

脊柱筋における活動の不均衡性と間欠的等尺性収縮の関係

長須 達也¹⁾・郡 佳子¹⁾・橋本 泰央¹⁾
・甲斐 範光¹⁾

1) 帝京短期大学 ライフケア学科

【抄録】

【はじめに】表面筋電図による脊柱筋の不均衡性は、背部痛に関連する異常なパターンとして解釈され、腰痛を要する患者だけでなく健康な成人においても生じる。本研究の目的は、健康な成人男性における間欠的な等尺性収縮による筋活動の活性化の不均衡性を調査することとした。

【方法】成人健常者（7人の男性；20-72歳）に対して、最大随意収縮と間欠的な等尺性体幹伸展を30秒間（10回；間隔2分）行い、腹腔内圧をかけた。筋電図電極を多裂筋と脊柱起立筋に貼付し、表面筋電図（EMG）を測定した。二乗平均平方根（RMS）と平均出力周波数（MPF）の各不均衡性は、27秒間の2つの信号を対象者ごと各比率計算した。脊柱筋の対象活動で、それぞれの活動が補償されない不均衡性（UNCI）と補償される不均衡性（CI）を定義しそれらの数値を用いた。

【結果】間欠的な等尺性体幹伸展の前でMVCは減少しなかった。RMSは間欠的な等尺性体幹伸展時に約10%減少し、MPFは約10%増加した。RMSとMPFの不均衡性はすべての被験者に認められた。RMSの不均衡性は増加せず、間欠的な体幹収縮でCIは増加し、MPFのUNCIは減少したが、CIでのみ有意さを認めた。（ $F=3.647$ 、 $p<0.01$ ）さらに、MPFの不均衡ではUNCIとCIの差は間欠的な収縮で大幅に減少した。（ $F=6.265$ 、 $r=0.77$ 、 $p<0.001$ ）

【考察】これらの結果は、神経筋制御の改善および間欠的等尺性収縮により誘発される血流の増加などの生理学的変化により、筋肉の活性化の不均衡が減少したことを示唆している。

【キーワード】 脊柱筋, EMG, 不均衡性, 間欠運動

I. 緒言

超高齢化社会に突入しつつある我が国では、運動器変性疾患による疼痛患者が顕著な増加をきたしている。平成28年に厚生労働省が実施した「国民生活基礎調査」によると、腰痛の有訴者数は男性が1位、女性でも2位と非常に多くの腰痛自覚者が存在する¹⁾。体幹の動きは就業環境においても大きな問題となり、19歳～59歳までの労働者5185名を対象に作業関連動作と過去1年間における主観的な腰痛の有無について聞き取り調査²⁾を行った結果では、抽出された要因の中でも体幹回旋や体幹屈伸運動の頻度がもっとも高いリスク要因であった。

医療現場はもちろん日常生活でも遭遇する機会は多く、いわゆる「腰痛症」は複数の病態・疾患から構成される症候群であるため、その診療也多岐にわたっている。また、腰痛は日常診療では非常に多い愁訴であるが、複数の要素が関与していることから必ずしも原因が特定されないことも多く、理学所見や画像所見などを組み合わせて診療が行われている³⁾。また、近年腰部

の痛みは原因が特定できない非特異性腰痛（以下 慢性腰痛）が約85%ともいわれている^{4,5)}。

慢性腰痛は、年齢に関係なく高頻度に発生する疾患であり、生活の質（以下QOL）を低下させる原因となっている。臨床で取り扱う腰痛の80%以上が画像所見と臨床所見が合致しない慢性腰痛であるため、その大半が原因に対して治療を行う器質性損傷とは異なった処方がとられている⁶⁾。

この非器質性損傷性の腰痛は、過度の安静を避け、脊柱筋の積極的な活動性を保つことが推奨されている⁷⁾。

しかし、どの程度の脊柱筋活動が疼痛を寛解させるかは未だ明らかにされていない。腰痛の改善に役立つ脊柱筋の活動程度が示されないのは、体幹背部には多種の筋が存在するため、それらの筋の相互間の活動に不均衡が生じやすいことに起因しており、それぞれ傍脊柱筋の活動は左右対称ではなく、不均衡である報告⁸⁻¹⁰⁾からも推察される。その不均衡性は健常者に比べて腰痛者で大きく、特に腰背部の筋疲労に伴って大きくなる^{8),11)}。

健常者における不均衡性は、傍脊柱筋間で補償的共同活動をしているが、腰痛者では補償的共同活動にばらつきが生じている⁸⁻¹⁰⁾。そのため腰痛者は潜在的筋力を出せず、負荷に対応できず腰痛を強いられることで、すべての体幹動作を拒否するようになる。腰痛者に高い脊柱背筋力を持続させ、筋疲労を出現させると、それに伴う筋活動の不均衡性は増加する。しかし、低い脊柱背屈力ではその筋活動の不均衡性は大きく増加しない⁸⁾。

また、脊柱筋の疲労は腹部筋の共同活動と腹内圧を増加させ、それによって脊柱間圧を軽減させることで脊柱の安定化を図っているとされる¹²⁻¹⁴⁾。高齢の腰痛者では、腹部筋力の減少が顕著であり、痛みの改善に長時間を要することが知られている。これも、脊柱筋の疲労を補償する腹部筋活動による腹内圧の上昇抑制が、痛みの長期化要因の一つになっているといえる。そのため、腰痛者や高齢者については脊柱筋に強い活動を強いることは困難となる。

そこで本研究では、受動的腹内圧が付加される特異的姿勢で軽度の脊柱背屈力を間欠的に保持させることによって、傍脊柱筋における左右の筋活動の不均衡性が軽減されるか検証することを目的とする。

Ⅱ. 対象と方法

1. 対象

対象は日常生活動作に不自由を有せず、特に既往歴の無い健常な成人男性7名（年齢は20歳から72歳（平均 28.7 ± 17.7 歳）とした。被験者の身長と体重およびBMIは、各々 1.74 ± 0.048 m、 64.3 ± 4.5 kg、 $21.5 \pm 2.2 \text{ kg/m}^2$ であった。

2. 方法

被験者の姿勢は、伏臥位で、頭部を含めた体幹を臍部まで硬質ラバーマット台に密着させ、臍部より上体幹は台から離れるように脊柱背屈を維持する（Figure 1）。実験プロトコルは、まずその姿勢で脊柱筋による最大等尺性収縮（MVC）を2回実施し、収縮時間は2秒間とした。その後、筋疲労の回復時間を十分にとったのち、等尺性収縮による30秒間の脊柱背屈を維持した。それを10試行後、再度MVCを実施した。

（1）最大脊柱背屈力と筋電図の測定

最大脊柱背屈力（MVC）は、固定台に取り付けた

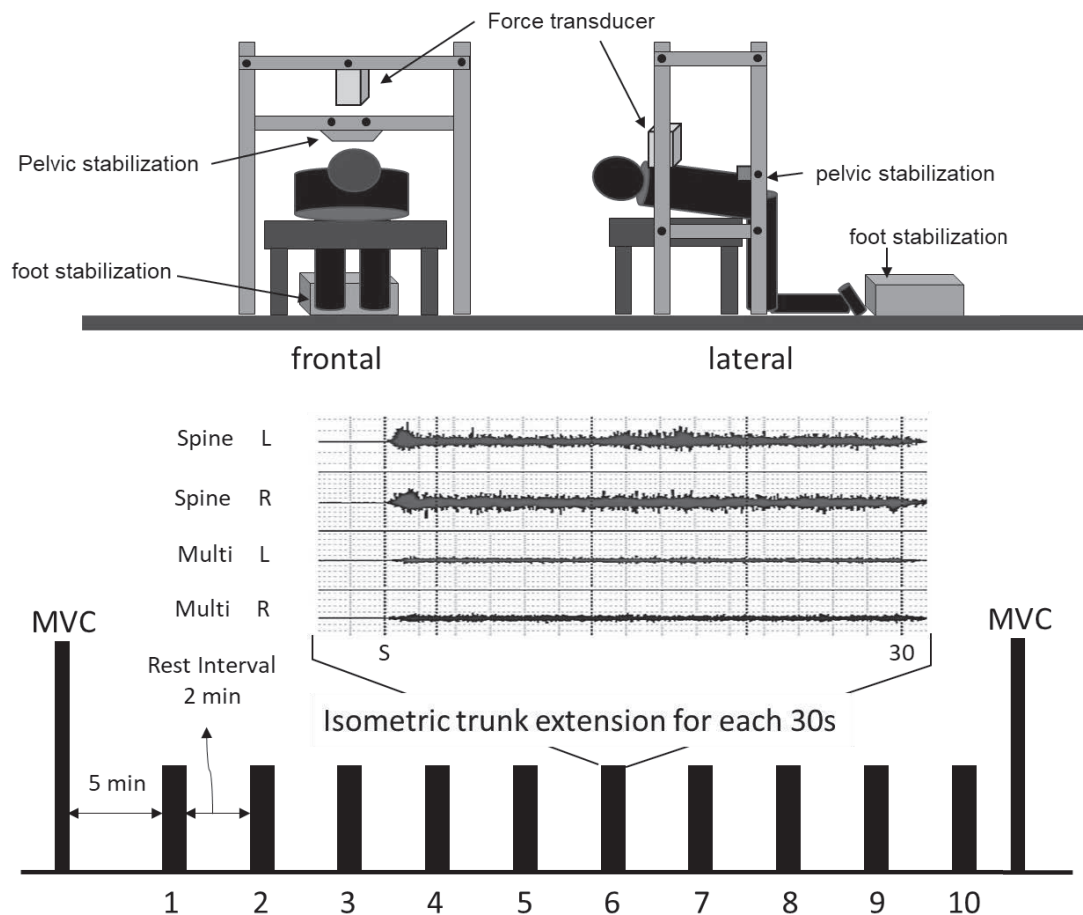


Figure 1 An overview of the position in trunk extension, and protocol and raw surface electromyography(EMG) for 30s during intermittent contractions.

力センサー（共和電業社製）から歪増幅器（DPM-305A、共和電業）を介して導出した。一方、表面筋電図の導出準備は、皿電極を装着する前に、医療用微擦サンドペーパーを用いて5 k Ω 以下に皮膚インピーダントを減少させ、その後に両面接着テープを使用してミニチュアペアー型皿電極（5 ϕ 、電極中心間距離15mm）を脊柱起立筋（spinae）と多裂筋（multifidus）の筋腹に貼付した。筋電図は、生体増幅器装置（米国、AD社製）を使用し、左右対称に脊柱起立筋と多裂筋から導出した¹⁵⁻¹⁶（Figure 1）。

背屈力と筋電図の信号は、A-D変換器（Power Lab：AD社製Instruments）を用いてサンプリング1 kHzで記録し、後日解析ソフト（Lab Chart7:AD社製Instruments）で筋力と筋電図（root mean square EMG:RMS, mean power frequency:MPF）を算出した。MPFはサンプリング1024ポイント、hamming window処理で高速フーリエ変換によって算出した。各々の筋電図の分析区間は開始直後3秒を除いた27秒間とした。

（2）対称筋活動比と不均衡性パラメータ

脊柱起立筋と多裂筋の脊柱対称位置で4カ所のRMSとMPFから、2つの筋対象のRMS比率（Rrms）とMPF比率（Rmpf）について、左サイドを右サイド（L/R）で除してratioを算出した。脊柱起立筋（ratio spin），多裂筋（ratio mult）それぞれにおいて算出した。

$$R = \begin{cases} \text{ratio} - 1, & \text{ratio} \geq 1 \\ \left[\frac{1}{\text{ratio}} - 1 \right], & \text{ratio} < 1 \end{cases}$$

さらにそれぞれのRrms比率とRmpf比率について、次の式から脊柱筋の活動不均衡の補償パラメータを算出した⁵。傍脊柱筋を伸展する際の対称活動において、それぞれの筋活動が均等性を保つために補償されない不均衡性（uncompensated imbalance:UNCI）と、補償される不均衡性（compensated imbalance:CI）と定義し、活動不均衡性の改善の評価にそれらの数値を用いた。

$$\text{UNCI} = \frac{|\text{ratio}_{\text{spin}}| + |\text{ratio}_{\text{mult}}|}{2}$$

$$\text{CI} = \frac{\text{ratio}_{\text{spin}} + \text{ratio}_{\text{mult}}}{2}$$

（3）統計解析

統計処理は、t-検定およびANOVAを用い

有意差 $p < 0.05$ 以上を採用した。

3. 倫理的配慮

倫理的な配慮や研究内容、目的、方法および注意事項などを記載した研究同意書を作成し、研究責任者が対象者に説明を行い、十分に研究に対し理解を得た上で必ず同意を求め、直筆での署名を得た。また、本研究は帝京短期大学倫理委員会の承認を得て実施している。

III. 結果

脊柱背屈の最大随意収縮（MVC）は10試行の間欠的背屈前後において 45.9 ± 4.7 と 48.2 ± 5.3 （kg $\pm$ SE）で有意な差はなかった（ $t=2.15$, $p=0.08$ ）が、間欠的背屈後のMVCはわずかに増加傾向にあった。

さらに間欠的背屈力の10試行繰り返し時のEMG処理は、RMSとMPFの算出と、そのRMSとMPFを両側の脊柱起立筋および多裂筋の一回目の数値に対して標準化し、相対値として表した（Figure 2）。両側の脊柱起立筋および多裂筋のRMSは、全試行で10%程度の減少傾向を示したのに対して、MPFは全試行で10%程度の増加傾向を示した。しかし両者は、試行回数の進行に伴う有意な増減的变化を示さなかった。このことは、間欠的背屈力の10試行繰り返しによるMVCの低下が認められなかったことに関連してい

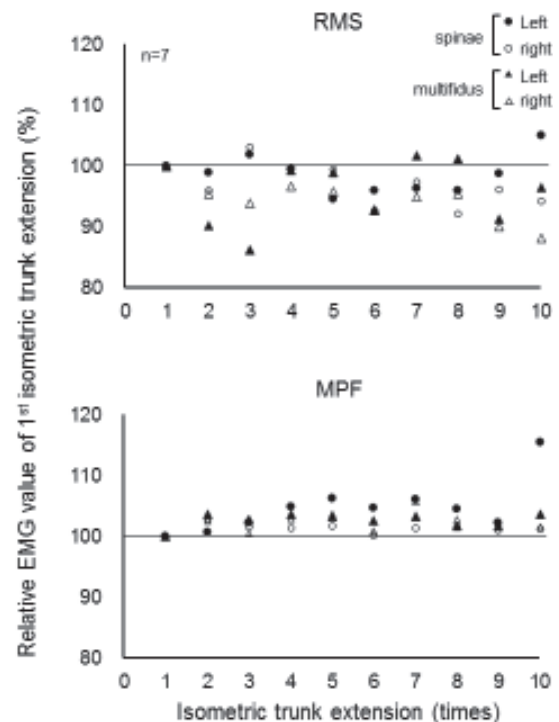


Figure 2 Illustrated graph showing RMS and MPF during each trunk extension with intermittent 10 times.

る。RMSとMPFは、試行回数と無関係にそれぞれが全体的に減少と増加傾向を示した。

次に、脊柱筋の相互対側間の対称背屈時に生じる等尺性筋収縮の活動不均衡性はRMSとMPFの両者に認められた。補償されない不均衡性（UNCI）と補償される不均衡性（CI）はRMSに比べて、MPFの変化に顕著に現れた（Figure 3）。試行に伴うRMSにおけるUNCIは大きな減少を示さないのに対して、CIは増加

傾向を示した。また、MPFにおけるUNCIは有意な減少傾向を示さないのに対して、CIは有意な増加を示した（ $r=0.78$, $F=3.647$, $p<0.01$ ）。

さらに、UNCIとCIの差を補償される筋活動の不均衡性の大きさと定義して算出し、試行に伴うRMSでは減少傾向を示したが、有意差は認められなかった。一方、MPFでは有意な減少を示した（ $r=0.77$, $F=6.265$, $p<0.001$ ）（Figure 4）。

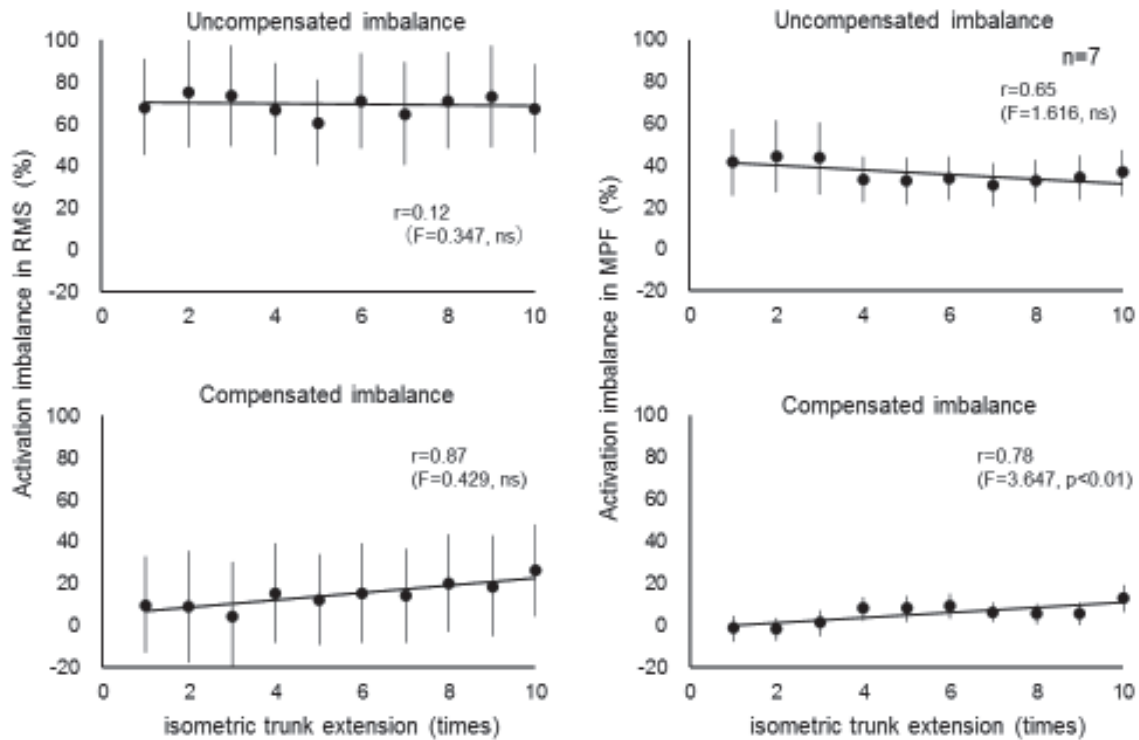


Figure 3 Illustrated graph showing relationship between activation imbalances (uncompensated and compensated) of two EMG parameters (RMS and MPF) and isometric trunk extension as ten intermittent contraction.

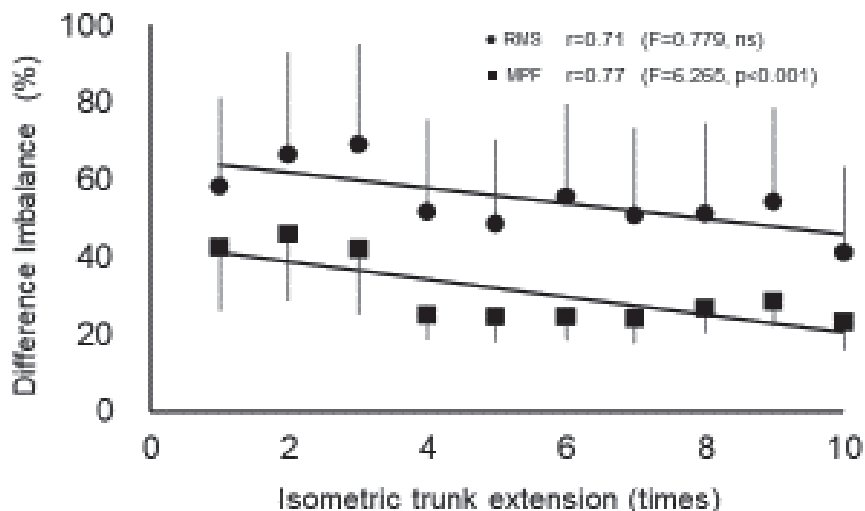


Figure 4 Illustrated graph showing relationship between difference of uncompensated and compensated imbalance of two EMG parameters (RMS and MPF) and isometric trunk extension as ten intermittent contraction.

IV. 考察

脊柱の最大随意収縮（MVC）は、10試行の間欠的背屈後において有意な減少を示さなかった。10試行繰り返し時のRMSとMPFは大きな変化を示していない。これは10試行による筋疲労が生じなかったことを示唆する。RMSの減少が全試行で10%程度にとどまったことは、活動のための運動単位の動員がまだ十分残されている可能性を示している。MPFにおいては全試行で10%程度増加していることを考慮すれば運動単位の動員は十分残存している証拠となる。40%MVCと80%MVCで脊柱筋の活動不均衡を腰痛者と健康人で比較検討したOddson & DeLca⁷⁾は、80%MVCでは脊柱筋の活動不均衡が大きく増加することを明らかにしている。とくに健康者に比べて、腰痛者の脊柱筋の共同筋間の活動不均衡は拡大する傾向にあることを指摘している。腰痛者の不均衡性増大の原因として、MPFの減少は筋代謝産物である乳酸の産生に関連して、H⁺蓄積による細胞膜の伝導速度の低下で出現するとしている¹⁸⁻¹⁹⁾。さらに、MPFは伝導速度、活動電位の形状や筋温に関連して生じる可能性を指摘されている²⁰⁾。

本研究において、脊柱筋の間欠的背屈はMPFの減少を出現させず、しかもMVCの減少も生じさせない負荷であったことを示唆している。またもう一つの要因として、脊柱背屈の実施姿勢状態があげられる。通常脊柱背屈を実施すると、腹内圧を上昇させて脊柱の安定化を図るために腹部筋が活動する。そして脊柱筋の疲労が進むと腹部筋の活動も一層増加し脊椎間の維持に働くが、その腹部筋の疲労によって脊椎の安定化が崩壊することになるため、脊柱背屈が中止されることになる。本研究で採用した脊柱背屈姿勢は、受動的腹内圧が脊柱背屈保持中に維持され、腹部筋の活動の増加を抑制することで、筋疲労が軽減されたと考えられる¹²⁻¹⁴⁾。

さらに脊柱筋の相互対側間の背屈時において、等尺性筋収縮の活動不均衡性は間欠的10試行によってUNCIとCIに顕著な変化が出現した。RMS（Rrms）のUNCIは間欠的10試行が進むにつれほとんど変化しないのに対して、そのCIは間欠的10試行が進むにつれ増加傾向を示した。一方、MPF（Rmpf）のUNCIは間欠的10試行が進むにつれて減少していくのに対して、そのCIは間欠的10試行が進むにつれ有意な増加を示した（ $r=0.78$, $F=3.647$, $p<0.01$ ）。

これらの結果は、強い筋疲労を誘発させずに運動単位の補償的活動調節を働かせるものと考えられる¹⁸⁻¹⁹⁾。また、MPF（Rmpf）のCIに有意な減少傾向が認められたことは、本研究の間欠的収縮（DC:duety

cycle=0.2）が潜在的に生じていた筋活動の不均衡性を改善することに寄与する可能性を示唆している。

さらにRrmsとRmpfにおけるUNCIとCIの差は両者とも比例的に減少したが、Rrmsのそれには有意な差は認められなかった。それに対して、Rmpfでは有意な差が認められた（ $r=0.77$, $F=6.265$, $p<0.001$ ）。このことは、脊柱筋の対称性活動が同期性をもたらしたことに関係したものと考えられる¹¹⁾。

また、0.2DCの間欠的背屈は運動性充血をもたらし、脊柱筋の活動性を高めた可能性がある。腰痛者に限らず健康者においても脊柱筋の相互対側間の活動における対称性は均衡性に欠けるとことが指摘されている²¹⁾。この不均衡性を軽減させる筋活動は本研究で用いた0.2DCの間欠背屈が有効であると思われる^{11),22)}。

以上、今回の結果から受動的な腹内圧を付加した脊柱背筋の間欠的等尺性収縮は、軽度腰痛者において腰痛者ほどではない不均衡性の改善に活用できる可能性を示唆している²²⁾。また、とくに腰痛者は脊柱筋の相互対側間で活動対称が大きく不均衡になっているため、本実験プロトコルで用いた軽度等尺性収縮は腰痛の軽減に活用できる可能性があることを示唆した。今後は、腰痛患者における脊柱筋の活動不均衡について詳細な筋電図学的検討が必要である。

【謝辞】

稿を終えるにあたり、実験に協力いただきました皆様に感謝いたしますとともに、適切なご助言ご指導をくださいました東邦大学名誉教授 室増男先生、東京工科大学教授 菅原仁先生に心より感謝申し上げます。

【文献】

- 1) 厚生労働省 平成28年国民生活基礎調査の概況、Ⅲ世帯員の健康状況,1自覚症状の状況
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/index.html> (2019.11.4)
- 2) Ying,Xu,Elsa,Bach and Elsa,Orthede. (1997) Work environment and low back pain:the influence of occupational activities, Occupational and environmental medicine,54,741-745
- 3) 荒木秀明 (2012) 非特異的腰痛症の保存療法—運動制御障害の鑑別と積極的安定化運動の実際— 理学療法学, 39,542-544
- 4) Amir,Qaseem.Vincenza,Snow.Patricia,Barry.

- et al (2007) Current Diagnosis of Venous Thromboembolism in Primary Care: A Clinical Practice Guideline from the American Academy of Family Physicians and the American College of Physicians, *Annals of internal Medicine*, 146 (6) ,454-458
- 5) Amir,Qaseem.Timothy,J.Robert,M.et al (2017) Noninvasive Treatments for Acute, Subacute, and Chronic Low Back Pain: A Clinical Practice Guideline From the American College of Physicians,166 (7) ,514-530
- 6) 折田純久・稲毛一秀・志賀康浩・鈴木都・大鳥精司 (2017) 慢性腰痛の診断MB Orthop, 30:15-24,
- 7) Roger,Chou.Richad,Deyo.Jenna,Fredly.et al (2017) Nonpharmacologic Therapies for Low Back Pain: A Systematic Review for an American College of Physicians Clinical Practice Guideline. *Annals of Intemal Medicine*,166 (7) ,493-505
- 8) Oddsson Lars I.E. and Carlo J.De Luca. (2003) Activation imbalances in lumbar spine muscles in the presence of chronic low back pain, *J Appl physiol* 94:1410-1420,
- 9) De Luca CJ. (1993) Use of the surface EMG signal for performance evaluation of back muscles, *Muscle &Nerve* 16:210-216
- 10) Oddsson LIE, Giphart JE, Buijs RJC, Roysh, SH, Taylor HP, and De Luca CJ. (1997) Development of new protocols and analysis procedures for the assessment of LBP by surface EMG techniques, *J Rehabil Re Dev.* 34:415-426
- 11) Keenan KG, et al. (2012) Sensitivity of EMG-EMG coherence to detect the common oscillatory drive to hand muscles in young and older adults, *J Neurophysiol* 107: 2866-2875
- 12) Cholewicki J1, Ivancic PC, and Radebold A. (2002) Can increased intra-abdominal pressure in humans be decoupled from trunk muscle co-contraction during steady state isometric exertions?, *Eur J Appl Physiol*, 87:127-33
- 13) Essendrop M, Schibye B, and Hye-Knudsen C. (2002) Intra-abdominal pressure increases during exhausting back extension in humans, *Eur J Appl Physiol.* 87:167-73
- 14) Stokes IA, Gardner-Morse MG, and Henry SM. (2010) Intra-abdominal pressure and abdominal wall muscular function: Spinal unloading mechanism., *Clin Biomech.* 25:859-66
- 15) Vink P, Daanen HAM, and Verbout AJ. (1989) Specificity of surface-EMG on the intrinsic lumbar back muscle, *Hum Move Sci*, 8:67-78
- 16) 久田智之・工藤慎太郎・颯田季央 (2014) 固有背筋の表面筋電電極貼付け位置の検討, *理学療法科学*, 29:259-263
- 17) 佐藤寿晃・森直樹・千葉登 (2006) 随意収縮および電気刺激による筋疲労後の筋電図学的解析, *Yamagata J Health Sci*, 9:11-17
- 18) Brody LR, Pollock MT, Roy SH, De Luca CJ, and Celli B. pH (1991) induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal, *J Appl Physiol* 71: 1878-1885
- 19) Juel C. (1998) Muscle action potential propagation velocity changes during activity, *Muscle Nerve* 11: 714-719
- 20) Merletti R, Sabbahi MA, and De Luca CJ. (1984) Median frequency of the myoelectric signal. Effects of muscle ischemia and cooling, *Eur J Appl Physiol* 52: 258-265
- 21) Lariviere C, Gagnon D, A.Bertrand Arsenault AD, ravel D, and Loisel P. (2005) Electromyographic activity imbalances between contralateral back muscles: An assessment of measurement properties, *J Rehabil Re Dev.* 42:235-250
- 22) Moritani T, Muro M, and Oda S. (1992) Myoelectric signal characteristics in lumbar back muscles during fatigue *Int J Ind Ergon.* 9:151-56

Relationship between activation imbalances and intermittent isometric contractions in lumbar spine muscles

Tatsuya NAGASU¹⁾ • Yoshiko KOORI¹⁾
• Yasuhiro HASHIMOTO¹⁾ • Norimitsu KAI¹⁾

1) Department of Life Care, Teikyo Junior College

【Abstract】

【Purpose】 Surface electromyographic (EMG) imbalances of spinal synergistic muscles are often interpreted as aberrant pattern related back pain and its imbalance make not only a patient of back pain but also in healthy adults. The aim of this study was to investigate the effect of activation imbalances with intermittent isometric contractions in paraspinal muscles of healthy males.

【Methods】 Healthy subjects (7 males; age 20-72 years) performed tow maximal voluntary contraction and intermittent isometric trunk extension for 30s (10 times; interval 2 minutes) as exerted intra-abdominal pressure. Surface electromyography (EMG) collected from 2 pairs of spinal muscles (multifidus and spinae) using minutia pair electrodes (ϕ 5mm; distance 1.5mm). EMG parameter indicating contralateral imbalances in root-mean-square (RMS) amplitude and mean power frequency (MPF) were calculated separately from the sample-by-sample ratio (left EMG divided by right EMG) of the two signals for 27 seconds. Activation imbalance of spinal synergistic muscles were uncompensated imbalance (UNCI) as the mean across the two symmetric muscle of absolute value of segmental ratios and compensated imbalance (CI) as the mean of segmental ratios across all muscles.

【Results】 MVC was not decreased by comparison with before (45.9 ± 4.7 kg) and after (48.2 ± 5.3 kg) in intermittent isometric trunk extension. RMS was decreased about 10% and MPF was increased about 10% during intermittent isometric trunk extension. RMS and MPF imbalances were present all subjects. UNCI in RMS was not increased but CI was increased with intermittent trunk contractions, and UNCI in MPF was decreased but showed only significantly in CI ($F=3.647$, $p<0.01$). Furthermore,, in MPF imbalances the differences of UNCI and CI were decreased significantly with intermittent contractions ($F= 6.265$, $r=0.77$, $p<0.001$).

【Discussion/Conclusion】 These results suggest that activation imbalances were reduced due to improvement of neuromuscular control and/or intramuscular physiological changes such as increase of blood flow induced by intermittent isometric contractions.

【Key words】 Spinae, EMG imbalance, Intermittent contraction