

Lifting 動作の筋電図および運動学的研究 —重量物の質量が Squat 法に及ぼす影響 (第 2 報)—

波之平晃一郎¹⁾, 藤村 昌彦²⁾, 新小田幸一²⁾

¹⁾広島大学大学院保健学研究科博士課程後期保健学専攻

²⁾広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座

(平成 23 年 3 月 17 日受付)

要旨：我々は、重量物の質量の増加によって Lifting 動作の様式が変わり (Squat 法から Stoop 法に類似した方法へ移行し)、一般に推奨されている Squat 法で Lifting 動作を実施するには意識して行う必要性を報告した。本研究は、この動作様式の変化に主たる関与を行うと思われる膝関節伸筋の活動に着目し、より詳細な変化を検証することを目的として行った。対象は腰痛の既往および現病歴、また Lifting 動作に影響を及ぼす要因をもたない健康成人男性 10 人であった。表面筋電図は右腰部傍脊柱筋 (LP)、大腿直筋 (RF)、内側広筋 (VM) の筋活動に着目した。Lifting 動作は、膝関節最大屈曲位を開始肢位とした Squat 法にて行った。重量は 1kg、体重 (BW) の 10% および 15% (15%BW) に設定した。統計学的解析には一元配置分散分析および多重比較検定を用い、有意水準は 5% 未満を採用した。

筋活動量では、LP は重量 1kg と比較して、15%BW になると有意に高くなった ($p < 0.01$) が、RF と VM には有意な差を認めなかった。また、動作様式は、重量が増すと、Squat 法から股・膝関節の伸張が先行し、引き続き体幹が伸張する様式に移行した。筋電図学的観点から 15%BW の重量物の Lifting 動作では、腰背部の負担が増大する可能性が示唆された。運動学的観点から、この動作様式の移行は、腰背部筋に負担を強いる方法への移行であると推察される。つまり、Lifting 動作を反復することにより腰背部筋の疲労を生じ、筋の活動低下を引き起こし易くなると考えられる。また、他組織の負担も増加することにより、腰痛発生の危険性が高まるものと思われる。

(日職災医誌, 59: 245—250, 2011)

—キーワード—

Lifting 動作, 腰部傍脊柱筋群, 表面筋電図

1. はじめに

腰痛の発症要因の 1 つである Lifting 動作に関し、これまでに諸家^{1)~6)}による数多くの報告がある。中央労働災害防止協会⁷⁾⁸⁾および産業医学振興財団⁹⁾は、腰痛予防対策として、職場の環境や個人の状態などに関する対策を記載した「職場における腰痛予防対策指針」などを策定している。重量物の質量に関して、岡野⁷⁾は、成人男性における断続作業および継続作業は重量物の重さは 55kg 以下に、成人女性の断続作業は 30kg 以下に、継続作業は 20kg 以下にするよう制限している。同様に西野⁸⁾は、人力のみで取り扱う重量の目安は、成人男性では体重の約 40% 以下、女性は男性の 60% までとしている。

我々は、女性において重量物の質量が増すほど Lifting

動作が Squat 法から逸脱した方法 (Stoop 法に類似する方法：以下、Stoop 変法)へ移行し、その動作様式の移行は主に膝関節が担っている可能性を示した。また、この動作様式の移行が現れる重量は、体重の 15% 以上のときであると報告した¹⁰⁾。さらに、第 58 回日本職業・災害医学会学術大会にて中央労働災害防止協会などが推奨する Squat 法は、意識的に行わないと実施できないことを示した¹¹⁾。しかしながら、これらの報告は、腰部傍脊柱筋の筋電図学および運動学的解析のみしか行っておらず、他筋を含めた検討が必要であった。

そこで、本研究では重量物の質量の増加による Lifting 動作の様式の変化が、主に膝関節で行われているかを検討するとともに、その際の膝関節伸筋の筋活動に影響を及ぼすかを明らかにすることとした。さらに、腰痛予

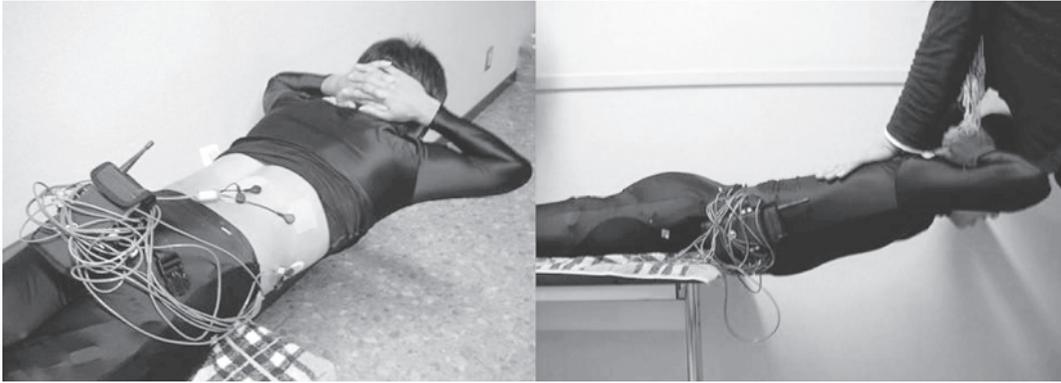


図1 Sorensenのtrunk holding testの肢位によるLPのMIVC測定肢位



図2 Danielsらの徒手筋力検査法(膝関節伸展Normal)の肢位によるRF, VMのMIVC測定肢位

防対策の見解と知見を得ることを目的として行った。

II. 対象と方法

1. 対象者

対象は腰痛の既往および現病歴、またLifting動作に影響を及ぼす要因をもたない健常成人男性10人(年齢: 24.3 ± 2.5 歳, 身長: 173.6 ± 5.2 cm, 体重: 67.3 ± 6.7 kg)であった。対象者には、測定前に十分な説明を行い、参加の同意を得た。なお、本研究を行うにあたり、広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を得た(No. 0750)。

2. 測定条件

筋電図は表面筋電計(Noraxon社製, TeleMyo 2400, 米国; サンプリング周波数1.5kHz)を用いた。測定にはMyoVideo 1.5.04(Noraxon社製)を使用し、双極誘導にて筋活動電位および動画の記録を行った。なお、動画はデジタルビデオカメラ(Sony社製, DCR-TRV27, 日本; サンプリングレート30frame/s)を用い、右側から撮影し

た。被検筋には右側の腰部傍脊柱筋(Lumbar Paraspinals: 以下, LP), 大腿直筋(Rectus Femoris: 以下, RF), 内側広筋(Vastus Medialis: 以下, VM)を選択した。なお、電極にはAg-AgCl表面電極(Ambu社製, BlueSensor M-00-S, デンマーク)を用いた。被検筋の電極貼付位置は, LPは棘突起の2~3cm外側の筋腹で筋線維走行に沿った位置, RFは上前腸骨棘と膝関節を結ぶ線の約中央の筋腹で筋線維走行に沿った位置, VMは膝蓋骨上端から2cm内側(55度の傾斜)の筋腹で筋線維走行に沿った位置とし、全て右側の筋に貼付した¹²⁾¹³⁾。電極間距離は35mmとした。アース電極は右第12肋骨に貼付した。電極間抵抗は、生体信号モニタ用皮膚処理剤(日本光電社製, スキンピュア, 日本)を用い、国際電気生理運動学会の推奨する5k Ω 以下になるように皮膚処理を行った。電極間抵抗値の測定は、伝導性ゲルが皮膚に浸透して通電性が改善することを期待し、皮膚処理5分経過後に簡易テスタ(エー・アンド・デイ社製, デジタルマルチメータAD-5523, 日本)を用いて行った。この際の抵抗値が5k Ω 以下とならなかった場合、再度皮膚処理を行った。

重量物の質量は、労働災害防止協会など^{7)~9)}、我々¹⁰⁾が安全と考え推奨している1kgおよび各対象者の体重の10%(以下, 10%BW), 15%(以下, 15%BW)とした。重量の調整は、市販されている1個3kgの造庭用レンガと0.5, 1, 2kgの砂嚢を20 \times 40 \times 30(cm)の箱に詰めて行った。

関節角度を算出するために右側の肩峰, 大転子, 上前腸骨棘, 上後腸骨棘, 大腿骨外顆, 外果の計6カ所にマーカーを貼付した。

測定を行う部屋の環境は、室温23 $^{\circ}$ Cとなるようにエア・コンディショニングを行った。

3. 測定項目および測定方法

1) 等尺性最大随意収縮(Maximum Isometric Voluntary Contraction: 以下, MIVC)

各筋の筋活動電位を正規化するために、MIVCの筋活動電位を測定した。LPはSorensenのtrunk holding testの肢位(図1)¹⁴⁾、RFおよびVMはDanielsの徒手筋力検

査法の Normal の肢位（図2）¹⁵⁾にて MIVC を測定した。このとき対象者には、検者の徒手により加えられた抵抗に抗して各肢位を5秒間保持するように指示した。

2) Lifting 動作

開始肢位は足部内側縁が15~20cmになるように開脚にて立位をとり、足底部を完全接地させたまま最大膝関節屈曲位にて筋活動電位が安定した状態とした。終了肢位は直立位とした。なお、Lifting 動作は Squat 法にて行い、検者の口頭による合図で開始するように指示した。また、動作中の肘関節は完全伸展位のままで行わせた。直立後2秒間静止し、前方の1.5mの位置に貼付した指標を注視するように指示した。各重量において、試行は5回ずつ行った。重量の選択はランダムとした。動作のスピードは任意とした。

4. 解析方法

1) 筋電図学的解析

解析区間の同定は、Lifting 動作5試行のうち初回と最終回を除く3回に対し、動作解析ソフトウェア MyoVideo 1.5.04 (Noraxon 社製)を用いて行った。なお、開始点は離床した瞬間、終了点は動作前に静止立位にて把持した重量物の高さに達し、股・膝関節運動が終了した

瞬間と規定し、矢状面から撮影した動画を基に目視にて同定した。動作時の筋活動量は表面筋電図解析ソフトウェア MyoResearch 2.11.15 (Noraxon 社製)を用いて、得られた波形を全波整流化した後、対象者の筋タイプおよび Lifting 動作時間を考慮し、整流化した MIVC の筋活動量を基に筋活動電位と時間の正規化を行い算出した。なお、MIVC の値は、MIVC 測定中で最大となった100msあたりの平均振幅値を用い、この値を100% MIVC とした。動作時の筋活動量は3試行の加算平均を行い、一動作の平均値および経時変化20%ごとの区間平均値を算出した。

2) 運動学的解析

関節角度を算出するにあたり動作解析ソフトウェア MyoVideo 1.5.04 (Noraxon 社製)にて解析範囲の時間を抽出した。2次元画像解析ソフトウェア (アシックス社製, Motion Adviser, 日本)を用いて動作時間の正規化を行い、経時的な変化20%動作時間 (Motor Time: 以下, MT)毎に各関節角度を求めた。体幹角度は、上前腸骨棘と上後腸骨棘を結んだ線に垂直な線、上前腸骨棘と上後腸骨棘を結んだ線の midpoint と肩峰を結んだ線がなす角とした (図3-a)。股関節角度は、肩峰と大転子を結んだ線、大転子と大腿骨外顆を結んだ線がなす角とした (図3-b)。膝関節角度は、大転子と大腿骨外顆を結んだ線、大腿骨外顆と外果を結んだ線がなす角とした (図3-c)。各関節角度の変化を算出するために、開始肢位を0%、終了肢位を100%とし、各関節角度変化率を算出した (下記式)。

式) 各関節角度変化率=

$$\frac{\text{開始肢位の屈曲角度} - \text{各時点における屈曲角度}}{\text{開始肢位の屈曲角度} - \text{終了肢位の屈曲角度}} \times 100$$

ただし、屈曲角度を正とし、伸展角度は負とする。

3) 統計学的解析

統計学的解析では、JSTAT for Windows 12.6 を用い、筋活動量および関節角度に対し、一元配置分散分析を行い、有意差がみられた場合、Tukey 法による多重比較検定を行った。なお、有意水準は5%未満とした。

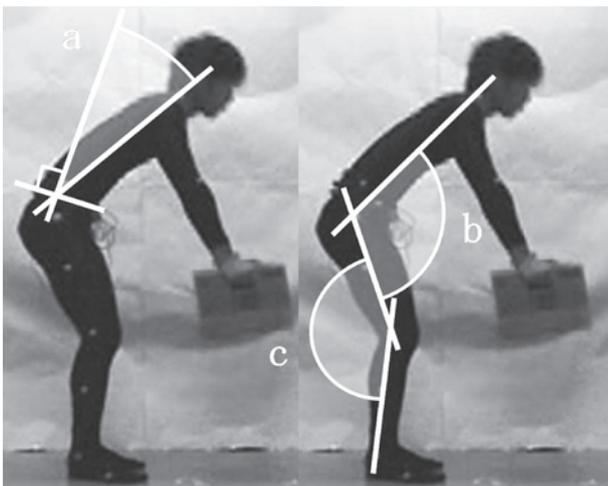
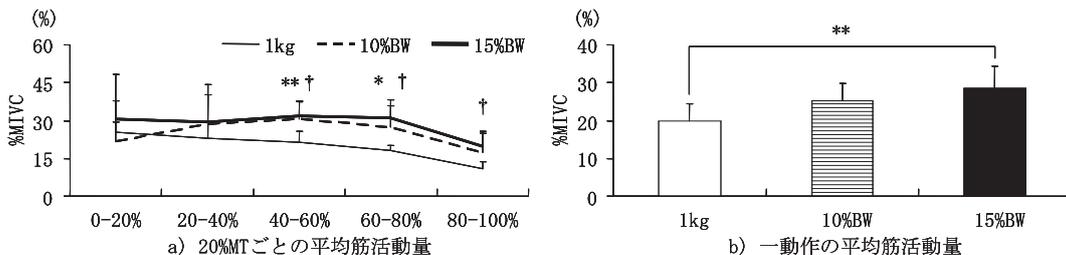


図3 各関節角度

a) 体幹角度 b) 股関節角度 c) 膝関節角度



* : p<0.05 (1kg v.s. 10%BW)
** : p<0.01 (1kg v.s. 10%BW) † : p<0.01 (1kg v.s. 15%BW)

** : p<0.01

図4 LPの筋活動量
MT: Motor Time

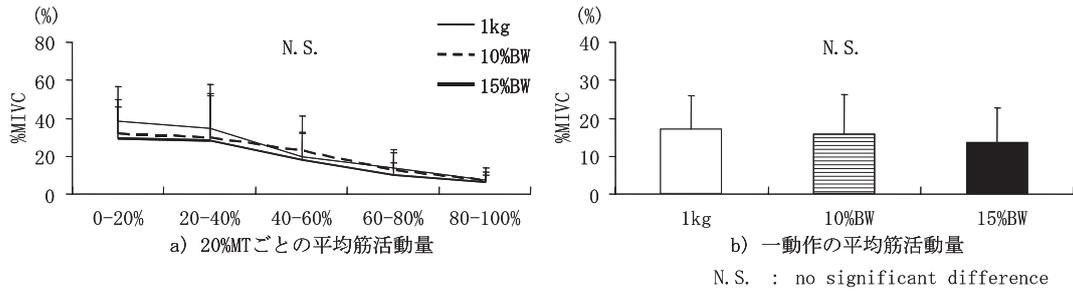


図5 RFの筋活動量
MT: Motor Time

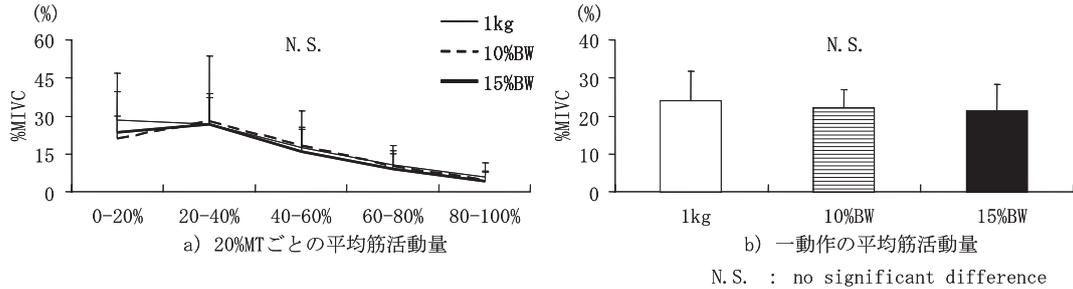


図6 VMの筋活動量
MT: Motor Time

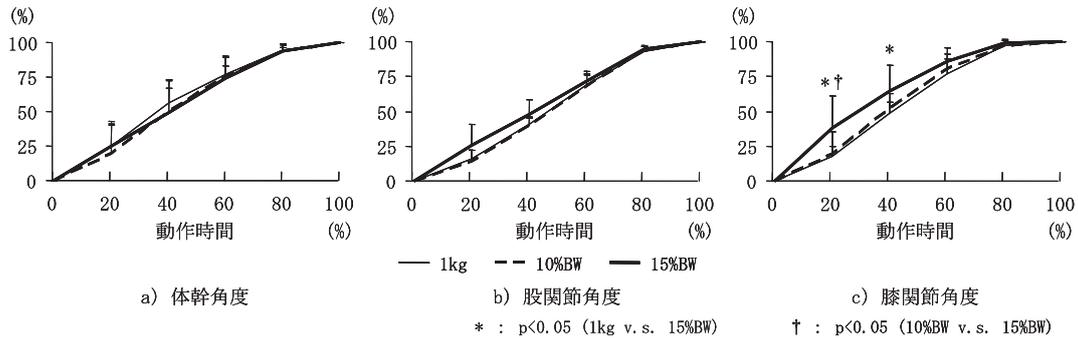


図7 各体節角度変化率

III. 結 果

1. 筋活動量

LPの筋活動量は、重量1kgと比較して、15%BWになると有意に高値を示した ($p < 0.01$)。特に、経時変化40~60%MT、60~80%MTおよび80~100%MTの3区間で15%BWの筋活動量は高値を示した(図4)。RFおよびVMの筋活動量は、重量による有意な差はみられなかった(図5, 6)。

2. 関節角度

体幹角度変化より、重い重量物の方が体幹伸展は遅かったが、有意差は認められなかった(図7-a)。股関節角度変化より、重い重量物の方が股関節伸展は早かったが、有意差は認められなかった(図7-b)。膝関節角度変化より、重い重量物の方が膝関節伸展は早く、特に経時

的变化40%MTまでの間で伸展が有意に行われた(図7-c)。重量が増すとSquat法から股・膝関節伸展が先行し、引き続き体幹が伸展する方法に移行した。

IV. 考 察

重量物の質量の増加がLifting動作に及ぼす影響について、我々は男性においても前回の報告¹⁰⁾と同様の結果を得た。つまり、性別に関わりなく15%BW以上の重量でLifting動作の様式がSquat法からStoop変法へ移行することが推測された。しかしながら、これまでの報告は、腰部傍脊柱筋の筋電図学的解析と関節角度変化の運動学的解析のみを行っていたため、この動作様式がどの筋で行われているか根拠が不十分であった。そこで、本研究は動作様式の変化に関与したと考えられる膝関節伸展筋群に着目して行った。

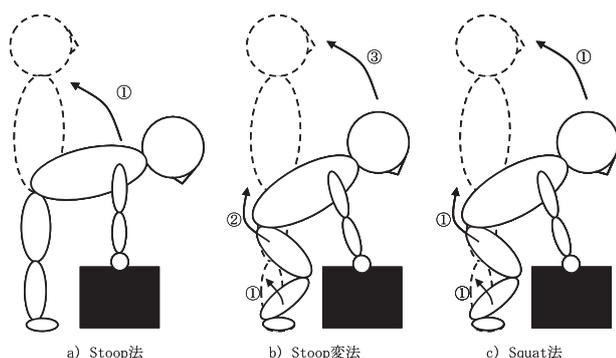


図8 各Lifting方法の定義

- a) Stoop法：体幹伸展のみで重量物を挙上する方法
 b) Stoop変法：膝関節伸展を先行して行い（Stoop法の股位に類似した股位に近づき）、その後股関節伸展、体幹伸展の順で重量物を挙上する方法
 c) Squat法：体幹・股関節・膝関節を同時に伸展させ重量物を挙上する方法

各関節角度の変化より、Lifting動作の様式は15%BWの際、1kgまたは10%BWの重量と比較し、動作初期より膝関節が他関節に先行して伸展し、その後股関節および体幹が伸展した。つまり、重量が重くなるほどStoop変法となることが示され、これまで我々が報告した結果と同様であった。なお、図8は本報告で述べているStoop法、Stoop変法およびSquat法の動作方法の定義を示している。また、LPの筋活動量もこれまでの報告と同様の結果であり、15%BWのとき1kgの重量に比べ筋活動量が大きく、Lifting動作における筋発揮量が多いと思われる。一方、膝関節伸展筋群が関与することによって動作様式が移行すると仮説を立てたがRFおよびVMの筋活動量には有意な差を認めず、動作様式の移行には膝関節伸展筋群の関与が少ないことが示された。嶋田ら¹⁶⁾はStoop法は大腿四頭筋の力は利用せず、主に腰部伸筋を駆使した方法であるとしている。また、石田ら¹⁷⁾は前かがみ姿勢では脊柱起立筋と広背筋が疲労し易いとしている。一方、宮本ら¹⁸⁾は、Stoop変法と類似した方法では腹腔内圧と重量物を挙上する力が同時に生じ、Squat法では腹腔内圧が上昇した後、挙上する力が出現すると報告した。つまり、Stoop変法は、Squat法と比較して十分に腹腔内圧を高められずに、Lifting動作を行う方法であると思われる。したがって、Stoop変法は、腹腔内圧と筋活動の関係および運動機序に破綻をきたした場合、筋挫傷や筋断裂などを引き起こすことが考えられ、これらによる腰痛の発症の可能性のある動作と推察された。しかし、重量物の質量の増加にともない、腰部に負荷が高まりかつ腰痛の受傷率を高めるStoop変法へLifting動作の様式が移行することに疑問が残る。本研究では、開始から終了までの動作は肘関節を完全伸展位で行うことを測定条件としていた。このため、本研究で採用したSquat法は腰部から重量物までのレバーアームが長く、動作初

期に重量の増大により腰部への負担が増大し損傷する可能性が高まるため、腰部から重量物までのレバーアームを短くする必要があったものと思われる。つまり、Stoop変法は、重量負荷に伴う本研究の測定動作に対応した様式であったとも考えられる。さらに、我々は各重量で同様のSquat法（体幹・股関節・膝関節屈曲位から同時に伸展し、重量物を挙上する方法）で行うことを指示していた。しかし、10%BWのLifting動作ではほぼSquat法にて実行できたにも関わらず、15%BWのLifting動作では実行できなかったことから、腰部負担の観点から身体が無意識に様式を移行したと考えられた。つまり、中央労働災害防止協会などが推奨するLifting動作（Squat法）を行うには意識して行う必要があり、特に15%BW以上では特に意識する必要があると考える。

Lifting動作を反復して行くと腰背部筋の疲労が生じ、筋活動の低下を招き、結果的に他組織の負担が増加する。さらに、腰背部の負担が増加すると腰痛発生の危険性が高まるものと考えられる。また、本研究の対象者は腰部などに疾患をもたない健康成人であり、これら疾患の既往歴や現病歴を有する者のLifting動作とは異なる結果が得られた可能性がある。したがって、本研究では疲労の影響に関して追究はしておらず、様々な条件下で精査していく必要があるものと思われる。より詳細なLifting動作に関する報告および個々に合わせた予防対策の提案を行っていくために、腰部などに疾患がある者などを対象にした報告を行っていく必要があるものと考えられる。

文献

- 1) 後藤伸介, 余田奈津美, 田端智恵美, 他: 物体の持ち上げ動作に及ぼす動作戦略および重量負荷の影響. 石川県理学療法学雑誌 8 (1): 4-8, 2008.
- 2) 徳山和宏, 藤村昌彦, 奈良 勲: 質量不明の重量物持ち上げにおける脊柱起立筋の活動—筋電学的研究—. 理学療法科学 17 (4): 233-236, 2002.
- 3) 藤村昌彦, 奈良 勲, 河村光俊: 重量物持ち上げ動作における荷台の高さの差が四肢体幹筋の活動量に及ぼす影響. 広島大学保健学ジャーナル 2 (1): 72-77, 2002.
- 4) Ando S, Ono Y, Shimaoka M, et al: Strength and perceived exertion in isometric and dynamic lifting with three different hand locations. J Occup Health 42: 315-320, 2000.
- 5) 藤村昌彦, 奈良 勲: 重量物持ち上げ動作における腰痛発症機序に関する筋電図学的研究. 日職・災医誌 52 (6): 341-347, 2004.
- 6) 藤村昌彦, 奈良 勲: 持ち上げ動作における重量物の大きさと脊柱起立筋に関する筋電図学的研究. 日職・災医誌 50 (6): 341-347, 2002.
- 7) 岡野憲之: 腰痛予防管理者用労働衛生教育テキスト—職場における—腰痛予防対策マニュアル 第1版. 東京, 中央労働災害防止協会, 1998, pp 75-76, pp 210-251.
- 8) 西野博実: 腰痛を防ごう!—「職場における腰痛予防対策指針」のポイント— 第2版. 東京, 中央労働災害防止協会, 2007, pp 48-53.
- 9) 鹿毛 明: 作業関連疾患の予防管理と臨床 改訂版. 東

- 京, 産業医学振興財団, 2003, pp 133—136, pp 142—143.
- 10) 波之平晃一郎, 藤村昌彦: Lifting 動作の筋電図学および運動学的研究—重量物の質量が動作方法におよぼす影響—. 日職・災医誌 58 (5): 234—239, 2010.
- 11) 波之平晃一郎, 藤村昌彦, 新小田幸一: Lifting 動作の筋電図学および運動学的研究—重量物の質量が動作方法におよぼす影響 (第2報) —. 日職・災医誌 58 (臨増): 231, 2010.
- 12) 下野俊哉: 表面筋電図マニュアル基礎編. 東京, 酒井医療, 2004, p 99, 107.
- 13) 下野俊哉: 表面筋電図マニュアル基礎・臨床応用. 東京, 酒井医療, 2010, p 145, 152.
- 14) 荒川英樹, 中村 健, 梅津祐一, 志波直人: 脊柱起立筋の筋疲労評価. Journal of clinical Rehabilitation 10 (10): 914—918, 2001.
- 15) Hislop HJ, Montgomery J: 新・徒手筋力検査法. 津山直一訳. 東京, 協同医書出版社, 2003, pp 207—211.
- 16) 嶋田智明, 平田総一郎: 筋骨格系のキネシオロジー 第1版. 東京, 医歯薬出版, 2005, pp 314—316, pp 361—369.
- 17) 石田 弘, 渡邊 進, 田邊良平, 他: 前かがみ姿勢での持続的な等尺性引き上げ運動における体幹および股関節伸展筋の筋電図学的検討. 理学療法科学 22 (1): 145—149, 2007.
- 18) 宮本 敬, 飯沼宣樹, 柴田博次, 他: 種々の重量物挙上動作における腹内圧変化の検討—LIDO Lift Systemを用いた Isokinetic lifting における比較検討—. 日本臨床バイオメカニクス学会誌 16: 181—185, 1995.

別刷請求先 〒734-8551 広島市南区霞 1—2—3
 広島大学大学院保健学研究科博士課程後期保健
 学専攻

波之平晃一郎

Reprint request:

Koichiro Naminohira

Health Sciences Major, Doctoral Course, Hiroshima University Graduate School of Health Sciences, 2-3, Kasumi 1-chome, Minami-ku, Hiroshima-shi, Hiroshima, 734-8551, Japan

**Electromyographic and Kinematic Study of Lifting Motion in Male Adults
 —Effects of Mass of the Object on Motion Patterns (The Second Report)—**

Koichiro Naminohira¹⁾, Masahiko Fujimura²⁾ and Koichi Shinkoda²⁾

¹⁾Health Sciences Major, Doctoral Course, Hiroshima University Graduate School of Health Sciences

²⁾Hiroshima University Department of Physical Therapy and Occupational Therapy Sciences

Previously, we showed altered posture patterns, i.e., 'squat' to 'stooped' while lifting an object as the weight increased. In addition, we emphasized the importance to consciously lift heavy objects in a squat posture.

Here we studied the effects of the lifting the object on the knee extensor muscle activities and the joint kinematics using the electromyography and motion analysis in the frontal plane. Ten healthy male adults were recruited as the subjects in this study. Each had no history of low back pain, and factors affecting the lifting motion. Before lifting, their initial position was they so-called 'squat posture' (in the maximum knee flexion). The weight of the object was increased according to the subject's body weight (BW): 1kg, 10%BW, and 15%BW. The subjects were asked to lift the object until they was in the right standing position. To reveal muscle activities while the lifting motion, surface electromyography was obtained from 3 muscles: the lumbar paraspinalis (LP), rectus femoris (RF), vastus femoris (VM) in the right side. A one-way analysis of variance and a multiple comparison test were used in statistical analyses, and the significant level was set at $P < 0.05$.

Muscle activity of the LP in 1kg lifting was significantly higher than that in 15%BW lifting ($P < 0.01$), while there was no significant difference of muscle activities in both RF and VM between in the two weights. Motion patterns were altered 'squat' lifting to other lifting method: the hip and knee extended before the trunk extension as the weight increased.

As a result, it is suggested these alterations of posture patterns as the weight increased while lifting have a risk to induce excessive stresses and fatigues in para-spinal muscles, and the low back pain accompanied with a compensatory stress in other structures.

(JJOMT, 59: 245—250, 2011)