

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：33938

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500577

研究課題名(和文)変形性膝関節症の一発症要因解析とその予防のための姿勢フィードバックツールの開発

研究課題名(英文)Knee osteoarthritis factor analysis and development of posture feedback tool for prevention

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・准教授

研究者番号：50452199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、変形性膝関節症(膝OA)の一発症要因の解明とその予防ツールの開発を目的とした。以下に結果をまとめる。1)膝OA症例は若年時にO脚ではないがつま先が正面を向く(健常よりつま先が内側を向く)傾向があった。2)40歳代女性では、20歳代と比較して、歩行時に膝を伸ばす筋力を多く使う歩き方をしていた(膝の負担増大)。3)腹部をへこませることで、背中の曲りが減少し、その状態で歩行すると膝のO脚になる負担は減少した。腹囲をセンサーで感知する布を用いた姿勢フィードバックベルトの試作品を開発した。

研究成果の概要(英文)：The aims of this study were to investigate a knee osteoarthritis (knee OA) factor and to develop a posture feedback tool. The results may be summarized as follows. 1) there was a tendency of leg alignment with toe-in and without knee varus in patients with knee OA at a young age. 2) Greater knee extensor strength was required in women in their 40s compared to their 20s. 3) Walking with draw-in maneuver serves to decrease thoracic kyphosis so as to induce decreased knee varus moment. 4) A prototype of the posture feedback belt using a cloth sensor to sense abdominal circumference was developed.

研究分野：理学療法

キーワード：リハビリテーション 変形性膝関節症 軟骨 歩行 予防 姿勢 フィードバック 高齢者

1. 研究開始当初の背景

(1) 変形性膝関節症(膝 OA)は、50 歳以上の女性では 4 名に 3 名,男性では 2 名に 1 名と罹患率が女性で高く,本邦では内反変形(O 脚)がその多くを占めている。また,膝 OA は運動器不安定症の一疾患とされ,40 歳以上で発症する。膝 OA は膝に加わる負荷(メカニカルストレス)が,その発症要因の一つとされているが,罹患率が高くなる中年期以降でどのように変化し,膝関節に影響するかを検証した報告はない。

(2) 姿勢改善運動が即時的に膝関節にかかる O 脚方向の力を減少させたという先行研究より,姿勢と歩行時の膝関節負担は関連すると考えられるが,姿勢改善の方法や姿勢のどの部位を意識したら良いかは不明である。もし,意識したら良い部位の状態を簡単に理解できれば,その状態を保ちながら歩行や日常生活を送ることで膝 OA の予防になると考えた。

2. 研究の目的

中年期以降に発症し女性の罹患率が高い膝 OA の発症メカニズムの解明の一助とその予防ツールの開発の 2 点を本研究の目的とし,さらに,以下の 4 つの細目的にて実施した。

- (1) 膝 OA の若年期の下肢形態(O 脚, X 脚, 偏平足など)の特徴を明らかにする。
- (2) 膝 OA の罹患率が高くなる 40 歳代とそれ以前の 20 歳代において,歩行時膝関節にかかる力および膝関節軟骨の性状の差を検討する。
- (3) 腹部をへこませることによる円背(背中の曲り)への効果とその状態で歩行した場合の膝関節への負担の軽減効果の検討する。
- (4) 腹囲を感知する姿勢フィードバックツールを開発する。

3. 研究の方法

(1)研究 1

対象

健康地域高齢者 181 名と膝 OA 症例 254 名を対象とした。

アンケート項目として,10 から 20 歳代時の膝関節アライメント(O 脚から X 脚の程度),足部の向いている方向,膝関節の反り返り,その当時の膝の痛みの有無,姿勢について,良い姿勢を意識するような習い事や運動の有無,偏平足,外反母趾,足首の硬さとした。

(2)研究 2

対象

健康の 20 歳代および 40 歳代女性,各 15 名の計 30 名を対象とした。測定肢はランダムに決定し,歩行分析と MR 計測は同側で行った。

歩行解析

自由歩行と速度を調整した歩行(以下調整

歩行)の 2 種類を行った。歩行速度を 30%増加させると膝関節内反モーメントのピーク値が増加するという報告があるため,調整歩行では日本人女性の平均歩行速度である 1.36m/s の±5%の範囲になるように調整した。仙骨部マーカーを身体質量中心とし,進行方向の移動距離を移動時間で除すことにより歩行速度を算出した。

3 次元動作解析

動作の解析には 100Hz の赤外線カメラ 10 台(V100R2, Natural Point 社)使用による 3 次元動作解析装置(VENUS 3D, Nobby Tech 社)および床反力計 1 枚(AccuGait, AMTI 社)を使用した。

3 次元動作解析用反射マーカー(直径 7mm)を静止立位時に身体の 25 か所,動作時に 23 か所貼付した(表 1, 図 1 a,b)。

表 1. マーカ貼付部位

両側	肩峰, 上前腸骨棘
測定肢	大腿装具 5 点, 下腿装具 5 点, 大転子, (大腿骨内側上顆), 大腿骨外側上顆, 脛骨内側面 2 点, (内果), 外果, 第 2 中足骨頭, 第 5 中足骨頭, 踵骨
その他	両側上後腸骨棘の midpoint

() は静止立位時のみ



a.前額面

b.大腿, 下腿

図 1. マーカ貼付位置

3 次元動作データ解析

直鎖リンク系の逆動力学計算を 3 次元のニュートンオイラー法によって求めた。逆動力学計算の際に必要な身体各節の質量などの身体力学パラメータの値は日本人データを用い,被験者の体重,節長などから推定した。

2 種類の歩行を 3 回ずつ測定し,3 回の平均値を代表値とした。このうち,歩行速度の影響を除外するため,調整歩行のデータのみを使用し,1 歩行周期を時間軸で 100%に正規化した後,60%を占める立脚期の値を用いた。

評価指標は,膝関節内反モーメント(KAM:

Knee adduction moment), 膝関節屈曲モーメント, 膝関節内側圧縮力, 膝関節屈曲角度とした。なお, 膝関節内反モーメント, 膝関節屈曲モーメントは体格差の影響を除くために体重と下肢長で除すことで無次元化した。膝関節内側圧縮力の指標は, 立脚中期 (11~30%) におけるピーク値を 1st ピーク値, 立脚終期 (31~50%) におけるピーク値を 2nd ピーク値とした。膝関節内側圧縮力の 1st ピーク値と 2nd ピーク値は先行研究に基づき, 表 2 のように算出した。また,

表 2 膝関節内側圧縮力

パラメータ	算出式
1st ピーク値	$0.31M_{add} + 0.09 M_{flex} + 0.82$
2nd ピーク値	$0.33M_{add} + 0.21 M_{flex} + 0.49$

M_{add} : 内反モーメント M_{flex} : 屈曲モーメント

MR 計測

名古屋大学医学部保健学科脳とこころの研究センターで撮像した。

本研究に使用した MR 装置は 3.0tesla の MAGNETOM Verio (SIEMENS 社) で, 受信コイルは装置付属の Body matrix coil と Spine matrix coil である。膝関節伸展位において, 膝関節内側の荷重部を前額面で撮像した。撮像シーケンスは multi echo の spin echo sequence を使用し, repetition time 1500ms, echo time 13, 26, 39, 52, 65, 78, 91, 104ms, field of view 150mm, slice thickness 3.0mm, matrix 256×256, band width 233Hz/pixel の条件下で撮像した。Zip を使用したため, ピクセルサイズは約 0.3mm となった。スライス枚数は 1 枚で, 2D 収集を行った。

MR 計測データ解析

定量的な検討として内側の大腿骨, 脛骨それぞれの軟骨の全層および表層 1/2 を関心領域とし, 平均の T2 値を算出した。なお, 関心領域の設定に関しては, 軟骨部位を正しく捉えるため, 元画像を用いて軟骨下骨を含まないように正確に行った。視覚的な検討として全層について color mapping を行い, 評価した。

その他の計測

膝関節伸展筋力測定にはハンドヘルドダイナモメータ (micro FET2, Hoggan 社) を使用した。端座位にて, 固定ベルトを使用し, 下腿遠位部にハンドヘルドダイナモメータを固定して最大筋力を 3 回測定した。3 回測定した最大値を対象者の膝関節伸展筋力の値とした。なお, 体格差の影響を除くために体重で除し, 下腿長で乗じた。

統計処理

統計処理として, 群間比較には Mann-Whitney の U 検定, 相関には Shapiro-Wilk の W 検定により, 正規性が認められたものについては Pearson の相関係数, 正規性が認められなかったものについて

は Spearman の順位相関係数を求めた。有意水準は 5% 未満とした。

(3) 研究 3

対象

健常若年者 29 名 (男性 15 名, 女性 14 名, 平均年齢: 21.6±1.1 歳, 平均身長: 163.4±7.6cm, 平均体重: 59.7±10.4kg) を対象とした。測定肢は, ランダム関数にて決定した。

腹部周径の測定

腹部周径の測定には, メジャーを用いた。測定肢位は, 静止立位姿勢とした。Draw-in maneuver (DI: 腹部をへこます動作) の指示を円背の減少の介入とした。口頭指示は, 「軽くお腹をへこませてください」とし, 臍部にて腹囲を計測した。事前研究にて, 対象の 29 名を計測して, その平均値 2.1cm を本研究の DI の程度とした。

胸椎後弯角計測

脊柱形態の測定には, 体表面上から各椎体間の角度を計測可能な Spinal Mouse (インデックス社) を用いた。測定肢位は, 両足部を肩幅程度に開いた静止立位姿勢とし, 両上肢は体側に下ろし視線は前方を注視するよう指示した。Spinal Mouse で通常時と DI 時の胸椎後弯角を測定し, 変化量を算出した。第 1 胸椎から第 12 胸椎までの上下椎体間のなす角度の総和を胸椎後弯角とした。

膝関節内反モーメント

研究 2 と同様の方法にて求めた。

統計処理

いずれのデータも Kolmogorov-Smirnov 検定により正規性の検定を, F 検定により等分散の検定を行いパラメトリック検定, ノンパラメトリック検定のどちらを用いるか決定した。その後, パラメトリック検定であれば対応のある t 検定, Pearson の相関係数, ノンパラメトリック検定であれば Wilcoxon の符号付き順位検定, Spearman の順位相関係数を用いた。有意水準はすべて 5% 未満とした。統計処理はすべて SPSS にて行った。

(4) 研究 4

腹囲の計測部位の決定にあたり, 臍部, ヤコビー線部, 上前腸骨棘の 3 部位にて, 再現性と変位量を検討した。対象は研究 3 と同様である。

4. 研究成果

(1) 研究 1

膝 OA 症例と健常地域高齢者の若年期の主な下肢アライメントの相違は, 膝関節において健常群で右: 2.82, 左 2.81 に対し, 膝 OA 群は右: 2.78, 左: 2.80 であり, 有意差を認めなかった (1-5 で数字が小さいほど O 脚)。足部アライメント (歩行時) では健常群で右: 2.81, 左 2.79 に対し, 膝 OA 群は右: 2.97, 左: 2.96 であった (1-5 で数字が少ないほど足先が外を向いている)。統計処理 (t 検定) で

は足部アライメントで有意差 ($p < 0.05$) を認めた。膝 OA 群の若年期歩行時の足角は、健常群に比べつま先を真っ直ぐ歩いている可能性があると考えられた。また膝 OA 症例の下肢アライメントの特徴として脛骨内捻のマルアライメントも一要素となるかもしれない。

(2) 研究 2

歩行解析

歩行時の膝関節圧縮ストレスの各指標を表 3 に示す。歩行時の膝関節圧縮ストレスでは、膝関節屈曲モーメントの 1st ピーク値のみ、20 歳代と 40 歳代の間に有意差がみられた。

表 3 膝関節モーメントと内側圧縮力

		20代	40代	p値
内反モーメント (%BW*LE)	1st	5.08±1.63	5.81±1.80	0.24
	2nd	4.28±1.75	4.48±1.61	0.77
屈曲モーメント (%BW*LE)	1st	4.40±1.63	6.68±1.57	0.00**
	2nd	-3.48±1.92	-3.89±1.39	0.47
内側圧縮力 (%BW*HT)	1st	1.78±0.28	1.95±0.25	0.08
	2nd	1.47±0.39	1.52±0.27	0.37

** $p < 0.01$

軟骨性状

膝関節内側軟骨の各部位の T2 値を、図 2 に示す。大腿骨表層において、40 歳代では T2 値が有意に延長していた。

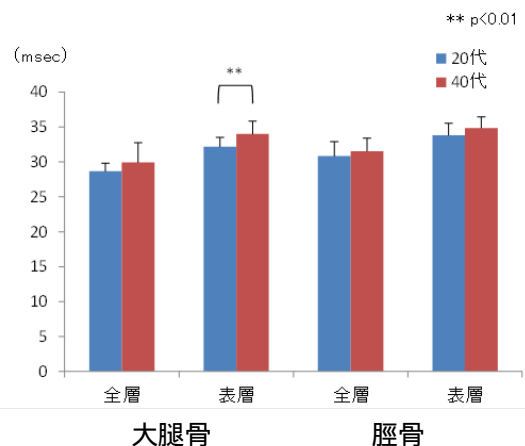


図 2 膝関節部位別 T2 値

歩行解析と軟骨性状の関連

40 歳代で有意に増加していた膝関節屈曲モーメントと大腿骨表層の T2 値に関しては、有意な相関はみられなかった。

まとめ

20 歳代と比較し、40 歳代では歩行時膝関節屈曲モーメントが増加していた。膝 OA は前額面上の変化であるが、年齢による歩行の変化は矢状面から始まるのかもしれない。また、大腿骨表層の T2 値が 20 歳代より高値であり、膝関節に症状がなくても軟骨の変性が生じ始めていることが示唆された。しかし、歩行の変化と軟骨の性状において有意な相

関はみられなかった。

(3) 研究 3

Draw-in による胸椎後弯角の変化

DI により、 $43.0 \pm 7.9^\circ$ から $41.0 \pm 7.4^\circ$ に有意に胸椎後弯が減少した。

膝関節内反モーメント (KAM) への影響対象者 29 名の 3 次元動作解析によって求めた KAM のピーク値を通常時と DI 時で比較した。1st ピーク値は通常時 59.4×10^{-3} 、DI 時 59.2×10^{-3} 、2nd ピーク値は通常時 57.0×10^{-3} 、DI 時 58.3×10^{-3} となり、どちらも有意差は認められなかった。

そのため以下のサブ解析を行った。胸椎後弯減少群 20 名を対象に再検討したところ、1st ピーク値 KAM の値は通常時 57.0×10^{-3} 、DI 時 55.7×10^{-3} であった。胸椎後弯増加群の 1st ピーク値 KAM の値は通常時 62.1×10^{-3} 、DI 時 63.0×10^{-3} であった。また胸椎後弯減少群では DI により KAM 1st ピーク値が有意に減少した ($p < 0.05$)。またレバーアームも有意に減少していた。通常時 $38.8 \pm 11.3\text{mm}$ 、DI 時 $36.4 \pm 11.7\text{mm}$ 、 $p < 0.05$)

まとめ

DI により胸椎後弯は減少するがすべての対象者ではなかった。そして減少した対象者のみで KAM について検討すると、1st ピーク値において、有意に減少していた。膝関節内側への負担を軽減する歩行変容として、腹部をへこました状態での歩行は、膝 OA の予防に有用な歩行と推察された。

(4) 研究 4

姿勢フィードバックのための計測部位

臍部、ヤコビー線、上前腸骨棘の 3 部位の再現性はすべて良好であった。その中で最も変化量が大きかったのは臍部であった。そのため、腹囲を姿勢フィードバックに利用するには、臍部での腹囲が適切と考のえられた。

計測部位	変化量	級内相関
臍部	2.1	0.997
ヤコビー線	1.5	0.996
上前腸骨棘	0.8	0.967

表 4 計測部位別腹囲の変化量と再現性

姿勢フィードバックツールのプロトタイプ作製

臍部を中心に腹囲を計測できるベルトを作製した。腰部側の中央部には長さを電気信号に変換できる布センサー (株式会社槌屋) を用いた (図 3)。本センサーベルトの装着により 2cm の長さ変化を感知することは可能であった。



図3 腹囲フィードバックベルト（試作品）

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

1. Ota S, Nakamura T, Ando A, Fukuyama A, Watanabe A, Tozawa Y, Hase K, Matsui Y. A comparison of knee joint biomechanics during free gait and cartilage T2 mapping values in healthy individuals in their twenties and forties. OARSI2014, Paris, 2014.4.24-27.
2. 鳥居善哉, 太田 進, 片岡亮人, 藁科秀紀, 今泉史生. 変形性膝関節症症例と一般高齢者における青年期下肢アライメントと姿勢に対するアンケート調査 (第一報) - 10~20歳代の回想調査より - . 第30回東海北陸理学療法学会大会. 静岡市, 2014.11.15-16.
3. Ota S, Kano R, Fukuta S, Miyai R, Ohko H, Hase K. Acute influences of draw-in maneuver for spine alignment and knee adduction moment during gait. 2015 OARSI2015, Seattle, 2015.4.30-5.3.

〔その他〕

ホームページ等 (太田進研究室ホームページ, 科学研究費成果)

<http://square.umin.ac.jp/ota/funding/index.html>

6. 研究組織

(1)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・准教授

研究者番号: 50452199

(2)研究分担者

長谷和徳 (HASE, Kazunori)

首都大学東京・理工学研究科・教授

研究者番号: 10357775

(3)研究分担者

福山篤司 (FUKUYAMA, Atsushi)

名古屋大学・医学系研究科・助教

研究者番号: 40452198