

3軸ジャイロセンサを用いた上体傾斜角と捻転角の測定

Measurement of Angles of Trunk Inclination and Rotation by use of 3D Gyro Sensor

蛭田 秀一 ^{*,**}	島岡 みどり ^{*,**}	粕谷 陽佑 ^{**}
小野 雄一郎 ^{***}	今枝 敏彦 ^{***}	飯田 忠行 ^{***}
Shuichi HIRUTA ^{*,**}	Midori SHIMAOKA ^{*,**}	Yosuke KASUYA ^{**}
Yuichiro ONO ^{***}	Toshihiko IMAEDA ^{***}	Tadayuki IIDA ^{***}

To evaluate the flexibility of the low back, the maximum angles of trunk inclination and rotation were measured with three-axis gyro sensors (MDP-A3U9S, NEC-TOKIN) being able to detect the Eulerian angles; yaw, pitch and roll. Subjects were 232 female workers (20–59 yr) engaging in social welfare facilities. Each of two sensors was attached to the lumbar spine (L1) and the pelvis (S1) of the subject. The subject were asked to be in uprightly standing position at the start, and then to change the trunk position to the limit in the following order: (1) forward bending, (2) backward bending, (3) left lateral bending, (4) right lateral bending, (5) counterclockwise rotation (twist), and (6) clockwise rotation. The Eulerian angles were recorded into a personal computer every 100msec throughout the position changes. Before the position change test above, the current pain in the low back was investigated by a questionnaire. Except for the trunk rotation, every maximum movable angle of the lumbar spine on the basis of the pelvis significantly decreased with aging, on average, regardless of the low back pain. The age groups divided every 10 years with the low back pain, on the whole, had smaller averages of the maximum movable angle, as compared with the same age groups without pain. There were significant differences in the averages of the maximum movable angle between having the pain and no pain for the forward bending in 40s and the rotation in 20s. It was suggested that the relationship between the trunk flexibility and the low back pain could be different by age and direction of position change.

1. はじめに

従来から、腰背部の機能や各種作業中の姿勢負担を評価するために、上体傾斜角の測定が実施されてきた^{1,4)}。特にフィールド調査や多人数を対象とした調査では、比較的簡便に測定できる、重力検知方式の傾斜計が多用されてきたが、測定原理の限界から傾斜方向角や捻転角を測定することは困難であった。一方、それらの角度を含む3次元角度測定法には、光学式、磁気式、機械式などのモーションキャプチャによる方法³⁾があるが、いずれも比較的大掛かりで高価なシステム

であるため、多人数調査やフィールド調査には適さなかった。そこで、今回、3次元回転角度を継時的に測定可能な比較的安価（1個数万円程度）で小型軽量の3軸ジャイロセンサを利用して、200～300人規模の被検者に対し、腰背部についての各方向の柔軟性測定を試み、さらに測定結果と腰痛との関連性を検討した。

2. 方法

1) 角度検出用センサ：NEC トーキン社製の3軸ジャイロセンサ（MDP-A3U9S；大きさ L20 × W20 ×

* 名古屋大学総合保健体育科学センター
** 名古屋大学大学院教育発達科学研究科
*** 藤田保健衛生大学医学部
* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University
** Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University
*** School of Medicine, Fujita Health University

H15mm、重量 6g) を用い、基準立位姿勢からの姿勢変化について、継時的なオイラー角 (ヨー角 $[\alpha]$ 測定範囲 ± 180 度、ピッチ角 $[\beta]$ 同 ± 90 度、ロール角 $[\gamma]$ 同 ± 180 度) を測定した。

2) センサ装着部位：腰椎部 (L1) と骨盤部 (S1) に各 1 個のセンサをベルトで固定した。

3) 被検者：特殊健康診断に参加した保育所またはその他の福祉関連施設に勤務する 20~59 歳の女性職員計 232 人を対象に測定を実施した。対象者には、測定当日における腰痛の有無について質問紙に回答させた。すなわち、0 を痛みなし、10 を想像し得る最悪の痛みとする 0 から 10 の 11 段階のスケールで腰痛を評価させた。「0」と回答した者を腰痛なし群、「1」~「10」の回答者を腰痛あり群とした。

4) 最大可動角度変位の測定：最初に図 1 のように定義した座標系において基準立位姿勢 (基本的立位肢位²⁾ から両足を 10cm 平行に開いた姿勢) をとらせ、次に上体の前屈・後屈、左右側屈、左右回旋 (捻転) をそれぞれ可動域限界まで実施させた。可動域限界では 2 秒程度静止させ、次の動作に移っている最中にも途中の基準立位姿勢で約 1~2 秒間静止させた。測定中、センサがサンプリング間隔 0.1 秒で検出したオイラー角データをコンピュータ (PC) へ継時的に転送し記録した。測定終了後、得られたオイラー角を、図 2 の変換行列内の各式に代入することで、姿勢変化に伴う角度変位を求めるために必要な座標変換を行った。

なお、最初の基準立位においてセンサの各オイラー角 (α, β, γ) が正確に 0 度から測定を開始できれば、検出されたオイラー角そのものを各動作についての角度変位として採用できる (回旋時のヨー角、側屈時のロール角、90 度未満の前後屈時のピッチ角) が、実際には各オイラー角を正確に 0 度にして身体に装着することは困難である。したがって、本研究の場合も、姿勢変位中に得られるオイラー角は、基準立位姿勢からの角度変位を直接示しているわけではない。そこで、セ

ンサ装着の際の角度ずれについては無視した上で、その代わりに基準立位時のセンサ装着部位における x 軸、y 軸、z 軸に関する各単位ベクトル ($\mathbf{u}_x=[1,0,0]$ 、 $\mathbf{u}_y=[0,1,0]$ 、 $\mathbf{u}_z=[0,0,1]$) を設定し、姿勢変化に伴う各単位ベクトルの角度変位を算出することによって、目的とする角度変位を求めた。すなわち、まず基準立位時のオイラー角 ($\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$) から変換行列 (M_0) を確定する (①)。この変換行列は、オイラー角がすべて 0 度である装着前のセンサ位置 (装着前センサ基準位置) からの座標変換を示している。したがって、その逆行列 (M_0^{-1}) を求めれば、基準立位時の各単位ベクトル ($\mathbf{u}_x, \mathbf{u}_y, \mathbf{u}_z$) について、装着前センサ基準位置でのそれぞれ対応するベクトル ($\mathbf{u}_{0x}, \mathbf{u}_{0y}, \mathbf{u}_{0z}$) の座標を算出できる (②)。姿勢変化中に得られるオイラー角は全て装着前センサ基準位置からの角度変位を示しているの、これを代入した変換行列 (M_1) によって ($\mathbf{u}_{0x}, \mathbf{u}_{0y}, \mathbf{u}_{0z}$) を変換すれば、結果として基準立位時の各単位ベクトル ($\mathbf{u}_x, \mathbf{u}_y, \mathbf{u}_z$) の姿勢変位後のそれぞれ対応するベクトル ($\mathbf{u}'_x, \mathbf{u}'_y, \mathbf{u}'_z$) の座標を求めることができる (③)。

上記の手順によって得られた姿勢変位前後のベクトルの 3 次元座標を用いて、前後屈および側屈時の傾斜角と捻転時の回旋角を求めた。すなわち、傾斜角は基準立位時の単位ベクトル $\mathbf{u}_z = [0, 0, 1]$ と姿勢変位後の $\mathbf{u}'_z = [h', i', j']$ とのなす角を、回旋角は基準立位時の

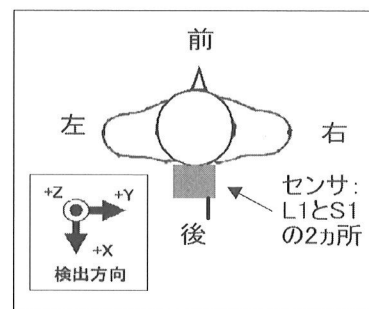


図 1. 基準立位姿勢と座標軸 (上から見た図)

$$\begin{pmatrix} \cos(\alpha) \cos(\beta) & \cos(\alpha) \sin(\beta) \sin(\gamma) & \cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ & -\sin(\alpha) \cos(\gamma) & +\sin(\alpha) \sin(\gamma) \\ \sin(\alpha) \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cos(\gamma) & \sin(\alpha) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ & +\sin(\alpha) \sin(\beta) \sin(\gamma) & -\cos(\alpha) \sin(\gamma) \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta) \sin(\gamma) & \cos(\beta) \cos(\gamma) \end{pmatrix}$$

図 2. オイラー角 (ヨー角 $[\alpha]$ 、ピッチ角 $[\beta]$ 、ロール角 $[\gamma]$) を用いた変換行列

単位ベクトル $u_x = [1, 0, 0]$ と姿勢変位後の $u'_x = [a', b', c']$ の水平面投影ベクトル $[a', b', 0]$ とのなす角を、ベクトルの内積公式を利用することでそれぞれ算出した。前後屈および側屈時の傾斜角と捻転時の回旋角は、2ヶ所のセンサ（腰椎部と骨盤部）それぞれについて求め、その後、各姿勢変位動作において腰椎部の角度変位が最大になった時点の腰椎部角度変位と骨盤部角度変位の差を分析対象変量とした（対骨盤最大可動角度）。
 5) 統計処理：各動作における最大可動角度（対骨盤最大可動角度）について、10歳毎の年齢区分別、腰痛の有無別の平均値を求め、さらに年齢区分を因子とした一元配置分散分析と、各年齢区分における腰痛の有

無間での t 検定をそれぞれ行った。統計的有意水準は 5%とした。

3. 結果と考察

図4は、測定中にセンサから得られたオイラー角の一例である。測定時間は一人につき1分以内で、センサの着脱やPC上の設定時間を含めても3分以内で済ませることができた。

図5～8は、各動作における腰椎部（L1）の対骨盤最大可動角度について、年齢区分別、腰痛の有無別の平均値を示している。年齢区分を因子とした一元配置

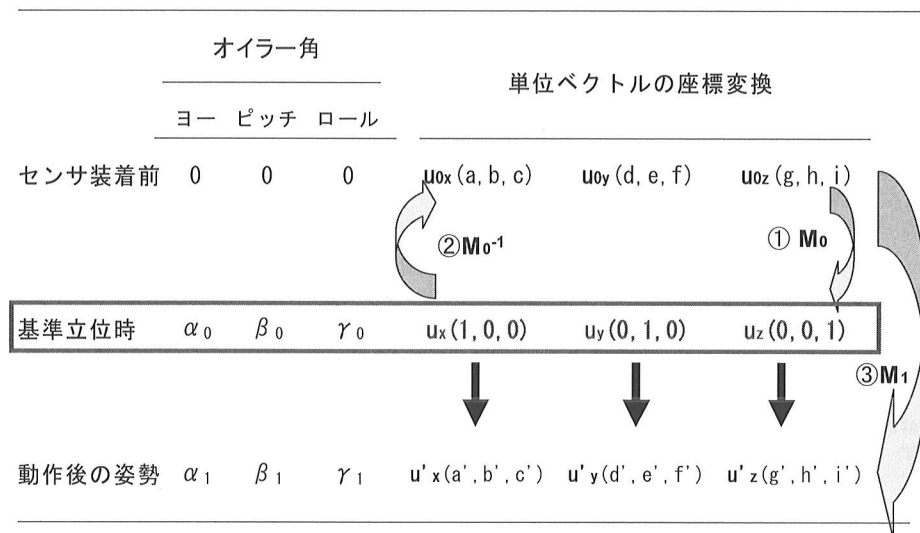


図3. オイラー角を用いた変換行列による基準立位姿勢時の単位ベクトルの変換

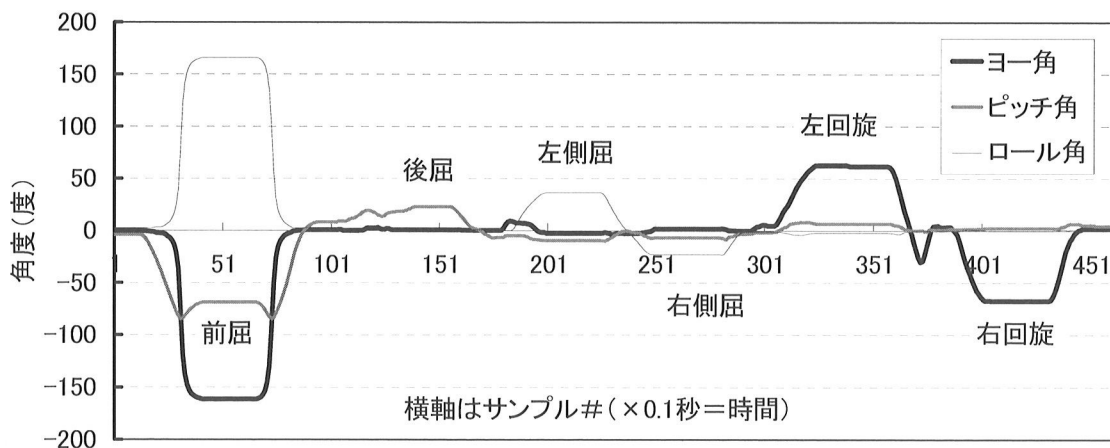


図4. 測定中に検出された各オイラー角（例）

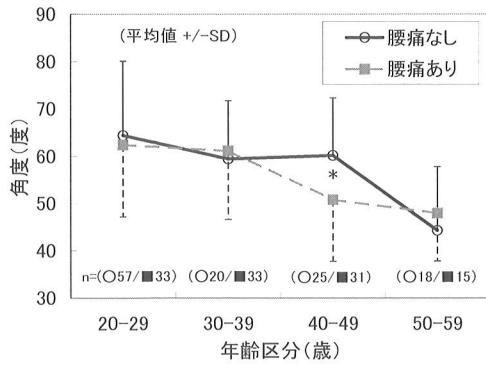


図5. 上体前屈における腰椎(L1)部の対骨盤最大可動角度 (* $P < 0.05$)

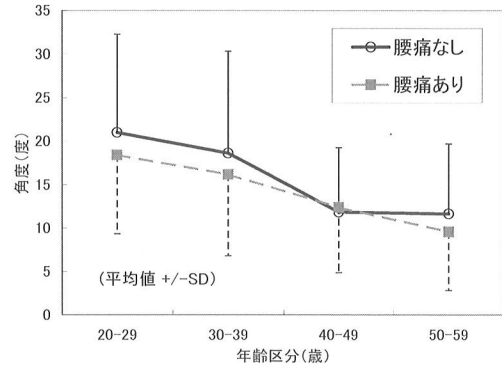


図6. 上体後屈における腰椎(L1)部の対骨盤最大可動角度

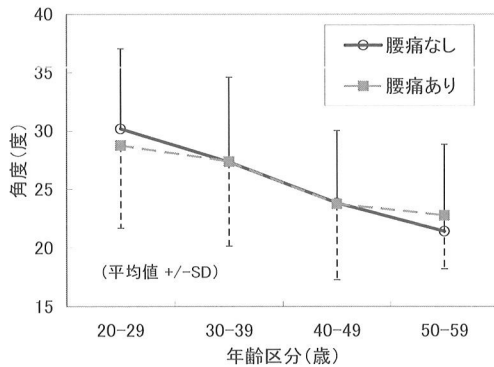


図7. 上体側屈における腰椎(L1)部の対骨盤最大可動角度(左右平均)

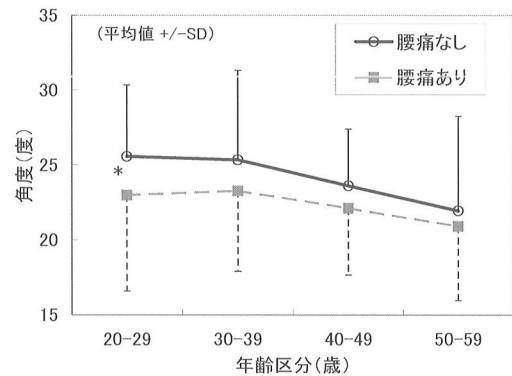


図8. 上体回旋(捻転)における腰椎(L1)部の対骨盤最大可動角度(左右平均) (* $P < 0.05$)

分散分析の結果、回旋(左右平均)における腰痛あり群を除き、加齢にしたがって有意な角度低下傾向がみられた。各年齢区分における腰痛の有無間での平均値の比較では、全体的には腰痛なし群の可動域の方が大きい傾向がみられ、特に40歳代の前屈と20歳代の回旋で有意差が示された。しかし、逆の結果やほとんど差がない結果も一部にみられた。

今後、腰痛の種類や程度と本研究で測定した腰部の各種柔軟性との関係がより明らかになれば、これら測定が腰痛の悪化過程や回復過程の客観的指標となり得ると考えられる。また、今回の測定システムを労働現場での調査に用いれば、作業中の3次元姿勢変化を連続的に記録することによって、より精密な作業姿勢負担についての評価が可能になると考えられる。

本研究は、平成16~19年度日本学術振興会科学研究

(2007年1月5日受付)

費補助金交付を受けている研究課題(16402035)の一部である。

参考文献

- 1) Jansen JP, Burdorf A, Steyerberg E: A novel approach for evaluating level, frequency and duration of lumbar posture simultaneously during work. *Scand J Work Environ Health* 27(6): 373-80, 2001
- 2) 中村隆一と齋藤宏: 基礎運動学(第5版): 医歯薬出版、東京、2000.
- 3) 日経CG(編): 最新CGソフト購入ガイド2000年版: 日経BP出版センター、1999.
- 4) Seo A, Kakehashi M, Tsuru S, Amran A, Paeng J, Yoshinaga F: Development of a system for analyzing working postures. *Ind Health* 31(2): 69-77, 1993