



水入りエクササイズボールによる トランクツイスト時の体幹筋群の活動量

内山秀一 (東海大学体育学部体育学科) 諏訪部和也 (横浜市スポーツ医科学センター)

水島茂樹 (水島整形外科クリニック)

The Trunk Muscle Activities during the Trunk Twisting with the Exercise-ball Containing Water

Shuichi UCHIYAMA, Kazuya SUWABE and Shigeki MIZUSHIMA



Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of trunk muscle activities during trunk-twist exercise with five kilograms of medicine ball (TM) and a same size and weighted the exercise-ball containing water (TW). Ten adult men performed ten repetitions TM and TW. The exercise movement was divided three phases, which were the acceleration phase (1st), the deceleration phase (2nd) and the keeping phase (3rd) by acceleration sensor on the left hand. The surface electromyography (EMG) was recorded on the left-side muscles “rectus abdominis (RA), external oblique (EO), internal oblique-transversus abdominis (IO-TrA) and erector spinae (ES)”. The muscle activities were calculated the percentage of root mean squared value at the maximum voluntary contractions in each subject. During the muscle activity of twisting from right side to left side, the activity in all muscle on 1st phase was higher than the 2nd and 3rd phases in TM and TW. The muscle activity in 1st phase in TW was the higher value than TM. These results suggest that the trunk-twist exercise with a weighty ball cause highly trunk muscle activity during the first acceleration phase the trunk movement. Furthermore, using the exercise-ball containing water would be more effective than the same weighed the medicine ball.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 26, 7-16, 2014)

I. 緒言

体幹は、身体運動やスポーツ競技において、姿勢の制御や四肢の力を効率よく伝達するために重要な役割を果たすと言われている。腹直筋や脊柱起立筋に代表される表層筋群は、関節運動や身体重心のコントロールに関与し、腹横筋や内腹斜筋に代表される深部筋群は、主に脊柱や骨盤の安定

性に関与していることが報告されている¹⁾。また、スポーツ競技においては、体幹回旋筋力がやり投げ選手の競技成績や、野球選手のスイング速度に影響を及ぼすことが報告されている^{2,3)}。こうした背景をもとに、体幹筋強化の重要性が注目されている。

体幹筋を強化するためのトレーニング方法のひとつに、メディシンボールを用いたトランクツイストがある。メディシンボールは投げる、振るな

どのような動作において上下、前後、左右、様々な方向に負荷をかけることが可能なトレーニング器具である。実際のトレーニング現場でもメディシンボールを用いて体幹を左右に捻るトランクツイスト (Trunk twist with a medicine ball : TM) などが実践されている⁴⁾。また、水の動きが負荷となることを期待した水入りエクササイズボールを用いる場合 (Trunk twist with an exercise-ball containing water : TW) がある。しかし、水入りエクササイズを用いたトレーニングは、現場の指導者の主観的な感覚によって行なわれているものであり⁵⁾、トレーニング時の体幹筋群の活動量を定量的に検証した報告はない。

トレーニングや運動中の筋活動の様相や変化を明らかにしようとする際には、各筋の活動電位を計測する筋電図法を用いることが多い。中でも、皮膚上に電極を貼り付ける表面筋電図法⁶⁾は、生体に対して無侵襲で比較的簡便に、継時的に筋活動を計測できる方法である。また、無拘束に計測できるため、随意運動時の計測が可能であるなどの点から、筋活動の解析や筋疲労の評価、動作識別等に広く用いられている。さらに、体幹筋群の活動を検証する際には、表層筋である腹直筋や外腹斜筋に加え、深層筋である内腹斜筋や腹横筋の活動量を測定する必要があるが、それに用いられるワイヤー電極は、身体への侵襲を伴い実際に行なうことは難しい。しかし、McGill S. et al.⁷⁾は、内腹斜筋や腹横筋の活動量が、解剖学的に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 (内腹斜筋と腹横筋の融合部) に表面電極を貼付することで計測できることを示している。

そこで本研究では、表面筋電図法を用いて、体幹筋群のトレーニング種目であるトランクツイストをメディシンボールと水入りエクササイズボールを用いて行った際の体幹筋群の活動量を比較することから、水入りエクササイズボールを負荷として用いることの有効性について検証することを目的とした。

Ⅱ. 実験方法

1. 被験者

被験者は、健常な成人男性10名 (身長 : 173.1 ± 4.7cm, 体重 : 69.7 ± 6.1kg, 年齢 : 23.9 ± 0.6歳) であった。本研究計画は、東海大学「人を対象とした研究倫理審査委員会」承認を得て、被験者に事前に実験の目的、方法、安全性について口頭で説明を行い、実験の内容を理解し同意を得た上で、実験に参加させた。

2. 運動

運動は、メディシンボールを用いて体幹を左右に捻るトランクツイスト (Trunk twist with a Medicine ball : TM) と、メディシンボールと同じ大きさで中に水を注入した水入りエクササイズボールによるトランクツイスト (Trunk twist with an exercise-ball containing water : TW) とし、各ボールの重量はそれぞれ5kgとした。各トランクツイストは、下半身の捻りを伴わないようにするため膝立ち姿勢で行わせ、骨盤が回旋しないように指示した。また、運動中のボールの高さは胸の高さとするよう指示した (図1)。

反復回数は左右に各5回、計10回とした。運動のリズムは、2秒に1回とし、メトロノーム音に合わせて、全力での動作の後、次の合図までは捻ったままの姿勢を保持することとした。

3. 測定項目と測定方法

1) 被験筋と筋電図 (Electromyography : EMG) の導出方法

被験筋は、左側の腹直筋 (Rectus Abdominis : RA)、外腹斜筋 (External Oblique : EO)、内腹斜筋と腹横筋の融合部 (Internal Oblique - Transversus Abdominis : IO-TrA)、脊柱起立筋 (Erector Spinae : ES) とし、表面筋電図法を用いて筋電図 (EMG) を導出した (図2)。EMG導出のための電極にはActive筋電図センサ (DL-141, S&ME社製) を用いた。電極貼付部位は、RAで

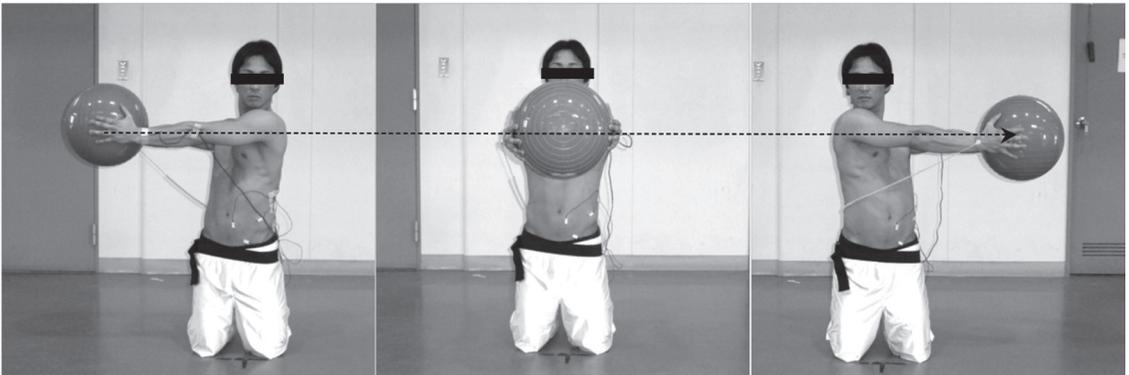


図1 測定試技：水入りエクササイズボールを用いた右⇒左のトランクツイスト
Fig. 1 The trunk twist exercise with an exercise-ball containing water (right to left).

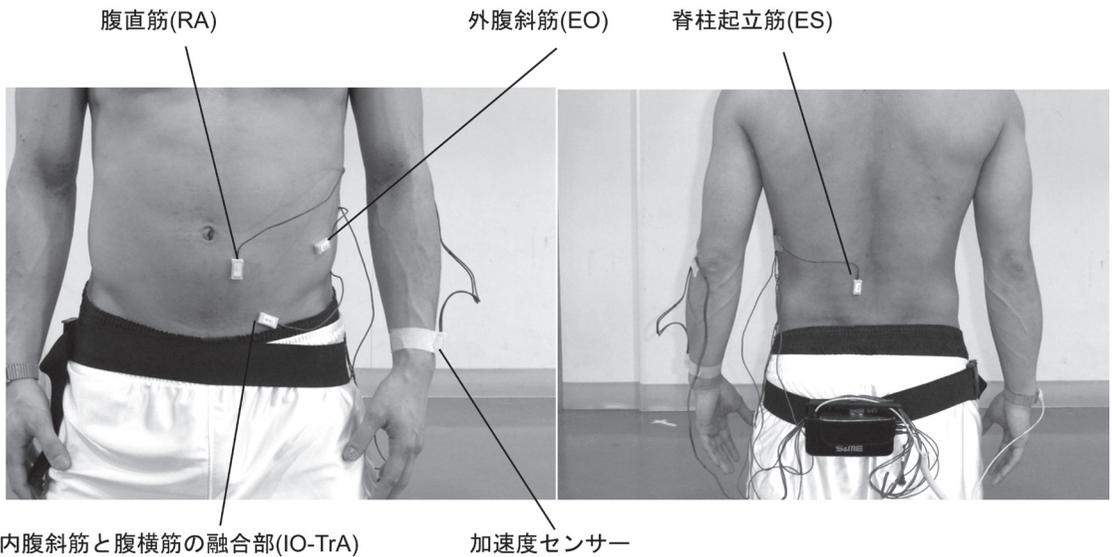


図2 表面電極及び加速度センサーの添付位置
Fig. 2 The placements of electrodes for EMG and acceleration sensor.

は臍を避け臍から外側約 2 cm で下方約 3 cm、EO では臍から左側約 15 cm 外側、IO-TrA では上前腸骨棘から約 2 cm 内側で 2 cm 下方、ES では第 3 腰椎棘突起から外側約 3 cm を基準とし⁷⁾、触診で確認し、貼付した。電極の貼付に先立ち、電極貼付部位を除毛し、皮膚処理剤（スキンピュア，日本光電社製）とアルコール綿で十分に拭き取り電極間皮膚抵抗を落とした。得られた EMG は、アクティブ電極（FA-DL-141, S&ME 社製）を用い、無線式データロガー-システム BioLog（DL-3000, S&ME 社製）にサンプリング周波数

1000Hz で記録した。

2) 3 軸加速度センサによるトランクツイスト動作の局面分け

3 軸加速度センサ（DL-111, S&ME 社製）を左手首に貼付し（図 2）、EMG と同時記録した。得られた水平方向の加速度変化から動作局面を以下の 3 つに分けた（図 3）。

局面 1：加速度の立ち上がりから最大値まで

局面 2：加速度の最大値から最小値まで

局面 3：加速度の最小値から次の動作直前まで

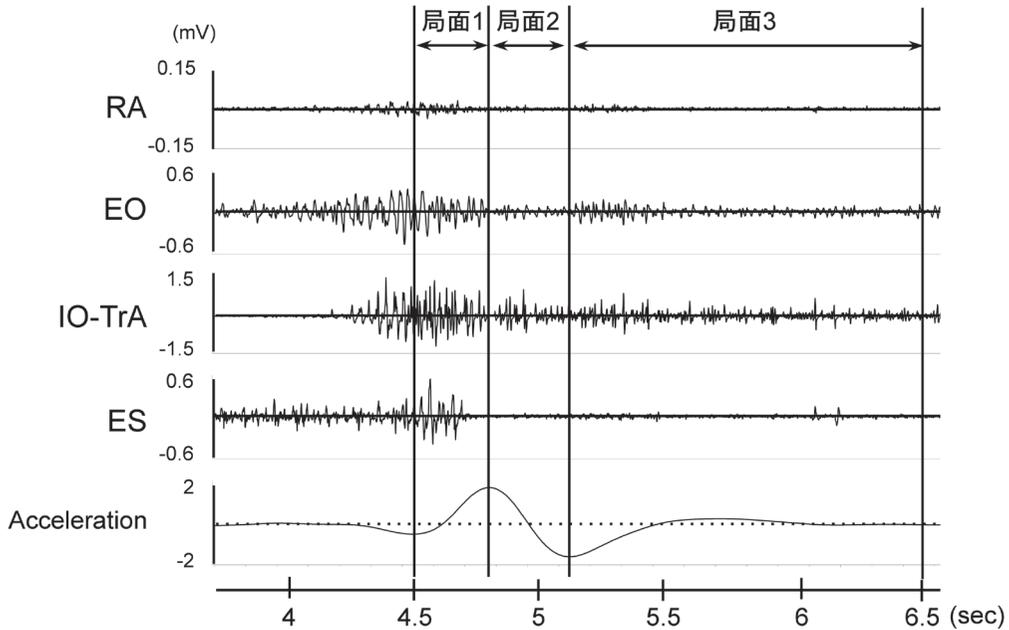


図3 トランスツイスト（右⇒左）時の体幹筋群の筋活動量の記録及び加速度変化の典型例，局面1, 2, 3: 分析範囲，RA: 腹直筋，EO: 外腹斜筋，IO-TrA: 内腹斜筋と腹横筋の融合部，ES: 脊柱起立筋，Acceleration: 加速度。
Fig. 3 Row recordings of muscle activities and acceleration in a trunk twist (right to left)

4. データ処理

EMG、加速度の各データはテキストファイルに変換し、解析ソフト Chart 5 (AD Instruments 社製) を用いて高域通過15Hz で処理を行った。

得られた各被験者の EMG から試技局面ごとに Root Mean Square (RMS) を算出し、TM 及び TW 各 5 回の平均値を代表値とした。さらに、被験者の各試技終了後に、各筋に対する最大随意収縮 (Maximum Voluntary Contraction : MVC) を 5 秒間行なわせ、開始 2 秒後から 3 秒後までの 1 秒間の RMS を算出した。MVC の測定にあたって、RA では被験者が腹筋台上に仰臥位で膝を曲げた状態から、上体を起こそうとするところを、被験者が両肩を押さえた。EO と IO-TrA では、被験者の足のつかない椅子の上で、膝を押さえ上体を左右それぞれに捻ろうとするときの両肩を実験者が押さえた。ES では、被験者が伏臥位で施術用ベッドから上半身を出し、上半身を上げようとする時の両肩を押さえた。各試技局面の筋活動量は、MVC 時の RMS 値を 100% として、各試技局面の RMS 値を相対値 (%MVC) で示した。

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、筋ごとに右⇒左、左⇒右に分け、局面及びボールの種類に対応のある二元配置分散分析と多重比較検定 (Bonferroni 法) を用い、統計学的有意水準は 5% 未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 腹直筋 (RA) について

腹直筋 (RA) における右⇒左及び左⇒右のトランスツイスト時の筋活動量を図 4 に示した。右⇒左の運動では、局面とボールの種類に交互作用が認められたことから、それぞれに単純主効果の検定を行い比較した。その結果、局面 1 が局面 2 及び局面 3 に比較して有意に高値を示した ($p < 0.01$)。また、TM と TW の比較では局面 1 において TM で $52.25 \pm 20.57\%$ 、TW で $62.05 \pm 23.56\%$ となり、TW で有意に高値を示し ($p < 0.01$)、他の局面ではボールの種類による差異は認められなかった。一方、左⇒右の運動においては、局面及

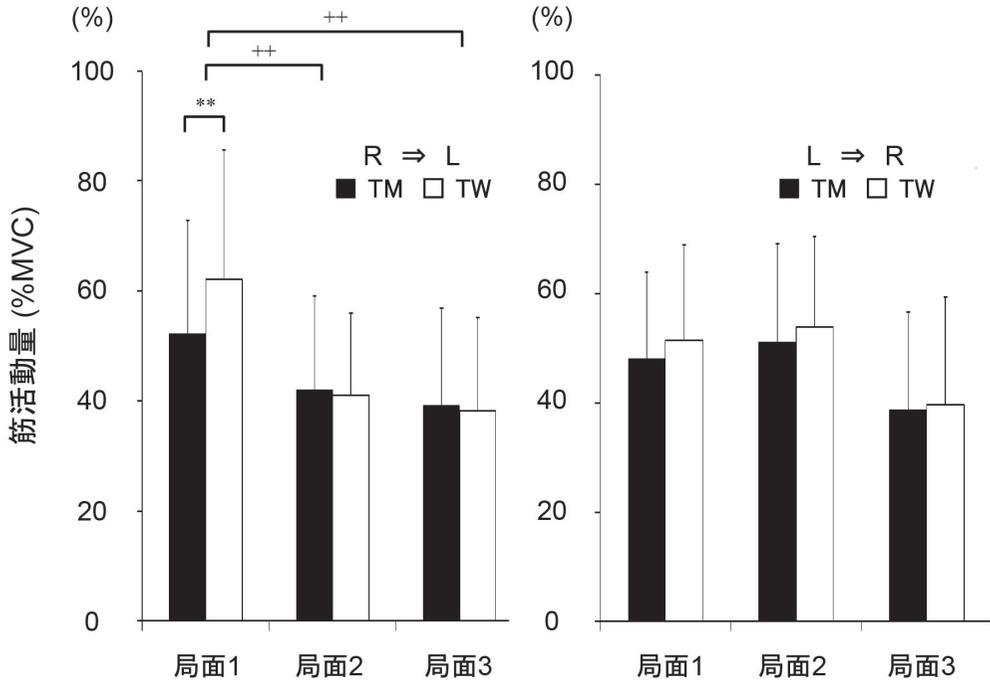


図4 トランスツイスト時の腹直筋 (RA) の筋活動量 (n=10)
 R ⇒ L: 右から左に捻る; L ⇒ R: 左から右に捻る, ■: メディシンボール (TM); □: 水入りエクササイズボール (TW), 局面1 vs. 局面2 vs. 局面3: +p<0.05, ++p<0.01, TM vs. TW: *p<0.05, **p<0.01.
 Fig. 4 Muscle activities of rectus abdominis (RA) in trunk twist with a medicine ball (TM) and an exercise ball containing water (TW) (n=10).

びボールの種類による差異は認められなかった。

2. 外腹斜筋 (EO) について

外腹斜筋 (EO) における右⇒左及び左⇒右のトランクツイスト時の筋活動量を図5に示した。右⇒左の運動では、RAと同様に局面とボールの種類に交互作用が認められ、RAと同様に、局面1が局面2及び局面3に比較して有意に高値を示した (p<0.01)。また、TMとTWの比較では局面1においてTMで58.90±17.31%、TWで72.56±15.35%となり、TWで有意に高値を示し (p<0.01)、他の局面ではボールの種類による差異は認められなかった。一方、左⇒右の運動においては、局面に主効果が認められ、局面2が局面3に比較し、有意に高値を示した (p<0.05)。

3. 内腹斜筋-腹横筋の融合部 (IO-TrA) について

内腹斜筋-腹横筋の融合部から導出した筋活動量 (IO-TrA) における右⇒左及び左⇒右のトランクツイスト時の筋活動量を図6に示した。右⇒左の運動では、RA及びEOと同様に局面とボールの種類に交互作用が認められ、局面1が局面2及び局面3に比較して有意に高値を示した (p<0.01)。また、TMとTWの比較では局面1においてTMで72.90±10.76%、TWで87.78±6.31%となり、TWで有意に高値を示し (p<0.01)、他の局面ではボールの種類による差異は認められなかった。一方、左⇒右の運動においては、局面に主効果が認められ、局面1の筋活動量が最も大きく、次いで局面2、局面3が最も低値を示し、局面1から局面3にかけて筋活動量が順次低下する傾向を示した。

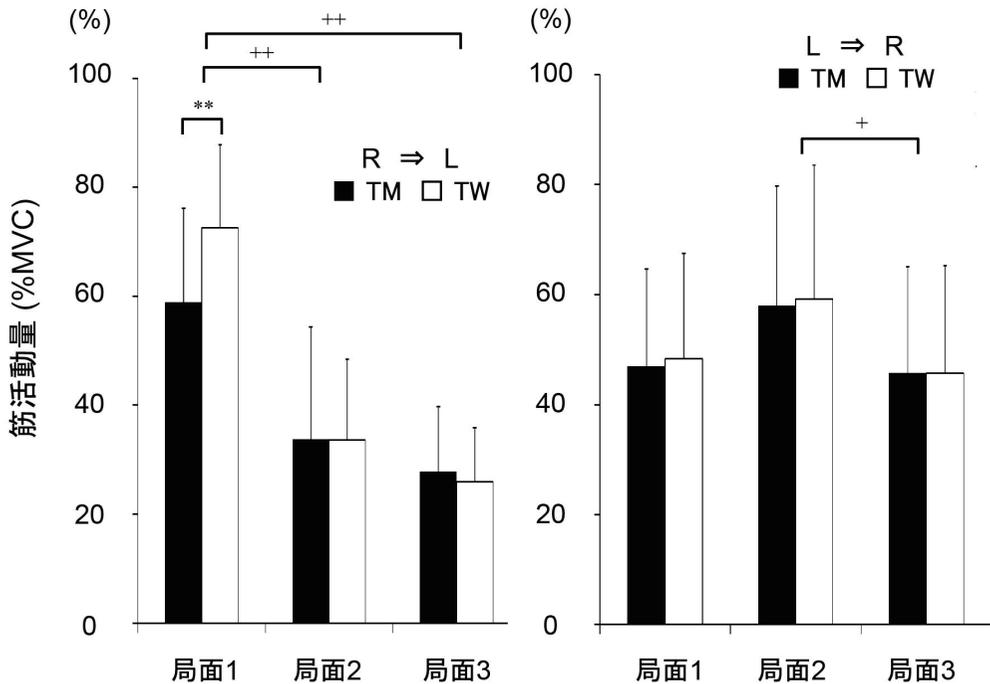


図5 トランスツイスト時の外腹斜筋 (EO) の筋活動量 (n=10)
 R ⇒ L: 右から左に捻る; L ⇒ R: 左から右に捻る, ■: メディシンボール (TM); □: 水入りエクササイズボール (TW), 局面1 vs. 局面2 vs. 局面3: +p<0.05, ++p<0.01, TM vs. TW: *p<0.05, **p<0.01.

Fig. 5 Muscle activities of external oblique (EO) in trunk twist with a medicine ball (TM) and an exercise ball containing water (TW) (n=10).

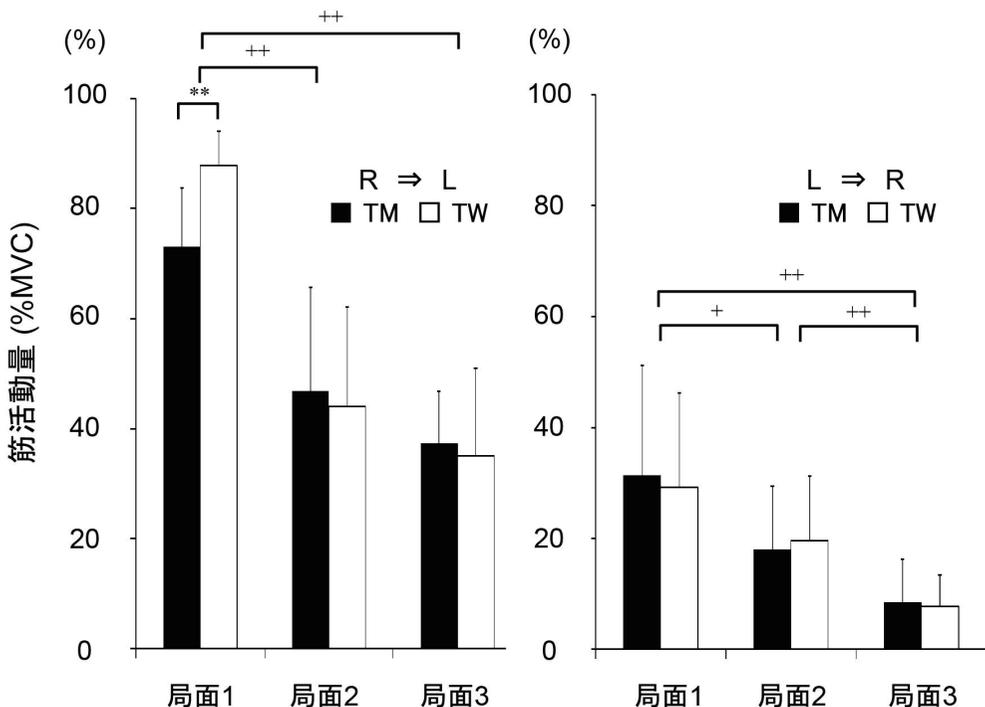


図6 トランスツイスト時の内腹斜筋と腹横筋の融合部 (IO-TrA) から導出された筋活動量 (n=10)
 R ⇒ L: 右から左に捻る; L ⇒ R: 左から右に捻る, ■: メディシンボール (TM); □: 水入りエクササイズボール (TW), 局面1 vs. 局面2 vs. 局面3: +p<0.05, ++p<0.01, TM vs. TW: *p<0.05, **p<0.01.

Fig. 6 Muscle activities of internal oblique-transversus abdominis (IO-TrA) in trunk twist with a medicine ball (TM) and an exercise ball containing water (TW) (n=10).

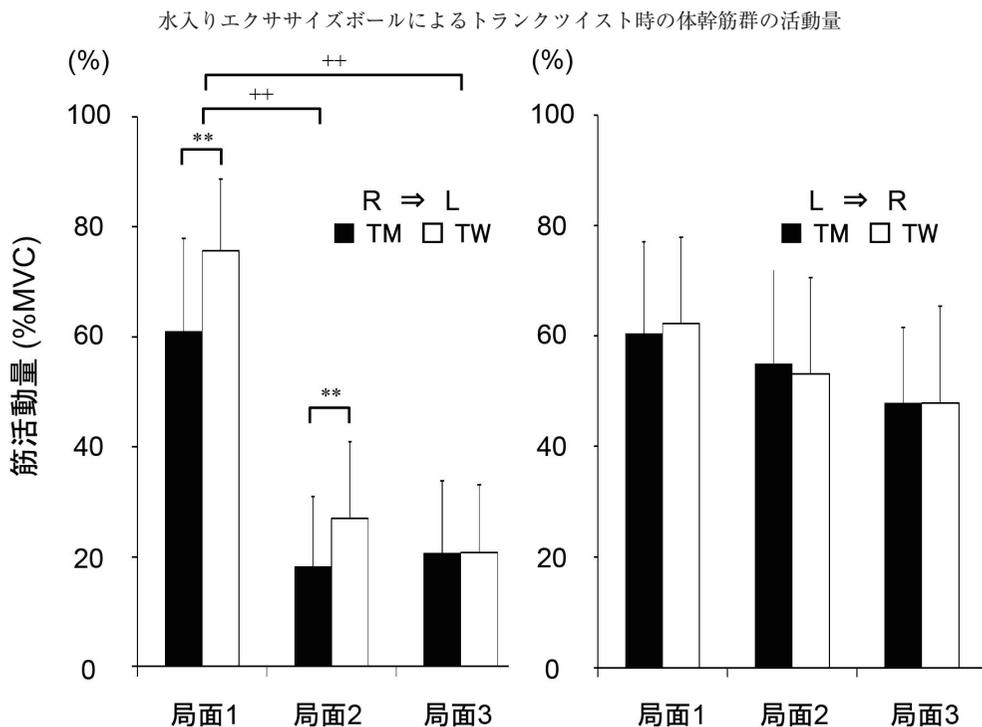


図7 トランスツイスト時の脊柱起立筋 (ES) の筋活動量 (n=10)
 R ⇒ L: 右から左に捻る; L ⇒ R: 左から右に捻る, ■: メディシンボール (TM); □: 水入りエクササイズボール (TW), 局面1 vs. 局面2 vs. 局面3: +p<0.05, ++p<0.01, TM vs. TW: *p<0.05, **p<0.01.
 Fig. 7 Muscle activities of erector spinae (ES) in trunk twist with a medicine ball (TM) and an exercise ball containing water (TW) (n=10).

4. 脊柱起立筋 (ES) について

脊柱起立筋 (ES) における右⇒左及び左⇒右のトランクツイスト時の筋活動量を図7に示した。右⇒左の運動では、RA や EO、IO-TrA と同様に局面とボールの種類に交互作用が認められ、局面1が局面2及び局面3に比較して有意に高値を示した (p<0.01)。また、TM と TW の比較では局面1において TM で58.90 ± 17.31%、TW で72.56 ± 15.35%となり、TW で有意に高値を示し (p<0.01)、局面2においても TM で18.27 ± 12.65%に対し TW で27.02 ± 13.97%を示し TW 有意に高値を示した (p<0.01)。しかし、局面3における TM と TW との間に有意な差異は認められなかった。一方、左⇒右の運動においては、局面及びボールの種類による差異は認められなかった。

IV. 考察

本研究では、体幹筋群のトレーニング種目のひとつであるトランクツイストを、それぞれ5kgメディシンボール、水入りエクササイズボールを用いて行った際の体幹筋群の活動量を比較することから、水入りエクササイズボールを負荷として用いることの有効性について検証した。対象とした筋はすべて左側の筋であるが、体を左右対称に捻る運動であることから、右側の各筋の筋活動量は左側と対称的であると推察される。また、内腹斜筋と腹横筋については、良く似た活動傾向を示す^{1,9)}とされているが、深層筋であり表面筋電図法では直接的な筋活動の導出は困難である。内腹斜筋と腹横筋の融合部から導出される筋活動量 (IO-TrA) が両筋の活動傾向を反映する⁷⁾ことから、本研究ではこの部位から導出された筋活動量を両筋の活動量として評価した。なお、本研究に

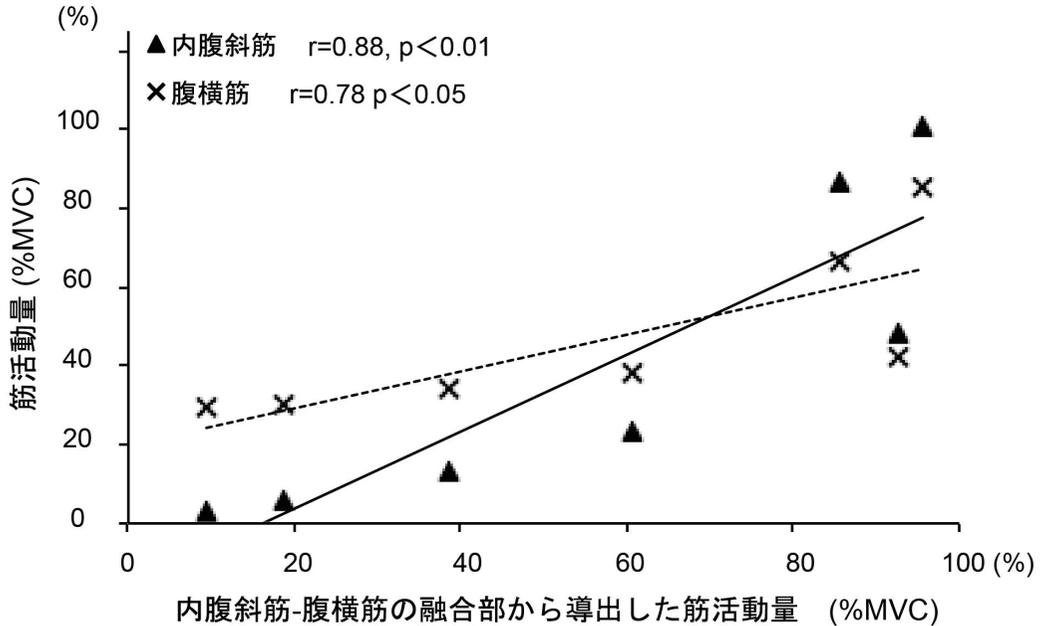


図8 腹部に力を入れ、呼吸を徐々に強めていった時の内腹斜筋と腹横筋との融合部 (IO-TrA) から得られた筋活動量とワイヤー電極により導出した内腹斜筋および腹横筋の筋活動量との関係 (全力での呼吸時を100%MVCとして, n=1)
 回帰式と決定係数: ▲; 内腹斜筋 $y=0.391x-15.78$, $R^2=0.77$, ×; 腹横筋 $y=0.187x+19.87$, $R^2=0.61$
 Fig. 8 Correlations between surface EMG of IO-TrA and each fine-wire EMG of IO and TrA in the level of forced expiration.

際して実施したワイヤー電極により導出した内腹斜筋、腹横筋のそれぞれの筋活動量と内腹斜筋と腹横筋の誘導部から導出された筋活動量 (IO-TrA) との相関係数は、内腹斜筋で $r=0.88$ ($p<0.01$)、腹横筋で $r=0.78$ ($p<0.01$) であった (図8)。

体幹を右から左へ捻った際 (右⇒左) の各局面の比較では、全ての筋 (RA, EO, IO-TrA, ES) において、局面2及び局面3比較して、局面1で有意に高い筋活動量を示した。これは、静止した状態から運動開始直後の筋力発揮が高かったことを示している。運動開始と同時に全力で体を捻るよう指示したことから、その傾向が顕著に現れたものと推察される。また、RAの筋活動量の局面による差異が他の筋に比べて小さかったことは、RAの主たる働きである体幹の屈曲を伴うものではなかったことによると考えられる。一方、EOやIO-TrAでは、局面1で他の局面の約2倍活動量を示しており、その働きからこれらの筋が体幹の捻りに大きく関与していることを反映している

と考えられる。さらに、ESは姿勢保持に働く筋であるが、捻る運動の開始直後 (局面1) にも大きな活動量が認められた。

Andersson E. et al.⁸⁾ は、体幹筋群の機能の特徴を明らかにするために、上半身の捻転開始位置、中間位、最大捻転位でそれぞれ位置を固定し、両肩に徒手抵抗をかけて、立位や座位での最大努力の体幹捻りを行なった際の各体幹筋群の活動傾向を示している。これによれば、本研究における右⇒左の場合、運動開始時には左のIOとESの筋活動が高値を示し、左のEOの活動量は低いことが想定される。しかし、本研究では、IO-TrA、ESのみならず、EOにも高い活動量が認められた。このように、トランクツイストの特徴は、すべての体幹筋群で運動開始時に大きな筋活動量を得られることにあると言える。

体幹を右から左へ捻った際 (右⇒左) のボールの種類による比較では、すべての筋の局面1で、通常のメディシンボールによるTMに比較して、水入りエクササイズボールを使用したTWで有

意に高値を示した。水入りバランスボールを用いた場合、水を入れたヨーヨーを床において転がそうとした際に前後左右に揺れることなどに見られるように、慣性によって水がその位置を保とうとする。このことことが、水入りエクササイズボールを動かす際に、大きな筋活動量を誘導できることに関連していると考えられる。また、このことは運動終了時においても水入りエクササイズボールでは、ボール内の水が動いている間は筋活動が認められると考えられるが、その傾向は明らかにならなかった。

体幹を左から右へ捻った際（左⇒右）の各局面の比較では、RAとESでは差異が認められなかった。RAでは各局面で約40%MVC、ESでは各局面で50%MVCを超える筋活動量をそれぞれ示しており、両筋が体の捻りに際して姿勢の保持に関与していることを示すものであると考えられる。RAは腰部を前屈させ、ESは背屈させる機能があること⁹⁾から、RAとESは体が右に倒れないように両側の緊張を保っていたものと推察される。EOにおいては、どの局面も40%MVCを超える活動量を示しており、RA、ESの姿勢保持加えて、右側にボール持っている時に、右への体幹の側屈を押さえために機能している可能性も考えられる。さらに、IO-TrAの筋活動量は、左⇒右においても局面1>局面2>局面3であることが示された。IO-TrAは、捻りが逆になっても、運動開始直後には他の局面に比較して、比較的高い筋活動量を示すことが明らかとなった。IO-TrAは、腕を動かすことや体を捻る際に運動に先んじて活動を始め、運動開始時の活動量が高いことが報告されている¹⁾ことから、本研究においても同様の傾向が認められた。また、内腹斜筋と腹横筋の誘導部から導出された筋活動量は、内腹斜筋との相関関係が強いこと（前述）から、特に、内腹斜筋の活動が反映していると考えられ、右⇒左、左⇒右という体の捻りに対して対称的に働くことを示していると推察された。

このように、トランクツイストは、特に動作の開始時に体幹筋群の活動量が高く、水入りエクサ

サイズボールを用いることはその活動量を高めるためのひとつの手段となりうることを示された。

V. まとめ

本研究では、体幹筋群のトレーニング種目のひとつであるトランクツイストをそれぞれ5kgのメディシンボール、水入りエクササイズボール用いて行った際の体幹筋群の活動量を比較した。

その結果、

- 1) ボールを持って行うトランクツイストでは、動作開始直後のRA, EO, IO-TrA, ESの筋活動量が高値を示すことが示された。
- 2) メディシンボールと水入りエクササイズボールの比較では、水の影響により動作開始直後のRA, EO, IO-TrA, ESの筋活動量を増加させる可能性が示唆された。

このように、トランクツイストは、特に動作の開始直後の体幹筋群の活動量が高く、水入りエクササイズボールを用いることはその活動量を高めるためのひとつの手段となりうることを示された。

参考文献

- 1) Hodes PW and Richardson CA. (1997) Feedforward contraction of transverses abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res*, 144, 362-370
- 2) 角田直也・熊川大介・田中重陽・岡田雅次・青山利春 (2004) 体幹の筋出力発揮特性とスポーツ競技力. *The Annual Reports of Health, Physical Education and Sport Science Vol 23*, 23-27
- 3) Szymanski DJ, McIntyre JS, Madsen NH, Szymanski JM, Bradford TJ, Schade RL and Pascoe DD. (2007) Effect of Rotational Strength on Angular Hip, Angular Shoulder, and Linear Bat Velocities of High School Baseball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research Vol 21, No 4* : 1117-1125
- 4) Stodden DF, Campbell BM and Moyer TM. (2008) Comparison of Trunk Kinematics in Trunk Training

- Exercises and Throwing. *Journal of Strength and Conditioning Research* Vol 22, No 1 : 112-118
- 5) Hedrick A. (2003) Using Uncommon Implements in the Training Programs Athletes. *Strength and Conditioning Journal* Vol 25, No 4 : 18-22
- 6) 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 : 45-54
- 7) McGill S, Juker D and Kropf P. (1996) Appropriately Placed Surface EMG Electrodes Reflect Deep Muscle Activity (Psoas, Quadratus Lumborum, Abdominal Wall) in the Lumbar Spine. *Journal of Biomechanics* Vol 29, No 11 : 1503-1507
- 8) Andersson E, Grundstrom H and Thorstensson A. (2002) Diverging Intramuscular Activity Patterns in Back and Abdominal Muscles During TrunkRotation. *Spine* Vol 27, No 6 : E152-E160
- 9) Thompson CM and Floyd RT. (1997) 身体運動の機能解剖 改定版. 医道の日本社 : 215-221