

腰痛予防のための非侵襲での腰椎椎間板負荷の推定法

Noninvasive Estimation of Intervertebral Disk Load at Lumbar Vertebrae for Lumbago Prevention

○ 芝田京子 (高知工大) 井上喜雄 藤井涼 小村賢 武智琢磨

Kyoko SHIBATA, Kochi Univ. of Tech.
Yoshio INOUE, Ryo FUJII, Satoshi OMURA and Takuma TAKECHI

Abstract: Lumbago occurs when load causes malformation of the flexible intervertebral disks of the lumbar vertebrae. Therefore, a method to prevent lumbago by measuring intervertebral disk load in motion and correcting posture based on its measuring information is considered. The conventional method of measuring load is an invasive method in which the internal pressure of the intervertebral disk is measured by directly inserting a sensor. In this study, intervertebral disk load is derived indirectly by the noninvasive estimation method that uses three-dimensional motion analysis system and signal processing. So, it allows estimation of intervertebral disk load in a moving subject. In this paper, first experiment in which intervertebral disk load is estimated from stationary postures is executed. Moreover the proposed method is compared with the conventional method. Second experiment is executed in motion. As a result, the estimated change of the load shows the magnitude correlation tendencies of the load.

Key Words: Intervertebral Disk, Lumbar Vertebrae, Load, Noninvasive Method, Signal Processing

1. はじめに

腰痛の代表的な原因である椎間板ヘルニアは、姿勢が変わり脊柱を構成する椎骨間の緩衝材である椎間板に負荷がかかることにより椎間板が変形してしまい神経を圧迫することで発症する。よって、動作中の腰椎部の椎間板に加わる負荷を計測し、この情報を基に姿勢を矯正することで、腰痛を未然に防げると考えた。

現在までに報告されている動作中の椎間板負荷の情報取得に有用な手法は、Nachemson ら⁽¹⁾による椎間板への内圧を直接測定する方法である。この方法であれば高い精度が得られ、姿勢が変化していても測定が可能である。しかし外科手術を要する侵襲型の測定であるため、限られた機関でしか測定することができず、体を傷つける恐れもあり、動作中の測定ではますますリスクが高くなり、広く用いることは困難である。

図1に人体の矢状面での脊柱、腰椎部を示す。脊柱は、24の椎骨(腰椎部は5)と仙骨、尾骨から成り、椎間板は硬い椎骨間の緩衝剤としての役割をもつと言える。よって、腰椎系に接続する部分から加わる力や重力、慣性力などを受けて力が不静定な系としてつりあうように椎骨が動き姿勢が変化した結果、2つの椎体の隙間が狭くなれば椎間板は圧縮され負荷が大きくなる。したがって、椎体間の隙間の変化は、椎間板への負荷の変化と直接関係していると考えられる。

そこで、腰椎系の動きを計測し、隙間を推定することを考える。椎骨は椎間板と比べれば剛性が十分高いので、本研究でとりあげているような問題であれば、ほぼ剛体と見なせること、棘突起(椎骨の背中側端部、図1)が背中表面に近い部分に存在していて、棘突起の位置、およびその動き(位置変化)を背中表面で確認し得ると考えられることから、腰椎系を構成する椎骨の動きを外部から非侵襲的な方法で計測し、その動きから椎体間の隙間を推定し椎間板への負荷を評価する方法を提案する。本手法のような外部から計測可能な情報を用いて内部の状態を推定する方法であれば、計測環境を整えることで連続的な推定も可能となる。したがって、動作中のあらゆる姿勢と負荷との相関や、負荷の時系列変化を可視化することができるため、新しい腰痛の一評価法となり得る。さらに推定をリアルタイ

ムで行うことができれば、推定情報をフィードバックすることで負荷を軽減し腰痛を未然に回避するための姿勢制御へと発展させることも可能である。

本報では研究の第一段階として、まず、Nachemson の実験と同様の静止した姿勢で負荷の推定実験を行ない、提案する手法の妥当性について検討し、さらに動作中での負荷の推定結果について報告する。

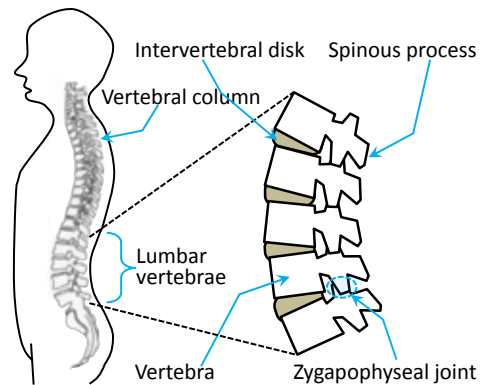


Fig. 1 Lumbar vertebrae

2. 提案する椎間板負荷の推定方法の概要

本研究では、使用方法が比較的簡単な3次元動作解析装置を用いて椎骨の端部の動きを計測し、その結果から内部である椎体間の隙間および椎間板の負荷を推定する方法を提案する。

図2のように被験者の背中の体表面上で腰椎部の椎骨端部に対応する位置にマーカを貼り付け、複数台のカメラによってマーカを撮影し、静止座標系におけるそれぞれのマーカの3次元座標を計算し、5つのマーカで構成される系を円弧と仮定して最小2乗法を用いてカーブフィットし曲率半径を求める。腰椎の円弧は姿勢によって外に凸と凹があり得る。図3は外に凹の場合を示す。上下の椎骨のジョイント部である椎間関節(図1)は、今回対象としている2次元的な前後屈であれば回転運動のみであり、椎間関節への負担が相対的に増加する無理に腰だけで重いものを持ち

上げた場合などに生じる椎間関節の弾性変形は無視できる⁽²⁾⁽³⁾ものとする。また、ジョイント部の位置からマーカの中心までの距離 e 、ジョイント位置から椎間板の中心位置までの距離 d 、ジョイント位置での椎骨の長さ v 、椎間板中心位置での椎骨の幅 w は既知であるとする。すると、算出した曲率半径 r から、椎骨の間の隙間部分(すなわち椎間板)の平均的な円弧の長さ δ (図3の赤い円弧)を求めることができる。曲率半径が小さくなれば隙間が広がり圧縮力が小さくなる、逆に曲率半径が大きくなれば隙間が狭くなり圧縮力が大きくなることを意味する。この隙間変化 $\Delta\delta$ から無負荷状態の負荷を用いて正規化することで無次元の負荷 ρ を表現する(詳細は文献⁽⁴⁾参照)。

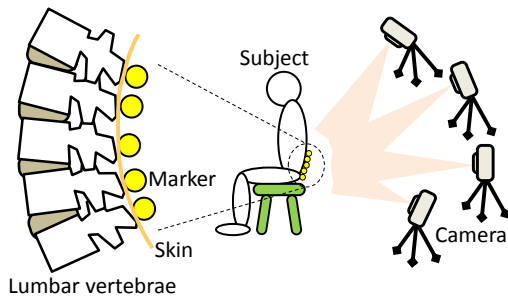


Fig. 2 Overview of measurement

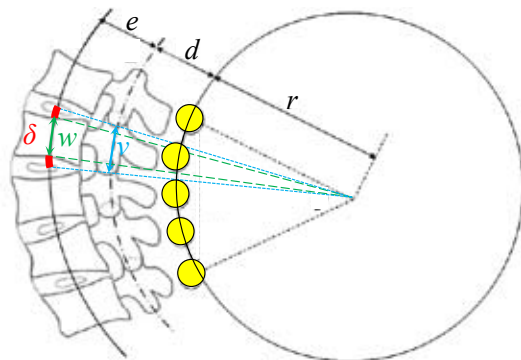


Fig. 3 Calculation method of gap length

3. 実験

3-1 静止姿勢

Nachemson の実験⁽¹⁾で報告された姿勢のなかで、重量物を持たない場合(接合部の弾性変形が影響しないと考えられる)を取り上げ、本手法の妥当性を検討した。実験で用いた3次元動作解析装置は Motion Analysis 社製 MAC3D System で、カメラは Hawk digital Camera (HWK-200RT) を4台使い、ベース付き6mm径のマーカを5つ使用し、1姿勢につき100Hzで1秒間撮影したデータを用いた。測定姿勢は、(a)直立立位 (b)立位で20度前屈 (c)座位 (d)座位で20度前屈の4姿勢である。被験者は、現在腰痛の症状のない健康成人男性3名(A~C, Age:23±1, BMI:21.95±2.73)であり、実験は被験者に研究の目的と実験説明を十分行い、協力の同意を得て実施した。

測定したマーカ位置から求めた各姿勢の曲率半径の平均値と標準偏差を表1に示す。また、推定結果を、Nachemsonの実測内圧を正規化したデータとともに図4に示す。今回は(a)直立立位姿勢を基準として負荷を1.0とし、(b)~(d)の姿勢での負荷を(a)で正規化している。図より、被験者全員において4姿勢の大小関係はNachemsonの実験結果に定性的によく似た傾向が得られていることから、提案法を各姿

勢における椎間板負荷の評価に用いる妥当性がある程度示されたと考えている。

Table 1 Average and S.D. of radius of curvature [mm]

Posture	Subject A		Subject B		Subject C	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
(a)	132.2	4.4	126.0	2.8	134.7	12.5
(b)	325.2	16.6	285.6	6.7	310.2	65.2
(d)	289.3	7.6	218.2	35.6	243.7	31.8
(d)	431.4	17.1	495.7	36.1	455.8	66.7

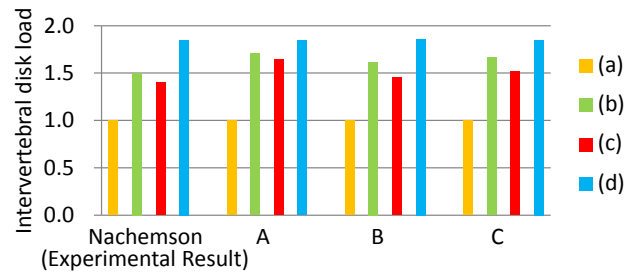


Fig. 4 Result of Estimation (Static postures)

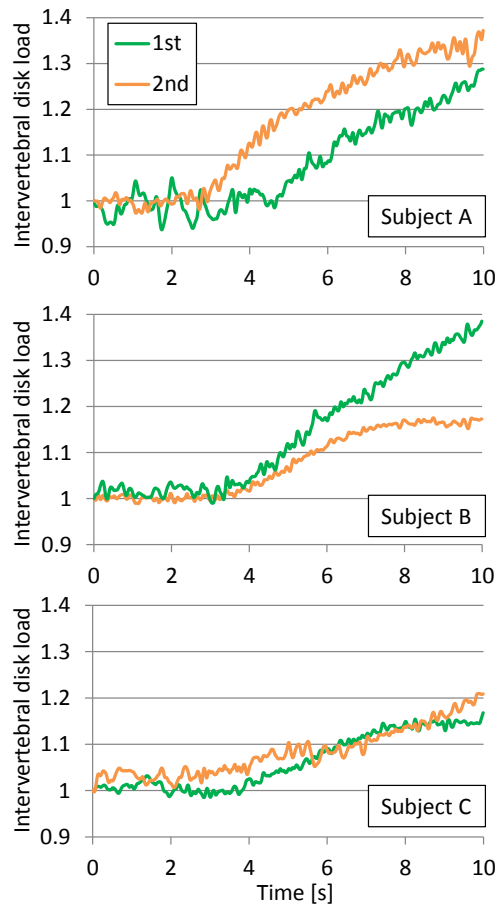


Fig. 5 Result of Estimation (bend forward)

3-2 動作姿勢

動作中の椎間板負荷推定への適用可能性の検討として、まず、(a)直立立位姿勢をとった約3秒後からゆっくりと上半身を前屈したときの負荷推定実験を10秒間行った。ただし、角度計を用いていないため10秒後の前屈角度は実験ごとに異なる。被験者および装置は前節と同じで、各人2回

ずつ、測定開始時の姿勢を基準として動作中の椎間板負荷を推定した。結果を図5に示す。すべてにおいて前屈角度が大きくなるほど負荷が増大した。前節の静止した姿勢での実験結果からも前屈することで椎間板への負荷は大きくなり、また、腰痛の一般的な解説書⁽³⁾からも前屈動作によって椎間板負荷が徐々に大きくなると言われており、その傾向が図5にも表れている。また、被験者AとCに関しては、静止姿勢のときの(a)と(b)の負荷値の差が、おおよそ0秒と10秒後の最大負荷値の差に反映されている。前屈動作は筋系の影響等を考慮せねばならず、また角度変移も同時測定が必要であり、今後の課題とするが、動作中でも推定が行えることが示された。

次に、前屈のようなゆっくりした動きではなく、速い動きでも推定可能か確認するため、試みに、被験者Aの10秒間の負荷推定の間、約4秒後と7秒後に連続して咳をした場合を測定した。推定結果を図6に示す。負荷値の検討が必要であるが、咳のタイミングで負荷の増大が見取れたことから、速い動きに対しても本手法によって少ない制約で推定が可能であると考えられる。

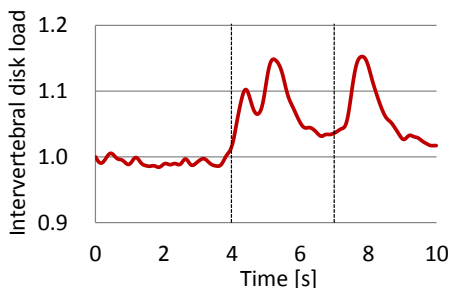


Fig. 6 Result of Estimation (cough) (Subject A)

4. おわりに

腰痛予防システムの開発の第一段階として、腰痛の原因となる椎間板にかかる負荷を非侵襲式で計測、推定するための方法を提案した。具体的には、2次元(矢状面)での姿勢変化における椎骨の動きを外部(体表面)から3次元動作解析装置を用いて計測し、椎間板の変形と等価と見なせる椎体間の隙間変化を求め、信号処理により間接的に椎間板負荷を推定した。椎間板負荷は、正規化した無次元量であり、隙間に関する情報のみで表される。被験者による静止した姿勢での椎間板負荷の推定実験を行い、侵襲式のNachemsonの実測結果と比べ、姿勢間での定性的な大小関係においてよく似た傾向を得ることができた。さらに、動作中の検討として、ゆっくり前屈する場合、咳を連続でした場合について実験を行い、提案手法が適応できる見通しが得られた。今後様々な姿勢や動作へと展開していきたい。

謝辞

全般にわたり医学的ご意見を賜りました高知大学医学部武政龍一先生、土佐リハビリテーションカレッジ竹林秀晃先生に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) B.J.G.Andersson, R.Ortengren, A.Nachemson and G.Elfstrom, Lunber Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity During Sitting I. Studies on an Experimental Chair, Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, No.6, pp.104-114, 1974.
- (2) CYNTHIAC. NORIKIN, PAMELA K LEVANGIE, JOINT

関節の構造と機能, pp.146-150,159, 西日本法規出版, 2000.

- (3) 遠藤健司, 金岡恒治, 最新腰痛症ハンドブック, p. 14, シュプリンガー・ジャパン, 2008.
- (4) 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, pp.2483-2495, 2012.