

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：33938

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03970

研究課題名(和文) 歩行のre-trainingによる変形性膝関節症への長期効果検証

研究課題名(英文) Long-term effects of gait retraining for knee osteoarthritis

研究代表者

太田 進(Ota, Susumu)

星城大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：50452199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、本邦における要支援の主な原因である変形性膝関節症(膝OA)を治療および予防を目的に、歩行時に膝関節に係る負荷を軽減させる方法の開発、臨床応用である。我々は、体幹を安定させるドロイン(腹部をへこませ腹部深部筋を収縮)がその負荷を報告し、この方法のフィードバック機器の開発、臨床応用を行った。マグネットを用いたベルト型でバックル部分がスライドする機能を開発し、実用化した。この方法を用いて、膝OA症例に応用した所、膝痛の軽減、姿勢改善の効果が得られた。膝OA症例に尿漏れが多いことが分かり、またこのドロインが尿漏れ効果も期待でき、一部、その基礎的研究も始めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

変形性膝関節症(膝OA)は、本邦における要支援の主な原因であり、世界的にも罹患者は増大している。その治療、予防方法として膝関節の負荷を軽減させる歩行方法の研究が進んでいる。その中で我々が提唱する体幹を安定させるドロイン(腹部をへこませ腹部深部筋を収縮)を歩行に応用することは、簡単でかつ継続しやすい。我々はドロインをフィードバックするツールも開発し、膝OA症例に応用した。その結果、膝痛軽減と姿勢改善の結果が得られた(学術的意義)。また、実際に応用しやすい方法のため、膝OAの予防に繋がれば医療費軽減効果も含め、社会的な意義も高い。

研究成果の概要(英文)：This study is the development and clinical application of a method to reduce the load on the knee joint during walking for the treatment and prevention of knee osteoarthritis (knee OA), which is a major cause of need for assistance in Japan. We have reported that draw-in (contraction of deep abdominal muscles by indenting the abdomen), which stabilizes the torso, reduces the knee joint load, and we have developed and clinically applied a feedback device for this method. We developed a belt-type device with a sliding buckle using magnets, and put it to practical use. When this method was applied to knee OA patients, it was found to reduce knee pain and improve posture. We found that patients with knee OA often suffer from urinary leakage, and we began basic research on the draw-in device for urinary leakage.

研究分野：運動器理学療法

キーワード：変形性膝関節症 ドロイン フィードバック 歩行 膝関節負荷 姿勢 膝痛

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 膝 OA に関して本邦における疫学調査では、40 歳以上の有病率が男性 43%、女性 62%と高く、2530 万人の有病者がいると推察されている。平成 28 年度国民生活調査からも、関節疾患は介護が必要となった原因の 5 位であるが、要支援の原因としては、1 位となっている。つまり、中年から高齢に移行するにあたり、身体の動きが悪くなる最初の原因が関節の問題であり、最も罹患率が高い関節が膝である。また、2016 年 12 月に世界で唯一の変形性関節症の学会である世界変形性関節症会議 Osteoarthritis Research Society International (OARSI) がこれまでの研究成果をもとに“Osteoarthritis is serious disease”と題して変形性関節症の問題点をまとめた。主な内容は、1)世界的に OA が増加している、2)運動機能低下による生命予後への影響、3)合併症を悪化させる、4)産業の生産性低下などである。そのため世界的にも、OA の予防、治療の重要性が急務となっている。膝 OA の合併症に関しては、生活習慣病とされる肥満、糖尿病や心血管イベントが報告されている。つまり、膝 OA は、運動機能低下の最初の原因であり、合併症に糖尿病や心血管イベント（脳梗塞、心筋梗塞）、産業における生産性低下と関連し、その予防や治療、症状軽減が急務である。

(2) 本邦における膝 OA は、内側型つまり O 脚変形が 90%以上を占める。膝関節への O 脚方向への力学的負荷である膝関節内転モーメント (KAM : Knee adduction moment) は、膝 OA を悪化させるとする多くの報告がある。そのため膝 OA の治療として力学的負荷の軽減、つまり歩行時の KAM の減少が治療や予防に重要とされている。また、先に述べたように膝 OA の合併症として生活習慣病があり、KAM の減少のみでなく、より有効な有酸素運動（酸素消費量の増加）が得られる歩行であることが望ましいと考えられる。また、KAM は、通常、3 次元動作解析により算出されるが、もし簡易な方法で算出が可能となれば臨床現場や地域で膝 OA 予防のための歩行評価や練習に有効である。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究（研究 1）の目的は、KAM 減少歩行として用いるドロインを維持したままの歩行において、ドロイン（腹囲引き込み：腹囲減少、本研究では 2 cm とした：DI 歩行）が正しくできているかフィードバックするツールの実用化に向けた開発と地域高齢者（膝 OA 症例）へ応用し、効果を検証することを目的とする。

(2) 研究 2 の目的は、DI 歩行が通常の歩行よりも酸素消費量が多いかおよび血糖値への影響を検証する。

(3) 慣性センサを用いて、KAM 算出を目的に角度推定、床反力推定方法を開発する。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究 1

対象) 膝 OA と診断された高齢者 23 名（年齢：71.3±7.3 歳）とした。包含基準は、レントゲン撮影により膝 OA と診断された症例、杖等の補助具なしで歩行可能な症例とし、除外基準は、人工膝関節を有する症例、膝 OA 以外の下肢疾患がある症例、3 か月以内に新たな治療を始めた症例、認知機能障害を有し、内容が理解できない症例とした。なお、3 か月以前に理学療法を開始し継続しているものは対象者に含めた。

介入方法) DI ベルトの装着は壁に背中をあて、身長を計測する時と同様な要領で姿勢を正し、「お腹を軽く凹ませてください」と指示した。腰椎、骨盤を動かさないようお腹を凹まし、DI ベルトの長さを調節し装着した。10 分間の歩行等で練習をした。介入は、1 日 20 分（10 分 2 回でも可）とし、日常生活内の歩行時とした。買い物や家事なども可とした。実際にできているかの指導は、歩行介入開始 1 週後、2 週後に DI 歩行が適切に行えているか確認・再度指導をした。介入期間は 6 週間とした。

計測項目) KAM を計測予定であったが新型コロナウイルス感染症拡大に伴い 3 次元動作解析による計測は実施できなかったが、姿勢解析とその他は予定通りの計測を行った。計測項目として、Baseline 時と 6 週間介入後に膝外傷および変形性膝関節症転帰スコア（Knee injury and osteoarthritis outcome score : KOOS）、膝痛（Visual analogue scale : VAS）、健康関連 QOL 尺度（The MOS 8 item Short-Form Health Survey : SF-8）、胸椎後弯角度（通常姿勢・DI 姿勢）、膝関節伸展・屈曲可動域、膝関節伸展筋力、股関節外転筋力を測定した。また 6 週間介入前後それぞれ 2 週間の平均歩数を活動量計 Active style PRO（オムロンヘルスケア株式会社製、京都）を用いて測定した。

### (2) 研究 2

対象) 健常成人 10 名を対象とした。

方法) 計測前の決められた時間に同カロリーの食事をし、通常歩行と DI 歩行の 2 種類の歩行を別日に行った。歩行は 20 分間通常歩行速度とし、酸素消費量および血糖値を測定した。歩行開始前 5 分、歩行中 20 分間、歩行後 20 分の安静期間において血糖値は 1 分ごとに計測した。血糖値はフラッシュグルコースモニタリングシステム FreeStyle リブレ（アボット社製）を用い、酸素摂取量は、呼吸代謝測定装置 K5（Cosmed 社製）を用いた。

### (3) 研究 3

方法) 従来モデルはいわゆる逆動力学と呼ばれる運動データから力データを計算で求める方法を採用していたが、新モデルでは順動力学と呼ばれる方法で力をあらかじめ仮定し、計測した運動と一致する運動を生成するように最初に仮定する力(関節駆動力)を逐次更新する方式を採用した。

### 4. 研究成果

(1) 研究 1 で用いるためマグネットにより腹囲 2 cm の増減をフィードバックするツールを開発した。腹囲が増加した場合、バックル部がスライドしマグネットが離れバックル部が衝突し音が鳴る構造であり、また腹囲減少によりマグネットが接着した際もバックル部が衝突し音が鳴る構造である DI ベルトを開発し、広く使用できる基盤を作った(図 1)。実際の研究は試作品を使用した。

研究 1 の結果を表 1 に示す。6 週間の実施率は 86% であり、有害事象はなかった。6 週間の DI ベルトの使用により膝関節痛が有意に改善した。QOL、歩数には影響がなかった。姿勢に関しては、開始前が胸椎後弯  $32.9 \pm 6.8$  度であったが、介入後  $30.2 \pm 7.7$  度と DI ベルトを装着していない通常姿勢において改善していた。



図 1. DI ベルトの装着と音によるフィードバックの構造

表 1 6 週間 DI 歩行介入の効果

	Baseline	6 週間後	p 値	ES
VAS (mm)	41.5±2.14	33.1±24.6	0.03	0.47
KOOS (%)	59±16	63±13	0.07	0.95
SF-8 PCS	43.3±4.3	41.8±4.6	0.47	0.16
SF-8 MCS	49.2±7.5	51.2±7.1	0.43	0.17
膝関節屈曲可動域 (°)	132.0±16.2	132.3±16.7	0.91	0.02
膝関節伸展可動域 (°)	-3.4±4.9	-2.7±4.2	0.08	0.37
膝関節伸展筋力 (N/kg)	3.2±1.1	3.3±1.1	0.35	0.09
股関節外転筋力 (N/kg)	1.9±0.7	2.0±0.7	0.27	0.14
歩数 (歩)	3927.7±1639.8	3587.7±1560.6	0.15	0.21

VAS: Visual analogue scale; KOOS: Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score  
SF-8: The MOS 8 item Short-Form Health Survey; PCS: Physical Component Summary; MCS: Mental Component Summary; ES: effect size

(2) 通常歩行と比較して DI 歩行では、歩行終了後 20 分の血糖値、平均酸素摂取量、1m あたりの平均酸素摂取量、内腹斜筋の筋活動、呼吸困難感においていずれも有意に増加した(表 2)。歩行開始時・歩行開始 10 分・歩行終了時の血糖値、歩行開始時と歩行終了時の血糖値の差、歩行 20 分間の血糖上昇曲線下面積 (Incremental area under the curve: IAUC)、中殿筋の筋活動、歩行前後の収縮期・拡張期血圧、平均心拍数、歩行距離、下肢疲労感については、いずれも有意差を認めなかった(表 2)。

表 2. 通常歩行と Draw-in 歩行における各測定項目の比較

		通常歩行	Draw-in歩行	p値
歩行開始時の血糖値 (mg/dl)	中央値	130.5	130.7	0.88
	範囲	103.0-194.8	104.5-213.6	
	第1-第3四分位数	114.2-154.3	117.8-146.6	
歩行開始10分の血糖値 (mg/dl)	中央値	130.0	142.5	0.37
	範囲	98.0-191.0	98.0-203.0	
	第1-第3四分位数	118.5-143.8	119.5-148.8	
歩行終了時の血糖値 (mg/dl)	中央値	113.5	124.5	0.95
	範囲	99.0-164.0	88.0-163.0	
	第1-第3四分位数	106.5-129.3	98.5-134.3	
歩行終了後20分の血糖値 (mg/dl)	中央値	115.5	132.0	<b>0.02</b>
	範囲	89.0-143.0	107.0-152.0	
	第1-第3四分位数	97.0-131.0	114.0-139.5	
歩行開始時と歩行終了時の 血糖値の差 (mg/dl)	中央値	19.5	15.7	0.88
	範囲	-5.4-32.5	-3.9-50.6	
	第1-第3四分位数	5.0-28.0	5.0-22.9	
歩行20分間の血糖上昇曲下面積 (IAUC) (mg/dl・min)	中央値	708.3	879.5	0.88
	範囲	280.5-1767.0	235.5-1925.5	
	第1-第3四分位数	573.8-1070.9	366.5-1236.0	
平均酸素摂取量 (ml/kg/min)	中央値	14.7	16.2	<b>0.02</b>
	範囲	11.9-18.4	13.1-20.4	
	第1-第3四分位数	13.3-15.7	14.6-17.5	
1mあたりの平均酸素摂取量 (ml/kg/min)	中央値	4.5	6.3	<b>0.01</b>
	範囲	3.6-7.1	3.5-7.6	
	第1-第3四分位数	3.7-6.3	4.4-7.2	
中殿筋の筋活動 (mV/sec)	中央値	4.9	6.0	0.51
	範囲	1.9-8.6	3.5-10.3	
	第1-第3四分位数	4.1-7.4	4.7-7.4	
内腹斜筋の筋活動 (mV/sec)	中央値	8.4	18.2	< <b>0.01</b>
	範囲	4.4-22.4	8.8-35.4	
	第1-第3四分位数	6.6-12.7	13.3-27.3	
歩行前収縮期血圧 (mmHg)	中央値	108.5	112.5	0.88
	範囲	99.0-137.0	98.0-134.0	
	第1-第3四分位数	104.5-119.0	100.8-118.5	
歩行前拡張期血圧 (mmHg)	中央値	75.0	68.5	0.20
	範囲	60.0-95.0	49.0-91.0	
	第1-第3四分位数	64.5-80.0	61.8-80.0	
歩行後収縮期血圧 (mmHg)	中央値	120.0	118.5	0.51
	範囲	102.0-150.0	100.0-155.0	
	第1-第3四分位数	108.0-137.0	104.8-138.0	
歩行後拡張期血圧 (mmHg)	中央値	77.0	74.0	0.77
	範囲	71.0-95.0	62.0-90.0	
	第1-第3四分位数	71.8-87.3	69.8-88.3	
平均心拍数 (回/min)	中央値	103.4	106.3	0.96
	範囲	98.3-124.2	88.8-130.8	
	第1-第3四分位数	99.7-114.1	99.0-120.9	
歩行距離 (m)	中央値	1364.3	1361.0	0.65
	範囲	1150.5-1552.0	1180.5-1535.5	
	第1-第3四分位数	1272.9-1462.9	1289.1-1527.4	
呼吸困難感	中央値	2.0	3.0	<b>0.03</b>
	範囲	0.0-4.0	2.0-7.0	
	第1-第3四分位数	1.6-3.0	2.0-4.0	
下肢疲労感	中央値	1.5	1.5	0.19
	範囲	0.0-2.0	0.0-3.0	
	第1-第3四分位数	0.5-2.0	0.5-2.3	

(3) 床反力モーメントを含む床反力を我々の従来手法より精度よく、また、機械学習を用いた他研究と同等程度の精度で床反力は関節駆動力（モーメント）を推定することに成功した。通常の筋骨格解析モデルは、骨を剛体とし、関節を機械軸とする剛体リンク系で表現し、身体レベルのバイオメカニクス解析ができるが、関節組織レベルのバイオメカニクス解析はできない。我々は、膝関節の組織形状を含み、筋肉モデリングと膝関節の接触解析を単一のフレームワークに、生体内の筋活動と関節組織の変形とそれに伴う関節運動の生理学的な相互作用（独自技術：コンカレント解析）を考慮した筋骨格モデルを開発した。このモデルを用いれば、関節角度、関節モーメント、筋力などの運動学・動力学計算が可能であり、さらに、関節の副運動（内外旋、内外反、並進など）、関節接触メカニクス（接触圧力、接触面積、軟組織応力など）、靭帯力などの関節・軟組織レベルのバイオメカニクス解析も可能である。

<引用文献>

- ① Yoshimura N, Muraki S, et al.. Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J Bone Miner Metab.* 2009; 27(5):620-628.
- ② Hawker G, Croxfors R, et al.. All-cause mortality and serious cardiovascular events in people with hip and knee osteoarthritis: a population based cohort study *PLoS One.* 2014; 9(3):e91286.
- ③ Miyazaki T, Wada M, et al., Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2002; 61(7).617-622.
- ④ Chang AH, Moision KC, et, al.. External knee adduction and flexion moments during gait and medial tibiofemoral disease progression in knee osteoarthritis *Osteoarthritis Cartilage.* 2015; 23(3):1099-1106.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yasui J, Ota S, Kurokouchi K, Takahashi S	4. 巻 11(2)
2. 論文標題 Preoperative loss of knee extension affects postoperative knee extension deficit in patients with anterior cruciate ligament reconstruction.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Orthop J Sports Med	6. 最初と最後の頁 eCollection
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/23259671231151410	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 太田進, 藤田玲美, 片岡亮人, 鈴木淳	4. 巻 50(5)
2. 論文標題 変形性膝関節症・股関節症の運動療法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 総合リハビリテーション	6. 最初と最後の頁 457-465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang S, Cai Y, Hase K, Uchida K, Kondo D, Saito T, Ota S	4. 巻 17(1)
2. 論文標題 Estimation of knee joint angle during gait cycle using inertial measurement unit sensors: a method of sensor-to-clinical bone calibration on the lower limb skeletal model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Biomech. Sci. Eng	6. 最初と最後の頁 21-00196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.21-00196	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang S, Hase K, Ota S	4. 巻 1(3)
2. 論文標題 Development of a lower limb finite element musculoskeletal gait simulation framework driven solely by inertial measurement unit sensors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomechanics	6. 最初と最後の頁 293-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/biomechanics1030025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang S, Hase K, Ota S.	4. 巻 144(5)
2. 論文標題 A computationally efficient lower limb finite element musculoskeletal framework directly driven solely by inertial measurement unit sensors.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Biomech. Eng	6. 最初と最後の頁 51011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4053211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ota S, Fujita R, Ohko H, Imai A	4. 巻 in press
2. 論文標題 Effects of gait and activities of daily living modifications for improving knee joint function in community-dwelling middle-aged and older people -a randomized control study-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Musculoskelet Res	6. 最初と最後の頁 2150007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujita R, Ota S, Ogawa Y, Ota H	4. 巻 33
2. 論文標題 Effects of walking with a "draw-in maneuver" on the knee adduction moment and hip muscle activity.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Phys Ther Sci	6. 最初と最後の頁 329-333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1589/jpts.33.329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 服部良, 太田進, 青木隆明	4. 巻 41
2. 論文標題 腹部Draw-in歩行が変形性膝関節症患者の膝関節内反モーメントに及ぼす影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 133-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 太田進, 藤田玲美, 大古拓史, 村上慈葉	4. 巻 64
2. 論文標題 早期変形性膝関節症の運動療法. - 歩行再トレーニング (gait retraining) を含めて -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 整形・災害外科	6. 最初と最後の頁 293-299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ota S, Fujita R, Ueda M, Aimoto K, Nakanishi A, Suzuki Y	4. 巻 23(4)
2. 論文標題 Sex differences in the correlation between restricted ankle dorsiflexion and knee joint biomechanics during gait -Focus on the Knee Adduction Moment-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomed J Sci & Tech Res	6. 最初と最後の頁 17578-17586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26717/BJSTR.2019.23.00393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計3件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 村上慈葉, 太田進, 鈴木淳, 鈴木隆史, 川崎慎二
2. 発表標題 変形性膝関節症に対する腹部引き込み歩行の膝関節機能および胸椎後弯に対する介入効果
3. 学会等名 第9回日本運動器理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田進
2. 発表標題 変形性膝関節症の運動療法 -gait retrainingの応用-
3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学っ回秋季学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 服部良, 太田進, 尾藤貴宣, 青木隆明, 小川寛恭, 松本和, 秋山治彦
2. 発表標題 腹部Draw-in歩行が変形性膝関節症患者の膝関節内反モーメントに及ぼす影響
3. 学会等名 第46回臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長谷 和徳  (Kazunori Hase)  (10357775)	東京都立大学・システムデザイン研究科・教授   (22604)	
研究分担者	林 尊弘  (Takahiro Hayashi)  (40649787)	星城大学・リハビリテーション学部・講師   (33938)	
研究分担者	藤田 玲美  (Remi Fujita)  (50735660)	星城大学・リハビリテーション学部・助教   (33938)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------