

group (39). The study of the affected-limb kinematic movement over the obstacles usually reported a significant decrease in knee flexion. The related study suggested that TKA patients might recognize chronic osteoarthritic motor pattern in human walking because they had walking with the OA knee pattern for many years. Following TKA surgery, they had not been accustomed to walking with their implants (152). For this reason, kinematic gait variables of TKA patients were particularly different compared with the control group. Accordingly, another possible reason of biomechanical change might be related to the effect of knee osteoarthritis pathology. Knee OA patients commonly had deformity of lower extremity was known as genu varum deformity. The negative outcomes of this deformity were affected lower limb function, biomechanical changes in the pelvic, leg and ankle joints, an alteration in muscle tension, a change in the tension of the outward knee ligament, and a signal adjustment circuit transferred from their mechanical receptors to the central nervous system (82). These numerous changes as mentioned previously were related to gait mechanics during walking, particularly to neuromuscular changes, which had a negative impact on proprioception (34).

Normally, knee joint proprioception derived neural input from mechanoreceptors in joints, muscles, tendons, and skin. Subsequently, the afferent input was conducted the information to integral motor learning and the proceeding program of complex movements at supraspinal centers (153). Joint mechanoreceptors had capability to detect the actual joint position and joint motion and integrated the signals at the higher level. Then, they also transferred the sensory signal feedback such as proprioception, modulates and activates knee muscles to the joint. Thus, knee joint proprioception is essential for neuromotor control due to it had ability to accurate modulation and activation of muscles that related to physical performance task (154-156). When natural movement is initiated, the central pattern generator (CPG), which is a neural circuit in the spinal cord, regulates the basic rhythm and neural activation pattern. The pattern-generation in human is involved the rhythmic activation of motor neurons and left-right alternation (91).

Additionally, the control of locomotion involves the use of sensory input from a variety of sources in the visual, vestibular and proprioceptive systems. During walking or crossing over the obstacles, the movement pattern is regulated by the multisensory afferent input. In order to control the activity of the leg muscle, extensor muscles are principally regulated determined by proprioceptive feedback, and the flexor muscles are mainly controlled by higher center (92). In the current study, knee OA patients with TKA had cut out the cruciate ligaments, the patients demonstrated kinematic gait alterations i.e. decreased hip flexion and decreased knee flexion. It could be said that the afferent input which derived from the ankle joint had decreased the gain of some reflex pathways to the higher center as a result of absence of knee proprioceptive ability while the patients crossed over the obstacles. Therefore, the interpretation of the signals from lower limb such as the ankle, knee, and hip joint receptors were unavailable. It was reasonable to assume that pathology of knee osteoarthritis and the effects of TKA produced gait movement pattern alteration and a trip-related fall because of sensory processing disorder in the knee receptors. To clarify another possible explanation that effects of the abnormality gait pattern when crossing over the obstacles. The sensory input from visual field could be considered. Earlier research determined the role of visual information. The data revealed visual information during obstacle crossing can be used a feedforward which defined as the use of visual information in order to viewed the situation prior to crossing the obstacles. These characteristic can provide the adjustment of toe clearance for the individuals when stepping prior to crossing (157, 158).

In summary, the patients with 6-month postoperative TKA had improved in walking speed and negatively impacted quadriceps strength and slightly decreased in static balance. Before stepping crossed over the obstacles at different heights, they still moved their leg slower and displayed reduced the slope of the TC trajectory at the initial swing phase. To clear the top of the obstacles, postoperative patients tended to lift their foot higher and moved the lower limbs with different kinematic

strategies (i.e., a decrease in hip flexion and knee flexion). These altered gait movement pattern with decreased toe clearance had identified as risk factors for tripping during obstacle-crossing due to the toe trajectory close to the ground surface. Even if TKA patients had high satisfaction with their treatment in terms of pain relief, functional recovery, and improved in the quality of life. The effects of surgical treatment could not bring them to reach the normal gait pattern. Therefore, training program of lower extremity such as strengthening of lower limb muscle or balance training exercise may be an important component of the effective postoperative rehabilitation programs. Further study is needed to investigated training program in hip flexor/extensor muscles, knee flexor/extensor muscles and balance training exercise in TKA patients during walking over the obstacle or situation with a light-adjustable room in order to maintain physical performance after TKA.









## Approval of Ethic Comittee



COA No. 016/2018

IRB No. 668/60

### INSTITUTIONAL REVIEW BOARD

Faculty of Medicine, Chulalongkorn University

1873 Rama 4 Road, Patumwan, Bangkok 10330, Thailand, Tel 662-256-4493

#### Certificate of Approval

The Institutional Review Board of the Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, has approved the following study in compliance with the International guidelines for human research protection as Declaration of Helsinki, The Belmont Report, CIOMS Guideline and International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice (ICH-GCP)

**Study Title** : Toe clearance and lower limb kinematics during swing phase of walking over the obstacles in postoperative total knee arthroplasty

**Study Code** : -

**Principal Investigator** : Miss Archrawadee Srijaroon

**Affiliation of PI** : Graduate School, Chulalongkorn University.

**Review Method** : Full board

**Continuing Report** : At least once annually or submit the final report if finished.

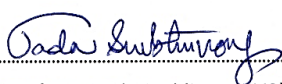
**Document Reviewed** :

1. Doctoral Dissertation Proposal Version 2.0 Date 23 December 2017
2. Protocol Synopsis Version 2.0 Date 23 December 2017
3. Information sheet for research participant Version 2.0 Date 23 December 2017
4. Informed consent for participating volunteers Version 2.0 Date 23 December 2017
5. Screening Questionnaire Version 2.0 Date 23 December 2017
6. Data entry form of volunteer participant Version 2.0 Date 23 December 2017
7. Knee and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) Version 2.0 Date 23 December 2017

Approval granted is subject to the following conditions: (see back of this Certificate)




8. Budget Version 1.0 Date 27 November 2017
9. Curriculum Vitae and GCP Training
  - Miss Archrawadee Srijaroon
  - Assoc.Prof. Pongsak Yuktanandana, M.D.
  - Assoc.Prof. Sompol Sanguanrungririkul, M.D.

Signature ..... 

(Emeritus Professor Tada Sueblinvong MD)

Chairperson

The Institutional Review Board

Signature ..... 

(Assistant Professor Prapapan Rajatapati MD, PhD)

Member and Secretary


The Institutional Review Board

Date of Approval : January 9, 2018

Approval Expire Date : January 8, 2019

Approval granted is subject to the following conditions: (see back of this Certificate)

## Participants information sheets and consent forms

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p> <p>เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

**ชื่อโครงการวิจัย** การยกเท้าขึ้นและเคลื่อนขาของร่างกายขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า  
(Toe clearance and lower limb kinematics during swing phase of walking over the obstacles in postoperative total knee arthroplasty)

**ผู้สนับสนุนการวิจัย** อยู่ระหว่างเตรียมการขอทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ผู้ทำวิจัย** นางสาวอัจฉราวดี ศรีจรูญ  
**ที่อยู่** อาคารแพทยพัฒน์ ชั้น 4 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330  
**เบอร์โทรศัพท์** 090-549-1836

### แพทย์ผู้ร่วมโครงการวิจัย

**ชื่อ** รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล  
**ที่อยู่** ภาควิชาศัลยศาสตร์ อำนวยการแพทย์พัฒน์ ชั้น 10 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 1873 ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
**เบอร์โทรศัพท์** 02-256-4267 ต่อ 2051, 02-252-7854, 081-492-3552

**ชื่อ** รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุคคะนันท์  
**ที่อยู่** ฝ่ายภาควิชา ออร์โธปิดิกส์ ศัลยศาสตร์ ชั้น 8 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พระราม 4 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
**เบอร์โทรศัพท์** 07-256 4230, 4510, 081-627-5141

### เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมระดับความรุนแรงของข้อเข่าเสื่อมตามเกณฑ์ของ Kellgren/Lawrence เกรด 3 หรือ 4 และได้รับการวินิจฉัยให้ทำการผ่าตัดจากศัลยแพทย์ออร์โธปิดิกส์ ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เพิ่มเติม กรุณาซักถามจากทีมงานของแพทย์ผู้วิจัยหรือแพทย์ผู้ร่วมทำวิจัยซึ่งจะเป็นผู้สามารถตอบคำถามและให้ความกระจ่างแก่ท่านได้

ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

### เหตุผลความเป็นมา


โรคข้อเข่าเสื่อมจะพบได้มากเมื่อผู้ป่วยอายุเพิ่มขึ้น ผู้ป่วยจะมีอาการปวดข้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง มีภาวะบวมพร่องของการรับตำแหน่งของข้อต่อ และการรักษาสมดุของร่างกายลดลง ภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้ผู้ป่วยทำกิจวัตรประจำวันต่างๆ ได้ลดลงหรือมีข้อจำกัดในการทำกิจกรรม การรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมมีวัตถุประสงค์เพื่อบรรเทาอาการของโรค ได้แก่ การรักษาโดยไม่ใช้ยา (การทำกายภาพบำบัด การใช้เครื่องช่วย การรักษาด้วยการใส่ยา ในกรณีที่มีการรักษา

หน้า 1

Version 1.0 Date 29 December 2017



<p>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</p> <p>Faculty of Medicine, Chulalongkorn University</p>	
IRB No. .... 668 / 60	
Date of Approval..... 9 มี.ค. 2561	

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p> <p>เอกสารข้อมูลก่อนยินยอมสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

ดังกล่าวข้างต้น ไม่ได้ผลแพทย์จะแนะนำการผ่าตัดให้กับผู้ป่วยการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม หลังการผ่าตัดพบว่าผู้ป่วยมีอาการปวดเข่าลดลงและสามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าภายหลังการผ่าตัด 6 เดือนผู้ป่วยมีอุบัติการณ์การหกล้มมากถึง 32.9%

ผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมมักจะมีลักษณะเข่าโก่ง และมีท่าทางของข้อต่ออย่างค้ำง อยู่ในลักษณะข้อต่อเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของกระดูกและอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการหกล้มขึ้นได้ แม้จะมีรายงานวิจัยพบว่าภายหลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าผู้ป่วยมีอาการเคลื่อนไหวของข้อเข่าดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลหลังการผ่าตัดก็ยังไม่สามารถทำงานได้ดีเทียบเท่ากับคนปกติ นอกจากนี้ผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมยังมีการรับรู้ตำแหน่งของข้อต่อลดลง ในกรณีที่ทำให้การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าจะมีการนำส่วนของเอ็นข้อเข่าออกไปทำให้ไม่มีตัวรับความรู้สึกภายในข้อเข่า การดังกล่าวอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวส่งเสริมให้เกิดภาวะหกล้ม

รายงานการศึกษาหลังการผ่าตัดพบว่าผู้ป่วยยังคงมีการเดินองศาการงอข้อสะโพกและข้อเข่า แต่องศาการงอของข้อเข่าจะลดลง นอกจากนี้ปัญหาการหกล้มในผู้ป่วยหลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าก็ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าผู้ป่วยจะสามารถเดินก้าวข้ามผ่านสิ่งกีดขวางได้อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่ทำการวัดระยะห่างของการยกเท้าพื้นพื้นขณะเดินก้าวข้ามผ่านสิ่งกีดขวางในช่วงการเดินในระยะเริ่มต้นที่ขาแกว่งเท้าพื้นพื้นซึ่งเป็นช่วงที่ตำแหน่งของเท้าอยู่ใกล้กับพื้นมากที่สุด และมีแนวโน้มเป็นไปได้ว่าเท้าอาจจะสัมผัสกับวัตถุและนำไปสู่การสะดุดล้มได้ในที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษารายการยกเท้าพื้นพื้นและจลศาสตร์ของร่างกายขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวาง ในผู้ป่วยหลังทำการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าที่มีการนำส่วนของเอ็นข้อต่อออก ซึ่งความรู้ที่เกิดขึ้นจากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการประเมินรวมถึงการป้องกันการหกล้มในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถกลับมาทำกิจวัตรประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักจากการศึกษาในครั้งนี้คือ

1. เพื่อศึกษารายการยกเท้าพื้นพื้นในระยะแรกของช่วงแกว่งขา (Initial swing phase) และระยะที่ขาแกว่งอยู่เหนือพื้นในแนวเดียวกับลำตัว (Mid-swing phase) ขณะเดินก้าวข้ามวัตถุในผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมหลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเปรียบเทียบกับผู้ที่มีสุขภาพดี
2. เพื่อศึกษาจลศาสตร์ของร่างกายค้ำงในระยะแรกของช่วงแกว่งขา (Initial swing phase) และระยะที่ขาแกว่งอยู่เหนือพื้นในแนวเดียวกับลำตัว (Mid-swing phase) ขณะเดินก้าวข้ามวัตถุในผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมหลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเปรียบเทียบกับผู้ที่มีสุขภาพดี


ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย คือ 40 คน

#### วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

หลังจากท่านให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอให้ท่านกรอกแบบสอบถามเพื่อคัดกรองซึ่งได้แก่ คำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ประวัติสุขภาพในอดีตและปัจจุบัน แบบประเมินข้อเข่าเสื่อมเพื่อคัดกรองว่าท่านมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเข้าร่วมในการวิจัยและท่านจะได้รับการตรวจร่างกายอย่างละเอียด ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในร่างกาย การตรวจช่วงการเคลื่อนไหวของร่างกายค้ำง การตรวจความยาวกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของ



<p>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</p> <p>Faculty of Medicine, Chulalongkorn University</p> <p>IRB No. 666 60</p> <p>Date of Approval 9 มิ.ค. 2561</p>
---

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p> <p>เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

กล้ามเนื้ออย่างคล่อง ความยาวของรยางค์ล่าง การตรวจการรับรู้ตำแหน่งของข้อเท้า การตรวจการทรงตัว และการวิเคราะห์การเดิน โดยแพทย์และนักกายภาพบำบัด หากท่านมีคุณสมบัติเบื้องต้นที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเลือก โดยกลุ่มผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมจะมีคุณสมบัติในการเข้าร่วมวิจัยดังนี้ ข้อเข่าเสื่อมที่มีระดับความรุนแรงของข้อเสื่อมตามเกณฑ์ของ Kellgren/Lawrence เกรด 3 หรือ 4 และได้รับการวินิจฉัยให้ทำการผ่าตัดจากสัลยแพทย์ออร์โธปิดิกส์ ผู้ป่วยสามารถเดินได้เองโดยไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน กลุ่มคนปกติที่ไม่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมจะมีคุณสมบัติในการเข้าร่วมวิจัยดังนี้ ไม่มีอาการหรืออาการแสดงของภาวะข้อเข่าเสื่อมตามเกณฑ์ในการวินิจฉัยโรคข้อเข่าเสื่อม ตาม American College of Rheumatology ในขั้นตอนถัดไปท่านจะได้รับการอธิบายอย่างละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ โดยตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัยกลุ่มผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมจะมาพบผู้วิจัยหรือผู้ร่วมทำวิจัยทั้งสิ้น 3 ครั้ง ได้แก่ ก่อนทำการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า หลังทำการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่า 3 และ 6 เดือน กลุ่มคนปกติที่ไม่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมจะมาพบผู้วิจัยหรือผู้ร่วมทำวิจัยทั้งสิ้น 1 ครั้ง ในงานวิจัยครั้งนี้จะมีผู้เข้าร่วมงานวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 40 คน

#### ขั้นตอนการทดสอบ

#### 1. การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง

##### 1.1. บันทึกข้อมูลสุขภาพเบื้องต้น

1.1.1. น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย โรคประจำตัว

1.1.2. แบบประเมินข้อเข่าเสื่อม (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที)

#### 2. การตรวจร่างกายและการทดสอบต่างๆ

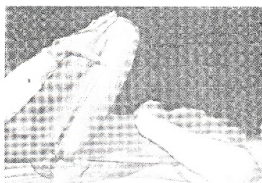
##### 2.1. การวิเคราะห์ห้องประกอบภายในร่างกาย

2.1.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยถอดรองเท้าขึ้นบนเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกายเครื่องทำการประมวลผล เป็นเวลาประมาณ 10 วินาที

##### 2.2. การตรวจช่วงการเคลื่อนไหวของรยางค์ล่าง

##### 2.2.1. ข้อสะโพก


2.2.1.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อสะโพกและข้อเข่าเหยียดตรงจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยงอข้อเข่าและข้อสะโพก พยายามให้เข้าชิดอก หรืองอให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



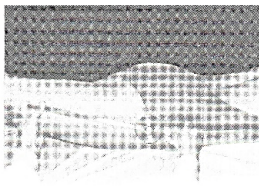
(Norkin and White., 2009)



<p>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</p> <p>Faculty of Medicine, Chulalongkorn University</p>	
IRB No.	668 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p> <p>เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

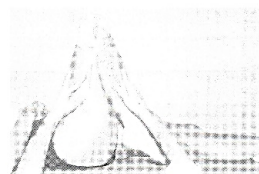
- 2.2.1.2. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำบนเตียง ข้อสะโพกและข้อเข่าเหยียดตรง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยกขาหนีจากเตียงให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



(Norkin and White., 2009)

#### 2.2.2. ข้อเข่า

- 2.2.2.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อสะโพกและข้อเข่าเหยียดตรง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยงอขาขณะที่เท้าเคลื่อนที่อยู่บนเตียง งอขาให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



(Norkin and White., 2009)


- 2.2.2.2. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อสะโพกและข้อเข่าเหยียดตรง ใช้ฝ่าขนหนูวางใต้ข้อเท้า จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเหยียดเข่าให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



(Norkin and White., 2009)



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	668 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p style="text-align: right;">AF 10-04/4.0</p> <p style="text-align: center;">เอกสารข้อมูลกําอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

### 2.2.3. ข้อห้า

- 2.2.3.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ใช้หมอนวางใต้ข้อเข่า ปลายเท้าหันนอกขมับเพียง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยกระดกข้อเท้าขึ้นหรือเหยียดข้อเท้าลงให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง

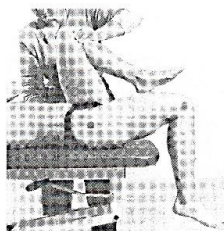


(Reese and Bandy., 2002)

### 2.3. การตรวจความยาวกล้ามเนื้อ

#### 2.3.1. กล้ามเนื้องอสะโพกและกล้ามเนื้อเหยียดเข่า

- 2.3.1.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียงให้เข่าข้างที่จะทดสอบหันจากขมับเพียง ขาอีกข้างให้เหยียดเข่าวางราบบนเตียง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยใช้มือจับเข่าข้างที่อยู่บนเตียงให้งอชิดหน้าอก ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) วัดเข่าข้างที่อยู่บนเตียง ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



(Reese and Bandy., 2002)


#### 2.3.2. กล้ามเนื้องอเข่า

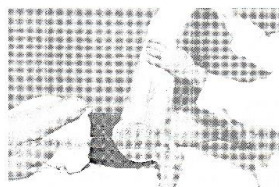
- 2.3.2.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อสะโพกและข้อเข่าเหยียดตรง จากนั้นผู้วิจัยจะทำการยกขาข้างที่จะทดสอบขึ้นจนกระทั่งรู้สึกว่ามีแรงต้านหรือผู้เข้าร่วมวิจัยรู้สึกตึงจึงจะหยุดทำการทดสอบ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No. .... 48 / 40	
Date of Approval..... 9 มี.ค. 2561	



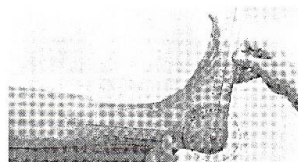
	คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	AF 10-04/4.0 เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)
---	-------------------------------------	---



(Norkin and White., 2009)

### 2.3.3. กล้ามเนื้อเหยียดปลายเท้า

2.3.3.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อศอกและข้อเข่าเหยียดตรง ปลายเท้าพื้นขอบเตียง ผู้วิจัยทำการกระดกข้อเท้าขึ้นจนกระทั่งรู้สึกว่ามีแรงต้านหรือผู้เข้าร่วมวิจัยรู้สึกตึงจึงจะหยุดทำการทดสอบ ผู้วิจัยทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้เครื่องวัดมุม (Goniometer) ทำการทดสอบ 3 ครั้งในขาแต่ละข้าง



(Reese and Bandy., 2002)

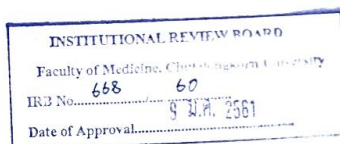
### 2.4. ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ


#### 2.4.1. กล้ามเนื้อเหยียดเข้า

2.4.1.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเตียงข้อศอก ข้อเท้างอ 90° ผู้วิจัยจะใช้เครื่องวัดกำลังกล้ามเนื้อด้วยมือ (Hand held dynamometer) วางตั้งจากกับกระดูกหน้าแข้ง จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเหยียดขาต้านกับเครื่องให้ได้มากที่สุด โดยออกแรงค้างไว้ 3 วินาที ทำการทดสอบ 3 ครั้ง พัก 30 วินาทีระหว่างช่วงการทดสอบ

#### 2.4.2. กล้ามเนื้องอเข้า

2.4.2.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเตียงข้อศอก ข้อเท้างอ 90° ผู้วิจัยจะใช้เครื่องวัดกำลังกล้ามเนื้อด้วยมือ (Hand held dynamometer) วางด้านหลังขานิ้วถ่างหนี้อันเท้า จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเหยียดขาต้านกับเครื่องให้ได้มากที่สุด โดยออกแรงค้างไว้ 3 วินาที ทำการทดสอบ 3 ครั้ง พัก 30 วินาทีระหว่างช่วงการทดสอบ



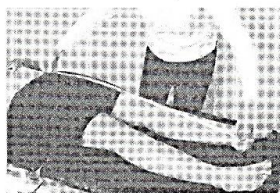
	คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	AF 10-04/4.0
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)		



(Koblbauer et al., 2011)

## 2.5. การวัดความยาวของรยางค์ล่าง

- 2.5.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อศอกและข้อเข่าเหยียดตรง ข้อเท้าอยู่ในลักษณะตรงไม่บิดหมุน ผู้วิจัยทำการวัดโดยใช้สายวัด วัดจากด้านหน้าของกระดูกเชิงกรานไปยังค่ามุมด้านใน ทำการวัด 2 ครั้ง



(Magee., 2008)

## 2.6. การตรวจการรับรู้ตำแหน่งของข้อเข่า

- 2.6.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเตียง ข้อศอกและข้อเข่าเหยียดตรง ผู้วิจัยใช้มือข้างหนึ่งจับบริเวณข้อเท้า มืออีกข้างจับบริเวณด้านข้างข้อเข่าเล็ก จากนั้นงอเข่าขึ้น 90° ผู้วิจัยจะทำการยกขาขึ้นเพื่อให้รับรู้ว่าขณะนี้เข่าเหยียด จากนั้นจะสลับโดยจะทำการงอขาเพื่อรับรู้ว่าขณะนี้เข่างอ ขณะทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องหลับตา และหายใจเคลื่อนไหวของข้อเข่าว่าข้อเข่าอยู่ในท่างอหรือเหยียด โดยจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง

## 2.7. ทดสอบการทรงตัว


- 2.7.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนตรง มีอวางข้างลำตัว เท้าแยกห่างกันประมาณช่วงไหล่ ถอดรองเท้าขณะทำการทดสอบ จากนั้นผู้วิจัยทำการแจ้งให้ยกขาข้างที่จะทำการผ่าตัด งอเข่าขึ้น 90° ค้างไว้ 10 วินาที ทำการทดสอบ 3 ครั้ง ขณะล้มตาและหลับตา เพื่อป้องกันการเซหรือล้ม ผู้วิจัยจะยืนอยู่ใกล้ๆผู้เข้าร่วมวิจัยยืนขณะทดสอบ

## 2.8. การวิเคราะห์การเดิน

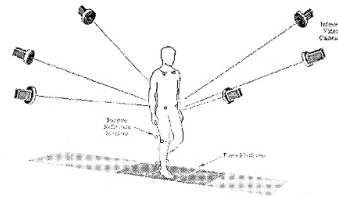
- 2.8.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยสวมกางเกงที่เตรียมไว้สำหรับใช้ในการทดสอบ จากนั้นผู้วิจัยจะทำการคิดเครื่องหมายบนตำแหน่งต่างๆตามร่างกาย



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	668 / 60
Date of Approval.....	9 มี.ค. 2561

	<p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p>
<p>เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>		

- 2.8.2. การทดสอบประกอบด้วยการเดินบนพื้นราบและการเดินข้ามวัตถุที่ทำจากฟองน้ำที่มีความสูงต่างกัน 3 ระดับ คือ 2.5 ซม. 5 ซม. 10 ซม. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องเดินทางราบ 3 ครั้ง เดินข้ามวัตถุ 3 ครั้ง/ความสูงของวัตถุ ในขณะที่ทดสอบจะทำการพักเป็นเวลา 5 นาที/ครั้ง
- 2.8.3. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับฝึกเดินบนพื้นราบและเดินข้ามวัตถุก่อนที่จะทำการเก็บข้อมูล



([https://www.medscape.com/content/1998/00-44/01-4401-48-4401-48\\_fig.html](https://www.medscape.com/content/1998/00-44/01-4401-48-4401-48_fig.html))

**ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย**

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด รวมทั้งแจ้งอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับท่านระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัยให้ผู้ทำวิจัยได้รับทราบ

เพื่อความปลอดภัย ท่านไม่ควรใช้วัคซีน หรือรับประทานยาอื่น จากการจ่ายยาโดยแพทย์อื่นหรือซื้อยาจากร้านขายยา ขอให้ท่านปรึกษาผู้ทำวิจัย ทั้งนี้เนื่องจากวัคซีน หรือยาดังกล่าวอาจมีผลต่อการวิเคราะห์การเดินก้าวข้ามผ่านวัตถุที่ท่านได้รับจากผู้ทำวิจัย ดังนั้นขอให้ท่านแจ้งผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับยาที่ท่านได้รับในระหว่างที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัย

**ความเสี่ยงที่ท่านจะได้รับ**

ท่านอาจสะดุดหรือหกล้มขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวาง ผู้วิจัยได้ออกแบบวัตถุที่ใช้ในการทดสอบขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวาง โดยใช้วัสดุที่เป็นฟองน้ำเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมวิจัยและป้องกันภาวะการหกล้มจากการที่เท้าของผู้วิจัยสัมผัสวัสดุในกรณีที่คุณไม่สามารถยกเท้าก้าวข้ามผ่านวัตถุนั้นได้ ขณะทำการทดสอบผู้วิจัยจะอยู่ในบริเวณที่ทำการทดสอบด้วยทุกครั้งและจะมีเจ้าหน้าที่คอยดูแลอย่างใกล้ชิด หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินจะมีการปฐมพยาบาลเบื้องต้นอย่างถูกต้อง


กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยในกรณีที่พบอาการดังกล่าวข้างต้น หรืออาการอื่น ๆ ที่พบร่วมด้วย ระหว่างที่อยู่ในโครงการวิจัย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสุขภาพของท่าน ขอให้ท่านรายงานให้ผู้ทำวิจัยทราบโดยเร็ว

**ความเสี่ยงที่ไม่ทราบแน่นอน**

ท่านอาจเกิดการข้างเคียง หรือความไม่สบาย นอกเหนือจากที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งอาการข้างเคียงเหล่านี้เป็นอาการที่ไม่เคยพบมาก่อน เพื่อความปลอดภัยของท่าน ควรแจ้งผู้ทำวิจัยให้ทราบทันทีเมื่อเกิดความผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น



<p>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</p> <p>Faculty of Medicine, Chulalongkorn University</p>	
IRB No.	668 / 60
Date of Approval	4 มี.ค. 2561

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p> <p>เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่าน ในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันที เพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไปหรือจะขอลอนตัวออกจากโครงการวิจัย

**การพบแพทย์นอกตารางนัดหมายในกรณีที่เกิดอาการข้างเคียง**

หากมีอาการข้างเคียงใด ๆ เกิดขึ้นกับท่าน ขอให้ท่านรีบมาพบแพทย์ที่สถานพยาบาลทันที ถึงแม้ว่าจะอยู่นอกตารางการนัดหมาย เพื่อแพทย์จะได้ประเมินอาการข้างเคียงของท่าน และให้การรักษาที่เหมาะสมทันที หากอาการดังกล่าวเป็นผลจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่าย

**ประโยชน์ที่ท่านจะได้รับ**

ท่านจะไม่ได้รับประโยชน์ใดๆ จากการเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ แต่ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลและแนวทางในการป้องกันโรคและการปฏิบัติตัวภายหลังการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเพื่อให้ท่านมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคและผลการดำเนินไปของอาการภายหลังการผ่าตัดได้อย่างถูกต้อง

**วิธีการและรูปแบบการรักษาอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่สำหรับอาสาสมัคร**

ท่านไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้เพื่อประโยชน์ในการรักษาโรคที่ท่านเป็นอยู่ เนื่องจากมีแนวทางการรักษาอื่น ๆ หลายแบบสำหรับรักษาโรคของท่านได้ ดังนั้นจึงควรปรึกษานักวิชาการรักษาวิธีอื่น ๆ กับแพทย์ผู้ให้การรักษาทันทีก่อนตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย

**ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย**

ขอให้ท่านปฏิบัติตามดังนี้

- ขอให้ท่านให้ข้อมูลทางการแพทย์ของท่านทั้งในอดีต และปัจจุบัน แต่ผู้ทำวิจัยด้วยความสัจย์จริง
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบความคิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย


**อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย**

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที และท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน และการลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้ละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวกับโครงการวิจัย ท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล เบอร์โทรศัพท์ 081-492-3552 และรองศาสตราจารย์ นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุทธะนันท์ เบอร์โทรศัพท์ 081-627-5141 ได้ตลอด 24 ชั่วโมง



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	668 / 60
Date of Approval.	9 มี.ค. 2561

 <p>คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>	<p>AF 10-04/4.0</p> <p>เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)</p>
--	---

#### ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย

ท่านจะได้รับ การตรวจประเมินการวิเคราะห์การเดินก้าวข้ามผ่านวัตถุ ในโครงการวิจัยจากผู้สนับสนุนการวิจัย โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (การทำ clinical trial ผู้วิจัย/ผู้สนับสนุนโครงการวิจัยจะต้องออกค่าใช้จ่ายทั้งหมดให้ผู้เข้าร่วมการวิจัย)

#### ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัย

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย แต่ท่านจะได้รับค่าเดินทางและเงินชดเชยการสูญเสียรายได้ หรือความไม่สะดวก ไม่สบาย ในการมาพบแพทย์ทุกครั้ง ครั้งละ 300 บาท รวมทั้งหมด 3 ครั้ง

#### การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอลงตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่เกิดต่อการดูแลรักษาโรคของท่านแต่อย่างใด

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย

#### การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลนี้อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน

จากการลงนามยินยอมของท่านผู้ทำวิจัย และผู้สนับสนุนการวิจัยสามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม หากท่านต้องการยกเลิกการให้สิทธิ์ดังกล่าว ท่านสามารถแจ้งหรือเขียนบันทึกขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งไปที่ รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล ภาควิชา สรีรวิทยา อาคารแพทย์พัฒนา ชั้น 10 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

หากท่านขอยกเลิกการให้คำยินยอมหลังจากที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะไม่ถูกบันทึกเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามข้อมูลอื่น ๆ ของท่านอาจถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลการวิจัย และท่านจะไม่สามารถกลับมาเข้าร่วมในโครงการนี้ได้อีก ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลของท่านที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่อการวิจัยไม่ได้ถูกบันทึก

จากการลงนามยินยอมของท่านแพทย์ผู้ทำวิจัยสามารถบอกรายละเอียดของท่านที่เกี่ยวข้องกับการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ให้แก่แพทย์ผู้รักษาท่านได้

#### สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้


1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัยทางการแพทย์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย

หน้า 10

Version 2.0 Date: 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No. ....	668 60
Date of Approval.....	9 มี.ค. 2561

	คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	AF 10-04/4.0
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย (Information sheet for research participant)		


4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะได้รับการเปิดเผยถึงทางเลือกในการรักษาด้วยวิธีอื่น ยา หรืออุปกรณ์ซึ่งมีผลดีต่อท่านรวมทั้งประโยชน์และความเสี่ยงที่ท่านอาจได้รับ
6. ท่านจะได้รับทราบแนวทางในการรักษา ในกรณีที่พบโรคแทรกซ้อนภายหลังการเข้าร่วมโครงการวิจัย
7. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
8. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
9. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
10. ท่านมีสิทธิในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้สิทธิพลับบงคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรค่าการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตึกอำนวยการตึกชั้น 3 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 0-2256-4493 email: atapy.dev@gmail.com

ขอขอบคุณในการร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkornrajavidyalaya University	
IRB No.	668 60
Date of Approval	๑ มี.ค. ๒๕๖๑

	คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย	เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วม	AF 09-05/5.0
	คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	โครงการสำหรับอาสาสมัคร	หน้า 1/2

การวิจัยเรื่อง การยกเท้าพ้นพื้นและจลศาสตร์ของร่างกายช่วงขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนข้อ  
เข่า (Toe clearance and lower limb kinematics during swing phase of walking over the obstacles in  
postoperative total knee arthroplasty.)

วันที่ทำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว.....

ที่อยู่.....ได้อ่านรายละเอียดจาก

เอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่..... และข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วม  
โครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม และ วันที่ พร้อมด้วย  
เอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้เข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบาย  
จากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาของการทำวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย  
หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย และแนวทางรักษาโดยวิธีอื่นอย่างละเอียด ข้าพเจ้ามีเวลาและ  
โอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบัง  
ซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่  
เสียค่าใช้จ่าย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล และการบอกเลิกการเข้า  
ร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับการยินยอมจาก  
ข้าพเจ้าเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของผู้สนับสนุนการวิจัย คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงาน  
คณะกรรมการอาหารและยาอาจได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อ  
วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอมที่จะ  
ให้มีการตรวจสอบข้อมูลประวัติทางการแพทย์ของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการ  
ให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิใน  
การใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่าน  
กระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และ  
การรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคตหรือการวิจัยทางด้านเภสัชภัณฑ์  
เท่านั้น

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	668 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

	คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วม โครงการสำหรับอาสาสมัคร	AF 09-05/5.0 หน้า 2/2

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม  
(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง  
วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

การจัดการกับตัวอย่างชีวภาพ

ไม่มีตัวอย่างชีวภาพ

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

.....ลงนามผู้ทำวิจัย  
(.....) ชื่อผู้ทำวิจัย ตัวบรรจง  
วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

.....ลงนามพยาน  
(.....) ชื่อพยาน ตัวบรรจง  
วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	668 / 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561





แบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง  
(Screening Questionnaire)

เรื่อง การยกเท้าพื้นพื้นและจลศาสตร์ของร่างกายช่วงขณะเดินก้าวข้ามสิ่งกีดขวางในผู้ป่วยหลังผ่าตัด  
เปลี่ยนข้อเข่า

วันที่ทำการเก็บข้อมูล ...../...../..... ลำดับที่ .....

รหัสอาสาสมัคร .....

สถานที่ทำการเก็บข้อมูล.....

ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน

1. อาชีพ.....
2. อายุ ..... ปี
3. น้ำหนัก ..... กิโลกรัม  
ส่วนสูง ..... เซนติเมตร  
ค่าดัชนีมวลกาย ..... กก./ม.<sup>2</sup>
4. ท่านมีโรคประจำตัว  
 ไม่มี                       มี  
ถ้ามี (โปรดระบุ) .....
5. ปัจจุบันมีภาวะบาดเจ็บที่รยางค์ล่างหรือไม่  
 ไม่มี                       มี  
ถ้ามี (โปรดระบุ) .....
6. ความสามารถในการเดินทางราบ  
 เดินได้เองโดยไม่ใช้เครื่องช่วยเดิน  
 เดินได้เองโดยใช้เครื่องช่วยเดิน

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	666 / 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

ส่วนที่ 2 ประวัติภาวะข้อเข่าเสื่อม

โปรดตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง โดยทำเครื่องหมาย  ลงใน  หรือเติมข้อความลง

ในช่องว่าง (ถ้ามี)

1. ตำแหน่งของข้อเข่า

ข้างขวา       ข้างซ้าย       ทั้งสองข้าง

2. ระยะเวลาการดำเนินของโรค

- ปวดเข่าเป็นเวลา..... (เดือน/ปี)

- อาการปวด  เข่า เวลา..... อาการที่เกิดนาน.....นาที พัก.....นาที

เย็บ เวลา..... อาการที่เกิดนาน.....นาที พัก.....นาที

กลางคืน เวลา..... อาการที่เกิดนาน.....นาที พัก.....นาที

อื่นๆ เช่น ปวดตลอดเวลา

- อาการปวดรบกวนกิจกรรมใดในชีวิตประจำวัน

ยืน       เดินขึ้นลงบันได       เดินขึ้นรถเมล์

เดินทางราบ       นั่งชักโครก       อื่นๆ .....

3. การรักษาทางยาในปัจจุบัน

ทานยา      ถ้ามี (โปรดระบุ) .....

ฉีดยา      ถ้ามี (โปรดระบุ) .....

4. เหตุผลในการตัดสินใจผ่าตัด

.....

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No. 668	60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

ส่วนที่ 3 ประวัติการออกกำลังกาย

โปรดตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง โดยทำเครื่องหมาย  ลงใน  หรือเติมข้อความลง

ในช่องว่าง (ถ้ามี)

1. ท่านออกกำลังกายหรือไม่
  - ไม่  ใช่
2. ท่านออกกำลังกายชนิดใด
  - เดิน  วิ่ง  เต้นแอโรบิก
  - ให้อธิ  อื่น ๆ .....
3. ท่านออกกำลังกายเป็นเวลานานเท่าไร
  - ..... (สัปดาห์, เดือน, ปี)
4. ท่านออกกำลังกายกี่ครั้งต่อสัปดาห์
  - ทุกวัน  5 - 6 ครั้ง/สัปดาห์
  - 3 - 4 ครั้ง/สัปดาห์  1 - 2 ครั้ง/สัปดาห์
5. ท่านออกกำลังกายเป็นระยะเวลาเท่าไรต่อครั้ง
  - น้อยกว่า 30 นาที
  - 30 - 60 นาที
  - มากกว่า 60 นาที

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No. 668	60
Date of Approval.....	9 มี.ค. 2561



APPENDIX C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### Thai version of KOOS

The consistency of the translated Thai version of KOOS to the original English version has been evaluated and approved by 3 Thai physical therapists who have had clinical and research experiences in knee osteoarthritis (OA)<sup>1</sup>. The test-retest reliability was assessed using Intraclass correlation coefficients (ICC) and Cronbach's alpha within 5 domains. There were 25 participants (18 females, age 63.4±7.0) in the study. High reliability (ICC = 0.78-0.82) for pain and activity daily living domains and acceptable reliability (ICC = 0.71-0.72) for sport and recreation and quality of life domains were found while lower but still acceptable ICC = 0.45) for symptoms were recorded. Cronbach's alpha for internal consistency reliability from all domains was 0.9.

Constructed validity was assessed using Spearman's correlation coefficient to test the relationship of each KOOS domain to muscle strength and Aggregated functional performance time, including walking 15 meters, get up from chair and walk 15 meters, ascending and descending 11 steps of stairs. Data obtained from 48 participants (37 females, age 66.15±7.32) showed moderate correlation of 2 domains of KOOS including sport and recreation domain and quality of life domain to knee flexor and extensor muscle strength of the knee OA side ( $r = 0.35-0.5$ ). Outcomes from 4 domains except pain domain showed moderate correlation to AFPT ( $r = 0.38-0.5$ ).

Thai version of KOOS was used in a clinical study as a self-reported functional outcome after 4-week simple home-based exercise in participants with knee OA<sup>2</sup>. It was also been used to evaluate the functional outcome after autologous chondrocytes implantation for traumatic cartilage defects of the knee<sup>3,4</sup>.

Information about the Thai version of KOOS can be required from:

Kanda Chaipinyo, PT, PhD.	ผศ.ดร.กานดา ชัยภิญโญ
Physical Therapy Division,	สาขากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์
Faculty of Health Science,	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Srinakharinwirot University.	องครักษ์ นครนายก 26120

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkorn University	
IRB No.	668 / 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

Ongkharak, Nakhon-nayok, 26120

อีเมล kanda@swu.ac.th

Thailand.

Fax: int+ 66 37395438

Email: kanda@swu.ac.th

#### Reference

1. Kanda Chaipinyo. Test-retest reliability and construct validity of Thai version of Knee Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). Thai J Physical Therapy, 2009; 31(2): 67-76.
2. Kanda Chaipinyo, Orapin Karoonsupcharoen. No difference between home-based strength and home-based balance training on pain in patients with knee osteoarthritis: a randomised trial. Aust J Physiotherapy, 2009; 55(1): 25-30.
3. Channarong Kasemkijwattana, Suraphol Kesprayura, Kanda Chaipinyo, Cholawish Chantalit, Kosum Chansiri. Autologous Chondrocytes Implantation with Three-Dimensional Collagen Scaffold. J Med Assoc Thai, 2009; 92(10): 1282-6.
4. Channarong Kasemkijwattana, Suraphol Kesprayura, Kanda Chaipinyo, Cholawish Chantalit, Kosum Chansiri. Autologous Chondrocytes Implantation for Traumatic Cartilage Defects of the knee. J Med Assoc Thai, 2009; 92(5): 648-53.

Version 2.0 Date 23 December 2017



<b>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</b>	
Faculty of Medicine, Chulalongkornrajavidyalaya University	
IRB No. ....	668 60
Date of Approval.....	9 21 2561

## แบบประเมินข้อเข่า Knee and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)

ชื่อผู้ตอบประเมิน \_\_\_\_\_

อายุ \_\_\_\_\_ ปี เพศ  ชาย  หญิง วันที่ประเมิน \_\_\_\_\_

คำชี้แจง แบบประเมินนี้เป็นการสำรวจความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับข้อเข่า ข้อมูลนี้จะช่วยในการติดตามอาการที่เกิดขึ้น และประเมินระดับความสามารถในการเคลื่อนไหวของท่าน

โปรดตอบทุกคำถามโดยเลือกตอบข้อที่เหมาะสมที่สุดเพียงข้อเดียวในแต่ละคำถาม

โดยทำเครื่องหมายที่ตัวเลือกนั้น  หากไม่แน่ใจกรุณาเลือกคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด

1. อาการ คำถามต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับอาการที่เกิดขึ้นกับท่านในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมา

S 1 ข้อเข่าของท่านมีอาการบวมหรือไม่

ไม่มี	ไม่ค่อยมี	บางครั้ง	มีอาการบ่อยๆ	เป็นตลอดเวลา
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S 2 ท่านรู้สึกว้าข้อเข่ามีการเสียดสีกัน หรือมีเสียงเกิดขึ้นในข้อขณะเคลื่อนไหวหรือไม่

ไม่มี	ไม่ค่อยมี	บางครั้ง	มีอาการบ่อยๆ	เป็นตลอดเวลา
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S 3 ข้อเข่าของท่านมีอาการติด หรือยึดในขณะเคลื่อนไหวหรือไม่

ไม่มี	ไม่ค่อยมี	บางครั้ง	มีอาการบ่อยๆ	เป็นตลอดเวลา
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

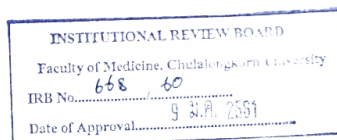
S 4 ท่านสามารถเหยียดเข่าได้สุดหรือไม่

ทำได้ทุกครั้ง	ทำได้เป็นส่วนใหญ่	ทำได้บางครั้ง	ทำไม่ค่อยได้	ทำไม่ได้เลย
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S 5 ท่านสามารถงอเข่าได้สุดหรือไม่

ทำได้ทุกครั้ง	ทำได้เป็นส่วนใหญ่	ทำได้บางครั้ง	ทำไม่ค่อยได้	ทำไม่ได้เลย
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Version 2.0 Date 23 December 2017





2. การฟีดขัดของข้อ คำถามต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับการฟีดขัดของข้อเข่าที่ท่านรู้สึกในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมา  
การฟีดขัดของข้อเข่าเป็นความรู้สึกถึงการจำกัดการเคลื่อนไหวของข้อเข่า หรือเคลื่อนไหวข้อเข่าในทิศทาง  
ต่างๆได้ช้าลง

S6 เมื่อท่านตื่นนอนตอนเช้า ระดับความรุนแรงของการฟีดขัดของข้อเข่าเป็นอย่างไร

ไม่มีอาการ    มีอาการเล็กน้อย    มีอาการปานกลาง    มีอาการรุนแรง    มีอาการรุนแรงมาก  
                                                                                       

S7 ระดับความรุนแรงของการฟีดขัดของข้อเข่าหลังจากนั่ง นอน หรือพักการใช้ขาในช่วงเวลากลางวัน  
เป็นอย่างไร

ไม่มีอาการ    มีอาการเล็กน้อย    มีอาการปานกลาง    มีอาการรุนแรง    มีอาการรุนแรงมาก  
                                                                                       

3. อาการปวด

P1 ท่านรู้สึกว่ามีอาการปวดข้อเข่าบ่อยครั้งเพียงใด

ไม่มีอาการ    ทุกเดือน    ทุกสัปดาห์    ทุกวัน    ตลอดเวลา  
                                                                                       

โปรดระบุระดับความปวดข้อเข่าที่เกิดขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมา

ในขณะที่เคลื่อนไหวข้อเข่าในลักษณะต่อไปนี้

P2 หมุนบิดขาบนเข่าข้างที่ปวดขณะยืน

ไม่มีอาการ    มีอาการเล็กน้อย    มีอาการปานกลาง    มีอาการรุนแรง    มีอาการรุนแรงมาก  
                                                                                       

P3 เหยียดเข่าจนสุด

ไม่มีอาการ    มีอาการเล็กน้อย    มีอาการปานกลาง    มีอาการรุนแรง    มีอาการรุนแรงมาก  
                                                                                       



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD Faculty of Medicine, Chulalongkorn University IRB No. 668 60 Date of Approval 9 มิ.ย. 2561
--

## P4 งอเข้าจนสุด

ไม่มีอาการ	มีอาการเล็กน้อย	มีอาการปานกลาง	มีอาการรุนแรง	มีอาการรุนแรงมาก
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## P5 เดินบนพื้นราบ

ไม่มีอาการ	มีอาการเล็กน้อย	มีอาการปานกลาง	มีอาการรุนแรง	มีอาการรุนแรงมาก
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## P6 เดินขึ้น หรือลงบันได

ไม่มีอาการ	มีอาการเล็กน้อย	มีอาการปานกลาง	มีอาการรุนแรง	มีอาการรุนแรงมาก
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## P7 ขณะนอนอยู่บนเตียงตอมกลางคืน

ไม่มีอาการ	มีอาการเล็กน้อย	มีอาการปานกลาง	มีอาการรุนแรง	มีอาการรุนแรงมาก
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## P8 นั่งหรือนอน

ไม่มีอาการ	มีอาการเล็กน้อย	มีอาการปานกลาง	มีอาการรุนแรง	มีอาการรุนแรงมาก
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## P9 ยืนตรง

ไม่มีอาการ	มีอาการเล็กน้อย	มีอาการปานกลาง	มีอาการรุนแรง	มีอาการรุนแรงมาก
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. การเคลื่อนไหวในกิจวัตรประจำวัน คำถามต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเคลื่อนไหวที่เป็นส่วนประกอบของการทำกิจวัตรประจำวัน ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนไหวและดูแลตนเอง

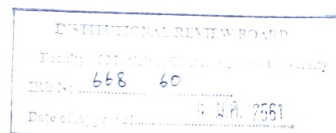
โปรดเลือกคำตอบที่แสดงระดับความยากลำบากของการเคลื่อนไหวต่อไปนี้

ที่ท่านรู้สึกในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมา

## A1 เดินลงบันได

ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
-------------	---------------	--------------	----------	----------------

Version 2.0 Date 23 December 2017



20

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A2 เดินขึ้นบันได</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A3 ลุกขึ้นจากเก้าอี้</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A4 ยืนตรง</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A5 ก้มหยิบของจากพื้น</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A6 เดินบนพื้นราบ</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A7 ก้าวขึ้นหรือลงจากรถ</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A8 เดินไปซื้อของระยะใกล้ๆ</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A9 สวมถุงน่องหรือถุงเท้า</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด

Version 2.0 Date 23 December 2017



<b>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</b>	
Faculty of Medicine, Chulalongkornrajavidyalaya University, Bangkok, Thailand	
IRB No. <u>668 60</u>	
Date of Approval <u>9 มิ.ย. 2561</u>	

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A10 ลูกชิ้นจากเตี๋ยง</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A11 ตอดตุงน่องหรือตุงเท้า</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A12 นอนพลิกตัวบนเตียงโดยไม่ขยับเข่าก่อน</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A13 ก้าวขาเข้าและออกจากห้องน้ำ</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A14 นั่ง</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A15 นั่งลง และลุกจากโถส้วม โปรดระบุหากเป็นส้วมแบบนั่งยองๆไม่ใช่แบบโถนั่ง</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A16 ทำงานบ้านหนักๆ เช่นเคลื่อนย้ายสิ่งของ ชัดพื้น</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A17 ทำงานบ้านเบาๆ เช่น ทำกับข้าว กวาดบ้าน</b>				
ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด

Version 2.0 Date 23 December 2017



<b>INSTITUTIONAL REVIEW BOARD</b>	
Faculty of Medicine, Chulalongkornrajavidyalaya University	
IRB No.	668 60
Date of Approval	9 มิ.ย. 2561

5. การเคลื่อนไหวในการออกกำลังกาย และการทำงานอื่น ๆ คำถามต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับเคลื่อนไหวที่เป็นส่วนประกอบของการออกกำลังกาย และการทำงานอื่น ๆ นอกเหนือจากการทำกิจวัตรประจำวัน

โปรดเลือกคำตอบที่แสดงระดับความยากลำบากของการเคลื่อนไหวต่อไปนี้ที่ท่านรู้สึกในช่วงสัปดาห์ที่

ผ่านมา

SP1 ย่อเข้า/ นั่งยองๆ

ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP2 วิ่ง

ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP3 กระโดด

ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP4 หมุนบิดขาบนเข่าข้างที่ปวด

ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP5 คู้เข่า

ไม่ลำบากเลย	ลำบากเล็กน้อย	ลำบากปานกลาง	ลำบากมาก	ลำบากมากที่สุด
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. คุณภาพชีวิต

Q1 ท่านรู้สึกว่าคุณภาพชีวิตของท่านมีปัญหาบ่อยเพียงใด

ไม่มีปัญหาเลย	ทุกเดือน	ทุกสัปดาห์	ทุกวัน	ตลอดเวลา
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Version 2.0 Date 23 December 2017



INSTITUTIONAL REVIEW BOARD	
Faculty of Medicine, Chulalongkornrajavidyalaya University	
IRB No.	668 60
Date of Approval	9 มี.ค. 2561

Q2 ท่านได้ปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตหรือกิจวัตรประจำวันเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการบาดเจ็บของข้อเข่ามากขึ้นหรือไม่

ไม่เลย      เล็กน้อย      ปานกลาง      มาก      มากที่สุด

Q3 ท่านรู้สึกไม่มั่นใจต่อสภาพของข้อเข่ามากน้อยเพียงใด

ไม่รู้สึกละเลย      ไม่มั่นใจเล็กน้อย      ไม่มั่นใจปานกลาง      ไม่มั่นใจมาก      ไม่มั่นใจมากที่สุด

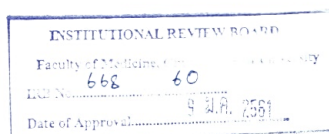
                      

Q4 โดยทั่วไปแล้ว ท่านคิดว่าข้อเข่าของท่านทำให้เกิดความยากลำบากต่อท่านมากน้อยเพียงใด

ไม่ลำบากเลย      ลำบากเล็กน้อย      ลำบากปานกลาง      ลำบากมาก      ลำบากมากที่สุด

ขอขอบคุณที่กรุณาตอบคำถามในแบบประเมินนี้ครับทุกข้อ





### แบบบันทึกข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสประจำตัวผู้เข้าร่วมวิจัย..... ว/ด/ป ที่ทำการ

ทดสอบ.....

เพศ..... อายุ.....ปี

#### Muscle length test

Muscle	Times	Rt. (degree)	The average of Rt. Muscle length	Lt. (degree)	The average of Lt. Muscle length
Iliopsoas	1				
	2				
	3				
Rectus femoris	1				
	2				
	3				
Hamstring	1				
	2				
	3				
Gastrocnemius	1				
	2				
	3				

#### Leg length discrepancy

Part of LE	Times	Rt. (cm)	Lt. (cm)	Leg length difference (cm)
ASIS to joint space (Femur length)	1			
	2			
	3			
Joint space to lateral malleolus (Tibia length)	1			
	2			
	3			



### แบบบันทึกข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสประจำตัวผู้เข้าร่วมวิจัย..... ว/ด/ป ที่ทำการ

ทดสอบ.....

เพศ..... อายุ.....ปี

#### Lower extremities range of motion

Joints	Right leg			The average of ROM (degree)
	1	2	3	
<b>Hip</b> Flexion/extension (120°/20°)				
<b>Knee</b> Flexion/extension (150°/0°)				
<b>Ankle</b> Plantarflexion/dorsiflexion (50°/20°)				

Joints	Left leg			The average of ROM (degree)
	1	2	3	
<b>Hip</b> Flexion/extension (120°/20°)				
<b>Knee</b> Flexion/extension (150°/0°)				
<b>Ankle</b> Plantarflexion/dorsiflexion (50°/20°)				

### แบบบันทึกข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสประจำตัวผู้เข้าร่วมวิจัย..... ว/ด/ป ที่ทำการ

ทดสอบ.....

เพศ..... อายุ.....ปี

#### Leg muscles strength test

##### Right leg

##### 1. Quadriceps muscle

Test No.	Baseline (volt)	Outcome (volt)	Different value (volt)	Strength (kg)
1				
2				
3				

##### 2. Hamstring muscle

Test No.	Baseline (volt)	Outcome (volt)	Different value (volt)	Strength (kg)
1				
2				
3				

## Left leg

## 1. Quadriceps muscle

Test No.	Baseline (volt)	Outcome (volt)	Different value (volt)	Strength (kg)
1				
2				
3				

## 2. Hamstring muscle

Test No.	Baseline (volt)	Outcome (volt)	Different value (volt)	Strength (kg)
1				
2				
3				

### แบบบันทึกข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสประจำตัวผู้เข้าร่วมวิจัย..... ว/ด/ป ที่ทำการ

ทดสอบ.....

เพศ..... อายุ.....ปี

#### Active knee joint position sense test

##### Right leg

##### 1. Knee flexion

Test No.	Starting position (degree)	Target position (degree)	Level of cross bar (cm)	Absolute angle error (degree)
1				
2				
3				

##### 2. Knee extension

Test No.	Starting position (degree)	Target position (degree)	Level of cross bar (cm)	Absolute angle error (degree)
1				
2				
3				

##### Left leg

##### 1. Knee flexion

Test No.	Starting position (degree)	Target position (degree)	Level of cross bar (cm)	Absolute angle error (degree)
1				
2				
3				

## 2. Knee extension

Test No.	Starting position (degree)	Target position (degree)	Level of cross bar (cm)	Absolute angle error (degree)
1				
2				
3				

## แบบบันทึกข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมวิจัย

รหัสประจำตัวผู้เข้าร่วมวิจัย..... ว/ด/ป ที่ทำการ

ทดสอบ.....

เพศ..... อายุ.....ปี

## Balance test

## 1. Single-leg stance with eyes open

Path length area (mm)	Right leg			Left leg		
	1	2	3	1	2	3

## 2. Single-leg with eyes close

Path length area (mm)	Right leg			Left leg		
	1	2	3	1	2	3

## REFERENCES



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

1. Wong J RM. Total Knee Arthroplasty. In: Maxey L MJ, editor. Rehabilitation for the Postsurgical Orthopedic Patient. 3 ed. China: ELSEVIER Mosby; 2012. p. 480-503.
2. Taglietti M DBL, Dias JM, Pelegrinelli ARM, Nogueira JF, Batista Ju'nior JD, et al. Postural Sway, Balance Confidence, and Fear of Falling in Women with Knee Osteoarthritis in Comparison to Matched Controls. . American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. 2016;8:774-80.
3. Lawrence RC, Felson DT, Helmick CG, Arnold LM, Choi H, Deyo RA, et al. Estimates of the prevalence of arthritis and other rheumatic conditions in the United States. Part II. Arthritis Rheum. 2008;58(1):26-35.
4. Reis JG, Gomes MM, Neves TM, Petrella M, Oliveira RDRd, Abreu DCCd. Evaluation of postural control and quality of life in elderly women with knee osteoarthritis. Revista Brasileira de Reumatologia (English Edition). 2014;54(3):208-12.
5. Landers KA HG, Wetzstein CJ, Bamman MM, Weinsier RL. The interrelationship among muscle mass, strength, and the ability to perform physical tasks of daily living in younger and older women. Journal of Gerontology. 2001;56A:B443-B8.
6. O'Connell M, Farrokhi S, Fitzgerald GK. The role of knee joint moments and knee impairments on self-reported knee pain during gait in patients with knee osteoarthritis. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2016;31:40-6.
7. Brand C JA, Lowe A, Morton C. . Prevalence, outcome and risk for falling in 155 ambulatory patients with rheumatic disease. International Journal of Rheumatic Diseases 2005;8:99-105.
8. Michael JW, Schluter-Brust KU, Eysel P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. Dtsch Arztebl Int. 2010;107(9):152-62.
9. Hatfield GL, Hubley-Kozey CL, Astephen Wilson JL, Dunbar MJ. The effect of total knee arthroplasty on knee joint kinematics and kinetics during gait. J Arthroplasty. 2011;26(2):309-18.
10. JA P. Joint Arthroplasty. In: LG CMaM, editor. Physical Rehabilitation for The Physical Therapy Assistant. 1st ed. the United States: ELSEVIER Saunders; 2011. p. 219-50.

11. Franceschini R, Franceschini M, Romano P, Bussi P, Caruso EM, De Amici S. Joint replacement in osteoarthritis: state of the art. *Semin Arthritis Rheum*. 2005;34(6 Suppl 2):73-7.
12. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KD. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(1):57-63.
13. Tsonga T, Michalopoulou M, Kapetanakis S, Giovannopoulou E, Malliou P, Godolias G, et al. Reduction of Falls and Factors Affecting Falls a Year After Total Knee Arthroplasty in Elderly Patients with Severe Knee Osteoarthritis. *Open Orthop J*. 2016;10:522-31.
14. Levinger P, Menz HB, Morrow AD, Feller JA, Bartlett JR, Bergman NR. Lower limb biomechanics in individuals with knee osteoarthritis before and after total knee arthroplasty surgery. *J Arthroplasty*. 2013;28(6):994-9.
15. McClelland JA, Webster KE, Feller JA, Menz HB. Knee kinetics during walking at different speeds in people who have undergone total knee replacement. *Gait Posture*. 2010;32(2):205-10.
16. McClelland JA, Webster KE, Feller JA. Gait analysis of patients following total knee replacement: a systematic review. *Knee*. 2007;14(4):253-63.
17. Matsumoto H, Okuno M, Nakamura T, Yamamoto K, Hagino H. Fall incidence and risk factors in patients after total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012;132(4):555-63.
18. Tsonga T MM, Kapetanakis S, Giovannopoulou E, Malliou P, Godolias G, et al. Risk factors for fear of falling in elderly patients with severe knee osteoarthritis before and one year after total knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery* 2016;24:302-6.
19. Theander E JG, Ornstein E, Karlsson M. Activities of daily living decrease similarly in hospital-treated patients with a hip fracture or a vertebral fracture: a one-year prospective study in 151 patients. *Scand J Public Health* 2004;32:356-60.
20. Hoyert DL AE, Smith BL, Murphy SL, Kochanek KD. Deaths: final data for 1999. *Natl Vital Stat Rep*. 2001;49:1-113.



21. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(8):1050-6.
22. Berg WP AH, Mills EM, Tong C. Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults. *Age Ageing* 1997;26:261-8.
23. Roudsari BS, Ebel BE, Corso PS, Molinari NA, Koepsell TD. The acute medical care costs of fall-related injuries among the U.S. older adults. *Injury.* 2005;36(11):1316-22.
24. Robinovitch SN, Feldman F, Yang Y, Schonnop R, Leung PM, Sarraf T, et al. Video capture of the circumstances of falls in elderly people residing in long-term care: an observational study. *The Lancet.* 2013;381(9860):47-54.
25. Pandya NK DL, Mauer A, Piotrowski GA, Pottenger L. . Osteoarthritis of the knees increases the propensity to trip on an obstacle. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;431:150-6.
26. Tinetti ME SM, Ginter SF. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med* 1988;319:1701-7.
27. Begg R, Best R, Dell'Oro L, Taylor S. Minimum foot clearance during walking: strategies for the minimisation of trip-related falls. *Gait Posture.* 2007;25(2):191-8.
28. Khandoker AH TS, Karmakar CK, Begg RB, Palaniswami M. Investigating Scale Invariant Dynamics in Minimum Toe Clearance Variability of the Young and Elderly During Treadmill Walking. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.* 2008;6:380-9.
29. Nagano H, Begg RK, Sparrow WA, Taylor S. Ageing and limb dominance effects on foot-ground clearance during treadmill and overground walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011;26(9):962-8.
30. Khandoker AH LK, Karmakar CK, Begg RK, Palaniswami M. Toe clearance and velocity profiles of young and elderly during walking on sloped surfaces. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2010;7:1-10.
31. Cerejo R, Dunlop DD, Cahue S, Channin D, Song J, Sharma L. The influence of alignment on risk of knee osteoarthritis progression according to baseline stage of disease. *Arthritis Rheum.* 2002;46(10):2632-6.

32. Turcot K, Sagawa Y, Jr., Hoffmeyer P, Suva D, Armand S. Multi-joint postural behavior in patients with knee osteoarthritis. *Knee*. 2015;22(6):517-21.
33. Bonnefoy-Mazure A B-MS, Sagawa Y, Suva D, Miozzari H, Turcot K. Knee Kinematic and Clinical Outcomes Evolution Before, 3 Months, and 1 Year After Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* 2017;32:793-800.
34. Takacs J CM, Garland SJ, Hunt MA. . The role of neuromuscular changes in aging and knee osteoarthritis on dynamic postural control. *Aging and Disease* 2013;4:84-99.
35. Knoop J, Steultjens MP, van der Leeden M, van der Esch M, Thorstensson CA, Roorda LD, et al. Proprioception in knee osteoarthritis: a narrative review. *Osteoarthritis Cartilage*. 2011;19(4):381-8.
36. Wodowski AJ SC, Liu H, Nord KM, Toy PC, Mihalko WM. Proprioception and Knee Arthroplasty: A Literature Review. *Orthop Clin North Am* 2016;47:301-9.
37. Rossignol S, Dubuc R, Gossard JP. Dynamic sensorimotor interactions in locomotion. *Physiol Rev*. 2006;86(1):89-154.
38. Lu TW, Chen HL, Wang TM. Obstacle crossing in older adults with medial compartment knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2007;26(4):553-9.
39. Byrne JM, Prentice SD. Swing phase kinetics and kinematics of knee replacement patients during obstacle avoidance. *Gait & Posture*. 2003;18(1):95-104.
40. A SDaK. Osteoarthritis of the knee. *Clin Evid* 2007;9:1-28.
41. Palazzo C, Ravaud JF, Papelard A, Ravaud P, Poiraudreau S. The burden of musculoskeletal conditions. *PLoS One*. 2014;9(3):e90633.
42. Srikanth VK, Fryer JL, Zhai G, Winzenberg TM, Hosmer D, Jones G. A meta-analysis of sex differences prevalence, incidence and severity of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2005;13(9):769-81.
43. Buckwalter JA, Martin JA. Osteoarthritis. *Adv Drug Deliv Rev*. 2006;58(2):150-67.
44. Chaganti RK, Lane NE. Risk factors for incident osteoarthritis of the hip and knee. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2011;4(3):99-104.
45. Garstang SV, Stitik TP. Osteoarthritis: epidemiology, risk factors, and pathophysiology. *Am J Phys Med Rehabil*. 2006;85(11 Suppl):S2-11; quiz S2-4.

46. Goldring SR, Goldring MB. Changes in the osteochondral unit during osteoarthritis: structure, function and cartilage-bone crosstalk. *Nat Rev Rheumatol*. 2016;12(11):632-44.
47. Felson DT. Developments in the clinical understanding of osteoarthritis. *Arthritis Res Ther*. 2009;11(1):203.
48. Bardoloi B BC, Bhatia D, Paul S. Knee Osteoarthritis: An Overview of Recent Interventions. *Journal of Biomedical Engineering and Biosciences* 2017;4:1-18.
49. Kurtz S MF, Ong K, Chan N, Lau E, Halpern M. Prevalence of primary and revision total hip and knee arthroplasty in the United States from 1990 through 2002. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2005;87:1487-97.
50. JA P. Joint Arthroplasty. In: Cameron MH ML, editor. *Physical rehabilitation evidence-based examination, evaluation, and intervention*. Canada: Saunders Elsevier; 2007. p. 220-50.
51. Liddle AD, Pegg EC, Pandit H. Knee replacement for osteoarthritis. *Maturitas*. 2013;75(2):131-6.
52. MD WJaR. Total Knee Arthroplasty. In: J MLaM, editor. *Rehabilitation for the Postsurgical Orthopedic Patient*. 3ed ed. China: ELSEVIER Mosby; 2013. p. 480-503.
53. Kahlenberg CA, Nwachukwu BU, McLawhorn AS, Cross MB, Cornell CN, Padgett DE. Patient Satisfaction After Total Knee Replacement: A Systematic Review. *HSS J*. 2018;14(2):192-201.
54. Goh GS, Liow MHL, Bin Abd Razak HR, Tay DK, Lo NN, Yeo SJ. Patient-Reported Outcomes, Quality of Life, and Satisfaction Rates in Young Patients Aged 50 Years or Younger After Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(2):419-25.
55. Papakostidou I, Dailiana ZH, Papapolychroniou T, Liaropoulos L, Zintzaras E, Karachalios TS, et al. Factors affecting the quality of life after total knee arthroplasties: a prospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:116.
56. Cushnaghan J, Bennett J, Reading I, Croft P, Byng P, Cox K, et al. Long-term outcome following total knee arthroplasty: a controlled longitudinal study. *Ann Rheum Dis*. 2009;68(5):642-7.

57. Brandes M, Ringling M, Winter C, Hillmann A, Rosenbaum D. Changes in physical activity and health-related quality of life during the first year after total knee arthroplasty. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011;63(3):328-34.
58. Schiraldi M, Bonzanini G, Chirillo D, de Tullio V. Mechanical and kinematic alignment in total knee arthroplasty. *Ann Transl Med*. 2016;4(7):130.
59. Naili JE, Wretenberg P, Lindgren V, Iversen MD, Hedstrom M, Brostrom EW. Improved knee biomechanics among patients reporting a good outcome in knee-related quality of life one year after total knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):122.
60. Christensen JC, Mizner RL, Foreman KB, Marcus RL, Pelt CE, LaStayo PC. Quadriceps weakness preferentially predicts detrimental gait compensations among common impairments after total knee arthroplasty. *J Orthop Res*. 2018;36(9):2355-63.
61. Thomas AC, Judd DL, Davidson BS, Eckhoff DG, Stevens-Lapsley JE. Quadriceps/hamstrings co-activation increases early after total knee arthroplasty. *Knee*. 2014;21(6):1115-9.
62. Clark RA, Seah FJ, Chong HC, Poon CL, Tan JW, Mentiplay BF, et al. Standing balance post total knee arthroplasty: sensitivity to change analysis from four to twelve weeks in 466 patients. *Osteoarthritis Cartilage*. 2017;25(1):42-5.
63. Baker R. *Measuring walking: a handbook of clinic gait analysis*. London: Mac Keith Press; 2013. 8-27 p.
64. Janet M. Adams KC. *Observational gait analysis: a visual guide*. USA: SLACK Incorporated; 2018.
65. Jarchi D, Pope J, Lee TKM, Tamjidi L, Mirzaei A, Sanei S. A Review on Accelerometry-Based Gait Analysis and Emerging Clinical Applications. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2018;11:177-94.
66. Ancillao A. *Modern Functional Evaluation Methods for Muscle Strength and Gait Analysis*: Springer International Publishing; 2018. 20-3 p.
67. WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age [Internet]. [cited 2017 October 15]. Available from: [http://www.who.int/ageing/publications/Falls\\_prevention7March.pdf](http://www.who.int/ageing/publications/Falls_prevention7March.pdf).

68. American Geriatrics Society BGS, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. Guideline for the prevention of falls in older persons. *J Am Geriatr Soc* 2001;49:664–72.
69. SC L. Elderly Fallers: What Do We Need To Do? *Proceedings of Singapore Healthcare* 2010;19:154-8.
70. Lo CWT, Tsang WWN, Yan CH, Lord SR, Hill KD, Wong AYL. Risk factors for falls in patients with total hip arthroplasty and total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019;27(7):979-93.
71. Moutzouri M, Gleeson N, Billis E, Tsepis E, Panoutsopoulou I, Gliatis J. The effect of total knee arthroplasty on patients' balance and incidence of falls: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(11):3439-51.
72. Galna B, Peters A, Murphy AT, Morris ME. Obstacle crossing deficits in older adults: a systematic review. *Gait Posture*. 2009;30(3):270-5.
73. Ko YC, Ryew CC, Hyun SH. Relationship among the variables of kinematic and tilt angle of whole body according to the foot trip during gait. *J Exerc Rehabil*. 2017;13(1):117-21.
74. Pijnappels M, Bobbert MF, van Dieen JH. How early reactions in the support limb contribute to balance recovery after tripping. *J Biomech*. 2005;38(3):627-34.
75. Farzin Dadashi BM, Stephane Rochat, Christophe J. Büla, Brigitte Santos-Eggimann, Kamiar Aminian. Gait and Foot Clearance Parameters Obtained Using Shoe-Worn Inertial Sensors in a Large-Population Sample of Older Adults. *sensors*. 2014;14:443-57.
76. Barrett RS, Mills PM, Begg RK. A systematic review of the effect of ageing and falls history on minimum foot clearance characteristics during level walking. *Gait Posture*. 2010;32(4):429-35.
77. Felson DT. Osteoarthritis as a disease of mechanics. *Osteoarthritis Cartilage*. 2013;21(1):10-5.
78. Begg RK TO, Said CM, Sparrow WA, Steinberg N, Levinger P, et al. Gait training with real-time augmented toe ground clearance information decrease stripping risk in older adults and a person with chronic stroke. *Frontiers in Human Neuroscience* 2014;8:1-6.

79. Teichtahl AJ, Davies-Tuck ML, Wluka AE, Jones G, Cicuttini FM. Change in knee angle influences the rate of medial tibial cartilage volume loss in knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2009;17(1):8-11.
80. Sharma L, Chmiel JS, Almagor O, Felson D, Guermazi A, Roemer F, et al. The role of varus and valgus alignment in the initial development of knee cartilage damage by MRI: the MOST study. *Ann Rheum Dis*. 2013;72(2):235-40.
81. Farrokhi S, Voycheck CA, Tashman S, Fitzgerald GK. A biomechanical perspective on physical therapy management of knee osteoarthritis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2013;43(9):600-19.
82. Kakavandi HT SH, Abbasi A. The Effects of Genu Varum Deformity on the Pattern and Amount of Electromyography Muscle Activity Lower Extremity during the Stance Phase of Walking. *Journal of Clinical Physiotherapy Research*. 2017;2:104-9.
83. Hassan BS MS, Doherty M. Static postural sway, proprioception, and maximal voluntary quadriceps contraction in patients with knee osteoarthritis and normal control subjects. *Ann Rheum Dis*. 2001;60:612-8.
84. Lord SR MH, Tiedemann A. A Physiological Profile Approach to Falls Risk Assessment and Prevention. *Physical Therapy*. 2003;83:237-52.
85. Duffell LD, Southgate DF, Gulati V, McGregor AH. Balance and gait adaptations in patients with early knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2014;39(4):1057-61.
86. Sanchez-Ramirez DC, van der Leeden M, Knol DL, van der Esch M, Roorda LD, Verschueren S, et al. Association of postural control with muscle strength, proprioception, self-reported knee instability and activity limitations in patients with knee osteoarthritis. *J Rehabil Med*. 2013;45(2):192-7.
87. Astephen JL, Deluzio KJ, Caldwell GE, Dunbar MJ. Biomechanical changes at the hip, knee, and ankle joints during gait are associated with knee osteoarthritis severity. *J Orthop Res*. 2008;26(3):332-41.
88. Hohee Son KK. A Kinematic Analysis of Patients with Knee Osteoarthritis during Gait on Level Ground, Ramps and Stairs. *J Phys Ther Sci*. 2013;25:277-80.
89. Bonnefoy-Mazure A, Armand S, Sagawa Y, Jr., Suva D, Miozzari H, Turcot K. Knee Kinematic and Clinical Outcomes Evolution Before, 3 Months, and 1 Year After Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(3):793-800.

90. FA R. Gait disorders. *Neurologist*. 2002;8:254–62.
91. Kiehn O. Development and functional organization of spinal locomotor circuits. *Curr Opin Neurobiol*. 2011;21(1):100-9.
92. Dietz V. Proprioception and locomotor disorders. *Nat Rev Neurosci*. 2002;3(10):781-90.
93. Roos EM, Herzog W, Block JA, Bennell KL. Muscle weakness, afferent sensory dysfunction and exercise in knee osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol*. 2011;7(1):57-63.
94. Levinger P, Menz HB, Morrow AD, Wee E, Feller JA, Bartlett JR, et al. Lower limb proprioception deficits persist following knee replacement surgery despite improvements in knee extension strength. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(6):1097-103.
95. Pohl T, Brauner T, Wearing S, Stamer K, Horstmann T. Effects of sensorimotor training volume on recovery of sensorimotor function in patients following lower limb arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:195.
96. McClelland JA, Webster KE, Feller JA, Menz HB. Knee kinematics during walking at different speeds in people who have undergone total knee replacement. *Knee*. 2011;18(3):151-5.
97. Kramers-de Quervain IA, Kampfen S, Munzinger U, Mannion AF. Prospective study of gait function before and 2 years after total knee arthroplasty. *Knee*. 2012;19(5):622-7.
98. Thewlis D, Hillier S, Hobbs SJ, Richards J. Preoperative asymmetry in load distribution during quiet stance persists following total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(3):609-14.
99. Rahman J, Tang Q, Monda M, Miles J, McCarthy I. Gait assessment as a functional outcome measure in total knee arthroplasty: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:66.
100. Wang H, Dugan E, Frame J, Rolston L. Gait analysis after bi-compartmental knee replacement. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009;24(9):751-4.
101. Yoshida Y MR, Ramsey DK, Snyder-Macker L. EXAMINING OUTCOMES FROM TOTAL KNEE ARTHROPLASTY AND THE RELATIONSHIP BETWEEN QUADRICEPS

STRENGTH AND KNEE FUNCTION OVER TIME. *Clin Biomech* (Bristol, Avon). 2008;23:320-8.

102. Raffegau TE, Kellaher GK, Terza MJ, Roper JA, Altmann LJ, Hass CJ. Older women take shorter steps during backwards walking and obstacle crossing. *Exp Gerontol*. 2019;122:60-6.

103. Sohee Shin SD, Tsuneo Watanabem, Tamotsu Yabumoto, Jae-Hyun Lee, Naoki Sakakibara, Toshio Matsuoka. Age-related and obstacle height-related differences in movements while stepping over obstacles. *Journal of Physiological Anthropology*. 2015;34:1-10.

104. Hui-Fen Pan H-CH, Wei-Ning Chang, Jenn-Huei Renn, Hong-Wen Wu. Strategies for obstacle crossing in older adults with high and low risk of falling. *The Journal of Physical Therapy Science*. 2016;28:1614–20.

105. Chen HL, Lu TW, Wang TM, Huang SC. Biomechanical strategies for successful obstacle crossing with the trailing limb in older adults with medial compartment knee osteoarthritis. *J Biomech*. 2008;41(4):753-61.

106. Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE. Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(9):559-67.

107. Mills K HB, Poh MB, Ferber R. Mills K, Hettinga BA, Poh MB, Ferber R. Between-Limb Kinematic Asymmetry During Gait in Unilateral and Bilateral Mild to Moderate Knee Osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2013;94:2241-7.

108. Venema DM, Karst GM. Individuals with total knee arthroplasty demonstrate altered anticipatory postural adjustments compared with healthy control subjects. *J Geriatr Phys Ther*. 2012;35(2):62-71.

109. Hoch MC, Weinhandl JT. Effect of valgus knee alignment on gait biomechanics in healthy women. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017;35:17-23.

110. Ramsey DK S-ML, Lewwk M, Newcomb W, Rudolph KS. Effect of Anatomic Realignment on Muscle Function During Gait in Patients With Medial Compartment Knee Osteoarthritis. *Arthritis & Rheumatism* 2007;57:389-97.

111. WD RNAB. JOINT RANGE OF MOTION AND MUSCLE LENGTH TESTING. the United States of America: W.B. Saunders Company; 2002.



112. Norkin CC WD. Measurement of Joint Motion A Guide to Goniometry. 4th ed. the United States of America: F. A. Davis Company; 2009.
113. Badii M, Wade AN, Collins DR, Nicolaou S, Kobza BJ, Kopec JA. Comparison of lifts versus tape measure in determining leg length discrepancy. *J Rheumatol.* 2014;41(8):1689-94.
114. DJ M. Orthopedic physical assessment. Missouri: Saunders Elsevier; 2008.
115. SA HWaH. Principles and Labs for Physical Fitness. California: Wadsworth; 2010.
116. Stevens-Lapsley JE BJ, Wolfe P, Eckhoff DG, Kohrt WM. Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther.* 2012;92:210–26.
117. Pua YH, Seah FJ, Poon CL, Tan JW, Alan Clark R, Liaw JS, et al. Age- and sex-based recovery curves to track functional outcomes in older adults with total knee arthroplasty. *Age Ageing.* 2018;47(1):144-8.
118. Thompson BJ, Whitson M, Sobolewski EJ, Stock MS. The Influence of Age, Joint Angle, and Muscle Group on Strength Production Characteristics at the Knee Joint. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2018;73(5):603-7.
119. Koblbauer IF, Lambrecht Y, van der Hulst ML, Neeter C, Engelbert RH, Poolman RW, et al. Reliability of maximal isometric knee strength testing with modified hand-held dynamometry in patients awaiting total knee arthroplasty: useful in research and individual patient settings? A reliability study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2011;12:249.
120. Carty CP, Barrett RS, Cronin NJ, Lichtwark GA, Mills PM. Lower limb muscle weakness predicts use of a multiple- versus single-step strategy to recover from forward loss of balance in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2012;67(11):1246-52.
121. Clark NC, Akins JS, Heebner NR, Sell TC, Abt JP, Lovalekar M, et al. Reliability and measurement precision of concentric-to-isometric and eccentric-to-isometric knee active joint position sense tests in uninjured physically active adults. *Phys Ther Sport.* 2016;18:38-45.

122. Kiran D, Carlson M, Medrano D, Smith DR. Correlation of three different knee joint position sense measures. *Phys Ther Sport*. 2010;11(3):81-5.
123. Naseri N, Pourkazemi F. Difference in knee joint position sense in athletes with and without patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(10):2071-76.
124. Chomiak T, Pereira FV, Hu B. The single-leg-stance test in Parkinson's disease. *J Clin Med Res*. 2015;7(3):182-5.
125. Matta TT, Nascimento FX, Trajano GS, Simao R, Willardson JM, Oliveira LF. Selective hypertrophy of the quadriceps musculature after 14 weeks of isokinetic and conventional resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017;37(2):137-42.
126. Williams DP, Price, A.J., Beard, D.J., Hadfield, S.G., Arden, N.K., Murray, D.W., Field, R.E. The effects of age on patient-reported outcome measures in total knee replacements. *THE BONE & JOINT JOURNAL*. 2013;95-B (1):38-44.
127. Landry SC, McKean KA, Hubley-Kozey CL, Stanish WD, Deluzio KJ. Knee biomechanics of moderate OA patients measured during gait at a self-selected and fast walking speed. *J Biomech*. 2007;40(8):1754-61.
128. Manninen P, Riihimaki H, Heliovaara M, Suomalainen O. Weight changes and the risk of knee osteoarthritis requiring arthroplasty. *Ann Rheum Dis*. 2004;63(11):1434-7.
129. Alfieri FM, Silva N, Battistella LR. Study of the relation between body weight and functional limitations and pain in patients with knee osteoarthritis. *Einstein (Sao Paulo)*. 2017;15(3):307-12.
130. KA K. THE MEASUREMENT AND ANALYSIS OF AXIAL DEFORMITY AT THE KNEE. New Jersey: Homer Stryker Center; 2008.
131. Siow WM, Chin PL, Chia SL, Lo NN, Yeo SJ. Comparative demographics, ROM, and function after TKA in Chinese, Malays, and Indians. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(5):1451-7.
132. Hirotaka Mutsuzaki RT, Yuki Mataka, and Yasuyoshi Wadano. Target range of motion for rehabilitation after total knee arthroplasty. *J Rural Med*. 2017;12(1):33-7.
133. Schache MB, McClelland JA, Webster KE. Lower limb strength following total knee arthroplasty: a systematic review. *Knee*. 2014;21(1):12-20.

134. Lauermaun SP, Lienhard K, Item-Glatthorn JF, Casartelli NC, Maffiuletti NA. Assessment of quadriceps muscle weakness in patients after total knee arthroplasty and total hip arthroplasty: methodological issues. *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(2):285-91.
135. Yoshida Y, Zeni J, Snyder-Mackler L. Do patients achieve normal gait patterns 3 years after total knee arthroplasty? *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(12):1039-49.
136. David Andrew Rice PJM, Gwyn Nancy Lewis, Nicola Dalbeth. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: the effects of experimental knee joint effusion on motor cortex excitability. *Arthritis Research & Therapy.* 2014;16:1-7.
137. Joseph M. Hart BP, Jay Hertel, Christopher D. Ingersoll. Quadriceps Activation Following Knee Injuries: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training.* 2010;45(1):87-97.
138. Makoto Wada HK, Seiichiro Shimada, Tsuyoshi Miyazaki, Hisatoshi Baba. Joint Proprioception Before and After Total Knee Arthroplasty. *CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH.* 2002;403:161-7.
139. Mahmoudian A, van Dieen JH, Baert IA, Jonkers I, Bruijn SM, Luyten FP, et al. Changes in proprioceptive weighting during quiet standing in women with early and established knee osteoarthritis compared to healthy controls. *Gait Posture.* 2016;44:184-8.
140. Baert IA, Mahmoudian A, Nieuwenhuys A, Jonkers I, Staes F, Luyten FP, et al. Proprioceptive accuracy in women with early and established knee osteoarthritis and its relation to functional ability, postural control, and muscle strength. *Clin Rheumatol.* 2013;32(9):1365-74.
141. Carver S, Kiemel T, Jeka JJ. Modeling the dynamics of sensory reweighting. *Biol Cybern.* 2006;95(2):123-34.
142. Proske U, Gandevia SC. The kinaesthetic senses. *J Physiol.* 2009;587(Pt 17):4139-46.
143. Petterson SC, Barrance P, Buchanan T, Binder-Macleod S, Snyder-Mackler L. Mechanisms underlying quadriceps weakness in knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(3):422-7.

144. Mayer C, Franz A, Harmsen JF, Queitsch F, Behringer M, Beckmann J, et al. Soft-tissue damage during total knee arthroplasty: Focus on tourniquet-induced metabolic and ionic muscle impairment. *J Orthop*. 2017;14(3):347-53.
145. Butler RJ, Ruberte Thiele RA, Barnes CL, Bolognesi MP, Queen RM. Unipedal balance is affected by lower extremity joint arthroplasty procedure 1 year following surgery. *J Arthroplasty*. 2015;30(2):286-9.
146. Shin J, Lee H, Bae W, Kim J. Comparison of sit-to-stand and static standing balance ability between patients with total knee arthroplasty and elderly healthy subjects. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2018;31(3):425-30.
147. Kiss RM, Bejek Z, Szendroi M. Variability of gait parameters in patients with total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(7):1252-60.
148. Levinger P, Lai DT, Menz HB, Morrow AD, Feller JA, Bartlett JR, et al. Swing limb mechanics and minimum toe clearance in people with knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2012;35(2):277-81.
149. Al-Zahrani KS, Bakheit AM. A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. *Disabil Rehabil*. 2002;24(5):275-80.
150. Cammarata ML, Schnitzer TJ, Dhaher YY. Does knee osteoarthritis differentially modulate proprioceptive acuity in the frontal and sagittal planes of the knee? *Arthritis Rheum*. 2011;63(9):2681-9.
151. Davidson BS, Judd DL, Thomas AC, Mizner RL, Eckhoff DG, Stevens-Lapsley JE. Muscle activation and coactivation during five-time-sit-to-stand movement in patients undergoing total knee arthroplasty. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23(6):1485-93.
152. McNair PJ, Boocock MG, Dominick ND, Kelly RJ, Farrington BJ, Young SW. A Comparison of Walking Gait Following Mechanical and Kinematic Alignment in Total Knee Joint Replacement. *J Arthroplasty*. 2018;33(2):560-4.
153. Bennell KL HR, Metcalf BR, Crossley KM, Buchbinder R, Smith M, et al. Relationship of knee joint proprioception to pain and disability in individuals with knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic Research*. 2003;21:792-7.
154. Lephart BLRSM. The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*. 2002;37:71-9.

155. Hurley MV. Muscle dysfunction and effective rehabilitation of knee osteoarthritis: what we know and what we need to find out. *Arthritis Rheum.* 2003;49(3):444-52.
156. Lephart BLRSM. The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training.* 2002;37:80-4.
157. Rhea CK, Rietdyk S. Visual exteroceptive information provided during obstacle crossing did not modify the lower limb trajectory. *Neurosci Lett.* 2007;418(1):60-5.
158. Mohagheghi AA, Moraes R, Patla AE. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Exp Brain Res.* 2004;155(4):459-68.



## VITA

NAME	Achrawadee Srijaroon
DATE OF BIRTH	20 January 1981
PLACE OF BIRTH	Khon Kaen
HOME ADDRESS	118/66 Levo condo Ladprao 18, Ladprao road Jomphon, Jatujak, Bangkok 10900



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**