

動作中における腰椎椎間板負荷の非侵襲的な推定

知能メカトロダイナミクス研究室 1170079 鈴木 佑

1. 緒言

近年、高齢者の増加や労働環境・生活環境の変化によるデスクワークや運転機会の増加により、腰痛症を訴える患者が増加している。腰痛症には様々な種類があるが、本研究グループでは椎間板ヘルニアについて着目している。椎間板ヘルニアは、加齢や姿勢の変化によって、椎骨が動くことで、椎骨と椎骨の間でクッション材の役割を果たす椎間板がつぶれ、椎間板が変形し、組織の一部が飛び出して神経を圧迫することによって痛みや痺れが生じる。

椎間板ヘルニアをはじめとした腰痛症が発症する原因としては、猫背などの悪い姿勢を長時間続けることや重量物を持つ、せき・くしゃみをするといった腰に大きな負荷のかかる動作を繰り返し行うことが考えられる。そのため、様々な姿勢のときの椎間板に加わる負荷がどの程度作用しているのかを知ることができれば、腰痛の治療や予防に効果的であり、整形外科の分野に貢献できると考えられる。

これまでに報告されている椎間板負荷を測定する方法として、スウェーデンの整形外科医である Nachemson らが行った方法がある⁽¹⁾。これは圧力センサを椎間板に直接挿入し、椎間板にかかる圧力を計測する方法であり、高い精度で計測することができる。しかし、この方法は外科手術を伴うため、身体を傷つける恐れがあり、安全性に欠ける。また、動作中における姿勢の測定は危険を伴う。そこで本研究では椎骨が椎間板に比べて硬く、剛体と見なせること、棘突起最後部(以下、椎骨端部)が背中中の体表面の近くに存在することから、椎骨の動きを体外から推定することができると考え、椎骨の動きによる椎体間の隙間の変化を推定することで矢状面の2次元の姿勢を対象として、椎間板にかかる負荷を非侵襲的に評価する方法を提案してきた⁽²⁾⁽³⁾。既報⁽²⁾では、Nachemson らが対象とした静止した重りを持たない姿勢において、体表面の腰椎部の形状を円弧と見なして、負荷推定を行い、Nachemson らと定性的に似た傾向が得られた。

本研究では、腰椎部の形状を2次関数と見なして、動作中における姿勢の負荷推定を行う。この方法では、腰椎部の形状を円弧で近似した場合と同様に、姿勢変化による椎体間の平均的な隙間変化を推定する。本提案法で、今回は動作中における姿勢として、くしゃみの動作において負荷推定可能かを検討する。また、臨床の現場で推奨されている腰にかかる負荷を低減させる方法の効果についても検討する。

2. 2次関数近似による椎間板負荷推定の概要

図1に人間の腰椎系を拡大した図を示す。姿勢が変化することで椎骨が動き、前側(腹側)あるいは後ろ側(背側)の椎骨間の隙間が変化する。本研究では、椎骨の動きによって椎間板が変形するため、姿勢変化による腰椎系の変化は椎間板のみの変形で決まると考えている。そのため、姿勢が変化したときの椎骨間の隙間変化がわかれば、椎間板にかかる負荷を相対的に導出できる。

本研究では、椎骨端部が背中中の体表面に近いところに存在することに着目し、各椎骨の椎間関節がピンジョイントであると仮定し、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。この曲率半径が小さいと椎骨

間の隙間が広くなる。よって、椎間板にかかる負荷は小さくなる。それとは逆に、曲率半径が大きくなると隙間が狭くなるため、負荷が大きくなる。曲率半径と椎骨間の隙間変化にはこのような関係があるため、曲率半径を用いて椎間板にかかる負荷を推定することができる。

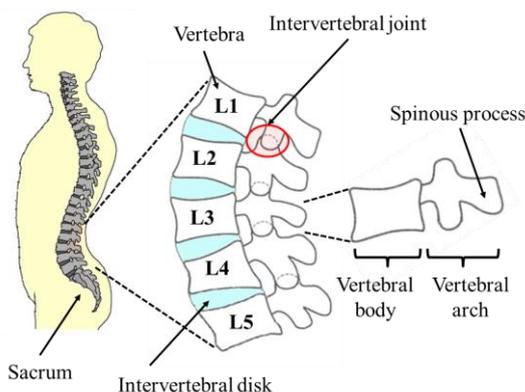


Fig. 1 Lumbar vertebra⁽³⁾

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(1)により導出することができる。

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

式(1)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る。このようにして求めた曲率半径を用いて、腰椎系の全体的な姿勢変化から椎骨間の平均的な隙間変化を推定する。この隙間変化から椎間板にかかる負荷を求めることができる。

体表面の腰椎部の測定方法としてはいろいろ考えられるが、ここでは、図2に示すように背中中の椎骨端部と推定される位置に皮膚の上からマーカーを貼り付け、モーションキャプチャで撮影してマーカーの位置座標を得る。そのうちの腰椎部5個のマーカーの位置座標を2次関数にカーブフィットすることで曲率半径が式(1)より求まる。



Fig. 2 Marker pasting position

3. くしゃみ動作の負荷推定実験

3.1 実験内容と結果

ここでは、くしゃみ動作の負荷推定を行う。また、くしゃみをしたときにかかる腰への負荷を低減させる方法として、壁に手を当てながらくしゃみをしたときの負荷も推定する。測定方法としては、マーカーを図2に示したように頸椎下部2つ、胸椎12個、腰椎5個、仙骨上部1つの計20か所に貼って実験を行う。今回は8秒間測定し、被験者がくしゃみをしたとき、防止姿勢として壁に手を当てながらくしゃみをしたときの負荷を推定した。いずれの場合も立位時において1回ずつ測定し、20代男性の被験者3名で行った。図3にくしゃみをしたとき、図4に壁に手を当てながらくしゃみをしたときの被験者1名分の負荷の推定結果を示す。

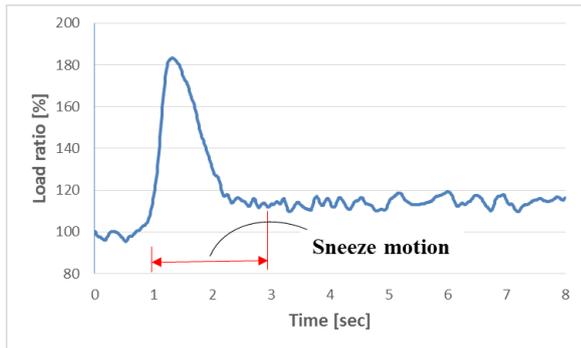


Fig. 3 Load estimation result when sneezing

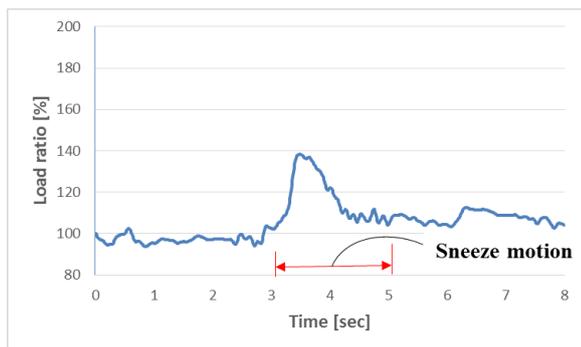


Fig. 4 Load estimation result when sneezing while holding hand against the wall

図3, 図4のどちらも測定開始直後の立位姿勢の負荷を100として正規化し、時間経過ごとの負荷比を表している。図3では約1.5秒後にくしゃみをして、図4では約3.5秒後に壁に手を当てながらくしゃみをした。図3, 図4よりくしゃみをした時間での負荷が最も大きくなっていることがわかる。また、図3と図4を比べると、図4の壁に手を当てながらくしゃみをしたときの負荷の方が小さくなっていることがわかる。他の2名の被験者についても同様に、壁に手を当てながらくしゃみをしたときの負荷の方が小さくなるという結果が得られた。

3.2 実験結果の考察

くしゃみ時に椎間板負荷が大きくなる要因として、姿勢の変化が関係していると考えた。図5に、図3におけるくしゃみをしたときの初期姿勢と最も負荷が大きかった時刻であった

1.32秒時の、背中に貼り付けた20個のマーカーの様子を示す。図で、左が背側、右が腹側である。また、赤色で色を変えた5個のマーカーが腰椎部5個のマーカーである。

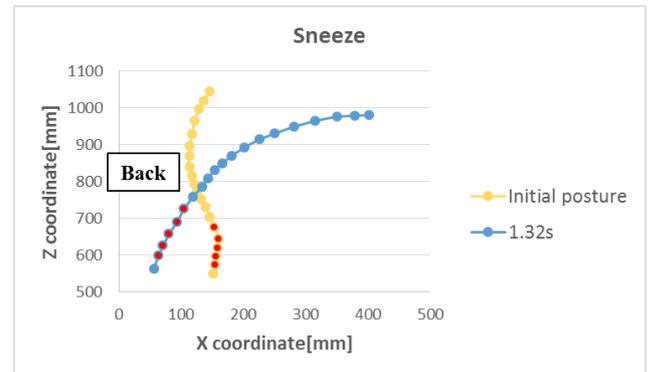


Fig. 5 State of marker during sneezing motion

図5より、最も負荷が大きかった時刻では初期姿勢に比べて姿勢が大きく変化していることがわかる。腰椎部に着目すると、初期姿勢では腰椎部が腹側に凸（前弯）であるのに対して、最も負荷が大きかった時刻では背側に凸（後弯）となっている。図5の初期姿勢のマーカー位置からもわかるように、一般に負荷の小さい立位姿勢では脊椎全体はS字を描いている。そのため、脊椎全体が1つの円弧のようになっていて、体が大きく前傾している最も負荷が大きいた時刻では腰椎部の湾曲が減少し、曲率半径が大きくなるため、負荷が大きくなったと考えられる。

4. 結言

本研究では、姿勢が変化したときの椎骨間の隙間の変化を調べることでその隙間変化から椎間板にかかる負荷を評価することを提案した。隙間変化を推定するために、椎骨端部が体表面に近いところに存在することに着目し、モーションキャプチャを用いて椎骨の動きを測定し、腰椎系をはりと考え、体表面を2次関数で近似することで曲率半径を導出し、椎間板にかかる負荷を推定した。

本報では、動作中の椎間板負荷推定実験を行った。その結果、くしゃみ時に腰椎椎間板負荷が大きくなるという結果を得られたため、本提案法を動作中における姿勢においても適用可能である見通しが得られたと考えている。

文献

- (1) 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.
- (2) 芝田京子, 井上喜雄, 岩田祥孝, 片川準也, 藤井涼, 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C編, Vol. 78, No. 791, 2012, pp. 130-141.
- (3) 木村弘樹, 芝田京子, 井上喜雄, 飯塚卓邦, 非侵襲的な腰椎椎間板負荷推定法の開発, 中四国学会講演論文集, Vol. 54, 2016, pp. 1012-1-1012-3.