



トランクカール中の呼吸方法と 体幹筋の筋活動量との関係

内山秀一 (体育学部体育学科)

Effects of Breathing Maneuvers for the Trunk Muscle Activities during Trunk-curl Exercise

Shuichi UCHIYAMA



Abstract

The purpose of this study was to investigate that the effects of breathing maneuvers for trunk muscle activities during trunk-curl exercise. The subjects were healthy ten men. Four different breathing maneuvers were a) spontaneous breathing, b) expiration during the upward phase, c) breath-holding on a maximal inhalation level, and d) breath-holding on a maximal exhalation level during trunk-curls. Surface electromyography (EMG) was recorded from the upper rectus abdominis (URA), the lower rectus abdominis (LRA), the obliquus externus (OE), and the fusion site of obliquus internus and transversus abdominis (OI-TrA). The level of muscle activity was calculated by root mean square (RMS) values for a 1s interval in the middle of the upward phase divided by trunk angle data, and expressed in the percentage of EMG during an isometric maximal voluntary trunk-curl in a supine position. In the results, comparison of the muscle activity level between each muscle during breathing maneuvers showed that LRA was the highest in the breath-holding on a maximal inhalation level, and OI-TrA was the highest in the breath-holding on a maximal exhalation level. There was no significant difference between URA and OE during different breathing maneuvers.

Therefore, it was shown that the level of trunk muscle activity varied according to different breathing maneuvers during trunk-curls. Additionally, it was considered that trunk-curls on the breath-holding on a maximal exhalation level were particularly an effective breathing for increasing the muscle activity of OI and/or TrA involved in trunk stabilization.

Key Words: trunk curl exercise, trunk muscle, breathing maneuvers

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 25, 29-36, 2013)

I. 緒 言

近年、脊柱の運動や、姿勢の保持、体幹の安定性に関連するとされる体幹筋の役割や重要性が指摘^{1,2)}されている。腹直筋や外腹斜筋、脊柱起立

筋などに代表される表層筋群は、脊柱の関節運動や、四肢の運動によって起こる反力からの重心動揺に対して反力が加わる反対側の表層筋群が活動することで、身体の重心制御やコントロールに関与していると報告されている¹⁾。また、腹横筋や内腹斜筋などに代表される深層筋群は、四肢の運

動方向に関わらず動作前に先だて活動¹⁾し、着地動作の前には腹腔内圧の上昇とともに体幹の安定性に関与して活動していることが報告されている²⁾。これらのことから、腹直筋や外腹斜筋などの表層筋群だけでなく、腹横筋や内腹斜筋といった深層筋群を鍛えることは、日常生活やスポーツの場面にとって非常に重要なことであると考えられる。

近年、様々な体幹筋のトレーニングが実践され、その効果について筋電図学的手法を用いて多くの検証がなされている^{3,4,5)}。特に、トランクカールは、体幹筋のトレーニングとして代表的な種目であり、スポーツ選手だけでなく一般の人まで、幅広い層に腹筋のトレーニングとして非常に良く行われている。トランクカールの方法に関して、Uchiyama et al.⁴⁾は手の位置を変化させることや、捻ることによって体幹の筋活動量が異なることを報告している。また、Francisco et al.⁵⁾はトランクカールの動作速度を速くすることによって、体幹の筋活動量が増加することを報告している。このように、トレーニングを行う際、筋活動量に影響する要因を明らかにすることは、より安全で効果的なトレーニング方法を考える上で重要である。

さらに、体幹の筋群は呼吸運動とも関連し、腹筋群は呼気筋としても活動すること⁶⁾が明らかにされている。Abe et al.⁷⁾は、呼気時には、腹横筋と内腹斜筋の筋活動が腹直筋、外腹斜筋と比較して高値を示し、呼気量の増加に伴って体幹の筋活動が増加することを報告している。また、Misuri et al.⁸⁾は最大呼気時に、腹横筋と内腹斜筋の筋厚が増加し、筋活動が高まることを示唆している。これらのことから、体幹筋の中でも、深層筋群である腹横筋や内腹斜筋が呼吸運動と密接に関わっていることが推察される。

これらのことから、トランクカール中には腹直筋が最も高い筋活動量を示す^{4,5)}が、運動中の呼吸方法をコントロールすることで、深層筋群である腹横筋や内腹斜筋の筋活動量が高まると考えられる。しかし、トランクカールを行う際の呼吸方

法と体幹の筋活動量との関係を検証した研究はみられない。

深層筋群である腹横筋や内腹斜筋の筋活動の様相や変化は、侵襲的であるワイヤー電極が一般的に用いられ、表面筋電図法では評価が難しいとされているが、McGill et al.⁹⁾は体幹の屈曲や伸展、回旋などのいくつかの動作時にワイヤー電極で導出した腹横筋、内腹斜筋の筋活動量と、表面電極で導出した内腹斜筋の筋活動量とに強い相関関係がみられ、深層筋群の筋活動を表面電極より評価ができる可能性を示唆している。また、Marshall et al.¹⁰⁾は上前腸骨棘より約2 cm 内下方に位置する部位は、内腹斜筋と腹横筋が融合しており、外腹斜筋に覆われていない部位であることを解剖によって明らかにし、表面電極によって導出した内腹斜筋と腹横筋の融合部から得られる筋活動は、素早い上肢の運動と関連して最も早期に活動がみられることから、深層筋群の特徴を反映していると報告している。

本研究では、トランクカール中の呼吸方法と体幹筋の筋活動量との関係について、異なる呼吸方法によるトランクカール中の体幹筋の筋活動量の比較をすることから、より高い体幹筋活動量をもたらすトランクカールの方法を検討することを目的とした。

II. 実験方法

1) 被験者

被験者は、健康な成人男性10名（年齢 24.0 ± 0.7 歳、身長 173.0 ± 5.4 cm、体重 69.0 ± 5.7 kg、Mean \pm SD）であった。なお、東海大学における「人を対象とした研究についての倫理審査委員会」の承認を受け、被験者に同意を得て実験を行った。

2) 試技

試技は、平坦な腹筋台の上で両手を後頭部で組み、膝関節を90度に屈曲した仰臥位から、体幹を屈曲し肩甲骨が腹筋台から離れるまで上体を起こ

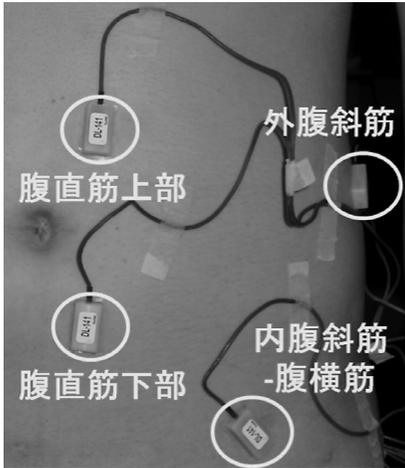


写真1 電極貼付位置
Photo 1. A part of past on the electrodes.

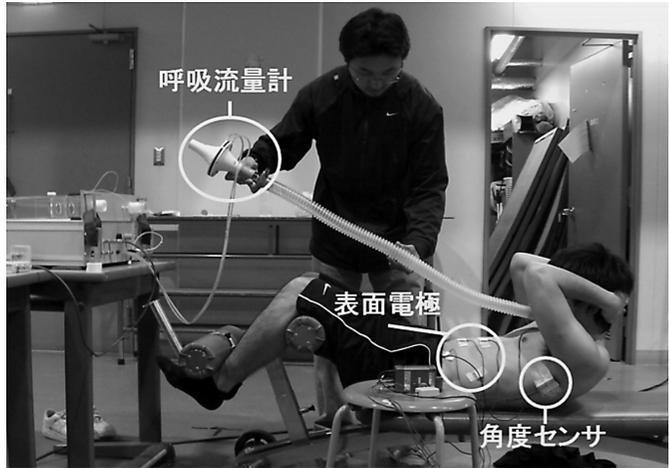


写真2 測定風景と測定機器
Photo 2. Apparatus for this experiment.

すトランクカール^{3,4,5)}とした。

運動のリズムは、体幹の屈曲局面、保持局面、伸展位の各局面2秒間の計6秒とし、休息局面4秒間の合計10秒間を3回繰り返した。リズムは、被験者がメトロノームの音に合わせて行うことにより規定した。

試技中の呼吸方法は、

- a) 呼吸方法による指示なしで行う:「指示なし」
- b) 屈曲局面間で息を吐きながら行う:「呼息」
- c) 運動開始前に息を最大に吸ってから、息を止めて行う:「最大吸位」
- d) 運動開始前に息を最大に吐いてから、息を止めて行う:「最大呼位」

の4条件とした。各条件での実施順序はランダムとし、条件間には2分以上の休息を空け、実施させた。

3) 測定項目と測定方法

(1) 筋電図 (Electromyography: EMG) の導出

被験筋は、腹直筋上部、腹直筋下部、外腹斜筋、内腹斜筋と腹横筋の融合部(内腹斜筋-腹横筋)の4箇所とし、全て左側のみ表面筋電図法により導出した(写真1)。表面電極貼付部を除毛し、アルコール綿と皮膚前処理剤(スキンピュア、日本光電社製)で十分に拭き、表面電極を貼

付した。表面電極にはActive筋電図センサ(DL-141, S&ME社製)を用いた。

表面電極貼付部位は、腹直筋上部と下部が腱画を避け臍から左側約2cm外側、臍の高さから上方約3cmと下方約3cmを基準¹¹⁾、外腹斜筋が臍から左側約15cm外側を基準¹⁰⁾、内腹斜筋-腹横筋の融合部が上前腸骨棘から約2cm内下方を基準^{2,10)}とした。本研究での内腹斜筋-腹横筋の貼付部位は、腹横筋と内腹斜筋が融合しており、外腹斜筋に覆われていない部位として表面筋電図から測定可能とされている^{9,10)}。

得られた筋電図(EMG)は、基礎医学研究システムBio Log(DL-3000, S&ME社製)を用い、サンプリング周波数1000Hzでデジタル変換されパーソナルコンピュータ(Let's note CF-Y8, Panasonic社製)に記録された。

(2) 角度と呼吸のモニター

試技中の動作局面を明らかにするために、角度センサ(DL-210, S&ME社製)を第12胸椎の延線上の左側の体側部に支点がくるように貼付(写真2)し、体幹の屈曲角度を測定した。得られたデータは、筋電図と同時記録した。

また、試技中の呼吸方法については、呼吸流量計(MLT1000L Respiratory Flow Head, AD Instruments社製)を用いて(写真2)、呼吸の様相をモニターし、メタボリックシステム

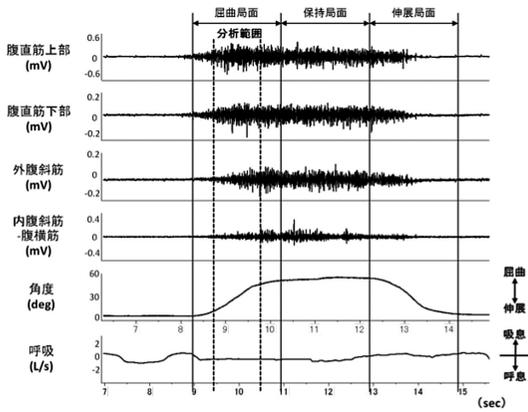


図1 試技中の記録の典型例 (呼吸方法は「指示無し」)
Fig. 1 Typical recording.

(ML240 & PowerLab/8M, AD Instruments 社製) を用いて記録した。

4) データ処理

得られたデータから、体幹の屈曲角度により動作局面を屈曲局面、保持局面、伸展局面に分けた (図1)。EMGの分析は、解析ソフト Chart5 (AD Instruments 社製) を使い、屈曲局面間の中央1秒間の Root Mean Square (RMS) 値を算出し、最大等尺性随意収縮 (Maximum Voluntary Contraction: MVC) 時の RMS 値に対する割合 (% MVC) で正規化、試技3回の平均値を算出し筋活動量とした。

MVCは、膝を屈曲した仰臥位で両手を後頭部で組み、肩甲骨が地面から離れるまで上体を起こし、更に上体を起こそうとする力発揮方向に対して徒手抵抗を加え3秒間の力発揮を3回測定した¹²⁾。MVC時のRMS値は、安定して得られた1秒間の値を試技3回の平均値で算出した。

5) 統計処理

各データは平均値±標準偏差で示した。統計学的有意差検定には、筋、呼吸法の2要因について対応のある二元配置分散分析、多重比較検定には Bonferroni法を用いた。なお、有意水準はそれぞれ5%未満とした。

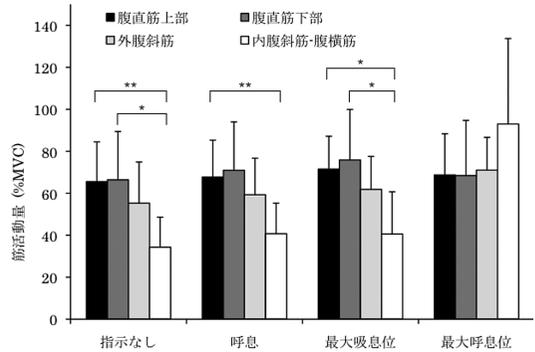


図2 呼吸方法による筋間の筋活動量の比較 (n=10, * : p<0.05, ** : p<0.01)
Fig. 1 Muscle activities for different maneuvers. (n=10, * : p<0.05, ** : p<0.01)

Ⅲ. 結果

呼吸方法による筋間の筋活動量の比較を図2に示した。「指示無し」では内腹斜筋-腹横筋 (34.3 ± 14.3 % MVC) に比較して、腹直筋上部 (65.5 ± 19.0 % MVC) と腹直筋下部 (66.4 ± 23.0 % MVC) で有意に高い筋活動量が認められた (p<0.05)。「呼息」では内腹斜筋-腹横筋 (40.7 ± 14.5 % MVC) に対して、腹直筋上部 (67.8 ± 17.5 % MVC) で有意に高い筋活動量が認められた (p<0.01)。「最大吸息位」では内腹斜筋-腹横筋 (40.6 ± 20.1 % MVC) に比較して、腹直筋上部 (71.5 ± 15.6 % MVC) と腹直筋下部 (75.9 ± 24.1 % MVC) で有意に高い筋活動量が認められた (p<0.05)。「最大呼息位」ではそれぞれの筋間で統計学的有意差は認められなかった。

各筋における呼吸方法ごとの筋活動量の差異を図3～図6に示した。各筋の条件ごとの筋活動量の比較は、腹直筋上部では「指示無し」(65.5 ± 19.0 % MVC)、「呼息」(67.8 ± 17.5 % MVC)、「最大吸息位」(71.5 ± 15.6 % MVC)、「最大呼息位」(68.7 ± 19.6 % MVC) であり、それぞれの呼吸方法の間で統計学的有意差は認められなかった (図3)。腹直筋下部では「指示なし」(66.4 ± 23.0 % MVC)、「呼息」(71.0 ± 23.0 % MVC)、「最大吸息位」(75.9 ± 24.1 % MVC)、「最大呼息位」(68.4 ±

26.3% MVC) であり、「最大吸息位」が最も高い筋活動量を示し、「指示なし」「呼息」に比較して有意に高い筋活動量が認められた ($p < 0.05$) (図4)。外腹斜筋では「指示無し」($55.3 \pm 19.6\%$ MVC)、「呼息」($59.3 \pm 17.4\%$ MVC)、「最大吸息位」($61.8 \pm 15.7\%$ MVC)、「最大呼息位」($71.0 \pm 15.6\%$ MVC) であり、それぞれの呼吸方法の間で統計学的有意差は認められなかった (図5)。内腹斜筋-腹横筋では「指示無し」($34.3 \pm 14.3\%$ MVC)、「呼息」($40.7 \pm 14.5\%$ MVC)、「最大吸息位」($40.6 \pm 20.1\%$ MVC)、「最大呼息位」($93.0 \pm 40.7\%$ MVC) であり、「最大呼息位」が最も高い筋活動量を示し、「指示なし」「呼息」「最大吸息

位」との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$) (図6)。

IV. 考察

本研究では、異なる呼吸方法 (「指示無し」、「呼息」、「最大吸息位」、「最大呼息位」) によるトランクカール中の体幹筋の筋活動量を比較することから、より高い体幹筋活動量をもたらすトランクカールの方法を検討することを目的とした。

呼吸方法による筋間の筋活動量の比較では、「最大呼息位」を除く全ての試技で腹直筋上部と

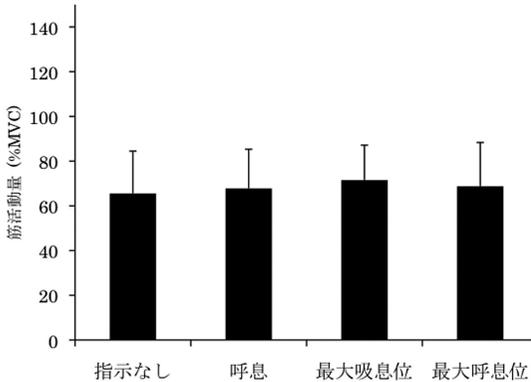


図3 腹直筋上部における呼吸方法ごとの筋活動量の違い (n=10)
Fig. 3 The upper rectus abdominis activities for different maneuvers.

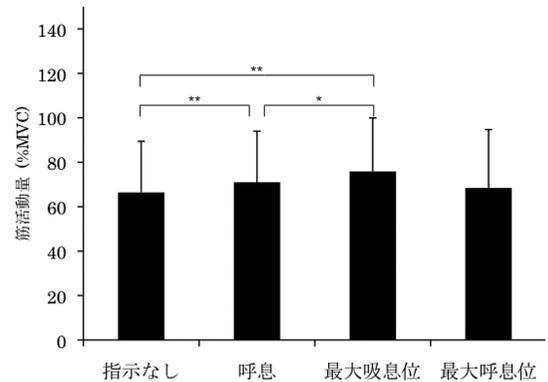


図4 腹直筋下部における呼吸方法ごとの筋活動量の違い (n=10, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)
Fig. 4 The Lower rectus abdominis activities for different maneuvers. (n=10, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

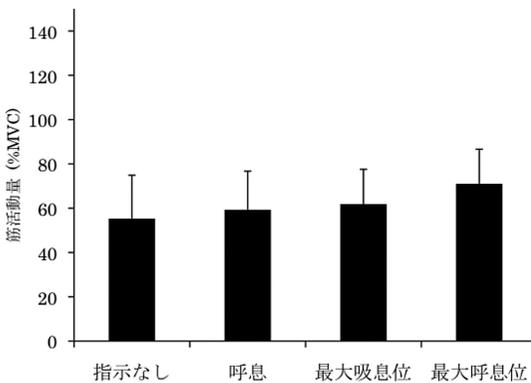


図5 外腹斜筋における呼吸方法ごとの筋活動量の違い (n=10)
Fig. 5 The obliquus externus activities for different maneuvers.

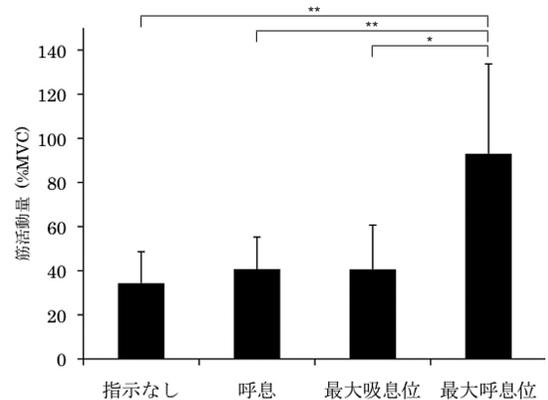


図6 内腹斜筋-腹横筋における呼吸方法ごとの筋活動量の違い (n=10, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)
Fig. 6 The obliquus internus and the transversus abdominis activities for different maneuvers. (n=10, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

腹直筋下部がそれぞれ高い筋活動量を示した。このことは、腹直筋の主な解剖学的機能が脊椎の屈曲に参与し¹³⁾、トランクカールが体幹の屈曲運動であることから、腹直筋上部と腹直筋下部が高い筋活動量を示したと考えられる。一方、外腹斜筋と内腹斜筋は主に体幹の回旋や側屈といった機能に参与する¹³⁾とされている。トランクカールは体幹の回旋運動を伴わず、わずかに胸椎を曲げる範囲で行う体幹の屈曲運動であることから、「最大呼息位」を除く全ての試技において外腹斜筋、内腹斜筋-腹横筋の筋活動量が低値を示したのではないかと考えられる。また、全試技において腹直筋上部と腹直筋下部とで有意な差は認められなかった。このことについて Clark et al.¹¹⁾は、トランクカールを含む6種類の腹部エクササイズにおいて腹直筋の上部と下部の筋活動量を比較し、両部位間に差はみられなかったことを報告しており、本研究においても同様な傾向を示したと考えられる。

各筋における呼吸方法ごとの筋活動量の比較では、「最大吸息位」で腹直筋下部が最も高い筋活動量を示し、「最大呼息位」で内腹斜筋-腹横筋が最も高い筋活動量を示した。「最大吸息位」で腹直筋下部が最も高い筋活動量を示したことについて Nava et al.¹⁴⁾は、呼息運動を組み合わせた最大吸息法では、吸気筋である横隔膜の筋活動の増加と同時に、呼気筋である腹直筋の筋活動が認められることを報告している。また、金子ら¹⁵⁾も同様に、最大吸気圧測定による最大吸気努力時に表層筋である腹直筋の筋活動が認められ、測定の反復に伴って筋活動量の増加がみられたが、反対に深層筋である内腹斜筋の筋活動は、減少していくと報告している。また、Hershenson et al.¹⁶⁾によれば、最大吸気時に腹直筋の筋活動が認められることに関して、呼吸中は横隔膜が収縮することによって腹筋群が伸張され、逆に腹筋群が収縮することによって横隔膜が伸張されるという拮抗筋としての役割を持っており、このことは強い活動がみられる拮抗筋側が、弱い活動をしている拮抗筋側の影響によって抑制されるものであるとして

いる。双方において適度な収縮がみられなければ胸腹部の形状のゆがみを招くとし、過度な形状の変化は呼吸に参与する横隔膜の筋活動を低下させることを示唆している。これらのことから、本研究において「最大吸息位」では息を最大に吸う前の呼息運動や、最大吸息運動に伴う腹部形状の変化を維持するために腹直筋下部の筋活動量が増加したのではないかと推察される。

また、「最大呼息位」で内腹斜筋-腹横筋が最も高い筋活動量を示したことについて、呼気中は、腹横筋と内腹斜筋の筋活動が高値を示し、呼気量の増加に伴って腹横筋、内腹斜筋、外腹斜筋、腹直筋の順で筋活動が増加することが報告されている⁷⁾。また、最大呼気時には、腹横筋と内腹斜筋の筋厚が増加し、筋活動が高まることが示唆され、腹横筋の筋厚の増加と腹圧の上昇とに強い相関関係が認められている⁸⁾。Hodges and Gandevia¹⁷⁾は、上肢を繰り返し素早く動かした際の腹圧の変化や、その際の呼吸筋（横隔膜や体幹筋）の筋活動の様相を評価しており、上肢の運動の間、吸気時には横隔膜が、呼気時には深層筋である腹横筋が相互的に活動して腹圧の上昇に参与していることを明らかにし、腹直筋や外腹斜筋などの表層筋群では呼吸による筋活動の変化はみられなかったとしている。また、腹圧の変化や体幹筋の筋活動は上肢の運動による反力の増加に比例して増加することも報告されており、深層筋の筋活動増加による腹圧の上昇には体幹の安定性に参与していることが推察される。腹圧に関して Cresswell et al.¹⁸⁾は、体幹の屈曲、伸展、回旋、声門を閉じた状態での呼気運動（バルサルバ法）といったいくつかの動作時の腹腔内圧と腹筋群との関係を検証しており、体幹屈曲での最大等尺性運動では腹腔内圧の上昇とともにすべての腹筋群で高い筋活動を示したが、体幹伸展での最大等尺性運動では腹腔内圧の上昇とともに深層筋である腹横筋、内腹斜筋の筋活動は高い筋活動を示したのに対して、表層筋である腹直筋、外腹斜筋の筋活動はほとんどみられなかったことを明らかにしている。さらに、バルサルバ法によってみられる

腹腔内圧の高い値は、腹横筋の高い値に伴って上昇していたことから、腹腔内圧には深層筋である内腹斜筋、特に腹横筋の筋活動が主要な誘因であることを示唆している。加えて、Hodges et al.¹⁹⁾は、腹腔内圧と脊柱の安定性との関係について、腹筋群や脊柱の筋の筋活動を抑制した状態では、腹腔内圧が増加し、L4、L2の脊椎の堅さの増加を発生することを明らかにし、腹腔内圧の増加と脊柱の安定性との強い相関関係が認められたことを報告した。これらのことから、本研究において「最大呼息位」で内腹斜筋-腹横筋の筋活動量が高値を示したことは、呼気量の増加による最大呼息運動で行うことによって深層筋である内腹斜筋、腹横筋の筋活動量が高値を示し、加えて腹圧の上昇に伴う脊柱の安定性に関与しているのではないかと推察される。

このようにトランクカールを行う際、「最大吸息位」では腹直筋下部が、「最大呼息位」では内腹斜筋-腹横筋の筋活動量が高値を示し、呼吸方法の違いによって体幹の筋活動量が異なることが示された。特に、「最大呼息位」では体幹の各筋間においても顕著な差がなく高値を示し、スポーツや日常生活の場面において重要とされる姿勢保持や体幹の安定性に関与するとされる内腹斜筋や腹横筋の筋活動量が高まる「最大呼息位」でのトランクカールが有効な方法であることが示唆された。

V. まとめ

本研究では、筋電図学的手法を用い、異なる呼吸方法によるトランクカール中の体幹筋の筋活動量の比較をすることから、より高い体幹筋活動量をもたらすトランクカールの方法を検討することを目的とした。その結果、トランクカール中の呼吸方法は、「最大吸息位」で腹直筋下部の筋活動量が最も高値を示し、「最大呼息位」で内腹斜筋-腹横筋の筋活動量が最も高値を示した。腹直筋上部と外腹斜筋は、呼吸方法の違いによって筋活動

量に有意な差は認められなかった。

以上のことから、トランクカール中の呼吸方法の違いによって体幹の筋活動量が異なることが示され、特に、姿勢保持や体幹の安定性に関与するとされる内腹斜筋や腹横筋の筋活動量が高まる「最大呼息位」でのトランクカールが有効な方法であることが示唆された。

参考文献

- 1) Hodges PW, and Richardson CA. (1997) Feedforward contraction of transverses abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res*, 114 : 362-370.
- 2) 河端将司・加賀谷善教・島典広・西蘭秀嗣 (2008) ドロップジャンプ動作中における体幹の筋活動および腹腔内圧の変化. *体力科学*, 57 : 225-234.
- 3) 半田徹・加藤浩人・長谷川伸・岡田純一・加藤清忠 (2009) 腹部トレーニング7種目における腹直筋上部、腹直筋下部、外腹斜筋および大腿直筋の筋電図学的研究. *体育学研究*, 54 : 43-54.
- 4) Uchiyama S, Tinmark F, Bjerkefors A, Ekblom M, Welin L, and Thorstensson A. (2009) Effects of arm position and twist direction on abdominal muscle activation during trunk curl exercises. *14th Annual Congress of ECSS*, 371.
- 5) Vera-Garcia FJ, Flores-parodi B, Elvira JLL, and Sarti MA. (2008) Influence of trunk curl-up speed on Muscular recruitment. *J. Strength Cond. Res*, 22 (3) : 684-690.
- 6) 宮村実晴・古賀俊策・安田好文 編. (1998) 呼吸—運動に対する応答とトレーニング効果—. NAP社 : 東京, pp.19.
- 7) Abe T, Kusahara N, Yoshimura N, Tomita T, and Easton PA. (1996) Differential respiratory activity of four abdominal muscles in humans. *J. Appl. Physiol*, 80 : 1379-1389.
- 8) Misuri G, Colagrande S, Gorini M, Landelli I, Mancini M, Duranti R, and Scano G. (1997) In vivo ultrasound assessment of respiratory function of abdominal muscles in normal subjects. *Eur Respir J*, 10 : 2861-2867.
- 9) McGill S, Juker D, and Kropf P. (1996) Appropriately placed surface EMG electrodes reflect

- deep muscle activity (psoas, quadrates lumborum, abdominal wall) in the lumbar spine. *J. Biomechanics*, 29 : 1503-1507.
- 10) Marshall P, and Murphy B. (2003) The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *J. Electromyography and Kinesiology*, 13 : 477-489.
- 11) Clark KM, Holt LE, and Sinyard J. (2003) Electromyographic comparison of the upper and lower rectus abdominis during abdominal exercises. *J. Strength Cond. Res*, 17 (3) : 475-483.
- 12) 沢井史穂・実松寛之・金久博昭・角田直也・福永哲夫 (2006) 基本的日常生活動作中の体幹および下肢の筋活動水準の男女差. *体力科学*, 55 : 247-258.
- 13) Thompson CW, Floyd RT. 著. 中村千秋, 竹内真希. 訳. (2002) 身体運動の機能解剖学 改訂版. 医道の日本社 : 東京, pp.217-222.
- 14) Nava S, Ambrosino N, Crotti P, Fracchia C, and Rampulla C. (1993) Recruitment of some respiratory muscles during three maximal inspiratory manoeuvres. *Thorax*, 48 : 702-707.
- 15) 金子秀雄・永井良治・吉住浩平 (2010) 最大吸気圧測定の際に伴う呼吸筋活動の変化. *理学療法科学*, 25 (4) : 487-492.
- 16) Hershenson MB, Kikuchi Y, and Loring SH. (1988) Relative strength of the chest wall muscles. *J. Appl. Physiol*, 65 : 852-862.
- 17) Hodges PW, and Gandevia SC. (2000) Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *J. Appl. Physiol*, 89 : 67-976.
- 18) Cresswell AG, Grundstrom H, and Thorstensson A. (1992) Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 144 : 409-418.
- 19) Hodges PW, Eriksson AEM, Shirley D, and Gandevia SC. (2005) Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *J. Biomechanics*, 38 : 1873-1880.