

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19372

研究課題名（和文）変形性膝関節症者の屋内・屋外環境下での膝関節にかかる負荷の相違

研究課題名（英文）Differences in the load applied to knee joints of patients with osteoarthritis of the knee in indoor and outdoor environments

研究代表者

矢口 春木（Yaguchi, Haruki）

東北大学・大学病院・理学療法士

研究者番号：10750060

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ウェアラブル型動作解析装置を用いて、変形性膝関節症者における屋内と屋外による歩行時の運動特性を検討した。対象は、変形性膝関節症症例19例と健常高齢者20名とした。歩行解析は、慣性センサーと荷重計を搭載した靴を使用した。屋内と屋外にて、直線歩行を同一日に試行した。結果は、膝関節と股関節の運動学的変数に測定環境と測定肢に交互作用はなく、主効果は、測定肢間で健常者と患側、反対側に、最大膝関節屈曲角度と最大股関節屈曲角度に有意差がみられ、測定環境間で、最大股関節伸展角度に有意差がみられた。屋内と屋外での測定環境の違いによる歩行時の運動特性は、変形性膝関節症者と健常高齢者で有意な差はみられなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、変形性膝関節症症例を対象に、屋内と屋外で同一動作解析システムを用いて歩行解析を行った初めての報告である。今まで日常生活環境の違い、特に屋内と屋外環境による歩行への影響については、解明されていなかった。今回の短距離の平地歩行では、運動学的パラメータの解析結果から、変形性膝関節症症例と健常高齢者間での有意差はみられたもの、屋内と屋外環境の相違による有意な違いはみられなかった。このことから、歩行の運動処方として屋外環境においても屋内に準じたものを利用できる可能性がある。今回、日常生活場面での歩行解析を行えたことは、非常に意義の大きいものになる。

研究成果の概要（英文）：Using a wearable motion analyzer, we investigated the characteristics of gait at indoors and outdoors in persons with knee osteoarthritis. The subjects were 19 knee osteoarthritis cases and 20 healthy elderly subjects. Shoes equipped with load cells and inertial sensors were used for gait analysis. Straight line walking was performed indoors and outdoors on the same day. The results showed that there was no interaction between the measurement environment and the measurement limb in the knee and hip kinematic variables. The main effects were significant differences in maximum knee flexion angle and maximum hip flexion angle between the measurement limbs for the healthy subjects and the affected and contralateral sides, and significant differences in maximum hip extension angle between measurement environments. There were no significant differences in locomotor characteristics during walking between indoor and outdoor environments between knee osteoarthritis and healthy elderly subjects.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：変形性膝関節症 歩行解析 ウェアラブルセンサ 屋内歩行 屋外歩行 バイオメカニクス

### 1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症（以下、KOA）は、今後増加する傾向にあり、2032年までに45歳以上の人口の15%以上が罹患するとされている（Turkiewicz et al. 2014）。主な症状は、膝関節の疼痛やこわばり、関節拘縮、筋力低下、関節の変形などであり、歩行と階段昇降に支障を生じる（Felson et al. 2013）。発症初期には薬物治療やリハビリテーションが行われるが、重度変形や症状が緩和しない場合には人工関節置換術の適応となり、医療経済的な影響も大きい。KOAの発症と進行には、様々な因子が関わっているが、日常生活動作の歩行や階段などによる膝関節への繰り返し負荷が主な要因とされている（Maly et al. 2008）。

日常生活動作での膝関節にかかる負荷は、研究室内に設置された機器を用いて屋内環境でのみ計測され、変形性膝関節症の進行や疼痛に関わる負荷として、膝関節にかかる内転モーメントと屈曲モーメントの増大が明らかになった（Chehab et al. 2014）。しかし、研究室内と日常生活場面では、歩行速度が異なることが報告（Takayanagi et al. 2019）されており、また、変形性膝関節症者は外気温の変化により症状が異なることもきかれる。変形性膝関節症者の活動範囲は、自宅内からレジャー、スポーツまでと広い（Rantakokko et al. 2017）。そのため、膝関節にかかる負荷が屋内と屋外環境下で異なるのかという問いは、変形性膝関節症の予防や症状増悪を予防するためにも明らかにすべき課題である。

屋外環境下で日常生活動作を測定することは、既存の光学式3次元動作解析装置では機器の問題（日光や粉塵、限られた測定範囲など）により測定が困難であった。そこで、私たちは、日本電気株式会社データサイエンス研究所の福司らとの共同研究にて慣性センサと荷重計を用いた屋外で計測可能なウェアラブル型3次元動作解析システムの開発を行った。この解析装置システムを使用することで、屋外環境での歩行や階段昇降時の動作を捉え、膝関節にかかる負荷を明らかにすることができる。

### 2. 研究の目的

本研究では、共同研究により開発したウェアラブル型3次元動作解析装置を用いて、変形性膝関節症者における屋内環境と屋外環境、外気温による相違が歩行時の運動特性や膝関節にかかる負荷に与える影響を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

対象は、KOAと健常高齢者とした。KOAの重症度分類は、X線を用いたKellgren-Laurence (KL) gradeを用いた。また、ADL・QOLの評価として、Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)を用いた。歩行は、慣性センサ（TSND121, ATR-Promotions, Japan）を左右それぞれ大腿部、下腿部、足部に1つずつ装着し、さらに、荷重計を搭載した靴（Balance Aid, Leimac, Japan）を履いて行った（図1）。屋内環境と屋外環境で、杖などの歩行補助具は使用せず、それぞれ同一日に平地直線7mを各6回試行した。KOA症例は、膝関節症状が強く、ADLで支障が生じる側を患側とし、他方を反対側とした。健常高齢者は、左側を解析対象とした。歩行解析は、膝関節と股関節の運動学的変数を用いて、測定環境（屋内と屋外）と測定肢（患側と反対側、健常者）を要因に統計学的検討を行った。



図1. A：慣性センサ、B：荷重計を搭載した靴、C：屋外測定環境

### 4. 研究成果

対象となった変形性膝関節症症例は19例（男性7名、女性12名）、健常高齢者は20名（男性11名、女性9名）であった（表1）。KL gradeは、患側で $3.5 \pm 0.7$ 、反対側で $2.8 \pm 1.0$ であり、有意差がみられた（ $p < 0.01$ ）。KOOSは、患側で $48.7 \pm 18.3$ 、反対側で $52.1 \pm 18.6$ 、健常高齢者で $96.5 \pm 4.1$ であり、健常高齢者と患側、反対側で有意差がみられた（ともに $p < 0.01$ ）（表2）。屋内歩行環境は、平均気温 $24.3 \pm 0.5$ 度、フローリングの床材であり、屋外歩行環境は、平均気温 $10.0 \pm 3.2$ 度、タイル状の床材であった。

膝関節と股関節の運動学的変数に測定環境と測定肢に交互作用はなく、主効果は、測定肢間で健常高齢者と患側、反対側に、最大膝関節屈曲角度 ( $p<0.01$ ) と最大股関節屈曲角度 ( $p<0.01$ ) に有意差がみられ、測定環境間では、最大股関節伸展角度 ( $p=0.018$ ) に有意差がみられた (表 3)。

表 1 研究対象者

	KOA	Control	p-value
n	19	20	
Sex (Male:Female)	7:12	11:09	0.341
Age	70.6(8.4)	71.4(5.6)	0.759
Height (cm)	158.5(7.4)	161.0(7.2)	0.269
Weight (kg)	65.6(11.4)	57.5(11.8)	0.051
BMI	25.9(3.8)	22.0(3.2)	<0.01*

Average (Standard deviation).

KOA: Knee Osteoarthritis, BMI: Body mass index.

The asterisks indicated significant differences.

表 2 KL Grade, KOOS

	KOA		Control	p1	p2	p3
	Affected side	Contralateral side				
KL grade	3.5(0.7)	2.8(1.0)		<0.01*		
KOOS	48.7(18.3)	52.1(18.6)	96.5(4.1)	0.778	<0.01*	<0.01*

KOA: Knee Osteoarthritis

KL: Kellgren-Laurence

KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

p1: p-value, Affected side vs Contralateral side.

p2: p-value, Affected side vs Control.

p3: p-value, Contralateral side vs Control.

The asterisks indicated significant differences.

表 3

	Affected side		Contralateral side		Control		f-value			Post hoc	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	side	location	interaction	side	location
Hip maximum flexion (degree)	21.0(5.3)	23.3(4.3)	22.2(4.4)	25.1(6.7)	30.4(5.7)	30.9(4.6)	10.56*	1.36	0.199	Aff. Contra < Cont	
Hip maximum extension (degree)	9.5(1.5)	11.7(2.1)	8.9(3.5)	10.6(3.1)	7.5(3.1)	10.3(3.7)	1.19	6.16*	0.138	Indoor < Outdoor	
Knee maximum flexion (degree)	46.2(10.1)	46.8(12.9)	50.1(8.2)	49.6(10.0)	62.4(8.8)	62.1(5.2)	10.66*	0.001	0.013	Aff. Contra < Cont	
Knee minimum flexion (degree)	3.9(3.2)	1.5(3.3)	2.2(4.9)	0.08(2.3)	3.9(7.0)	2.9(4.4)	0.38	1.76	0.10		

Aff: Affected side, Contra: Contralateral side, Cont: Control

The asterisks indicated significant differences ( $p<0.05$ ).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yaguchi Haruki, Sekiguchi Yusuke, Honda Keita, Fukushi Kenichiro, Huang Chenhui, Nakahara Kentaro, Zhenzhao Cheng, Izumi Shin-Ichi	4. 巻 2
2. 論文標題 Biomechanical Characteristics of Long Stair Climbing in Healthy Young Individuals in a Real-World Study Using a Wearable Motion Analysis System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biomechanics	6. 最初と最後の頁 601 ~ 612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/biomechanics2040047	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 Yaguchi Haruki, Honda Keita, Sekiguchi Yusuke, Huang Chenhui, Fukushi Kenichiro, Wang Zhenwei, Nakahara Kentaro, Kamimura Masayuki, Aki Takashi, Ogura Ken, Izumi Shin-Ichi	4. 巻 112
2. 論文標題 Differences in kinematic parameters during gait between the patients with knee osteoarthritis and healthy controls using an insole with a single inertial measurement unit: A case-control study	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Clinical Biomechanics	6. 最初と最後の頁 106191 ~ 106191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clinbiomech.2024.106191	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 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------