

立ち上がり時における腰椎椎間板と下肢関節への負荷推定

知能メカトロダイナミクス研究室 1170141 細川貴登

1. 緒言

現在日本は超高齢社会であり、他国と比較しても高齢者割合が高くなっている。高齢者の多くが抱える悩みとして、腰痛と関節痛があげられる。特に立ち上がりは日常生活の中で頻繁に行う動作であり、腰痛や関節痛を持つ人にとっては痛みを伴う動作である。

本研究グループではこれまでに、モーションキャプチャを用いて腰部にマーカーを貼り付けて、腰椎部の椎骨の動きを体表面から測定することで、椎骨の隙間、すなわち椎間板の変形を非侵襲で安全に推定する方法を提案している⁽¹⁾。この方法により、立ち上がり動作時の腰椎椎間板負荷を推定し、腰痛の評価が可能と考えている。一方、医療の現場では下肢関節への負荷は関節モーメントを用いて評価しており、これらの導出には一般的に、モーションキャプチャと床反力計を組み合わせ解析ソフトにより推定する方法が多く用いられている。

ここで、腰椎椎間板負荷と関節モーメントを同時に推定することができれば、腰痛と関節痛を同時に評価可能となると考えた。しかしながら、解析ソフトを用いて関節モーメントを推定する際にはマーカーを所定の位置のみに貼らなければならないが、腰椎椎間板負荷を推定するためのマーカーを腰部に貼ることができない。そこで、静的な立ち上がり限定すれば、下肢関節モーメントがモーションキャプチャと床反力計から簡易的に導出できる⁽²⁾と考え、関節モーメントと腰椎椎間板負荷を同時に推定する方法を提案し、2つの間の関連性を検討する。これにより腰痛と膝関節痛の両方を低減させた立ち上がり方の提案へとつながると考える。

2. 下肢関節の負荷推定の概要⁽²⁾

慣性力を考えない静的な立ち上がり限定し、矢状面の2次元動作とする。下半身モデルを図1に示す。大腿部、下腿部、足部と3組の剛体と仮定する。

大腿部、下腿部、足部それぞれの質量中心⁽³⁾にかかる力と床反力の値から力のつりあいにより、膝関節モーメント M_1 と股関節モーメント M_2 を以下のように求める。

$$M_1 = F(L_2 \cos \theta_1 - x_1) - \frac{60}{100} L_2 \cos \theta_1 m_2 g \quad (1)$$

$$M_2 = F(L_3 \cos \theta_2 - L_2 \cos \theta_1 + x_1) - \frac{53}{100} L_3 \cos \theta_2 m_3 g \quad (2)$$

諸元を図1に示す。必要なパラメータは床反力計とモーションキャプチャより得る。図2(a)のようにマーカーを下肢部5ヶ所に貼り付け、マーカーの位置情報を測定する。この位置情報より、マーカー間の距離や角度を求める。また床反力計から圧力中心にかかる力とその座標を求める。各マーカーの位置と圧力中心座標からモーメントアームを導出する。

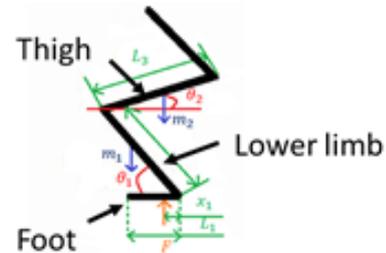
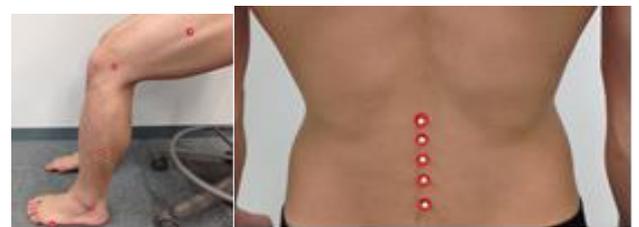


Fig.1 Simple model of lower extremity



(a) Lower limb (b) Lumbar part
Fig.2 Maker position at measurement

3. 腰椎椎間板負荷推定の概要⁽¹⁾

本研究では、椎骨端部が背中側の体表面に近いところに存在すること、また椎骨が椎間板に比べ剛性が高いことに着目し、各椎骨の椎間関節がピンジョイントであると仮定して弾性変形を無視することで、体表面から測定した椎骨端部の位置座標を基に腰椎部を2次関数にカーブフィットして曲率半径を導出する。腰椎部の椎骨端部は、図2(b)に示すように5ヶ所にマーカーを貼り付け、モーションキャプチャにより位置情報を得る。椎間板がつぶれて隙間が狭くなり椎間板への負荷が大きくなったとき曲率半径が大きくなるため、求めた曲率半径と椎間板の厚みすなわち椎骨間の隙間との間に相関関係があるとして椎間板負荷比を推定する。

腰椎部を2次関数で近似して曲率半径を導出する方法について述べる。腰椎系をはりと考えると近似した2次関数をたわみ曲線とみなすことができるので、曲率半径を ρ 、2次関数を $y(x)$ とすると、曲率半径 ρ は式(3)により導出することができる。

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{d^2y}{dx^2} \quad (3)$$

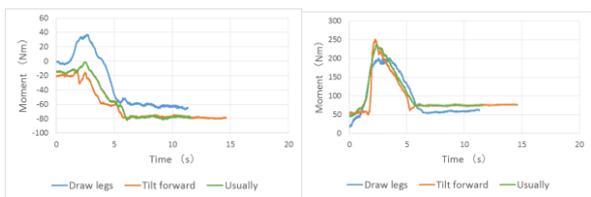
式(3)より右辺は定数となるため、腰椎部における曲率半径が導出可能となり、求めた曲率半径を用いて、姿勢変化による椎骨間の平均的な隙間変化を推定し、椎間板にかかる負荷比を求める。

4. 下肢関節モーメントの比較実験

医療現場で用いられるモーションキャプチャと床反力計を組み合わせて解析ソフトから関節モーメントを用いる方法では、決められた身体 26 ヶ所にマーカーを貼り付けて測定を行う。よって、腰椎椎間板の負荷を推定するためのマーカーを腰椎部に貼り付けることができない。そこで本章では、本研究で提案する計算式(1), (2)から関節モーメントを推定する方法の妥当性を検討するため、解析ソフト(KinTools RT: Motion Analysis Corporation 製)を用いた方法との比較実験を行う。このとき、先行研究⁽⁴⁾で行われている体幹前傾の立ち上がり時と、体幹直立の立ち上がり時との比較を行った。被験者は 20 代男性の健常者 1 名で 1 試行の実験を行った。被験者には実験内容を十分説明し同意を得ている。以下が比較実験での条件である。

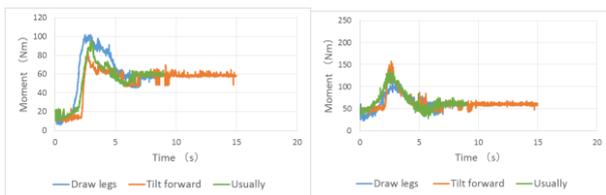
- ①足を引いた状態から立ち上がり
- ②20° 前傾した状態から立ち上がり
- ③普段通りの立ち上がり

計算式 (1), (2) で求めた下肢関節モーメントを図 3 に、解析ソフトから導出した下肢関節モーメントを図 4 に示す。モーメントの値が計測方法により大きく異なっているが、普段通りを基準とし、足を引いた姿勢で膝関節モーメントが増加し、前傾した姿勢で股関節モーメントが増加した。体幹を直立させた姿勢と前傾させた姿勢の実験を行った先行研究⁽⁴⁾でも同じような傾向が見える。これは膝関節を対象とすると、足を引いた姿勢では膝から重心位置までの距離が離れ、モーメントが大きくなる。前傾した姿勢では重心位置が前方に移動し、膝までの距離が短くなり、モーメントが減少した。股関節においても同様のことが言える。下肢関節モーメントの値が計測方法で大きく異なっていたが、関節モーメントから下肢関節の負荷の傾向を推定する見通しが得られた。モーメントの値の違いについては今後の検討課題とする。



(a) Knee joint (b) Hip joint

Fig.3 The joint moments estimated from eqs (1) and (2)



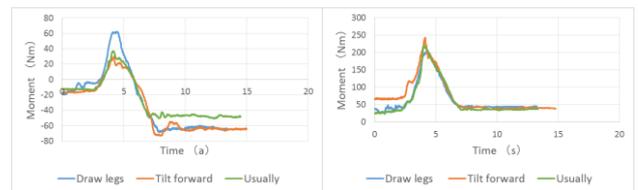
(a) Knee joint (b) Hip joint

Fig.4 Joint moment estimated by analysis software

5. 下肢関節モーメントと椎間板負荷比の同時計測実験

提案する導出法による下肢関節モーメントと腰椎椎間板負荷比の同時計測を行う。被験者は 20 代の健常男性で行った。

実験条件は比較実験と同様に行った。膝関節、股関節モーメントを図 5 に表す。立ち上がり後の立位姿勢の値を 100 とする腰椎椎間板の負荷比を図 6 に示す。下肢関節モーメントとともに、4 章と同様の傾向が得られた。腰椎椎間板負荷で前傾した姿勢で負荷比が減少したのは、椅子から臀部が離床する際、腰椎部を曲げず、骨盤を基点にして前傾したからであると考えられる。腰椎椎間板の負荷においては腰椎部の曲率によって変化し、下肢関節モーメントにおいては、各関節位置と身体の重心位置によって変化すると考える。つまり、2つの負荷を低減させるには足を引いて重心位置を小さくし、前傾する際に腰椎部を曲げずに立ち上がることであると考える。



(a) Knee joint (b) Hip joint

Fig.5 Lower limb joint moment

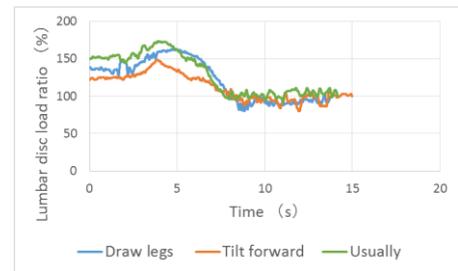


Fig.6 Lumbar disc load ratio

6. 結言

本研究ではモーションキャプチャを用いて下肢関節モーメントと腰椎椎間板の負荷比を同時推定する方法を提案した。2つの負荷を低減させるには足を引いて重心位置を小さくし、前傾する際に腰椎部を曲げずに立ち上がることであると考える。また被験者を増やすことで2つの負荷を低減させた立ち上がり方を提案できると考える。

文献

- (1) 鈴木 佑, 芝田 京子, 園部 元康, 井上 喜雄, 動作中における腰椎椎間板負荷の推定, 第 29 回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会 講演論文集, B1-4, BMFSA2016-067-1.
- (2) 今泉誠一, 芝田京子, 井上喜雄, 吊り機構を用いた訓練機の開発, 中四国学会講演論文集, VoL.48, 2010, pp.179-180
- (3) 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)
- (4) 江原義弘, 山本澄子, ボディダイナミクス入門, 立ち上がり動作の分析, 医歯薬出版株式会社, 2001, pp.52-53