体幹回旋に伴う胸郭の前後および左右への 並進の運動特性

Anteroposterior and Lateral Displacements of the Thorax Associated with Trunk Rotation

江戸 優裕¹⁾ 柿崎 藤泰¹⁾ 山本 澄子²⁾ 角本 貴彦³⁾ 石田 行知¹⁾

MASAHIRO EDO, RPT, PhD¹⁾, FUJIYASU KAKIZAKI, RPT, PhD¹⁾, SUMIKO YAMAMOTO, Eng, PhD²⁾,
TAKAHIKO KAKUMOTO, RPT³⁾, YUKISATO ISHIDA, PhD¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science Technology, Bunkyo Gakuin University: 1196 Kamekubo, Fujimino,
Saitama 356-8533, Japan TEL +81-49-261-6488 E-mail: medo@bgu.ac.jp

²⁾ Department of Assistive Technological Science, Majoring of Health and Medical Sciences, Graduate School of International
University of Health and Welfare

³⁾ Department of Rehabilitation, IMS Group Itabashi Chuo Medical Center

Rigakuryoho Kagaku 33(1): 173-176, 2018. Submitted Aug. 21, 2017. Accepted Oct. 9, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] This study aimed to clarify the kinematic characteristics of thorax displacement associated with trunk rotation. [Subjects and Methods] The subjects were 13 healthy young adults. The subjects performed left and right trunk rotation to the endpoint 4 times. The rotation angle of the thorax relative to the pelvis and the displacement of the thorax center relative to the pelvis center were measured using a 3D motion analysis system. [Results] During trunk rotation, the thorax mostly moved in the anterior and lateral directions relative to the pelvis. Specifically, the lateral movements were in the opposite direction to the rotation. [Conclusion] The results of this study suggest that the thorax moves forward and to the opposite side of trunk rotation in a complementary manner.

Key words: trunk rotation, thorax translation, 3D motion analysis

要旨:〔目的〕体幹の回旋運動に伴って副次的に生じる胸郭の前後・左右への並進の運動特性を明らかにすることとした。〔対象と方法〕対象は健康若年者13名とした。光学式三次元動作解析システムを用いて立位での身体の回旋動作を計測し、骨盤に対する胸郭の回旋角度と前後・左右への偏位距離を分析した。〔結果〕体幹の回旋には前方および回旋と反対側への胸郭の並進が伴っていた。また、回旋に伴う前方並進が大きければ対側並進が小さく、前方並進が小さければ対側並進が大きかった。〔結語〕体幹の回旋に伴う胸郭の前方並進と回旋と反対側への並進は補完的な関係にあることが示唆された。

キーワード: 体幹回旋, 胸郭並進, 三次元動作解析

¹⁾ 文京学院大学 保健医療技術学部 理学療法学科: 埼玉県ふじみ野市亀久保1196 (〒356-8533) TEL 049-261-6488

²⁾ 国際医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科 保健医療学専攻 福祉支援工学分野

³⁾ IMS (イムス) グループ 板橋中央総合病院 リハビリテーション科

I. はじめに

体幹は身体質量の50%程度を占め、大きな慣性質量および慣性モーメントを有する^{1,2)}ことから、その運動が動作に与える影響は大きい。体幹運動のなかでも歩行時に生じる回旋の重要性は古くから訴えられており、Gracovetsky³⁾は歩行中に骨盤と胸部は逆回旋し、これにより角運動量を打ち消し合うことで身体の平衡が保たれると述べている。さらに、Saundersら⁴⁾は骨盤の回旋は両脚支持期の重心の下降を減少させ、歩行の効率化に寄与すると述べている。近年では、歩行時の体幹回旋の非対称性⁵⁾や歩行速度⁶⁾による影響に関する報告、変形性膝関節症患者を対象とした報告⁷⁾などがある。また、体幹の回旋は日常生活において頻回に繰り返される場合は慢性腰痛のリスクファクターになる⁸⁻¹⁰⁾とされており、腰痛患者における研究も行われている^{11,12)}。このように、体幹の回旋は歩行や腰痛に関与することから、詳細に評価されるべき運動と考えられる。

臨床的には体幹の回旋動作に屈伸や側屈が伴うことで、あたかも骨盤に対して胸郭が前後左右に並進してくるような動きが観察される場合が多い。しかし、体幹の回旋に関する研究の多くは三次元的に生じる体幹運動から回旋角度を抽出して分析したものが多く、回旋に伴う副次的な運動を含めて分析した研究は少ない。物理学的にも運動は回転と並進で表わされるため、体幹運動においても回旋のみでなく、並進を加えて分析することによって、より本質的な動態を把握できるものとする。そして、それにより前述した歩行や腰痛との関係をより詳細に捉えることができる可能性がある。

そこで、本研究の目的は体幹の回旋運動を骨盤に対する胸郭の回旋角度とそれに伴って生じる前後および左右への並進運動との関係から捉えることで、体幹回旋の動態を明らかにすることとした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は健康若年者13名(男性9名、女性4名)で、年齢 26.2 ± 4.1 歳、身長 169.8 ± 8.4 cm、体重 59.5 ± 7.5 kg、BMI 20.7 ± 2.4 kg/m²(平均 $\pm$ 標準偏差)とした。除外基準は、手術の既往、神経学的疾患、過去6ヵ月以内における整形外科的疾患および疼痛があったものとした。対象者には研究の内容を十分に説明し、書面で同意を得た。本研究は対象者の自由意思を尊重するよう十分配慮して行った。

2. 方法

計測の課題動作は立位での能動的な身体回旋動作とした(図1)。開始肢位は両足部を骨盤幅かつ足部の内側

図1 計測課題動作

縁が平行な位置におき、剣状突起前で両上肢を組んだ肢位とした。回旋動作は2秒で最大可動域まで回旋し、2秒で開始肢位に戻るものとし、左右交互に4回ずつ行った。なお、対象者には骨盤および胸郭を鉛直位に可及的に保持し、回旋動作中に足位の変化や膝関節の屈曲を生じさせないように指示した。

計測はMXカメラ8台で構成される三次元動作解析システム(VICON-NEXUS, Vicon motion systems 社製)を使用し、サンプリング周波数は100 Hzとした。なお、計測システムのマーカー認識誤差は全てのカメラにおいて0.3 mm未満であった。マーカーの貼付位置は両側の上前腸骨棘、上後腸骨棘、烏口突起、および第1胸椎棘突起の計7点とした。計測により得られたマーカー位置データは、ソフトウェア(Nexus1.7.1, Vicon motion systems 社製)を用いて処理した。欠損値に対してマーカー位置の補完を行った後に、2次のButterworthローパスフィルタ(遮断周波数6 Hz)を適用した。そのうえで、プログラミング言語Body Builder Languageによって骨盤と胸郭に局所座標系を定義し、骨盤に対する胸郭の相対的な回旋角度と、前後・左右への偏位量を算出した。偏位距離については骨盤の局所座標系における胸郭中心(両烏口突起の midpoint と第1胸椎棘突起を結ぶ線の midpoint)の位置として算出した。

計測動作中の体幹回旋角度と前後方向への偏位量との一次回帰係数を前方並進率(前方並進距離/回旋角度)、左右方向への偏位量との一次回帰係数を側方並進率(回旋と同側への並進距離/回旋角度)として求め、体幹回旋に伴う前後および左右への胸郭の並進のしやすさの指標とした。

統計分析は、胸郭の前方並進率と側方並進率の関係をPearsonの積率相関係数を用いて分析した。また、動作開始姿勢における回旋角度および偏位量と体幹回旋動作における並進率との関係をPearsonの積率相関係数を用

い、右回旋と左回旋時の並進率の差を対応のある t 検定を用いて分析した。なお、全てのパラメータは Shapiro-Wilk 検定により正規性を確認した。全ての検定は有意水準を 5% とし、統計解析ソフトウェア (IBM SPSS Statistics 21, IBM 社製) を使用した。

III. 結 果

Shapiro-Wilk 検定の結果、全てのパラメータに正規性が確認された。

体幹回旋動作における胸郭の前方並進率と側方並進率について代表例の結果を図 2a・b に示す。全対象者における前方並進率の平均は 0.40 ± 0.30 mm/deg、側方並進率の平均は -0.62 ± 0.44 mm/deg であった (表 1)。

また、各対象者における前方並進率と側方並進率の間に、有意な正の相関が認められた ($r=0.50$, $p<0.01$)。動作開始姿勢における回旋角度および前後・左右への偏位量と体幹回旋動作における前方および側方並進率との関係においては、いずれも有意な相関を認めなかった。右回旋と左回旋時における前方および側方並進率の差においても有意差は認められなかった。

IV. 考 察

本研究の結果から、体幹の回旋は純粋な軸回旋運動ではなく、骨盤に対する胸郭の前方並進と回旋と反対側への並進を伴う運動特性があることがわかった。平均的には例えば 10° の体幹右回旋に対して、胸郭は約 4 mm の

前方並進と約 6 mm の左方並進が伴う動態を呈することが示された。さらに、胸郭の前方並進率と側方並進率に正の相関が認められたことから、体幹の回旋に伴う胸郭の前方並進が大きい場合は回旋と反対側への並進が小さく、前方並進が小さい場合は回旋と反対側への並進が大きいことがわかった。しかし、静止立位における体幹アライメントと回旋に伴う前後・左右への胸郭の並進との間に明確な関係は認められなかった。

体幹の回旋は、椎間関節面の向きにより腰椎に比べて胸椎が担う可動性が圧倒的に大きく、全体の 80% 程度が胸椎レベルで生じる¹³⁾。胸椎は胸骨・肋骨とともに胸郭を構成し、体幹運動にはこれらの連動が必要である。これらのことから、本研究において前方並進率と側方並進率に相関が認められた理由は、胸郭の運動によるものと解釈できる。体幹の回旋において生じる胸郭の運動は、回旋と同側肋骨の後方回旋と反対側肋骨の前方回旋であり¹⁴⁾、肋骨の後方回旋には肋間の拡大、肋骨の前方回旋には肋間の縮小を伴う¹⁴⁾。一方、胸郭の並進に関しては、前方並進には胸椎の伸展が伴うため、肋骨は後方回旋し、後方並進には胸椎の屈曲が伴うため、肋骨は前方回旋する¹⁴⁾。また、胸郭の右方並進には脊柱の S 字状の側屈、すなわち腰椎の右側屈と胸椎の左側屈が伴うため¹⁵⁾、右肋間拡大と左肋間縮小が生じる¹⁴⁾。こうした肋骨の運動方向と肋間組織の伸張性に応じて胸郭の前方並進と側方並進は密接に関与し、体幹回旋時に補完的な関係を認めたと考えられる。

和田ら¹⁶⁾は本研究とほぼ同一の身体回旋動作における重心移動を調べた結果、回旋により身体重心は後方か

図2 体幹の回旋に伴う胸郭の並進距離の定量化 (代表例)

表 1 対象者情報と身体回旋動作時の胸郭の前方および側方並進率

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	前方並進率 (mm/deg)	側方並進率 (mm/deg)
mean $\pm$ SD	26.2 $\pm$ 4.1	169.8 $\pm$ 8.4	59.5 $\pm$ 7.5	0.40 $\pm$ 0.30	-0.62 $\pm$ 0.44

つ回旋と同側に移動したと報告している。本研究において、回旋時に骨盤に対して胸郭が前方かつ回旋と反対側に並進したことで、上半身重心が概ね胸郭内にある¹⁷⁾ことを踏まえると、立位での回旋時に身体重心と上半身重心が水平面上でほぼ真反対の方向へと移動していることとなる。すなわち、上半身重心と下半身重心がさらに大きなズレを生じていることを意味している。こうした上半身と下半身の相反する位置変化は下肢関節へのメカニカルストレスを増大させ、その反復によりスポーツ障害や変性疾患の発症にも関与する可能性があるため¹⁷⁾、動作評価上重要と考える。この点に関しては、下肢関節モーメントも加えたさらなる分析が必要と考える。また、歩行のように空間上で頭部が回旋しない条件での体幹回旋時には、左右に加えて上位と下位の肋骨で運動方向が切り替わる可能性がある¹⁸⁾。このような特性の異なる体幹回旋時における胸郭動態についても今後検討が必要と考える。

本研究により、体幹の回旋動作には前方および回旋と反対側への胸郭の並進が伴うことがわかった。また、前方並進が大きければ対側並進が小さく、前方並進が小さければ対側並進が大きいといった補完的な関係が認められた。

引用文献

- 1) 阿江通良, 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, 1992, 11: 23-33.
- 2) 岡田英孝, 阿江通良, 藤井範久・他: 日本人高齢者の身体部分慣性特性. バイオメカニズム, 1996, 13: 125-139.
- 3) Gracovetsky S: An hypothesis for the role of the spine in human locomotion: a challenge to current thinking. J Biomed Eng, 1985, 7: 205-216.
- 4) Saunders JB, Inman VT, Eberhart HD: The major determinants in normal and pathological gait. J Bone Joint Surg Am, 1953, 35-A: 543-558.
- 5) 岡田裕太, 山本澄子, 関 健志: 歩行における骨盤回旋の左右非対称: 胸部回旋・股関節屈伸・歩幅・立位姿勢との関係. 理学療法科学, 2013, 28: 119-124.
- 6) 西森 隆, 伊藤 章: 歩行と走行の移動速度変化における骨盤と体幹回旋運動の相互相関分析. 理学療法科学, 2006, 33: 318-323.
- 7) 田中浩介, 宮下浩二, 浦辺幸夫・他: 変形性膝関節症患者の歩行における体幹傾斜運動と骨盤回旋運動の関係. 理学療法科学, 2008, 23: 163-167.
- 8) Xu Y, Bach E, Orhede E: Work environment and low back pain: the influence of occupational activities. Occup Environ Med, 1997, 54: 741-745.
- 9) Rohrer MH, Santos-Eggimann B, Paccaud F, et al.: Epidemiologic study of low back pain in 1398 Swiss conscripts between 1985 and 1992. Eur Spine J, 1994, 3: 2-7.
- 10) Plouvier S, Chastang JF, Cyr D, et al.: Occupational biomechanical exposure predicts low back pain in older age among men in the Gazel Cohort. Int Arch Occup Environ Health, 2015, 88: 501-510.
- 11) 谷口匡史, 建内宏重, 成田奈津子・他: 非特異的慢性腰痛患者の体幹回旋運動における筋活動量と筋活動開始時間. 理学療法科学, 2015, 42: 384-391.
- 12) Sung PS: A kinematic analysis for shoulder and pelvis coordination during axial trunk rotation in subjects with and without recurrent low back pain. Gait Posture, 2014, 40: 493-498.
- 13) White AA 3rd, Panjabi MM: The basic kinematics of the human spine. A review of past and current knowledge. Spine, 1978, 3: 12-20.
- 14) Lee DG: Biomechanics of the thorax—research evidence and clinical expertise. J Manual Manip Ther, 2015, 23: 128-138.
- 15) 山口光國, 福井 勉, 入谷 誠: 結果の出せる整形外科理学療法: 運動連鎖から全身をみる. メジカルビュー, 東京, 2009, pp136-139.
- 16) 和田 治, 建内宏重, 市橋則明: 骨盤の矢状面アライメントが骨盤・体幹の可動性および身体重心移動量に与える影響. 理学療法科学, 2009, 36: 356-362.
- 17) 山崎 勉, 大野範夫, 小笹佳史・他: 整形外科理学療法の理論技術. メジカルビュー, 東京, 1997, pp172-189.
- 18) 柿崎藤泰: 胸郭運動システムの再建法: 呼吸運動再構築理論に基づく評価と治療. 三輪書店, 東京, 2016, pp18-19.