リュックサック使用が歩行動作の運動学・ 運動力学的変化に及ぼす影響

——若年者と高齢者を対象として——

*Effects of Backpack Use on the Kinematics and Kinetics of Gait Motion:
Young and Elderly Subjects*

直井 俊祐¹⁾ 勝平 純司²⁾ 丸山 仁司³⁾

SHUNSUKE NAOI¹⁾, JUNJI KATSUHIRA²⁾, HITOSHI MARUYAMA³⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation Center, Tokyo Medical University Hospital: 6-7-1 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0023, Japan. TEL+81 3-3342-6111 E-mail: kurukuru_shun@hotmail.co.jp

²⁾ Department of Physical Therapy, School of Nursing and Rehabilitation Sciences at Odawara, International University of Health and Welfare

³⁾ Department of Physical Therapy, School of Health Science, International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 29(6): 923-926, 2014. Submitted Jun. 4, 2014. Accepted Jul. 18, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to examine the kinetic and kinematic effects on gait motion of wearing a backpack. [Subjects] Sixteen healthy young and 8 healthy elderly subjects participated in this study. [Methods] We measured the gait motion using a three-dimensional motion analysis system and force plates, and compared kinetic and kinematic changes among three different conditions: walking without a backpack, with a backpack of 5% of body weight (BW), and with a backpack of 15 % of BW. [Results] Pelvic forward tilt angle significantly increased with increase of weight of the backpack in both subject groups. Lumbar flexion moment and extension moment significantly increased and decreased in the young subjects, and tended to increase and decrease in the elderly subjects. [Conclusion] Increase of the weight of the backpack decreased low back load and this was observed in both subjects groups.

Key words: backpack, gait motion, motion analysis

要旨:〔目的〕リュックサックの有無および重量の違いが歩行動作に及ぼす影響を運動学・運動力学的に明らかにすることとした。〔対象〕健康若年群 16 名と健康高齢群 8 名とした。〔方法〕三次元動作解析装置と床反力計を用いて歩行動作の計測を行い、リュックサック重量の増減に対する運動学・運動力学的変化を群間ごとに比較した。〔結果〕リュックサックの重量増加に伴い、両群で骨盤前傾角度が有意に増加した。腰部屈曲・伸展モーメントは若年群で有意に増減し、高齢群で有意でないものの同様の傾向を示した。〔結語〕若年者と高齢者ともにリュックサックの重量増加により腰背部の負担が軽減された。

キーワード: リュックサック, 歩行動作, 動作分析

¹⁾ 東京医科大学病院 リハビリテーションセンター: 東京都新宿区西新宿 6-7-1 (〒160-0023) TEL 03-3342-6111

²⁾ 国際医療福祉大学 小田原保健医療学部 理学療法学科

³⁾ 国際医療福祉大学 保健医療学部 理学療法学科

I. はじめに

日常生活動作の遂行において歩行は最も重要な手段であり、社会活動やスポーツ活動の前提条件となる。近年では、中高齢者の間で体力の維持・増進を目的としてウォーキングやハイキングなどの歩行運動を実践する人が増加している¹⁾。

日常生活で荷物を運搬する際に使用される、手提げ、ショルダーなどの鞆のうち、リュックサック（以下リュック）は健常若年者を対象に負荷部位の違いによる影響として最も歩行エネルギー消費量が低く²⁻⁴⁾、低負荷であれば脊柱後弯者に対する姿勢矯正と腰痛軽減効果をもつものであることが報告されている⁵⁻⁷⁾。したがって、リュックが荷物運搬に適しているといえるが、関節保護の観点からは、重量の違いによる脊柱や下肢関節への影響を考慮することが重要である。老化による姿勢変化の特徴として円背や腰椎の後弯が挙げられ⁸⁾、高齢者における骨盤後傾などの身体アライメント変化は、姿勢調節能力に悪影響を及ぼし歩行やバランス能力の低下に関与することが示唆されている^{9,10)}。そのため、加齢により負荷を補う関節の役割が変化することが考えられる。

リュック使用に関するバイオメカニクスの領域では、健常若年者を対象に脊柱角度を指標としリュック容量の違いによる歩行姿勢¹⁰⁾、歩行時の骨盤角度^{11,12)}、下肢関節モーメント^{13,14)}に着目した研究が多くなされている。リュック使用により姿勢とともに腰部負担の変化が考えられるが、実質的な腰部負担を示すことができる腰部屈伸モーメントについての報告はなされていない。これまで筋活動の分析に行われてきた筋電位計測では定量的な解析が困難である。定量的に推定する方法の一つである腰部屈伸モーメントを指標とすることで、関節モーメントを手がかりとしてリュック使用に伴う歩行動作への影響と生体への負担について定量的な分析が可能であると考えられる。

そこで、本研究では健常若年者と高齢者それぞれを対象とし、歩行動作におけるリュックの有無および重量の違いが腰部に与える運動学および運動力学的な影響を検討することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、腰痛などの整形疾患を有していない健常若年者16名（男性8名、女性8名）と健常高齢男性8名とした。若年者（以下、若年群）の年齢、身長、体重の平均±標準偏差はそれぞれ、 26.0 ± 3.1 歳、 167.4 ± 8.1 cm、 61.3 ± 11.4 kgであった。高齢者（以下、高齢群）の年齢、身長、体重はそれぞれ、 67.3 ± 6.6 歳、 162.9 ± 8.3 cm、

63.5 ± 8.0 kgであった。すべての対象者には予め本研究の目的・内容・リスクを十分に説明し、書面による同意を得た後に計測を行った。なお、本研究は、国際医療福祉大学倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号11-137）。

2. 方法

関節座標位置の計測には、三次元動作解析装置 VICON MX（Motion Systems 社製）、サンプリング周波数 100 Hz の赤外線カメラ 10 台、床反力計（AMTI 社製）2 枚を用いた。勝平らの先行研究¹⁵⁾を参考に、直径 14 mm の赤外線反射マーカーを合計 39 個貼付した。貼付位置は頭頂、胸骨癒切痕、胸骨柄直下、第 7 頸椎棘突起、第 5 腰椎棘突起と、左右両側の外耳孔上方、肩峰、上腕骨外側上顆、尺骨茎状突起、上前腸骨棘、上後腸骨棘、腸骨稜、股関節部（大転子中央と上前腸骨棘を結ぶ線上で大転子から 1/3 の点）、大腿中央（股関節部と膝関節部内側の中点）、膝関節部内側・外側（膝関節裂隙の高さで膝蓋骨を除く前後径の中点）、下腿中央（膝関節部内側と足関節内果の中点）、足関節内果・外果、第一中足趾節関節、第五中足趾節関節、踵骨とした。

計測条件は、リュックなし、被験者体重の 5% 負荷、15% 負荷に相当するリュックを背負させた 3 条件とした。課題動作は、10 m の直線路における至適速度での歩行とした。この動作を右脚から床反力計に乗るように 3 回練習し、その際に床反力計上を通過するよう指示した。測定は、無作為な順で設定される 3 条件それぞれで 3 回ずつ行った。リュック（ACE 社製ビジネス用 40 cm × 33 cm）は胸部下で体幹と密着させるような固定紐などがないものを使用し、重量の調整には重錘を使用した。重錘は、リュック内の底中央に平らに敷き重ねるように配置した。リュックの固定位置は、第 7 頸椎棘突起と第 5 腰椎棘突起の赤外線反射マーカー間とし、被験者の体格に合わせ紐の長さを調整した。

データ解析は、三次元動作解析装置計測用ソフトウェア VICON Nexsus1.71（Vicon 社製）によって得られるデータに対し、Vicon Body Builder（Vicon 社製）と三次元動作解析ソフトウェア Visual3D ver.4（C-Motion 社製）を用いて作成した解析用プログラムにより行った。ただし、リュックを背負う際に妨げとなる第 5 腰椎棘突起のマーカーは、静止立位時のデータをもとに仮想マーカーとして補い、その位置を再計算した。腰部関節モーメントの算出方法については、勝平らにより報告されている方法に従った¹⁵⁾。腰椎の圧縮力と腰部モーメントの大きさとの関連が報告されていることから¹⁶⁾、本研究の操作的定義として、腰部モーメントを腰部負担として選択した。解析対象とする指標は、下肢の一步行周期を 100% として時間正規化し、左立脚期の骨盤前傾・体幹屈伸角度、腰部屈伸モーメントの最大値を抽出し、そ

表1 若年群と高齢群における異なる荷重負荷での関節角度

	若年群				高齢群			
	なし	5%負荷	15%負荷		なし	5%負荷	15%負荷	
骨盤前傾（°）	0.5 ± 4.2	2.6 ± 4.5	4.9 ± 5.0	a,b,c	-0.8 ± 3.9	0.2 ± 5.3	3.9 ± 4.6	b
体幹屈曲（°）	3.0 ± 4.9	5.8 ± 6.0	6.8 ± 5.9		-1.3 ± 5.3	1.5 ± 5.8	2.6 ± 5.7	
体幹伸展（°）	1.2 ± 4.1	1.2 ± 4.3	2.5 ± 4.0		-2.1 ± 3.8	-1.8 ± 4.7	-0.6 ± 4.0	

静止立位骨盤角度：若年群 13.3 ± 5.4°, 高齢群 14.1 ± 3.0°.

静止立位体幹角度：若年群 5.2 ± 3.1°, 高齢群 4.9 ± 2.3°.

平均値 ± 標準偏差, 以下のアルファベットは各条件間での有意差 (p<0.05) を示す.

a: リュックなしと 5%負荷間, b: リュックなしと 15%負荷間, c: 5%負荷と 15%負荷間.

表2 若年群と高齢群における異なる荷重負荷での関節モーメント

	若年群				高齢群		
	なし	5%負荷	15%負荷		なし	5%負荷	15%負荷
腰部屈曲 (Nm/kg)	1.03 ± 0.48	1.08 ± 0.48	1.29 ± 0.59	b,c	1.49 ± 1.18	1.77 ± 1.29	2.09 ± 1.15
腰部伸展 (Nm/kg)	0.62 ± 0.68	0.57 ± 0.62	0.50 ± 0.71	b	2.27 ± 1.30	1.61 ± 0.59	1.48 ± 0.80

平均値 ± 標準偏差, 以下のアルファベットは各条件間での有意差 (p<0.05) を示す.

a: リュックなしと 5%負荷間, b: リュックなしと 15%負荷間, c: 5%負荷と 15%負荷間.

れぞれについて3回分の平均値とした. なお, 体幹・骨盤角度は静止立位時の値を基に, 関節モーメントは個体間の差をなくすために各被験者の体重を基に正規化した数値とした.

統計学的処理において, 3条件における解析指標に対して, 若年群では一元配置分散分析反復測定法を用い, その後多重比較検定 (Bonferroni 法), 高齢群では, Friedman 検定を用い, その後多重比較検定 (Steel-Dwass 法) によって群間ごとに比較した. 統計解析ソフトウェアには Free JSTAT 13.0 for Windows (南江堂) を用い, すべての検定における危険率は 5%未満を有意とした.

III. 結果

関節角度をみると, 若年群では, 骨盤前傾角度が全条件間で有意に増加した. 体幹屈曲・伸展角度はリュックなしと比べ 15%負荷時に有意に増加した. 高齢群では, 骨盤前傾角度がリュックなしと比べ 15%負荷時に有意に増加した. 体幹屈曲・伸展角度は条件間での有意差を示さなかった (表1).

腰部屈伸モーメントをみると, 若年群では, リュックなしと比べ 15%負荷時, 5%負荷と比べ 15%負荷時に有意に腰部屈曲モーメントが増加し, リュックなしと比べ 15%負荷時に有意に腰部伸展モーメントが減少した. 高齢群では, 若年群と同様の傾向を示したが, 有意差を示さなかった (表2).

IV. 考察

本研究結果から, リュックの有無および重量の違いにより若年群と高齢群に共通して骨盤前傾角度増加に, 若年群では腰部屈曲モーメントおよび伸展モーメントに有意な差が認められた. 高齢群では, これらのモーメントは有意でないものの同様の傾向を示した.

これらの結果は, 一歩行周期を通じて, リュックと体幹 (頭部, 両上肢, 骨盤を含まない体幹) の合成重心にかかる重力のベクトルが腰部関節中心の後方を通過しやすくなり, 腰部伸展モーメントよりも屈曲モーメントが働きやすくなったことによると考えられる. それに加え, 通常前脚に荷重していく荷重応答期終期でピークとなる腰部伸展モーメントは, 慣性力と重力の合力の影響で減少し, 前遊脚期初期でピークとなる腰部屈曲モーメントは, 慣性力と重力の合力の影響で増加に寄与したと考えられる. 腰部屈曲モーメント増加には姿勢調節で重要な腹筋群の関与があり, 特に腸腰筋などによる促通で骨盤前傾角度が増加したと思われる¹⁷⁾. 同様に, 先行研究では被験者体重の約 17%の重さのバックパックを片肩か両肩で運んだとき, 骨盤の前後傾角度の増加を認めたと報告している¹⁸⁾. また, 体重の 20%か 40%の負荷で両肩にリュックを背負った際, 頭部と体幹の前方への傾斜を示したとされている^{12,14,19)}. 本研究では, 5%と 15%負荷で同様に骨盤前傾を示したが, 5%負荷では顕著な体幹屈曲姿勢をとらなかったことから, 15%よりも 5%負荷で姿勢改善効果があることが示された.

以上から, リュック重量が増加することで加わる身体

負荷が、両群で腰部にかかる負担と姿勢を同様に变化させ、腰部負担を軽減させることが示された。高齢者に特徴的な骨盤後傾姿勢は腹筋群の筋活動を減少させやすい姿勢である²⁰⁾ことから、日常生活で活動が得られにくい体幹前面筋の使用と骨盤前傾角度増加はリュック使用のポジティブな効果として考えられる。しかし、体重の15%負荷は、リュック重量の増加に伴う一定の姿勢の保持と腰部モーメントの増加につながるため、腰部へのリスクという点から避けるべきである。今回得られた知見は、高齢者や腰部に障害のある患者に運搬動作指導を行う際に役立つ有用な情報である。

本研究の限界として、骨盤部にリュックが接触すると左右上後腸骨棘のマーカーに接触し、腰部モーメントが正しく算出できなくなることから骨盤に接しないタイプのリュックのみを使用したことと、リュック底に配置した重錘の固定位置の変化によりリュックの重心位置が計測時に必ずしも一定ではなかったことが挙げられる。また、実際に筋電図で筋活動の影響をみていないため、今後は腰部モーメントに対する腹筋と背筋の影響を検証する必要がある。

引用文献

- 1) 総務省統計局：統計局ヘッドライン—統計局月次レポート—No.32 (2012年10月9日)。 <http://www.stat.go.jp/data/headline/pdf/201210.pdf#page=8> (閲覧日2014年6月3日)。
- 2) 福島香代子：荷物負荷部位の相違による歩行エネルギー消費量の変化。運動生理, 1987, 2(1): 39-41。
- 3) 山田太智：荷物の運搬方法と酸素需要量の変化。山形理学療法学, 2006, 3: 25-28。
- 4) 田中貴子, 北川知佳, 朝井政治・他：荷物運搬方法の相違による歩行時エネルギー消費と換気機能の変化。長崎大学医療技術短期大学部紀要, 1994, 7(3): 129-132。
- 5) 田中清和, 阿久根徹, 下井優一：脊柱後弯変形に対するリュックサック型体幹装具の効果—骨粗野症による胸腰椎圧迫骨折症例への使用経験—。リハビリテーション医学, 2000, 37(2): 106-109。
- 6) 佐藤貴一, 白戸 修：脊椎疾患の装具療法。日本義肢装具学会誌特集, 2003, 19(3): 197-204。
- 7) 齊藤文則, 白戸 修：高齢者の腰痛。痛みと臨床, 2005, 5(1): 73-78。
- 8) 丸山仁司：老人の評価。理学療法科学, 1997, 12(3): 141-147。
- 9) 久保 晃：高齢者の身体アライメントと転倒。理学療法, 2001, 18(9): 865-868。
- 10) Hung-Kay Chow D, Kit-Fong Hin C, Ou D, et al.: Carry-over effects of backpack carriage on trunk posture and positioning ability. Int J Ind Ergon, 2011, 41(5): 530-535。
- 11) Al-Khabbaz YS, Shimada T, Hasegawa M, et al.: The effect of backpack heaviness on trunk-lower extremity muscle activities and trunk posture. Gait Posture, 2008, 28(2): 297-302。
- 12) Smith B, Ashton KM, Bohl D, et al.: Influence of carrying a backpack on pelvic tilt, rotation, and obliquity in female college students. Gait Posture, 2006, 23(3): 263-267。
- 13) 國見ゆみ子, 野村 進, 別府政敏：リュックザックの重心位置が歩行に及ぼす影響。登山医学, 2007, 27(1): 111-114。
- 14) 宮川 健, 田原真志, 枝松千尋・他：ザックの重心位置の違いが歩行中の関節モーメントに及ぼす影響。バイオメカニクス研究, 2000, 4(1): 31-38。
- 15) 勝平純司, 山本澄子, 丸山仁司・他：階段およびスロープ昇降時の関節モーメントの分析。バイオメカニズム, 2004, 17(8): 99-109。
- 16) 山崎信寿, 山本真路, 井上剛伸：移乗介助動作の計測と腰部負担の評価。バイオメカニズム, 2002, 16(6): 195-205。
- 17) Neumann DA：筋骨格系のキネシオロジー。嶋田智明, 平田総一郎 (監訳), 医歯薬出版, 東京, 2007, pp314-318, 346, 432。
- 18) Pascoe DD, Pascoe DE, Wang YT, et al.: Influence of carrying book bags on gait cycle and posture of youths. Ergonomics, 1997, 40(6): 631-641。
- 19) Kinoshita H: Effects of different loads and carrying systems on selected biomechanical parameters describing walking gait. Ergonomics, 1985, 28(9): 1347-1362。
- 20) Snijders CJ, Ribbers MT, de Bakker HV, et al.: EMG recordings of abdominal and back muscles in various standing postures: validation of a biomechanical model on sacroiliac joint stability. J Electromyogr Kinesiol. 1998, 8(4): 205-214。