慣性センサを用いた妊婦の腰椎骨盤周囲痛に関連する体幹部の動作解析

森野 佐芳梨^{*1}, 梅崎 文子^{*2}, 畑中 洋子^{*2}, 青山 朋樹^{*3}, 山下 守^{*2}, 高橋 正樹^{*4}Analysis of the trunk motion for pregnant women with lumbopelvic pain
using inertial measurement unitSaori MORINO^{*1}, Fumiko UMEZAKI^{*2}, Hiroko HATANAKA^{*2},
Tomoki AOYAMA^{*3}, Mamoru YAMASHITA^{*2} and Masaki TAKAHASHI^{*4}^{*1} Graduate School of Science and Technology, Keio University
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan^{*2} Kishokai Medical Corporation
2-4-15 Nishiki, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460-0003, Japan^{*3} Department of Physical Therapy, Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University
53 Kawahara-cho, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto 606-8507, Japan^{*4} Department of System Design Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan

Received: 15 May 2017; Revised: 1 February 2018; Accepted: 12 February 2018

Abstract

Many women undergo lumbopelvic pain (LPP) during pregnancy. The main factors for LPP are the physical stress related with change of posture and muscle relaxing around pelvis. Also it is thought that movement patterns during daily activity are associated with LPP. Therefore, this paper attempts to investigate the characteristic of movement patterns that have affect LPP during pregnancy. For this purpose, an experiment was conducted to measure standing up and sitting down of pregnant women using inertial sensor unit (IMU), which is simple device and is able to measure motions such as vibration or rotation quantitatively. Then movement evaluation parameters were calculated from measured data of lumber angular velocity. As the movement evaluation parameters, Maximum peak, Minimum peak, Peak to peak (PP: Range between Maximum peak and Minimum peak), Time of PP, PP divided by Time of PP, Root mean square of each parameter, and each parameter divided by Body mass index variation (BMIV) were calculated during both of standing up and sitting down for each of roll, pitch, and yaw angles. Finally, we consider whether there is any relevance between LPP and movement characteristics by comparing the movement evaluation parameters of LPP group with these of non-LPP group. As a result, it appears that Maximum peak, PP and PP/Time of PP of pitch angle during standing up have some relevance to LPP. Additionally, particular features of LPP group in roll and yaw angles and during sitting down were founded by accounting for BMIV to the proposed parameters.

Keywords : Gyrosensor, Lumbopelvic pain, Motion analysis, Pregnancy, Standing up

1. 緒 言

妊娠期には、妊娠女性の不定愁訴の代表的なものとして腰椎骨盤周囲の疼痛 (LPP: lumbopelvic pain) が多く発生する (Casagrande et al., 2015). 例えば腰痛に着目すると、妊婦の約 45% に発症すると報告されており、妊婦のマイナーコンプリケーションの中でも高率にみられるものである (Wu et al., 2004). さらに、25% の女性が産後においても継続して痛みを訴えており、LPP は妊娠期に限られた一時的な問題ではなく、出産後も妊婦の Activity of

No.17-00221 [DOI:10.1299/transjsme.17-00221], J-STAGE Advance Publication date : 20 February, 2018

^{*1} 正員, 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)^{*2} 医療法人 葵鐘会 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-4-15)^{*3} 京都大学大学院医学研究科 人間健康科学系専攻 理学療法学講座 (〒606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町 53)^{*4} 正員, 慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科

E-mail of corresponding author: morino-s@keio.jp

Daily Living (ADL), Quality of Life を損なう一因となっており、周産期のみならず社会復帰遅延の原因ともなる (Vermani et al., 2010). この LPP の主な原因として、胎児成長にともなう体重増加とホルモンの作用による骨盤周辺の関節弛緩が挙げられる (Kristiansson et al., 1996, Ostgaard et al., 1993). しかし、これらは妊娠中に不可避の現象であり、直接のアプローチは難しい. また、妊娠期には胎児への影響が危惧され侵襲的な検査や薬剤投与等の積極的な治療が困難であることから、非侵襲的な検査や処置が求められている. したがって、妊娠に伴う LPP の発生に関わる要因を明らかにし、母体への負担を最小限にした疼痛改善対策を行い、ひいては疼痛予防を行うことが重要である.

妊娠中は、先述した関節弛緩や体重心の変化に伴い、歩行中の歩幅や股関節伸展角度の減少や、椅子から立ち上がる際に体幹屈曲が減少する等、動作様式が変化することが分かっている (Gill et al., 2016, Sunaga et al., 2013). また、妊婦の中でも特に LPP 有訴妊婦において、歩行中の腰部や骨盤部の回旋の増大や下肢拳上検査時における体幹筋群の過活動が観察されている (Wu et al., 2008, Groot et al., 2008). 一般の腰痛患者を対象とした研究においても、日常生活動作様式の違いによる身体負荷が腰痛に影響を与えることも分かっており (Schaller and Froboese, 2014), 妊婦においては妊娠期特有の身体変化と相まって、動作中の関節および筋肉等の軟部組織への負荷が増大しやすく、腰痛に代表される LPP が発症することが考えられる. しかし、妊婦において疼痛を誘発する動作に関する調査報告は少ない.

臨床において疼痛改善目的の動作指導を実施するには、動作評価および対象者へのフィードバックが重要である. 現在の臨床現場では、セラピストが目視により動作評価を行うことが多く、評価結果の験者間信頼性や再現性が不明確な現状がある. また、本研究の対象は妊婦であり、母体への負担を軽減するためにも、評価時の動作に与える影響が最小限であるシステムの活用が望ましい. そこで本研究では、近年、動作評価を定量的に実施可能な簡易計測方法として臨床応用が期待されている慣性センサに着目した. 慣性センサを用いた動作計測は、センサ設置時および計測時の手間や空間上の制約が少なく、小型かつ軽量であるために動作制限も少ないという利点をもつ. すなわち妊婦を対象とした場合に有効な動作計測方法であると考えられる. また、慣性センサを用いた従来研究では直進歩行動作を対象としたものが多かったが、近年では立ち座りやターン動作といったさまざまな動作への応用検証が報告されており (Bolink et al., 2012), 臨床での汎用性が高いと考えられる.

本研究では、妊婦を対象とし慣性センサを用いて LPP 誘発動作の動作特性について調査することを目的とする. まず、妊婦を対象とした質問紙調査のデータに対して統計処理を行い、妊娠中に LPP を誘発する動作を検討する. この際、特に妊娠中に不定愁訴が起こればと考えられる、World Confederation for Physical Therapy の定義する Basic ADL (BADL) に着目して解析を行う. 次に、その調査結果をもとに対象者と計測対象動作を選定し、慣性センサを用いて妊婦を対象とした動作解析実験を行う. この際、体重変化が最も大きく、かつ LPP の原因となる関節弛緩があらわれる箇所である、骨盤を内包する腰部および体幹の動作時の動特性に着目する. また、本研究では最終的に臨床応用を目指すため、臨床現場のセラピストや対象者にとって動作指導に反映させやすい角速度による指標の考案を目指す. さらに、慣性センサから得られるデータより妊婦特有の体重変化を反映する指標を考案し、妊婦の LPP 誘発動作を臨床で評価する動作評価指標を提案する. 最後に、妊婦の動作計測実験で得られたデータから算出した提案指標を用いて、LPP 有訴妊婦と LPP 非有訴妊婦の動作評価指標の統計比較を行い、LPP 有訴妊婦の動作特性について考察する.

2. 対象動作の選定

2・1 調査方法

疼痛誘発動作を選定するために、妊婦検診を受診する妊婦 275 名を対象として妊娠 12 週, 24 週, 30 週, 36 週の計 4 回の調査研究を実施した. 被験者の各時期の年齢, 身長, 体重を表 1 に示す. 疼痛の調査に関しては、LPP の代表的な 3 項目である腰痛, 仙腸関節痛, 恥骨痛のそれぞれについて、質問紙を用いて Numeric Rating Scale (NRS) にて痛みの程度を調査した. NRS は痛みを 0 から 10 の 11 段階に分け、痛みが全くない場合を 0, これまでの経験の中で最悪の痛みを 10 として痛みの点数を問う疼痛評価指標である (Williamson and Hoggart, 2005). 疼痛誘発動作に関しては、それぞれの痛みを誘発する動作を自由記述にて調査した. 統計解析には、各疼痛に対する動作の影響度合いを検討するために、各時期においてそれぞれの痛みを訴えた (NRS による回答が 1 以上であった)

Table 1 Demographic characteristics of subjects in research of activity related to LPP

	12 weeks of pregnancy	24 weeks of pregnancy	30 weeks of pregnancy	36 weeks of pregnancy
Age [years]	31.0 ± 4.4			
Height [cm]	158.4 ± 5.6			
Weight [kg]	52.8 ± 8.1	56.9 ± 7.9	59.7 ± 8.1	62.1 ± 7.9
Prevalence of low back pain [%]	59.1	73.5	72.9	73.5
Prevalence of pubic pain [%]	12.6	18.1	32.9	56.1
Prevalence of sacroiliac pain [%]	22.4	41.0	48.5	55.1

Values except for prevalence of each of the pains are shown as mean ± standard deviation.

Table 2 Results of multiple regression analysis

Pain	12 weeks of pregnancy			24 weeks of pregnancy		
	Independent variable	Regression coefficient	95% CI	Independent variable	Regression coefficient	95% CI
Low back pain	Standing up	1.889	0.62-3.16	Lying down	1.995	0.32-3.67
	-	-	-	Toss and turn	1.245	0.20-2.29
	-	-	-	Sitting up	1.178	0.28-2.08
Pubic pain	-	-	-	Standing up	2.052	0.34-3.77
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Sacroiliac joint pain	Walking	0.340	2.63-4.99	Toss and turn	2.548	1.42-3.68
	-	-	-	Standing up	2.350	1.27-3.42
	-	-	-	Walking	1.279	0.12-2.44
Pain	30 weeks of pregnancy			36 weeks of pregnancy		
	Independent variable	Regression coefficient	95% CI	Independent variable	Regression coefficient	95% CI
Low back pain	Lying down	4.886	1.83-7.94	Toss and turn	1.815	0.97-2.66
	Standing up	1.469	0.52-2.42	Standing up	1.314	0.28-2.35
	Toss and turn	1.1	0.11-2.09	-	-	-
Pubic pain	Sitting up	2.864	1.44-4.28	-	-	-
	Standing up	1.298	0.12-2.47	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Sacroiliac joint pain	Crouching	4.901	0.33-9.48	Toss and turn	1.864	0.87-2.85
	Walking	2.581	1.31-3.85	Standing up	1.507	0.52-2.50
	Sitting up	1.613	0.59-2.64	-	-	-
	Standing up	1.048	0.01-2.09	-	-	-

CI: confidence interval

対象者のデータのみを使用した重回帰分析を行った。変数の扱いとしては、各痛みの程度を表す 0～10 を連続変数として従属変数に、疼痛誘発動作の訴えありを 1、訴えなしを 0 とダミー変数化したものを独立変数に投入した。統計学的有意水準は 5% ($p = 0.05$) とし、統計解析には SPSS Statistics 23 (IBM 社製) を使用した。

なお、本研究は京都大学大学院医学研究科・医学部及び医学部附属病院 医の倫理委員会の承認を得て実施し、調査に先立って被験者には研究協力依頼書を用いて研究の趣旨を十分に説明し、研究に参加することに同意を得た。

2・2 統計解析結果

調査時期ごとの LPP 発症率は表 1 に示したとおりである。重回帰分析の結果として回帰係数と信頼区間を表 2 に示す。なお、重回帰分析の結果については、有意差があったものを LPP への影響度合いの大きい順に表記する。統計解析の結果、一般的に LPP に影響すると言われているスポーツや重い荷物の運搬等の高負荷動作ではなく、日常生活動作 (ADL) が妊娠中の LPP に寄与することが分かった。またその中でも、椅子からの立ち上がり、寝返り、起き上がり、歩行といったような日常生活において行われる基本的な動作、すなわち BADL が、疼痛発症に影響していることが分かった。特に、椅子からの立ち上がりに関しては、すべての疼痛において影響していることが示唆されたため、動作解析実験では椅子の立ち上がりに加え、座る動作も合わせて検討することとした。さらに、この調査研究により、妊娠 12 週から LPP は発症しており、椅子からの立ち上がり動作がすでに疼痛誘発に影響していることが示されたため、対象者を妊娠 12 週以降の妊婦とした。

3. 動作解析実験

3・1 被験者

検診目的で産科婦人科クリニックを受診した妊婦 29 名を対象とした。除外基準は妊娠 12 週未満の妊婦、動作計測に影響を与えるような外傷あるいは損傷のある者とした。実験に先立って当該研究実施施設の倫理委員会の承認を得たうえで、被験者には研究の趣旨を十分に説明し、実験に参加することに同意を得た。同意の得られた被験者に対し、年齢、妊娠週数、身長、妊娠発覚前の体重、計測時体重を聴取した。被験者属性を表 3 に示す。また、全被験者のうち、椅子の立ち上がり動作にて LPP が誘発されると回答した人数は 10 名、誘発されないと答えた人数は 19 名であった。

Table 3 Demographic characteristics of subjects in motion analysis research

Subjects	All (N = 29)	LPP during stand up (N = 10)	Non LPP during stand up (N = 19)	p-value
Age (years)	31.4 ± 4.8	32.1 ± 4.7	31.1 ± 4.9	0.603
Weeks of pregnancy (Week)	26.2 ± 9.2	24.7 ± 8.3	27.0 ± 9.7	0.530
Height (cm)	158.2 ± 5.2	158.1 ± 3.2	158.2 ± 6.1	0.938
Mass (kg)	56.9 ± 6.1	58.8 ± 6.5	55.9 ± 5.8	0.232
Mass before pregnancy (kg)	51.6 ± 5.1	52.4 ± 5.7	51.1 ± 4.9	0.551
BMIV (kg/m ²)	51.6 ± 5.1	2.5 ± 1.2	1.9 ± 1.4	0.223

Values are shown as mean ± standard deviation.

LPP: Lumbopelvic pain (Low back pain and pelvic girdle pain)

BMIV: Body mass index variation

[Weight: 22 g]

IMU
(TSND121, ATR-Promotions Co., Ltd., Kyoto, Japan)

Fig. 2 Experimental setting

Fig. 3 Experimental situation

Fig. 4 Coordinate system

3・2 計測方法

妊婦における椅子の立ち座り動作のどのような特徴が LPP 誘発に影響するかを検討するために、装着が容易で軽量であり、比較的動作を制限しない小型の慣性センサを用いて、椅子の立ち座り動作を計測する臨床実験を行った。本実験では図 1 に示す 3 軸の加速度センサとジャイロセンサを組み合わせた慣性センサユニット (IMU: Inertial measurement unit, TSND121, サイズ 37 mm [W]×46 mm [H]×12 mm [D], ATR-Promotions Co., Ltd., Kyoto, Japan) を使用し、図 2 に示すように被験者の第三腰椎棘突起部 (L3) 直上に着衣の上からベルトで固定した。なお、センサ装着は理学療法士が行い、被験者の立位姿勢において左右の腸骨稜を結んだ線であるヤコビー線を参考に L4 棘突起を確認し、その上部にある L3 棘突起直上に慣性センサが位置するようにベルトを用いて固定した。L3 は体幹の重心位置とされる部位であり、このセンサ装着位置における加速度や角速度を取得することで、骨盤や体幹の振動や回転運動を取得することができるため、妊婦における LPP と関連のある体幹の動作特徴を調査するのに適当であると考えられる。なお、装着法によるセンサのズレを検討するため、体表面に両面テープでセンサを

貼付した場合と本装着手法において、高速フーリエ変換を用いた周波数解析により、得られるデータの周波数帯域が同様であることを確認している。また、衣服に貼付するのみでズレ等が生じやすい場合とも比較し、周波数特性の傾向が異なることも確認している。これに加え、計測時および撮影動画にてセンサのズレがないことを確認した。センサのサンプリング周期は5 msとした。動作解析環境としては、図3のように座面までの高さ410 mm、座面の横幅430 mm、座面の奥行410 mmの一般的なパイプ椅子を使用した。椅子の前方での立位状態を計測開始肢位とし、スタートの合図とともに被験者は椅子への着座動作を開始し、着座後、約1秒間の動作停止の後に椅子からの立ち上がり動作を行った。被験者ごとに着座動作、立ち上がり動作をそれぞれ2回ずつ実施した。その間、動作中の体幹の角速度をジャイロセンサによって計測した。さらに、その様子を被験者の背後および側方からビデオカメラで撮影した。この動画は、椅子の立ち座り動作におけるIMUで取得した加速度や角速度の時刻歴応答を解析する際の理解の手助けに加え、動作計測時にセンサのズレがなかったかを計測後に確認する際に用いた。計測実験中は理学療法士の有資格者が被験者のそばに控え、リスク管理を行った。

3・3 計測データの処理方法

被験者に装着したIMUから得られる角速度データを使用し、解析を行った。ここで、本研究における座標の定義を図4に示す。被験者から見た前方方向をx軸とした右手系とし、x軸まわりをロール、y軸まわりをピッチ、z軸まわりをヨーとする。本研究においては、被験者の左右方向の運動評価指標（主に体幹の側屈運動の指標）としてロール角速度、前後方向の動作評価指標（主に体幹の屈曲伸張運動の指標）としてピッチ角速度、体軸回りの動作評価指標（主に体幹の回旋運動の指標）としてヨー角速度データを使用した。

椅子の立ち座り動作に関しては慣性センサによる角速度データを用いた動作評価手法が確立されておらず、一連の動作の中で立ち上がりと着座の動作タイミングの同定も含めて計測データの処理方法を検討する必要がある。動作中のピッチおよびロール角速度の時刻歴応答を図5に示す。慣性センサによって椅子の立ち上がり、直進歩行、ターン動作を解析した先行研究において、3軸の角速度情報の中でピッチ角のデータが最も規則的であり、2つのピークからなる波形を示すことが分かっている(Weiss et al., 2013)。しかし同研究では、ピーク値(図5 Point B, Point C)を検出するのみにとどまっており、これは立ち座り動作中の体幹の傾斜動作が大きい箇所のみを反映することになる。このため、本研究では立ち座り動作の全体、すなわち体幹の前傾が始まってから動作が完了するまでを反映させるため、初めにピッチ角速度の波形をもとに以下の手順で着座動作および立ち上がり動作の同定を行った。通常、椅子への着座動作および立ち上がり動作ともに、ピッチ角のプラスの傾きから開始し、その後マイナスの傾きへと移行する。これより、ピッチ角のプラスのピーク値(図5 Point B)およびマイナス方向のピーク値(図5 Point C)を検出し、その前後における動作停止期への移行点を検出することで各動作の開始(図5 Point A)および終了時点(図5 Point D)を推定した。さらに、この時点点をロールおよびヨー角速度波形にも適用することで、各動作中の評価指標を算出した。

4. 椅子の立ち座り動作評価指標

ジャイロセンサによって計測した椅子の立ち座り動作中の腰部の角速度については、統一的な評価指標は確立されていない。本研究では、図5に示すように、IMUによって取得した被験者の腰部の角速度を用いて各3方向の動作中のピークをプラス方向(Maximum peak)およびマイナス方向(Minimum peak)にて検出した後に、プラス方向のピーク値とマイナス方向のピーク値の差(PP: Peak to peak)を算出した。次に、Maximum peakからMinimum peakまでの時間を検出し(Time of PP)、PPをTime of PPで除した指標(PP/Time of PP)を算出した。さらに、波形データの実効値を表す際に使用される二乗平均平方根(RMS: root mean square)を立ち上がりおよび着座動作中の各方向の角速度データ $a(t)$ ごとに次式より算出した。

$$a_{RMS} = \left(\frac{\int_{t_1}^{t_n} a(t)^2 dt}{t_n - t_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Fig. 5 Time histories and index of pitch and roll angular velocity.

また、妊娠中は体重変動が起こることが特徴であり、動作評価指標における体型の考慮が必要と考えられるため、上記のうち単に時間を示している Time of PP を除いた 5 つの指標 (Maximum peak, Minimum peak, PP, PP/Time of PP, RMS) を妊娠前から動作計測実験時までの Body mass index (BMI) の変化量 (BMI variation : BMIV) で除した値を算出した。なお、妊娠前の体重に関しては、被験者から聴取した妊娠発覚前の体重を使用した。BMI とは体重 (kg) を身長 (m) の二乗値で除した値であり、身長と体重の値から肥満度を判定する指数である (奈良, 内山, 2010)。

各動作評価指標の意味合いを以下に示す。Maximum peak は各軸周りのプラス方向への角速度の最大値であるから、例えばロール角では体幹を右側屈させる最大の速度を示した値と言える。これと反対に、Minimum peak は各軸周りのマイナス方向への角速度の最大値、すなわちロール角では体幹を左側屈させる最大の速度を示した値である。次に、PP は上記の Maximum peak から Minimum peak への移行度合いである。ピッチ角を例にとると、通常、椅子の立ち上がり動作時には体幹をピッチ角のプラス方向へ傾斜させた後にマイナス方向へ傾斜させる特徴がある。これは、体幹を前方向へ傾けることにより体重心を前方に移行させて足部からなる基底面に体重心がある状態で立ち上がり、それと同時に体重心が前方に行きすぎること防ぐために体幹を後方に戻すためである。この際、自身の筋力のみでこの体幹の移行が困難であったとき、体幹の移行度合いを大きくする、つまり反動をつけるような形式で立ち上がる現象を確認できる。これよりピッチ角の PP を確認することで、動作中の反動の大きさが確認できる。また、Time of PP はこの体幹の移行に要する時間を示しており、立ち座り動作中にこのような体幹の移行を素早く行っているか、時間をかけて行っているかの指標となる。これらを用いて算出した値が PP/Time of PP である。これは、上記の移行度合いに加え、それに要した時間も考慮に入れた指標であり、例えばピッチ角にてこの値が大きければ体幹の移行速度の前方から後方への移行度合いが同等であったとしてもそれに要する時間が小さかったことが考えられ、先に言及した反動を起こしているか否かをより反映する指標である。RMS に関しては、波形データの実効値を表す式であることから、この値が大きいことは動作中の角速度の実効値が大きい、つまり体幹の動作が大きいことを示す。RMS の算出には立ち上がり、着座動作の開始から終了までのデータを用いているため、一連の動作全体の体幹の動きを反映している。さらに、上記のうち Time of PP を除く 5 つの指標を BMIV で除した値について、その指標が示すものを述べる。Maximum peak/BMIV に関しては、例えば LPP 有訴妊婦が LPP 非有訴妊婦と比較して、Maximum peak は同程度であるのにこの値が小さかった場合、体幹を各軸のプラス方向に傾ける速さが同じでも妊娠前からの体重増加量が多いことが身体への負荷を増加させ、

それが妊娠中の疼痛に関与している可能性があると考えられる。Minimum peak/BMIV に関しては Maximum peak/BMIV と軸周りの向きが逆になったものである。これらと同様に、PP/BMIV では LPP 有訴妊婦が LPP 非有訴妊婦と比較して PP は同程度であるのにこの値が小さかった場合、動作中の反動の大きさに加えて妊娠前からの体重増加量が多いことが身体ストレスの増加に関与すると考えられる。このように、(PP/Time of PP)/BMIV および RMS/BMIV に関しても、角速度から算出した指標のみでは人によって特徴が見いだせない場合においてこれらの指標で差異があった場合、体型の変化の大小による影響が確認できる。

5. LPP と椅子の立ち座り動作評価指標との関連性の評価

5・1 統計解析による評価方法

椅子の立ち座り計測実験の結果より算出した動作評価指標を用いて LPP と立ち座り動作との関連性を検討するため、椅子の立ち上がり動作による LPP 誘発有無のアンケート調査の結果を用いて統計解析を行い、立ち座り動作特性を評価する。本研究ではどのような動作特性について LPP 有訴妊婦と LPP 非有訴妊婦との間に差異があるかを傾向として把握するため、被験者を椅子からの立ち上がり動作によって LPP が誘発されるか否かによって 2 群に分け、各動作評価指標についてグループごとの値の比較を行った。初めに、Shapiro-Wilk の正規性の検定を用いて各群の各指標に関して正規分布しているか否かを確認した後に、統計学的に正規分布が確認された指標に関しては、比較手法として対応の無い t 検定を用いた。一方、正規分布が確認されなかった指標に関しては、比較手法として Mann-Whitney の U 検定を用いた。統計学的有意水準は 5% ($p = 0.05$) とし、解析には SPSS Statistics 23 (IBM 社製) を使用した。

5・2 統計解析結果

グループごとの各動作評価指標の平均値と標準偏差および有意確率 (p 値) を表 4 に示す。なお、太字は統計学的に有意であった項目を示す。検定の結果、立ち上がり時においては LPP 有訴妊婦において LPP 非有訴妊婦のグループと比較すると、ピッチ角の Maximum peak, PP, PP/Time of PP が有意に大きい値を示した。立ち上がり時における BMIV を考慮した指標に関しては、LPP 有訴妊婦において LPP 非有訴妊婦と比較すると、ロール角およびピッチ角の Maximum peak/BMIV, ピッチ角およびヨー角の PP/BMIV, ピッチ角およびヨー角の RMS/BMIV の 6 指標が有意に小さく、ヨー角の Minimum peak/BMIV は有意に大きかった。一方、着座動作時においては BMIV を考慮した指標のみに有意差が確認され、LPP 有訴妊婦において LPP 非有訴妊婦と比較すると、ロール角およびヨー角の Maximum peak/BMIV, ヨー角の PP/BMIV, ピッチ角の RMS/BMIV の 4 指標が有意に小さく、Minimum peak, Time of PP, RMS および (PP/Time of PP)/BMIV に関しては、どの項目においても有意な結果は得られなかった。

5・3 考察

本研究においては、椅子の立ち座り動作と妊娠期の LPP との関連を調査するために、これまで慣性センサを使用した評価手法が確立されていなかった椅子の立ち座り動作に関して、動作の同定も含め、角速度を用いた動作評価指標を提案した。これにより、妊婦を対象とした椅子の立ち座り計測実験データから算出した動作評価指標を用いて、LPP 有訴妊婦と LPP 非有訴妊婦との間における値の差異を確認した。この結果、立ち上がり動作時の体幹の屈曲伸展運動を示すピッチ角の Maximum peak, PP, PP/Time of PP において、LPP 有訴妊婦の方が LPP 非有訴妊婦よりも有意に大きい値を示した。着座動作およびロール、ヨー角においては有意な差は確認されなかった。次に、妊婦特有の体型変化を考慮した動作評価指標においては立ち上がり、着座動作ともに有意な差が確認され、その項目は 11 指標であり、Minimum peak/BMIV を除くすべての指標において、LPP 有訴妊婦の方が LPP 非有訴妊婦よりも小さい値を示した。

角速度から算出した指標において、3 軸方向の回転を検証した中でピッチ角のみ有意な結果が得られたことから、立ち上がり動作時には体幹の屈曲伸展動作が LPP と関連していることが示唆された。妊娠期には胎児成長に伴う腹部の膨らみにより体重重心の前方移動が起こり、主に前後方向での姿勢や動作の安定性が低下することが分かっており (Lymer and Gilleard, 2005)、ピッチ角の動作戦略の差異が身体ストレスにつながった可能性がある。各指標に着目すると、Maximum peak が LPP 有訴妊婦において大きかったことより、立ち上がり時に前方へ早く

Table 4 Difference of parameters according to the presence of lumbopelvic pain during stand up

	axis	Stand to sit			Sit to stand		
		LPP	Non-LPP	p-value	LPP	Non-LPP	p-value
Maximum peak [deg/s]	x	11.07 ± 4.92	12.24 ± 4.17	.508	8.76 ± 2.38	8.45 ± 2.68	.760
	y	44.54 ± 7.10	44.38 ± 12.00	.969	88.49 ± 13.35	73.98 ± 15.72	.020
	z	12.92 ± 5.18	15.65 ± 5.94	.286	10.15 ± 4.39	10.14 ± 4.24	.999
Maximum peak / BMIV [deg/s/(kg/m ²)]	x	4.45 ± 2.30	14.37 ± 21.72	.035	3.68 ± 1.94	8.94 ± 10.03	.045
	y	18.23 ± 7.76	52.84 ± 71.31	.126	37.64 ± 20.60	80.11 ± 75.96	.043
	z	5.13 ± 2.19	17.09 ± 21.76	.024	4.34 ± 3.11	12.26 ± 15.48	.077
Minimum peak [deg/s]	x	-13.65 ± 6.26	-12.00 ± 4.93	.443	-9.17 ± 3.97	-8.72 ± 4.43	.701
	y	-73.94 ± 8.91	-72.16 ± 14.53	.727	-43.53 ± 12.83	-36.77 ± 10.79	.144
	z	-15.69 ± 6.32	-15.18 ± 5.40	.875	-11.02 ± 4.67	-11.71 ± 4.38	.697
Minimum peak / BMIV [deg/s/(kg/m ²)]	x	-5.53 ± 2.82	-14.00 ± 23.07	.138	-4.03 ± 2.97	-12.59 ± 22.90	.151
	y	-30.93 ± 16.00	-84.20 ± 103.97	.085	-17.13 ± 6.84	-46.63 ± 65.97	.228
	z	-6.57 ± 3.86	-17.45 ± 20.78	.115	-4.79 ± 3.85	-13.90 ± 16.64	.047
PP [deg/s]	x	24.72 ± 10.61	24.24 ± 8.27	.893	17.93 ± 5.39	17.17 ± 5.99	.740
	y	118.49 ± 9.52	116.54 ± 21.21	.786	132.02 ± 15.10	110.75 ± 22.37	.012
	z	28.61 ± 10.66	30.83 ± 9.83	.579	24.57 ± 9.02	23.67 ± 6.84	.765
PP / BMIV [deg/s/(kg/m ²)]	x	9.99 ± 4.80	28.37 ± 44.61	.094	7.71 ± 4.77	21.54 ± 32.63	.138
	y	49.15 ± 22.79	137.04 ± 174.17	.085	54.77 ± 26.17	126.74 ± 139.13	.036
	z	11.70 ± 5.79	34.54 ± 42.16	.046	10.28 ± 6.30	28.67 ± 34.99	.021
Time of PP [s]	x	0.54 ± 0.14	0.60 ± 0.28	.400	0.66 ± 0.28	0.89 ± 0.77	.668
	y	0.85 ± 0.21	1.06 ± 0.65	.138	0.70 ± 0.07	1.04 ± 0.99	.604
	z	0.56 ± 0.15	0.59 ± 0.25	.756	0.60 ± 0.20	0.70 ± 0.55	.839
PP / Time of PP [deg/s ²]	x	63.09 ± 41.58	56.51 ± 38.78	.636	38.00 ± 19.39	32.64 ± 24.46	.228
	y	152.45 ± 34.85	130.20 ± 44.71	.183	192.89 ± 30.99	154.10 ± 70.12	.049
	z	90.87 ± 61.70	80.49 ± 61.22	.484	51.12 ± 27.34	54.79 ± 41.99	.999
(PP/Time of PP) / BMIV [(deg/s ²)/(kg/m ²)]	x	26.34 ± 20.34	74.35 ± 110.70	.429	15.18 ± 8.79	47.89 ± 71.93	.512
	y	64.68 ± 35.24	153.91 ± 193.08	.286	81.32 ± 42.27	165.93 ± 166.61	.353
	z	35.63 ± 25.06	101.39 ± 196.52	.228	22.81 ± 18.93	51.00 ± 47.05	.126
RMS	x	5.00 ± 2.56	4.39 ± 1.49	.946	2.68 ± 1.33	3.17 ± 1.16	.403
	y	28.93 ± 3.94	25.43 ± 5.97	.107	22.48 ± 11.04	22.75 ± 6.56	.943
	z	5.75 ± 2.43	5.90 ± 2.83	.910	3.72 ± 1.97	5.06 ± 3.59	.286
RMS / BMIV	x	1.97 ± 0.98	4.73 ± 5.88	.151	1.08 ± 0.68	4.14 ± 6.77	.104
	y	12.00 ± 5.50	24.91 ± 20.05	.035	8.91 ± 5.56	30.03 ± 38.95	.034
	z	2.34 ± 1.28	6.23 ± 7.02	.077	1.51 ± 1.18	7.92 ± 17.63	.027

Values are shown as mean ± standard deviation.

LPP: Lumbopelvic pain during stand up, Non-LPP: Non-Lumbopelvic pain during stand up.

PP: Range between Maximum peak and Minimum peak, RMS: Root mean square, BMIV: Body mass index variation.

体幹を傾斜させる動作特性により骨盤周囲へ負荷がかかり、これが LPP に関与していると考えられる。妊娠中は体幹部の屈曲動作が制限されるため (Gilleard et al., 2002), 立ち上がりに必要な前方移動のために体幹の前方移動傾斜速度を増加させる戦略を選択する可能性があり、本研究の結果からも妊婦において Maximum peak への着目が重要であることが分かる。PP に関しては、前方から後方への傾斜最大速度の移行度合いを示すことから、傾斜最大速度単体に加え、その移行度合いも LPP に関与する可能性が示された。これと同時に PP/Time of PP でも有意な結果が得られたことから、LPP 有訴妊婦においては傾斜最大速度の移行程度が大きいことに加えそれに要する時間が小さく、短時間に大きな変化が生じるような動作戦略をとっており、これが LPP に関与していると考えられる。具体的には、立ち上がり時のピッチ角速度の PP/Time of PP の両群の平均値を比較すると、LPP 有訴妊婦の値は非有訴妊婦の 1.25 倍となっている。これより、本研究対象者に限って検討すると、両群対象者の椅子の立ち上がりにおける前方から後方への体幹傾斜動作の移行が同程度であった場合、LPP 非有訴妊婦は有訴妊婦と比較して 1.25 倍の時間をかけていることになる。これより、たとえ立ち上がり動作時に、ある程度の傾斜最大速度の変化が必要であったとしても、そこにかかる時間を延長することで LPP 非有訴妊婦と同様の動作戦略に誘導できる可能性が示された。

妊娠期の特徴である BMIV で除した指標に関しては、角速度から算出した動作評価指標のみでは得られなかった差異が確認された。特に、LPP との関連が示された 11 項目のうち 5 項目がヨー角の指標であり、どの指標も角速度から算出した値が同程度であったとしても、LPP 有訴妊婦の方が体重増加が大きい結果であった。本研究では、ヨー角は体幹の回旋動作を反映する指標として扱っている。妊婦の歩行を調査した研究においても、LPP 有訴妊婦と LPP 非有訴妊婦において体幹回旋動作の違いが報告されている (Wu et al., 2008)。これと同様に、椅子の立ち座り動作においても体幹の回旋動作に着目する必要がある。特に体重増加が大きい妊婦においてその重要性が高いことが示された。具体的には、例えば、立ち上がりおよび着座動作のヨー角速度の PP/BMIV にて両群の平均値を比較すると、LPP 非有訴妊婦の値は有訴妊婦のそれぞれ約 2.79 倍および 2.95 倍となっている。つまり、本研究における両群対象者の立ち座り中の体幹回旋の度合いが同程度であった場合、LPP 非有訴妊婦と比較して妊娠中の体重増加量が約 3 倍である集団が LPP 有訴妊婦であったと解釈できる。これより、回旋動作に着目した際、角速度のみの比較に対し、体型の考慮が重要であることが分かる。これらより、臨床応用の際には動作評価と同時に体型という個人因子の聴取も重要であることが分かる。各指標に着目すると、Maximum peak/BMIV, Minimum peak/BMIV, PP/BMIV にて同様の傾向が確認され、体重増加量が大きいことで、体幹の各方向への傾斜最大速度が LPP に関与することが分かった。妊娠中は体型変化により動作の困難さが増加し、ひいては LPP のリスクが増大することが分かっており (Borg-Stein and Dugan, 2007, Gilleard, 2013), 今回の結果はこれを支持するものとする。これらの peak 値を反映する指標においては、BMIV を考慮することで立ち座り双方かつ体幹の回旋および側屈動作においても LPP 有訴妊婦特有の特徴を確認でき、体重増加が大きい妊婦においては体幹の屈曲伸展以外の動作も評価する必要性が示された。一方、RMS/BMIV に関しても LPP への関与が確認され、一連の動作中の体幹の動作範囲に関しても、そのみでは LPP との関連性は低い、体重増加が大きい妊婦に着目すると LPP に関与している可能性があると言える。これに関して、立ち上がりおよび着座動作のピッチ角速度の RMS/BMIV に関して両群の平均値を比較すると、LPP 非有訴妊婦の値は有訴妊婦のそれぞれ約 3.37 倍および 2.08 倍となっている。これより、RMS 値では両動作ともに LPP 有訴妊婦と非有訴妊婦での有意な差異が確認されなかったことも踏まえると、体幹の動作範囲に着目すると、試行動作により妊娠中の体重増加量との関連性の程度が異なる可能性が示唆された。これらより、体型の変化が大きい妊婦に対しては、立ち座りの両動作かつ側屈回旋運動も含めた体幹の傾斜最大速度および動作範囲を小さくすることで、LPP 非有訴妊婦特有の動作を模倣できる可能性が示された。また RMS の指標にて差異が確認されたことから、動作中の peak 値等を観察するのみならず、一連の動作全体の動向を確認することも必要であると考えられる。

本研究においては椅子からの立ち上がりと同様の動作遂行能力が要求される着座動作についても同時に検討したが、BMIV を含めた指標に関してのみ有意な結果が得られた。これについては、群分けにおいて椅子からの立ち上がりによる LPP 誘発の有無を基準にしていたことや、着座動作自体が LPP との関連性が低かったことが考えられる。しかし、その中でも体型の変化が大きいことで LPP 有訴妊婦特有の動作にもなり得る可能性を確認することができた。今後はこのように、不定愁訴の多い動作に加えてそれと類似した動作も検討することで、より有効に LPP 改善を目指すために指導すべき動作の選定基準を作成することも重要と考えられる。これに加え、本研

究では、提案指標により LPP 有訴妊婦と非有訴妊婦との動作特徴を比較することを目的としたが、今後、非妊娠女性や多様な集団を対象として本提案指標の一般値を示すことで、指標の汎用性を高める、もしくは妊娠女性に限定した指標として明言することが重要であると考ええる。

6. 結 言

本研究では、まず質問紙調査の統計処理により妊娠中の LPP 発症には日常生活において遂行される BADL が寄与しており、なかでも椅子からの立ち上がり動作の寄与が大きいことを示した。次に、慣性センサを用いて、体幹部の動特性に着目して椅子の立ち座り動作と妊娠中の LPP との関連性を調査した。妊婦を対象とした動作計測実験から得た角速度を用いて、椅子の立ち座り動作の特徴を示す指標を提案した。また、ピッチ角の角速度波形から立ち座りの動作タイミングを同定し、椅子の立ち座りにおいて動作中の特徴に加えて一連の動作についても観察した。さらに、対象が妊婦であることを踏まえ、体型変化を考慮した指標を提案した。最後に、被験者を椅子の立ち上がり動作で LPP が誘発されるか否かによって 2 群に群分けし、対応のない t 検定および Mann-Whitney の U 検定を用いて各提案指標の値を比較した。検定の結果、提案指標を用いて、立ち上がり時のピッチ角、すなわち体幹の前後傾動作が LPP に関与することを確認した。さらに、BMIV を考慮した指標により、上記に加えて体幹の回旋および側屈動作、さらには着座動作においても LPP 有訴妊婦特有の動作特徴を見出せることを確認した。

本研究は横断研究であり、動作を改善した際の LPP への影響を示すまでには至っていない。また、妊娠中は体型変化に伴い、筋に代表される身体負荷が問題視されているが、筋負荷の検討までは行っていない。今後は、今回の結果を踏まえ動作特性の背景にある筋負荷の調査も含め、動作指導による LPP 改善効果を検証する必要がある。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP15J07748 の助成および競輪の補助 (28-143) を受けたものであることを記し、謝意を表す。

文 献

- Bolink, S.A., van Laarhoven, S.N., Lipperts, M., Heyligers, I.C. and Grimm, B., Inertial sensor motion analysis of gait, sit-stand transfers and step-up transfers: differentiating knee patients from healthy controls, *Physiological Measurement*, Vol. 33, No. 11 (2012), pp. 1947-1958.
- Borg-Stein, J. and Dugan, S.A., Musculoskeletal disorders of pregnancy, delivery and postpartum, *Physical Medicine & Rehabilitation Clinics of North America*, Vol. 18, No. 3 (2007), pp. 459-476.
- Casagrande, D., Gugala, Z., Clark, S.M. and Lindsey, R.W., Low back pain and pelvic girdle pain in pregnancy, *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, Vol. 23, No. 9 (2015), pp.539-549.
- Gilleard, W.L., Trunk motion and gait characteristics of pregnant women when walking: report of a longitudinal study with a control group, *BMC Pregnancy and Childbirth*, Vol. 13, No. 71 (2013), pp.1-8.
- Gilleard, W.L., Crosbie, J. and Smith, R., Effect of pregnancy on trunk range of motion when sitting and standing, *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, Vol. 81, No. 11 (2002), pp.1011-1020.
- Gill, S.V., Ogamba, M. and Lewis, C.L., Effects of additional anterior body mass on gait, *BMC Pregnancy and Childbirth*, Vol. 16, No. 109 (2016), pp.1-8.
- Groot, M., Pool-Goudzwaard, A.L., Spoor, C.W. and Snijders, C.J., The active straight leg raising test (ASLR) in pregnant women: differences in muscle activity and force between patients and healthy subjects, *Manual Therapy*, Vol. 13, No. 1 (2008), pp.68-74.
- Kristiansson, P., Svardsudd, K. and von Schoultz, B., Serum relaxin, symphyseal pain, and back pain during pregnancy, *American journal of obstetrics and gynecology*, Vol. 175, No. 5 (1996), pp.1342-1347.

- Lymberry, J.K. and Gilleard, W., The stance phase of walking during late pregnancy: temporospatial and ground reaction force variables, *Journal of the American Podiatric Medical Association*, Vol. 95, No. 3 (2005), pp.247-253.
- 奈良勲, 内山靖, 図解理学療法検査・測定ガイド 第2版, 文光堂 (2009), p.129.
- Ostgaard, H.C., Andersson, G.B., Schultz, A.B. and Miller, J.A., Influence of some biomechanical factors on low-back pain in pregnancy, *Spine (Phila Pa 1976)*, Vol. 18, No. 1 (1993), pp.61-65.
- Schaller, A. and Froboese, I., Movement coaching: study protocol of a randomized controlled trial evaluating effects on physical activity and participation in low back pain patients, *BMC Musculoskeletal Disorders*, Vol. 15, No. 391 (2014), pp.2-6.
- Sunaga, Y., Anan, M. and Shinkoda, K., Biomechanics of rising from a chair and walking in pregnant women, *Applied Ergonomics*, Vol. 44, No. 5 (2013), pp.792-798.
- Vermani, E., Mittal, R. and Weeks, A., Pelvic girdle pain and low back pain in pregnancy: a review, *Pain Practice*, Vol. 10, No. 1 (2010), pp.60-71.
- Weiss, A., Mirelman, A., Buchman, A.S., Bennett, D.A. and Hausdorff, J.M., Using a body-fixed sensor to identify subclinical gait difficulties in older adults with IADL disability: maximizing the output of the timed up and go, *Plos One*, Vol. 8, No. 7 (2013), pp.1-8.
- Williamson, A. and Hoggart, B., Pain: a review of three commonly used pain rating scales, *Journal of Clinical Nursing*, Vol. 14, No. 7 (2005), pp.798-804.
- Wu, W.H., Meijer, O.G., Bruijn, S.M., Hu, H., van Dieën, J.H., Lamoth, C.J., van Royen, B.J. and Beek, P.J., Gait in pregnancy-related pelvic girdle pain: amplitudes, timing, and coordination of horizontal trunk rotations, *European Spine Journal*, Vol. 17, No. 9 (2008), pp.1160-1169.
- Wu, W.H., Meijer, O.G., Uegaki, K., Mens, J.M., van Dieën, J.H., Wuisman, P.I. and Ostgaard, H.C., Pregnancy-related pelvic girdle pain (PPP), I: terminology, clinical presentation, and prevalence, *European Spine Journal*, Vol. 13, No. 7 (2004), pp.575-589.

References

- Bolink, S.A., van Laarhoven, S.N., Lipperts, M., Heyligers, I.C. and Grimm, B., Inertial sensor motion analysis of gait, sit-stand transfers and step-up transfers: differentiating knee patients from healthy controls, *Physiological Measurement*, Vol. 33, No. 11 (2012), pp. 1947-1958.
- Borg-Stein, J. and Dugan, S.A., Musculoskeletal disorders of pregnancy, delivery and postpartum, *Physical Medicine & Rehabilitation Clinics of North America*, Vol. 18, No. 3 (2007), pp. 459-476.
- Casagrande, D., Gugala, Z., Clark, S.M. and Lindsey, R.W., Low back pain and pelvic girdle pain in pregnancy, *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, Vol. 23, No. 9 (2015), pp.539-549.
- Gilleard, W.L., Trunk motion and gait characteristics of pregnant women when walking: report of a longitudinal study with a control group, *BMC Pregnancy and Childbirth*, Vol. 13, No. 71 (2013), pp.1-8.
- Gilleard, W.L., Crosbie, J. and Smith, R., Effect of pregnancy on trunk range of motion when sitting and standing, *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, Vol. 81, No. 11 (2002), pp.1011-1020.
- Gill, S.V., Ogamba, M. and Lewis, C.L., Effects of additional anterior body mass on gait, *BMC Pregnancy and Childbirth*, Vol. 16, No. 109 (2016), pp.1-8.
- Groot, M., Pool-Goudzwaard, A.L., Spoor, C.W. and Snijders, C.J., The active straight leg raising test (ASLR) in pregnant women: differences in muscle activity and force between patients and healthy subjects, *Manual Therapy*, Vol. 13, No. 1 (2008), pp.68-74.
- Kristiansson, P., Svardsudd, K. and von Schoultz, B., Serum relaxin, symphyseal pain, and back pain during pregnancy, *American journal of obstetrics and gynecology*, Vol. 175, No. 5 (1996), pp.1342-1347.
- Lymberry, J.K. and Gilleard, W., The stance phase of walking during late pregnancy: temporospatial and ground reaction force variables, *Journal of the American Podiatric Medical Association*, Vol. 95, No. 3 (2005), pp.247-253.

- Nara, I. and Uchiyama, Y., Inspection/measurement guide of physical therapy with illustrations, 2nd edit. Bunkodo (2009), p.129 (in Japanese).
- Ostgaard, H.C., Andersson, G.B., Schultz, A.B. and Miller, J.A., Influence of some biomechanical factors on low-back pain in pregnancy, *Spine (Phila Pa 1976)*, Vol. 18, No. 1 (1993), pp.61-65.
- Schaller, A. and Froboese, I., Movement coaching: study protocol of a randomized controlled trial evaluating effects on physical activity and participation in low back pain patients, *BMC Musculoskeletal Disorders*, Vol. 15, No. 391 (2014), pp.2-6.
- Sunaga, Y., Anan, M. and Shinkoda, K., Biomechanics of rising from a chair and walking in pregnant women, *Applied Ergonomics*, Vol. 44, No. 5 (2013), pp.792-798.
- Vermani, E., Mittal, R. and Weeks, A., Pelvic girdle pain and low back pain in pregnancy: a review, *Pain Practice*, Vol. 10, No. 1 (2010), pp.60-71.
- Weiss, A., Mirelman, A., Buchman, A.S., Bennett, D.A. and Hausdorff, J.M., Using a body-fixed sensor to identify subclinical gait difficulties in older adults with IADL disability: maximizing the output of the timed up and go, *Plos One*, Vol. 8, No. 7 (2013), pp.1-8.
- Williamson, A. and Hoggart, B., Pain: a review of three commonly used pain rating scales, *Journal of Clinical Nursing*, Vol. 14, No. 7 (2005), pp.798-804.
- Wu, W.H., Meijer, O.G., Bruijn, S.M., Hu, H., van Dieën, J.H., Lamothe, C.J., van Royen, B.J. and Beek, P.J., Gait in pregnancy-related pelvic girdle pain: amplitudes, timing, and coordination of horizontal trunk rotations, *European Spine Journal*, Vol. 17, No. 9 (2008), pp.1160-1169.
- Wu, W.H., Meijer, O.G., Uegaki, K., Mens, J.M., van Dieën, J.H., Wuisman, P.I. and Ostgaard, H.C., Pregnancy-related pelvic girdle pain (PPP), I: terminology, clinical presentation, and prevalence, *European Spine Journal*, Vol. 13, No. 7 (2004), pp.575-589.