

卒業論文要旨

重回帰分析を用いた歩行時の腰部負荷推定

Estimating Lumbar Load During Walking Using Multiple Regression Analysis

システム工学群

ヒューマンメカトロダイナミクス研究室 1210025 井本 唯人

1. 緒言

現在日本では男女問わず腰痛を患っている人が増加している。令和元年に厚生労働省より公表された国民生活基礎調査⁽¹⁾によると有訴者率では男性は腰痛が最も多く女性も2番目に多い。腰痛には様々な原因があるが、ここでは腰部に負荷が大きい姿勢や動作を繰り返すことで起こる腰痛に着目する。本研究グループでは日常でよく取る姿勢や動作時にかかる負荷を定量的に表し、それを使用者にフィードバックし姿勢を改善することによって腰痛予防につながるシステムの開発を目指してきた。

既報⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾では体表面形状から静止姿勢、くしゃみやせきなどの動作、歩行動作での腰部負荷の推定法を提案(提案法 A)し、Nachemson らが行った負荷推実測結果⁽⁵⁾と同様の傾向が確認されたことから、提案法 A の有用性が得られた。

また、既報⁽⁶⁾⁽⁷⁾では腰部負荷推定の別の提案法(提案法 B)として、脊柱を梁と仮定し、第5腰椎(L5)に加わるモーメントを腰部負荷と考え、重回帰分析を用いて静止姿勢と歩行動作における腰部負荷を推定した。結果として静止姿勢において Nachemson ら⁽⁵⁾と同様の傾向が得られたことから静止姿勢においてはこの提案法 B も有用性が得られた⁽⁶⁾。また歩行動作においては負荷推定値の変動の定性的傾向が提案法 A とある程度一致した⁽⁷⁾。しかしながら、歩行動作の実験においては被験者2名のみを対象としたため、データ数が少ない。

そこで本研究では被験者を新たに3名増やし、既報⁽⁷⁾と同様の提案法 B で重回帰分析を用いて歩行時の負荷推定を行い、提案法 B による精度を確認する。

2. 重回帰分析による負荷推定法

既報⁽⁷⁾では脊柱を梁と仮定し L5 周りに加わる曲げモーメントを腰部負荷と考え、重回帰分析を用いて歩行中の負荷推定を行った。本報でも、この方法を用いて負荷を推定する。脊柱を梁でモデル化し、腰椎と骨盤がピン結合であると仮定することで静止姿勢において考慮した上半身の自重によるモーメント、骨盤の回転による強制変位に起因する腰部の曲げモーメント、脊柱と平行な方向の力による軸圧縮力の3つの要素に加えて、歩行時に加わる慣性力の脊柱直角方向と軸方向の分力を考慮した8つの要素を含んだ計11の要素を用いて腰部負荷を表す。上半身は上部と下部に分け、それぞれの質量中心を第3胸椎(T3)、第10胸椎(T10)と仮定し、考慮する。このとき阿江ら⁽⁸⁾を参考に上半身上部の質量を体重の31.8%、下部の質量を33.8%とする。

図1,2,3に今回考慮する脊柱に加わる力と骨盤角度を示す。目的変数を Y とし、上半身の自重を M 、上半身上部の自重を m_{T3} 、上半身下部の自重を m_{T10} 、上半身上部の進行方向の加速度を $\ddot{y}_{T3}$ 、鉛直方向の加速度を $\ddot{z}_{T3}$ 、上半身下部の進行方向の加速度を $\ddot{y}_{T10}$ 、鉛直方向の加速度を $\ddot{z}_{T10}$ 、骨盤角度を θ 、上体の前傾角度を α 、偏回帰係数を $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K$ 、重

力加速度を g とすると各説明変数は次のように表せる。なお、各式が図中の赤字に対応している。

自重 Mg の脊柱直角成分により腰椎に加わる力は

$$Mg\sin\alpha \quad (1)$$

骨盤の回転による影響は

$$\theta \quad (2)$$

自重 Mg の脊柱軸成分で表される軸圧縮力の影響は

$$Mg\cos\alpha \quad (3)$$

上半身上部の質量中心 T3 の2方向慣性力による影響は脊柱軸成分と直角成分に分け

$$m_{T3}\ddot{y}_{T3}\sin\alpha \quad (4)$$

$$m_{T3}\ddot{y}_{T3}\cos\alpha \quad (5)$$

$$m_{T3}\ddot{z}_{T3}\sin\alpha \quad (6)$$

$$m_{T3}\ddot{z}_{T3}\cos\alpha \quad (7)$$

上半身下部の質量中心 T10 も同様に

$$m_{T10}\ddot{y}_{T10}\sin\alpha \quad (8)$$

$$m_{T10}\ddot{y}_{T10}\cos\alpha \quad (9)$$

$$m_{T10}\ddot{z}_{T10}\sin\alpha \quad (10)$$

$$m_{T10}\ddot{z}_{T10}\cos\alpha \quad (11)$$

となる。

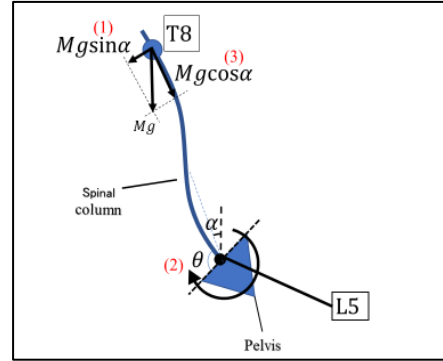


Fig.1 The force due to its own weight, the axial force and the effect of the pelvic angle.

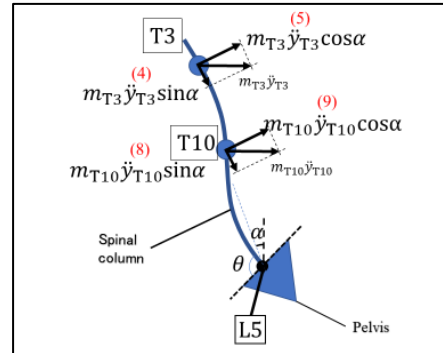


Fig.2 Inertial force in the direction of travel.

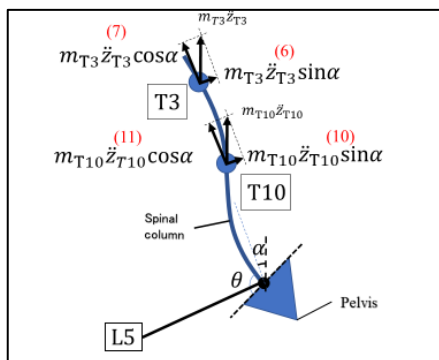


Fig.3 Inertial force in the direction of vertical.

これら 11 の要素に偏回帰係数を乗じ和を取ることで回帰式を作成する。なお、今回は既報⁽⁴⁾の提案法 A で導出した歩行中の腰椎椎間板負荷比を目的変数として使用する。

3. 歩行実験による負荷推定

今回の実験は 3 名の被験者(男性, 年齢 22.3±1.24[歳], 身長 168±3.40[cm], 体重 53.3±3.40[kg])を対象に歩行開始から 5, 6 歩目の測定を 2 回行った。図 4 赤枠に示すように、直径 6mm のマーカーを脊柱 18 か所の棘突起上(T1 から S1 間)、左右の上前腸骨棘上、左右の上後腸骨棘上の計 22 か所に貼り、計 12 台の光学式モーションキャプチャカメラ(Motion Analysis 社製: Kestrel Digital Camera)で撮影し各マーカーの座標を取得した。サンプリング周波数は 100Hz とした。なお、実験は高知工科大学倫理審査委員会の承認を得て、被験者の同意を得たうえで実施した。



Fig.4 Markers pasting position.

回帰式の作成による分析結果を表 1, 2, 3 に示す。今回は、被験者 1 名 1 試行分のデータで重回帰分析を行った。ここでは被験者 1 名分の結果を示す。重決定係数 R^2 は作成した回帰式の適正具合を示す値であり一般に 0.8 以上であればよいとされている。ここでは 0.98 以上と高い値となった。また、各要素の影響を示す標準化偏回帰係数の値に着目する。これらの値の絶対値を取ると、特に高い値を示したのは F, G であり、この 2 値は上半身上部の鉛直方向の慣性力 2 成分の影響を示している。上半身下部の鉛直方向の慣性力の偏回帰係数 J, K の値も他に比して大きいことから、慣性力の鉛直方向成分による影響は歩行時の負荷推定において重要な要素であるといえる。

続いて上記の回帰式を用いて実際に歩行時の負荷推定を行った。図 5 に回帰式を作成した歩行データに各要素を代入することで求めた推定値(青線, 提案法 B より導出)と目的変

数(オレンジ線, 提案法 A より導出)の比較を示す。縦軸は腰椎部負荷比[%]を示し、横軸は踵接地のタイミングで正規化した歩行率[%]を示す。また、両脚支持期を赤枠で示す。推定結果を比較すると、回帰式を用いて推定した負荷比と体表面形状から導出した負荷比では相関係数 0.87 と強い正の相関が得られた。また両脚支持期において、2 値は減少する傾向がみられる。これは既報⁽⁴⁾より、歩行動作における負荷比の特徴である。

Table 1 Result of regression statistics.

Regression statistics	
Multiple correlation coefficient R	0.9997
Multiple coefficient of determination R^2	0.9995
Adjusted coefficient of determination R^2	0.9883
Standard error	2.326
The number of data	101.0

Table 2 Value of partial regression coefficient

A	B	C	D	E	
-0.892	-0.408	3.89	2.11×10^{-3}	-3.80×10^{-4}	
F	G	H	I	J	K
-5.61×10^{-3}	7.36×10^{-4}	-1.85×10^{-3}	4.11×10^{-4}	1.18×10^{-3}	-8.05×10^{-5}

Table 3 Value of standardized partial regression coefficient

A	B	C	D	E	
-4.86	-3.63	0.878	2.41	-2.62	
F	G	H	I	J	K
-13.3	13.2	-3.43	4.05	7.13	-6.85

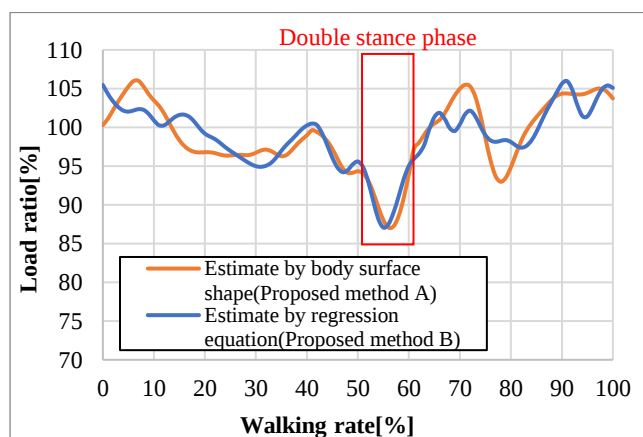


Fig.5 Load ratio presumption results.(Data used to create the regression equation)

次に同じ被験者で、回帰式を作成した歩行データとは別の歩行データに偏回帰係数を用いて導出した負荷比と目的変数の比較を行った。図 6 にその結果を示す。推定結果を比較すると推定値と目的変数では 2 値に最大で約 27%の差が生じた。特に歩行率が 75%以降の差が大きい。しかし、両脚支持期においては多少のずれはあるものの、ともに負荷比が減少傾向にあり歩行動作における負荷比の特徴が見られた。他の被験者では負荷比の減少が見られない場合もあった。

推定精度の向上案としては、複数試行のデータや複数被験者のデータをまとめて一つのデータとし、そのデータから回帰式を作成することが挙げられる。

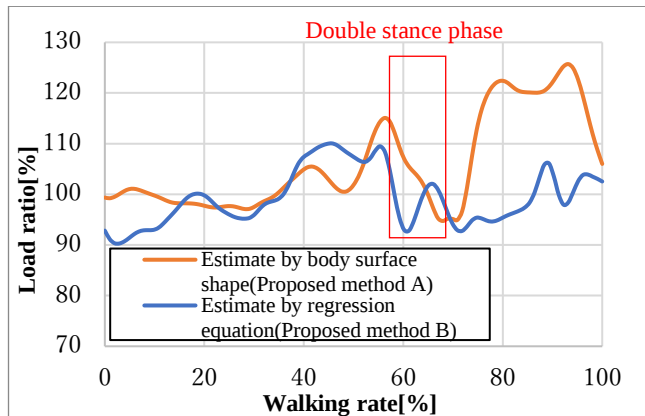


Fig.6 Load ratio presumption results.(Data not used to create the regression equation)

4. 結言

本報では既報⁽⁶⁾⁽⁷⁾を参考にし、脊柱を梁で仮定して L5 周りに加わる曲げモーメントから重回帰分析を用いて歩行時の負荷推定を行った。被験者 1 名 1 試行分の分析結果として、回帰式を作成した歩行データに偏回帰係数を用いて導出した負荷比と目的変数の比較をした際、強い正の相関が得られ、回帰式の精度が高いことが示された。また、回帰式の作成に使用していない歩行データに偏回帰係数を用いて比較をした際、2 値に差はあるが、両脚支持期において負荷が減少する特徴が確認できた。精度の向上が課題ではあるが、既報⁽⁷⁾と同様の結果が得られたことから、重回帰分析を用いる歩行時の負荷推定の見通しが立った。

文献

- (1) 令和元年度国民生活基礎調査の概要，厚生労働省 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa19/dl/04.pdf>.
- (2) 芝田京子 他，“腰椎系における椎間板負荷の非侵襲的な推定法”，日本機械学会論文集(Vol. 78, No. 791 (2012), pp.130-141.
- (3) 鈴木佑 他，動作中における腰椎椎間板負荷の非侵襲的な推定，日本機械学会中国四国学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会，pp.313_1_313_3,2017.
- (4) 仲田亮太 他，“歩行時における腰椎椎間板負荷の非侵襲的な推定” 日本機械学会中国四国学生会第 49 回学生員卒業研究発表講演会，pp.107_1_107_3,2019.
- (5) B.J.G.Andersson., R.Örtengren., A.Nachemson., and G.Elfström., "LUMBAR DISC PRESSURE AND MYOELECTRIC BACK MUSCLE ACTIVITY DURING SITTING", I. Studies on an Experimental Chair, Scand J Rehab Med 6, 1974, pp.104-114.
- (6) Kyoko Shibata, Yasuhito Tsuyoshi, Yoshio Inoue, Hironobu Satoh and Motomichi Sonobe: "Noninvasive estimation of lumbar intervertebral disk load using multiple regression analysis to consider the pelvic tilt", 1st International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2018): Future Trends and Applications, Vol. 876, pp. 933-938, 2018.
- (7) Hiroki Himeda, Kyoko Shibata, and Hironobu Satoh: "Estimation of Load on Lumbar Spine while Walking by Using Multiple Regression Analysis", AHFE 2020:

Advances in Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices Volume 1205, Pages 282-288.

- (8) 阿江道良，湯 海鵬，横井 孝志，“日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定”，バイオメカニズム，11 号，pp.22-33, (1992).