

体幹深部筋の筋反応時間に関する研究

平成 30 年度

和田 裕 介

筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

## 目次

第 1 章. 緒言 .....	1
1. 研究背景 .....	1
1) 体幹筋と腰椎安定性 .....	1
2) 筋反応時間について .....	4
(1) 中枢神経系 .....	5
(2) 反射性抑制 .....	6
(3) 運動ニューロンの伝導速度 .....	6
3) 表面筋電図による測定法 .....	8
4) ローカル筋のトレーニング .....	9
5) ローカル筋のトレーニング効果 .....	13
2. 研究目的 .....	16
第 2 章. 研究デザイン .....	17
1. 対象および試験方法 .....	17
2. 筋反応時間測定 .....	19
1) 動作課題 .....	19
2) データ解析 .....	20
(1) 筋電図測定・解析器 .....	20
(2) 筋反応時間の算出 .....	20
第 3 章. 【課題 1】上肢挙上運動時の体幹深部筋の筋反応時間解析 .....	22
1. 目的 .....	22
2. 筋反応時間測定 .....	22
1) 被験筋 .....	22
2) 電極貼付 .....	23
3. 統計処理 .....	24
4. 結果 .....	24
1) 肩関節屈曲時 .....	24
2) 肩関節外転時 .....	25

5. 考察.....	26
6. まとめ .....	28
第 4 章. 【課題 2】 体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える即時的効果の検討	29
1. 目的.....	29
2. 介入内容 .....	30
1) Core stability exercise 群 .....	30
2) Draw-in exercise 群.....	31
3) Control 群 .....	31
3. 筋反応時間測定.....	32
1) 動作課題 .....	32
2) 被験筋.....	32
3) 電極貼付 .....	32
4. 統計処理 .....	33
5. 結果.....	34
1) 体幹筋エクササイズによる即時的効果 .....	34
(1) TrA/OI .....	34
(2) MF .....	34
(3) OE .....	35
(4) AD .....	35
6. 考察.....	40
1) TrA/OI.....	40
2) MF および OE について.....	42
3) AD について .....	43
7. まとめ .....	44
第 5 章. 【課題 3】 2 週間継続した体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える効果の検討 .....	45
1. 目的.....	45
2. 実験プロトコル.....	45
3. 介入内容 .....	46

1) Core stability exercise 群 .....	46
2) Draw-in exercise 群 .....	47
3) Control 群 .....	47
4. 筋反応時間測定 .....	48
1) 動作課題 .....	48
2) 被験筋 .....	48
3) 電極貼付 .....	48
5. 統計処理 .....	49
6. 結果 .....	50
1) 2 週間の体幹筋エクササイズ介入による効果 .....	50
(1) TrA/OI .....	50
(2) MF .....	50
(3) OE .....	51
(4) AD .....	51
2) 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後のおける即時的効果 .....	56
(1) TrA/OI .....	56
(2) MF .....	56
(3) OE .....	56
(4) AD .....	57
7. 考察 .....	62
1) 2 週間の体幹筋エクササイズ介入による効果 .....	62
(1) TrA/OI .....	62
(2) MF .....	63
(3) OE .....	63
(4) AD .....	63
2) 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後のおける即時的効果 .....	64
8. まとめ .....	65
第 6 章. 総括 .....	66
1. 本研究のまとめ .....	66
2. 本研究の限界と今後の課題 .....	70

3. 結論.....	70
謝辭.....	71
参考文献.....	72

## 図表一覧

### 図一覧

図 1-1	代表的な Core stability exercise .....	11
図 1-2	Core stability exercise の応用例 .....	12
図 1-3	様々な Core stability exercise .....	15
図 2-1	動作課題 .....	19
図 2-2	肩関節屈曲時の筋電図波形の例 .....	21
図 3-1	電極貼付位置 .....	23
図 3-2	肩関節屈曲時の筋反応時間 .....	24
図 3-3	肩関節外転時の筋反応時間 .....	25
図 4-1	Elbow-toe with right arm and left leg lift .....	30
図 4-2	Elbow-toe with left arm and right leg lift .....	31
図 4-3	電極貼付位置 .....	33
—————体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における比較—————		
図 4-4	挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較 .....	36
図 4-5	非挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較 .....	36
図 4-6	挙上側 MF の筋反応時間の比較 .....	37
図 4-7	非挙上側 MF の筋反応時間の比較 .....	37
図 4-8	挙上側 OE の筋反応時間の比較 .....	38
図 4-9	非挙上側 OE の筋反応時間の比較 .....	38
図 4-10	AD の筋反応時間の比較 .....	39
図 5-1	実験プロトコル .....	45
図 5-2	Elbow-toe with right arm and left leg lift .....	46

図 5-3	Elbow-toe with left arm and right leg lift_ .....	47
-------	---	----

図 5-4	電極貼付位置 .....	49
-------	--------------	----

——2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における比較——

図 5-5	挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較 .....	52
-------	----------------------------	----

図 5-6	非挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較 .....	52
-------	-----------------------------	----

図 5-7	挙上側 MF の筋反応時間の比較 .....	53
-------	------------------------	----

図 5-8	非挙上側 MF の筋反応時間の比較 .....	53
-------	-------------------------	----

図 5-9	挙上側 OE の筋反応時間の比較 .....	54
-------	------------------------	----

図 5-10	非挙上側 OE の筋反応時間の比較 .....	54
--------	-------------------------	----

図 5-11	AD の筋反応時間の比較 .....	55
--------	--------------------	----

——2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における比較——

図 5-12	挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較 .....	58
--------	----------------------------	----

図 5-13	非挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較 .....	58
--------	-----------------------------	----

図 5-14	挙上側 MF の筋反応時間の比較 .....	59
--------	------------------------	----

図 5-15	非挙上側 MF の筋反応時間の比較 .....	59
--------	-------------------------	----

図 5-16	挙上側 OE の筋反応時間の比較 .....	60
--------	------------------------	----

図 5-17	非挙上側 OE の筋反応時間の比較 .....	60
--------	-------------------------	----

図 5-18	AD の筋反応時間の比較 .....	61
--------	--------------------	----

表一覧

表 1-1 ローカル筋とグローバル筋の分類.....	3
表 2-1 各群の身体特性.....	18

本論文は以下の専門雑誌に掲載された原著論文を基に作成した。

和田裕介, 金岡恒治, 竹村雅裕, 山元勇樹, 渡邊昌宏, 宮川俊平: 上肢挙上運動時の体幹深部筋の筋反応時間解析. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2013; 21: 396-402

Yusuke Wada, Koji Kaneoka, Masahiro Takemura, Yuki Yamamoto, Ryo Ogaki, Shumpei Miyakawa. The effect of core stability exercise on the reaction time of deep trunk muscles. *Journal of Sports Science*. 2018; 6: 285-293

## 第 1 章. 緒言

### 1. 研究背景

#### 1) 体幹筋と腰椎安定性

椎骨は椎体と椎弓からなり，腰椎は 5 つの椎骨が上下に連結している．腰椎は胸椎のように肋骨に覆われておらず，また仙骨のように癒合していない．そのため，体幹を構成する骨のなかでも腰椎は力学的に不安定な構造をしている．近年の研究では，特に腰椎安定性が注目されており，スポーツパフォーマンスへの関与が報告されている<sup>1)</sup>．

Panjabi<sup>2)</sup>は，脊椎の安定性に関与する因子を骨・関節・靭帯による他動サブシステム，筋による自動サブシステム，神経系による制御サブシステムの 3 つのサブシステムに分類し，これらが相互に作用することにより脊椎の安定性は保たれると定義している．他動サブシステムである脊柱の骨・関節構造や靭帯は，脊柱の運動と安定性のコントロールに関与し，自動サブシステムは筋力の発生によって体幹全体の剛性や分節間の安定性を確保している．制御サブシステムは，これら 2 つのサブシステムからの情報を得ながら，筋活動量や筋収縮のタイミングを制御している．靭帯などの他動サブシステムは最終可動域周辺でのみ運動を制御している一方で，ニュートラルゾーンの制御には自動的な筋収縮あるいは筋緊張が大きく関与している<sup>3)</sup>ため，脊椎安定性には自動サブシステムである筋の働きが重要である．

腰椎安定性は体幹筋によってもたらされる．Bergmark<sup>4)</sup>は，筋の起始・停止およびその機能から，体幹の筋群をローカル筋とグローバル筋に分類した（表

1-1). ローカル筋とは、大腰筋を除いた「起始または停止が腰椎に直接付着している筋」、グローバル筋は、「腰椎に直接付着していない筋」と定義されている。そして、ローカル筋は主に身体の深層に位置しており、腰椎の分節的安定性を制御し、グローバル筋は主に身体の表層に位置しており、腰椎全体の姿勢や平衡を制御している<sup>5)</sup>。体幹の安定性は分節的安定性が求められ、グローバル筋の活動のみでは分節的安定性は高まらないことが報告されている<sup>6)</sup>。このように、体幹筋は表層と深層の筋で異なる機能を有しているため、腰椎安定性の確保には、ローカル筋とグローバル筋の共働収縮が必要不可欠である<sup>5,7,8)</sup>。

腰椎骨盤領域の安定性は、腹横筋 (transversus abdominis muscle; TrA) の収縮と同時に多裂筋(multifidus muscle; MF) が収縮することにより胸腰筋膜が緊張して、TrA, MF と胸腰筋膜の間に形成される筋-筋膜コルセットが機能することにより向上することが報告されている<sup>9)</sup>。また、TrA の収縮によって腹腔内圧が上昇し、腰椎の分節的安定性が高まることが報告されている<sup>10)</sup>。つまり、ローカル筋のなかでも特に TrA と MF の働きが、腰椎の分節的安定性向上に重要である。また、体幹筋は機能的にインナーユニットとアウターユニットに分類される<sup>11)</sup>。インナーユニットは TrA と MF に骨盤底筋と横隔膜を含めたものであり、TrA と MF の収縮とともに骨盤底筋が腹腔を下から支え、横隔膜が腹腔の天井部となることで腹腔内圧が上昇し、腰椎の安定性に貢献している<sup>11)</sup>。

表 1-1 ローカル筋とグローバル筋の分類 4)

ローカル筋	グローバル筋
・腹横筋	・腹直筋
・内腹斜筋(胸腰筋膜付着線維)	・外腹斜筋
・腰方形筋の内側線維	・内腹斜筋
・多裂筋	・腰方形筋の外側線維
・胸最長筋の腰部	・胸最長筋の胸部
・腰腸肋筋の腰部	・腰腸肋筋の胸部
・横突間筋	
・棘間筋	

## 2) 筋反応時間について

筋反応時間は光や音の刺激に対して、即座に関節運動を起こしたときの筋活動の開始時間から求められる。筋反応時間は筋電図から求められるが、この筋活動の開始から関節運動開始までは、電気力学的遅延が生じることが認められている<sup>12)</sup>。つまり、実際の関節運動が開始される前に主動作筋の筋活動は開始している。

筋反応時間は安定性を評価する指標の 1 つとして考えられている。例えば、体幹の筋反応時間は腰椎の分節的安定性、下腿の筋反応時間は足関節の機能的安定性を評価する重要な指標の 1 つである。体幹の筋反応時間に関しては、速い上下肢の運動（肩関節の屈曲、外転、伸展や股関節の屈曲、外転、伸展など）を行う際、主動作筋である三角筋や大腿直筋、大腿筋膜張筋、大殿筋などに先行して TrA が収縮するフィードフォワード機構の存在が報告されている<sup>13,14)</sup>。この機構は健常者において存在し、慢性的な腰痛を伴う者や腰痛の既往がある者は健常者と比較して TrA の筋反応時間が遅延する。そして、この遅延は運動制御の欠如および筋による脊柱の安定化の機能不全によるものである可能性が考えられている<sup>15,16)</sup>。

重量物を持ち上げる際の体幹筋の筋活動を調査した研究によると、重量物挙上後すぐに TrA、MF、外腹斜筋、脊柱起立筋の筋活動が高まるが、予測した重量よりも重い物を挙上した場合はこれらの体幹筋の活動が遅延することが報告されている<sup>17)</sup>。重量物挙上時には体幹筋による安定性が求められるが、予測した重量よりも重い物を挙上した際には、体幹筋による安定性が正常に機能しない。そのため、予測した重量よりも重い物を挙上した際には腰痛のリスクが高

まる可能性が考えられている。

四肢が機能するためにはその土台となる体幹の安定性が求められ、土台である体幹機能が低下すると上下肢機能が低下する<sup>9)</sup>。すなわち、フィードフォワード機構によって腰椎の分節的安定性が確保されている。そのため、体幹筋の筋反応時間は腰椎の安定性を筋機能から評価する上で重要な指標となりうると思われる。

また、下腿の筋反応時間に関しては、突発的な足関節内反刺激を与えた際の長腓骨筋、短腓骨筋、前脛骨筋の評価がされており、足関節捻挫後に残存する足関節機能的不安定性を有する足は、健常な足に比べてこれらの筋反応時間が遅延することが報告されている<sup>18)</sup>。これらの筋反応時間の遅延は足関節機能的不安定性の原因の1つであると考えられている。

体幹や下腿の筋反応時間は、腰痛や足関節捻挫といった傷害によって遅延することが明らかになっており、腰椎や足関節の安定性を阻害する要因であると考えられる。しかし、筋反応時間と傷害の因果関係は明らかにされていない。さらに、筋反応時間の変化は神経筋機能によるものであると広く考えられているが、神経筋機能の変容の具体的な機序は明らかになっていない。神経筋機能を変容させる因子として以下が考えられる。

#### (1) 中枢神経系

体幹筋の筋反応時間測定時のような速い上下肢の運動時には、上下肢の運動による重心動揺を最小限に抑えるために、主動作筋の収縮に先立って姿勢を調節する先行随伴性姿勢調節が機能する。そして、これは中枢神経系の働きによ

って生じることが報告されている<sup>19)</sup>。姿勢調節としての体幹筋の先行的な収縮は腰痛といった局所的な問題のみならず、神経病理学的疾患でも変化することが報告されている<sup>20)</sup>。例えば、パーキンソン病患者のような中枢神経系障害においても、筋反応時間の遅延が認められている<sup>21)</sup>。以上のことから、中枢神経系の機能異常によって筋反応時間が変化する可能性が示唆されている。

## (2) 反射性抑制

反射性抑制とは損傷した関節からの異常な求心性の活動電位によって誘発される運動ニューロンの興奮性の低下である<sup>22)</sup>。つまり、関節の障害がある場合は反射性抑制によって $\alpha$ 運動ニューロンの活動が阻害される。痛みによっても運動ニューロンの抑制は起こるが、反射性抑制は疼痛の有無に関係なく関節包や関節の靭帯など関節構造自体の問題によって起こる<sup>23)</sup>。 $\alpha$ 運動ニューロンの活動性の低下は、筋活動が生じる閾値に達するまでの時間を延長し筋反応時間を遅延させると考えられる。しかし、体幹筋に関しては、TrAはT7-T12の脊髄神経によって支配されるため、腰痛病変の多発部位であるL4-S1の影響を受けるとは考えにくい。

## (3) 運動ニューロンの伝導速度

運動ニューロンの伝導速度の低下によっても筋反応時間の遅延が生じると考えられる。足関節捻挫後の筋反応時間の遅延は神経伝導速度の低下によるものであると報告されており<sup>24)</sup>、捻挫に伴って末梢神経に損傷が起こる可能性が指摘されている。腰椎においても捻挫や腰椎椎間板ヘルニアによって同様に末梢

神経に損傷が起こる可能性がある。また、足関節捻挫によって、関節包や靭帯に存在するとされている固有受容器が欠損するためであるとの報告もなされている<sup>25)</sup>。

神経筋機能の変容の具体的な機序を明らかにすることは、筋反応時間と傷害の因果関係を明らかにする重要な指標となるであろう。また、筋反応時間と傷害の因果関係が明らかになれば、神経筋機能の改善や傷害予防に有用であると考えられる。

体幹の筋反応時間に関しては、傷害による遅延以外に先述したフィードフォワード機構が健常者に認められている。しかし、多くの先行研究では腰痛者を対象としているため<sup>26-30)</sup>、健常者における筋反応時間の変化は明らかにされていない。つまり、腰痛者を対象とした筋反応時間の改善を目的とした介入研究は多く行われているが、健常者における筋反応時間の短縮を目的とした研究はない。その一方で、実際のスポーツ現場では、健常者であるアスリートに対して腰椎の安定性向上を目的とした体幹筋に対するトレーニングが実施されている。四肢が機能するための土台である体幹の筋反応時間の短縮は、スポーツに必要とされる動作である上下肢機能の向上に繋がると考えられる。健常者を対象とすることで、神経筋機能の変容の機序に傷害が影響しているかどうかの指標にもなり、神経筋機能の変容の具体的な機序を明らかにする一助となるであろう。

また、体幹深部筋は左右を対象とした構造をしているが、体幹深部筋の筋反応時間の左右差を比較検討した報告は少なく<sup>31)</sup>、多くの先行研究において対側

または同側の体幹筋のみを検討している<sup>13-16,32)</sup>。さらに、両側 MF の比較検討した報告はない。このようにスポーツ現場で行われている体幹深部筋のトレーニングが筋反応時間に与える効果について、まだ明らかになっていない点が多く存在し、検討する必要がある。

### 3) 表面筋電図による測定法

筋電図測定法には表面筋電図とワイヤ筋電図がある。表面筋電図は簡便で侵襲性がなく臨床的に応用しやすい手法であるが、体幹深部に位置するローカル筋を直接的に測定することは困難である。ワイヤ筋電図は電極刺入によりローカル筋を測定できるが、対象者に痛みを伴い、電極刺入の際には医師の協力が必要であるといった特徴がある。

TrA と MF は身体の深層に位置するため、これらの筋活動を評価する方法としてワイヤ筋電図が用いられているが、MF に関しては、L5 高位で比較的表層に位置することから表面筋電図も使用されている<sup>33,34)</sup>。また、Okubo et al.<sup>32)</sup> は表面筋電図とワイヤ筋電図の筋活動を比較し、MF は 2 つの測定法で高い相関が認められたが、TrA は相関が低く OI とのクロストークは避けることができないと報告している。

しかし、Marshall et al.<sup>35)</sup> は表面筋電図による TrA/OI は腹直筋と分離した筋活動を示し、また肩関節運動時の TrA/OI の筋反応時間がワイヤ筋電図と一致することを報告した。さらに、同報告において、再現性が高かったことも示しており、TrA の筋反応時間測定に表面筋電図を使用することの妥当性を主張している。

以上のことから、TrAにおける表面筋電図測定はOIとのクロストークは避けられないため筋活動量の測定には不十分であるが、筋反応時間の測定には有用であると考えられた。したがって、本実験では全ての筋を表面筋電図で測定した。

#### 4) ローカル筋のトレーニング

従来、腰痛に対する運動療法や体幹の強化は、腹直筋、腹斜筋群、脊柱伸筋群などの筋力、筋持久力を強化することを目的とし、シットアップやクランチ、バックエクステンションなどの等張性収縮によるトレーニングが行われてきた。しかし、これらは腰椎や椎間板への負荷を増大させるという報告がある<sup>36)</sup>。また、これらのトレーニングはグローバル筋の活動量を増大させる<sup>37)</sup>が、ローカル筋に対してアプローチしたものではない。そのため、腰椎安定性の向上に対するアプローチとして必ずしも適切ではないと考えられる。

そこで、従来の方法のような大きな動きを伴うトレーニングではなく、TrAに対する選択的かつ自発的な収縮のトレーニング (Draw-in exercise) や姿勢維持による等尺性収縮のトレーニング (Core stability exercise) のように、大きな関節運動を伴わないトレーニングが行われるようになってきた。Draw-in exercise は、腹部引き込み動作によって TrA を選択的に収縮させることを目的としており、Hides et al.<sup>38)</sup>はMRI画像上にて TrA および内腹斜筋 (obliquus internus muscle; OI) の選択的収縮が見られることを報告している。Draw-in exercise は仰臥位で下腹部を引き込む運動であるため、腰痛者でも安全に実施できるというメリットがある。

Core stability exercise は、脊椎や骨盤をニュートラルポジションにして体幹を安定させることを目的としており、ローカル筋およびグローバル筋の共同収縮、あるいはローカル筋の選択的収縮に重点が置かれている<sup>39)</sup>。代表的な Core stability exercise として、腹臥位で肘と足尖で上体を支持する Elbow-toe、仰臥位で臀部を挙上し、上背部と足底で上体を支持する Back bridge、側臥位で肘と足部外側面で上体を支持する Side bridge などが挙げられる (図 1-1)。このようなブリッジ動作は、身体の下面部分の筋群が収縮する特徴がある<sup>40)</sup>。Core stability exercise は上述した代表的な姿勢から、四肢挙上による支持点の減少や支持面を不安定にさせる道具を用いることによって、運動強度を変化させることができる (図 1-2)。四肢挙上によって、Elbow-toe では TrA、Back bridge では MF の筋活動量が高まるという報告や<sup>41)</sup>、支持面を不安定にさせることによってグローバル筋とローカル筋のどちらも筋活動量が高まるという報告がある<sup>42)</sup>。そのため、Core stability exercise は医療機関でのリハビリテーション以外に、スポーツの現場においてパフォーマンス向上および障害予防を目的として、ウォーミングアップや日々のトレーニングとして実施されている。

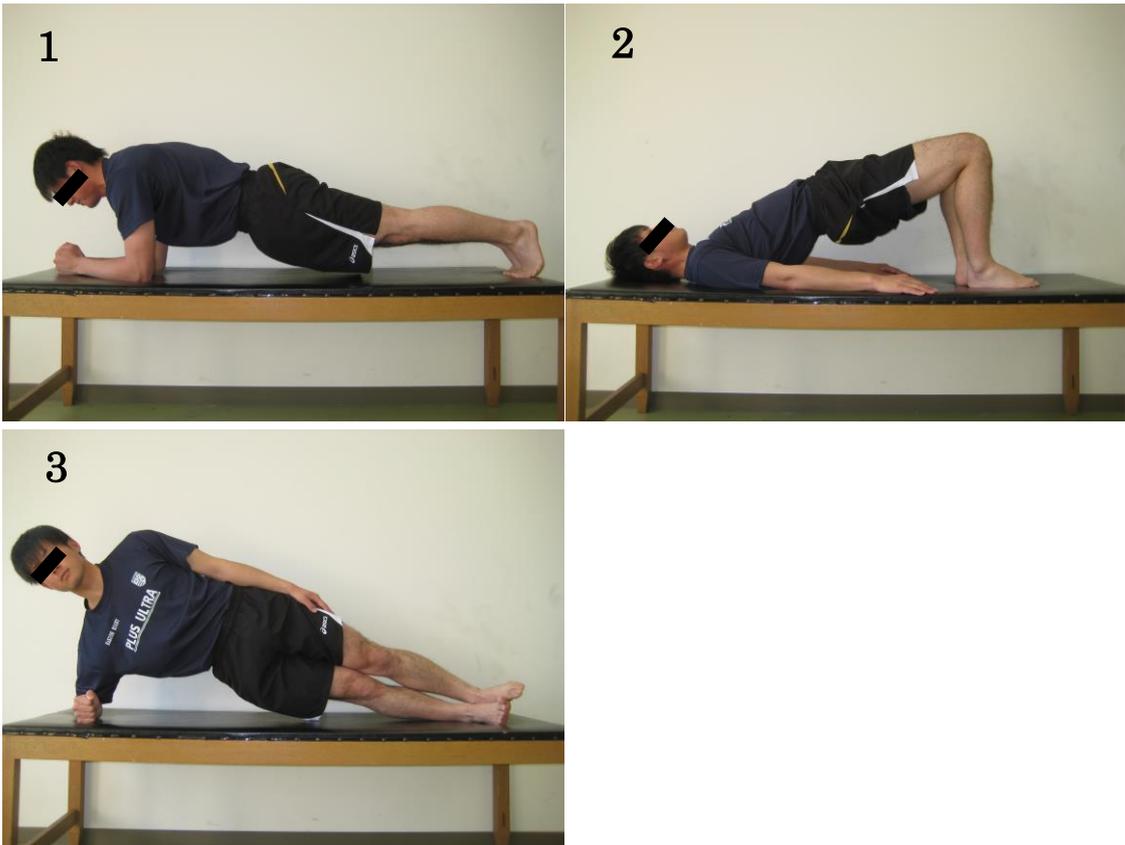


図 1-1 代表的な Core stability exercise: (1) Elbow-toe  
(2) Back bridge  
(3) Side bridge



図 1-2 Core stability exercise の応用例: (1) 四肢挙上による Elbow-toe  
(2) 不安定面での Back bridge  
(3) 不安定面での Side bridge

## 5) ローカル筋のトレーニング効果

一般的にトレーニングの効果は、神経系の改善によって生じる即時的効果と過負荷の原則によって身体各組織に超回復の適応を引き出す遅延効果に分類される。運動ニューロンおよび運動野の興奮性の変化は、随意収縮を繰り返すことによって起こる<sup>43)</sup>。ヒトの感覚野および運動野はトレーニングによる可塑性変化を維持することが示されており<sup>44)</sup>、これらの変化は、トレーニング後数分から数時間以内に急速に起こりうることが示されている<sup>43,45)</sup>。先行研究では、前述した腰痛者における TrA の筋反応時間の遅延に対するローカル筋トレーニングの効果が調査されている<sup>26-29)</sup>。

腰痛者に対する約 10 分間の Draw-in exercise は TrA の筋反応時間を即時的に改善し、その効果はシットアップより高いことが報告されている<sup>26)</sup>。また、腰痛者に対する 4 週間の Draw-in exercise は、TrA の筋反応時間および腰痛を 2 週間後、4 週間後に改善し、その効果は 26 週間後も持続したことが報告されている<sup>27)</sup>。

一方、Core stability exercise においては、腰痛者に対する 16 週間の徒手療法とスイスポールによるエクササイズが TrA の筋反応時間を改善すると報告されている<sup>28)</sup>。しかし、別の調査では腰痛者に対する約 10 分間の Core stability exercise (Curl-up, Side bridge, Birdog) が TrA の筋反応時間を即時的に改善しないという報告があり<sup>29)</sup>、一定の見解は得られていない。

Hall et al.<sup>29)</sup>による Core stability exercise は Curl-up, Side bridge, Birdog が行われているが、対象者が腰痛者であるため 7 秒間 5 セットと比較的低い運動強度に設定されており、実際にスポーツ現場で行われている Core stability

exercise と同負荷ではないと予想される。また、様々な Core stability exercise (図 1-3) の効果を比較した調査では、Elbow-toe with contralateral arm and leg lift が、TrA の筋活動量を最も高めることが報告されている<sup>41)</sup>。

さらに、多くの研究は腰痛者を対象としているため<sup>26-30)</sup>、健常者への筋反応時間の影響は明らかではなく、介入研究においては対照群の評価はされていない。また、対象者が腰痛者であるため運動負荷が小さく、TrA の筋活動量が最も高い Core stability exercise が体幹筋の筋反応時間に及ぼす影響について検討した研究はない。

体幹筋エクササイズと運動パフォーマンスとの関係などを検討した研究が多く見られ<sup>42-44)</sup>、ユースサッカー選手において Core stability exercise がバランス、クーパーテスト、リバウンドジャンプを向上させるという報告もある<sup>42)</sup>。体幹の安定性向上によってパフォーマンスが向上した可能性が考えられているが、これらの研究において筋反応時間の変化は明らかになっていない。つまり、実際のスポーツ現場で実施されているエクササイズが体幹筋の筋反応時間に与える影響は明らかになっていない。スポーツ現場でより効果的なトレーニングを行うためには、このような筋活動量が高く運動強度が高いと考えられる Core stability exercise の効果を検討する必要があると考えられる。

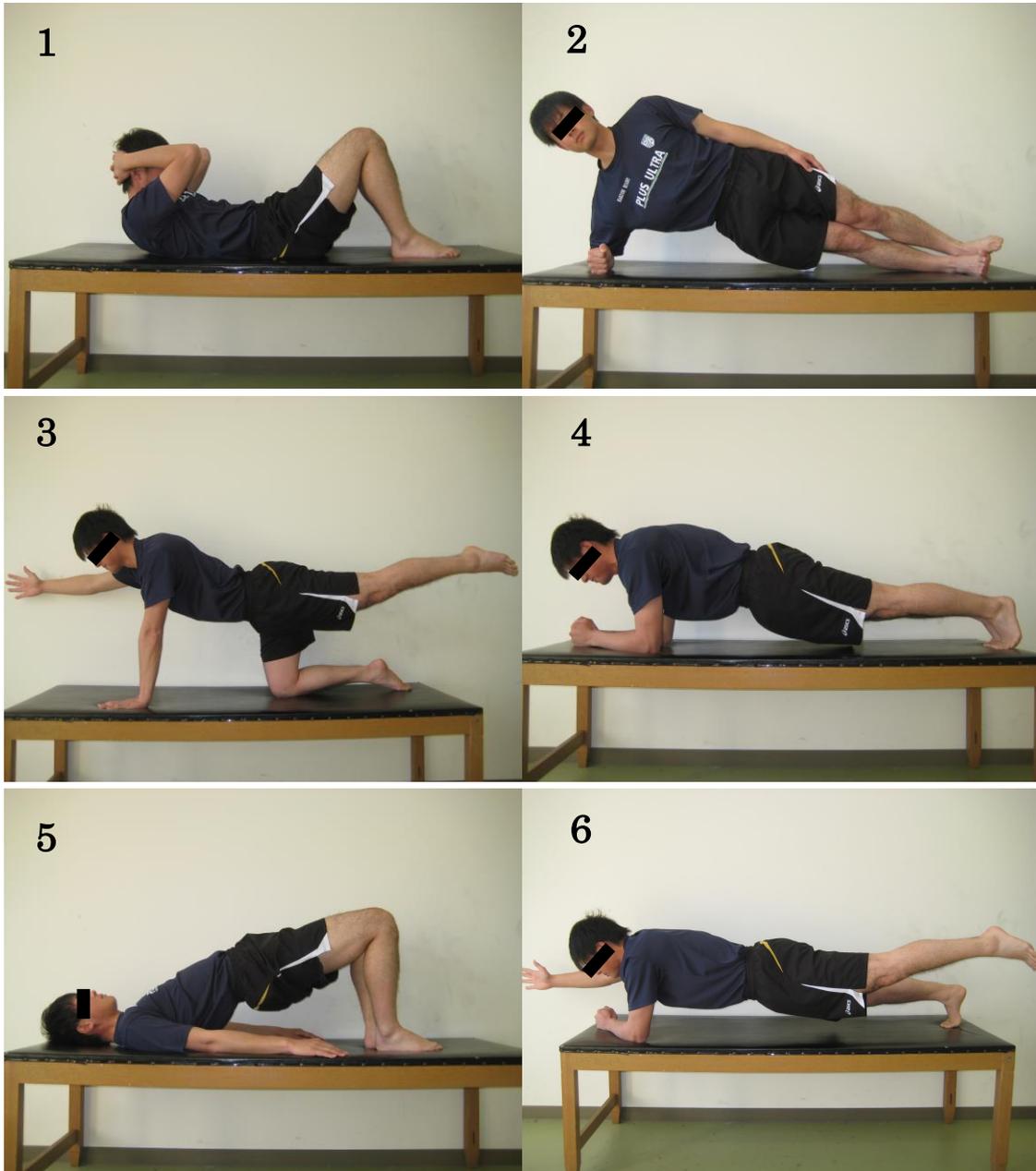


図 1-3 様々な Core stability exercise: (1) Curl-up (2) Side bridge  
 (3) Hand-knee(Birdog)  
 (4) Elbow-toe (5) Back bridge  
 (6) Elbow-toe with right arm and left leg lift

## 2. 研究目的

本研究の目的を達成するため、以下の研究課題を設けた。

### 【課題 1】 上肢挙上運動時の体幹深部筋の筋反応時間解析

健常者において体幹深部筋の筋反応時間の左右差を明らかにし、肩関節の運動方向による筋反応時間の違いを比較する。

### 【課題 2】 体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える即時的効果の検討

定期的な運動習慣のない健常者が、体幹筋エクササイズを実施する前後での筋反応時間の違いを比較する。

### 【課題 3】 2週間継続した体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える効果の検討

2週間の体幹筋エクササイズ介入による筋反応時間への効果、および2週間後の運動習慣がある状態における即時的効果を検討する。

## 第 2 章. 研究デザイン

### 1. 対象および試験方法

本研究の対象者は、定期的な運動習慣がなく、体幹筋エクササイズを習熟していない健常成人男性 21 名 ( $24.1 \pm 1.8$  歳) であった。対象者には本研究の目的と内容を十分に説明し、文書により研究参加への同意を得た。なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行った (承認番号: 22-129 号)。

課題 2 および課題 3 において、対象者は無作為に 3 群 (Core stability exercise 群, Draw-in exercise 群, Control 群), 各群 7 名に分けられた (表 2-1)。群間の身体特性に有意な差は認められなかった。全ての対象者において、両側 TrA/OI のフィードフォワードが認められた。

介入研究の一般的なデザインであるランダム化比較試験は、対象の集団を無作為に複数の群に分けることで選択バイアスを避け、客観的に介入による効果を評価することを目的とした方法である。ランダム化比較試験は、パラレル比較試験とクロスオーバー試験に分けられる。パラレル比較試験では対象者は一つの介入のみを受けるが、クロスオーバー試験は一人の対象者がどちらの介入も受けるため、個人内での比較が可能であり、個人差が大きい場合に有用とされる。しかし、クロスオーバー試験は初回の介入による影響を取り除くためウォッシュアウト期間を設ける必要がある。

先行研究において、腰痛者に対する 4 週間の Draw-in exercise は、TrA の筋反応時間を改善し、その効果は 26 週間後も持続したことや<sup>27)</sup>、16 週間の徒手

療法とスイスポールによるエクササイズが TrA の筋反応時間を改善し、56 週間後は介入期間中よりも高い効果があったことが報告されている<sup>28)</sup>。そのため、クロスオーバー試験において、2 回目の介入による筋反応時間への効果を検討するために必要なウォッシュアウト期間は不明である。以上の理由から、本研究においては平行比較試験を用いた。

表 2-1 各群の身体特性 (平均値±標準偏差)

群	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
Core stability	23.9±0.9	173.3±5.9	62.4±5.7
Draw-in	24.1±2.6	172.3±7.0	64.7±7.3
Control	24.4±1.7	174.7±4.0	68.9±7.0

## 2. 筋反応時間測定

本研究では課題 1, 課題 2 および課題 3 において, 同様の動作課題, データ解析方法を用いて筋反応時間測定を実施した.

### 1) 動作課題

豆電球を筋電図に同期させ, 立位にて豆電球の光刺激を合図として利き手側上肢を挙上し, その際の筋反応時間を測定した (図 2-1). 挙上動作は肩関節屈曲, 外転の 2 方向実施した. 挙上動作はできるだけ速く行うように指示し, 動作は各 5 回実施した. また, 上肢挙上時に体幹の前後屈や側屈を最小限に止めるように指示した.

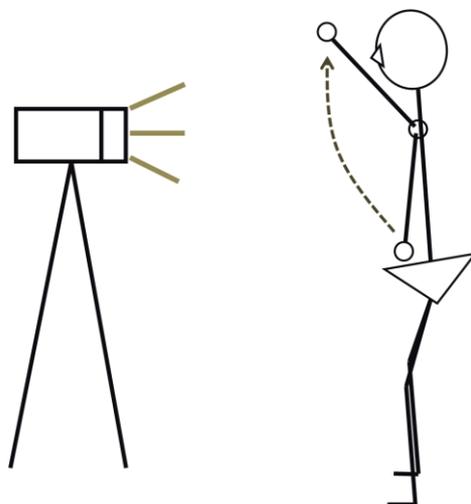


図 2-1 動作課題

## 2) データ解析

### (1) 筋電図測定・解析器

増幅器 (MEG-6116, JB-640J:日本光電社製) により, 導出された筋電位を増幅し, サンプリング周波数 2000Hz で A/D 変換した. 表面筋電図の測定および解析には Vital Recorder2 (KISSEI COMTEC 社製) を使用した.

### (2) 筋反応時間の算出

測定した筋電位は, 10-1000Hz でバンドパスフィルタリングを行い, モーションアーチファクトを除去し, 全波整流を行った. 次に, 10msec 毎の筋活動量の平均値を求め, 各筋の筋活動開始を筋活動量が安静時の平均値+2SD を超えた時点とした. 安静時の値は光刺激の前 100msec の平均値とした. 体幹筋の筋反応時間は AD または MD の筋活動開始時間を基準値 (0msec) とした. つまり, TrA/OI, MF の筋反応時間は, 基準値よりも早く筋活動開始したものを負の値, 遅く筋活動開始したものを正の値とした. なお, 筋反応時間は動作課題 5 回の平均値±標準偏差で表した. 課題 2 および課題 3 において, 光刺激から AD の筋活動開始までの時間を算出した. 図 2-2 に肩関節屈曲時の筋電図波形の代表例を示した.

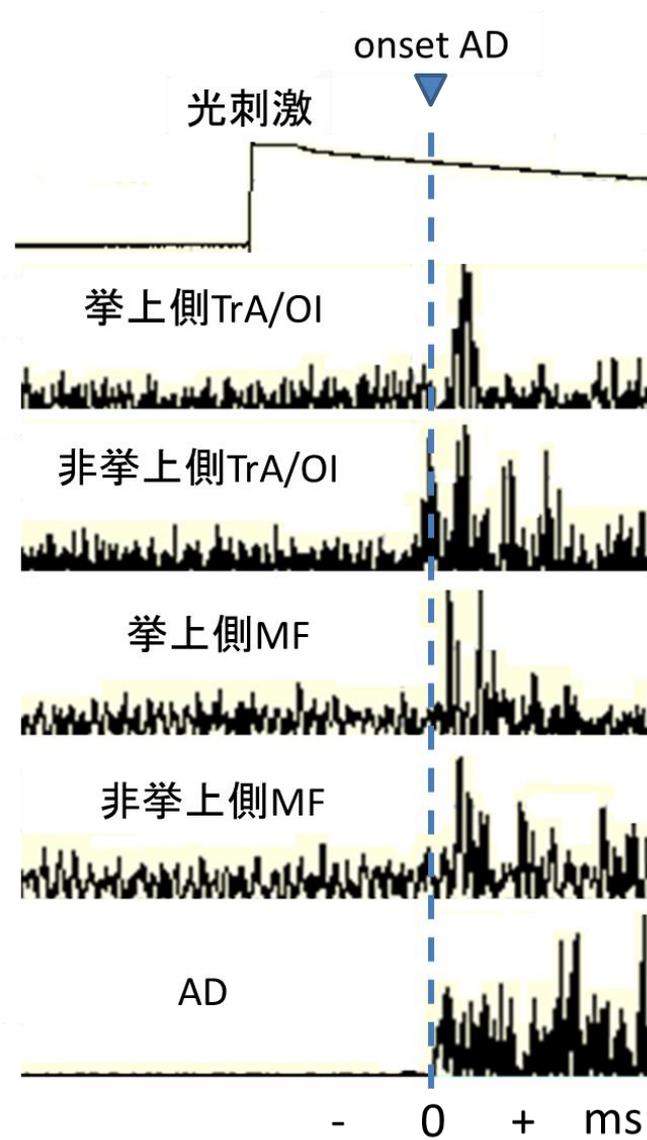


図 2-2 肩関節屈曲時の筋電図波形の例

### 第3章. 【課題1】 上肢挙上運動時の体幹深部筋の筋反応時間解析

#### 1. 目的

スポーツにおいて、左右対称の動作はほぼなく、体幹筋が両側同時に活動することは考えにくい。投動作や打撃動作などにおいても、左右体幹筋の筋反応時間には異なったタイミングがあると考えられる。上肢挙上時の体幹深部筋の筋反応時間の左右差の解明は、スポーツ動作時の筋反応時間解明の基礎となるであろう。そこで本研究では、上肢挙上運動時の体幹深部筋の筋反応時間の左右差を明らかにすることを目的とした。

#### 2. 筋反応時間測定

##### 1) 被験筋

筋電図測定の被験筋を以下に示した。

① 両側の腹横筋/内腹斜筋 (transversus abdominis muscle/obliquus internus muscle; TrA/OI)

② 両側の多裂筋 (multifidus muscle; MF)

③ 利き手側の三角筋前部 (anterior part of deltoid muscle; AD)

④ 利き手側の三角筋中部 (middle part of deltoid muscle; MD)

## 2) 電極貼付

筋電図導出部位は TrA/OI は上前腸骨棘の 2cm 内下方, MF は L5 棘突起の 2cm 外側, AD は肩峰前縁より 3 横指下方, MD は肩峰と三角筋粗面の midpoint とした (図 3-1).

電極を貼付する前に, 皮膚研磨剤およびアルコール脱脂綿を用いて皮膚抵抗が  $2k\Omega$  以下になるまで角質を除去した. 電極は双極表面電極 (日本光電社製; デイスポ電極 F ビトロード) を使用した. 電極は各筋の筋線維方向と平行になるように貼付し, 電極間距離は 10mm とした.

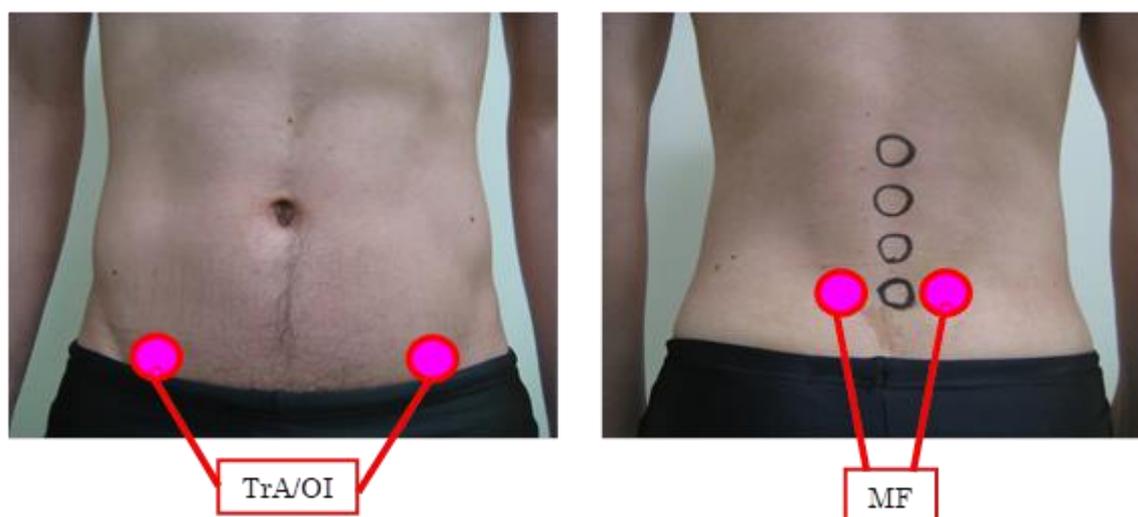


図 3-1 電極貼付位置

### 3. 統計処理

統計学的分析には、統計解析ツール Dr. SPSS II (SPSS 社製; 東京) を使用し、各筋左右の比較には対応のある t 検定を行った。

危険率 5%未満をもって有意差ありとした。

### 4. 結果

#### 1) 肩関節屈曲時

図 3-2 に肩関節屈曲時の各筋左右における筋反応時間の比較を示した。非挙上側 TrA/OI ( $-7.6 \pm 17.6$  msec) は、挙上側 TrA/OI ( $27.0 \pm 15.3$  msec) より有意に早く活動した ( $p < 0.05$ )。非挙上側 MF ( $-5.3 \pm 10.6$  msec) は、挙上側 MF ( $1.6 \pm 13.6$  msec) より有意に早く活動した ( $p < 0.05$ )。

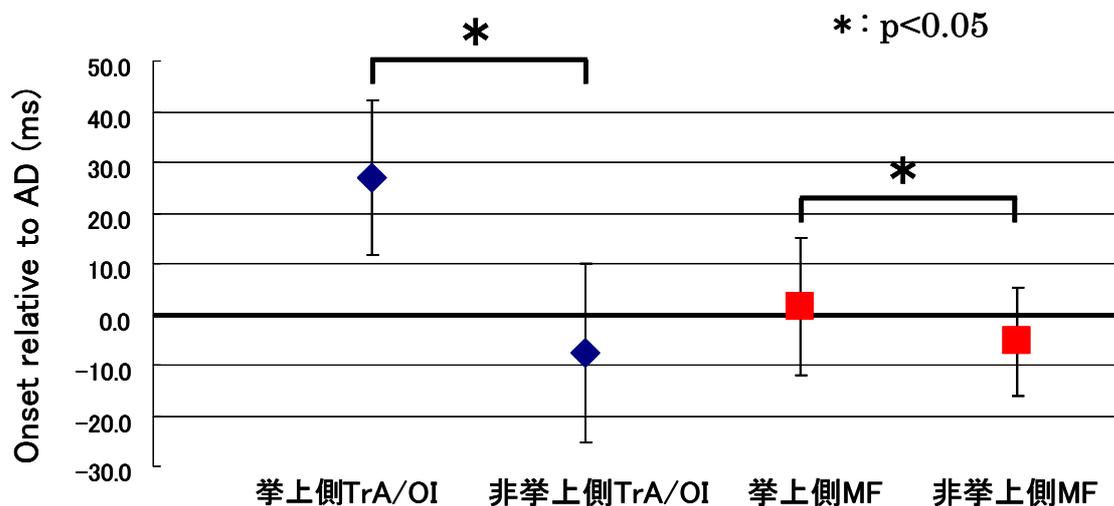


図 3-2 肩関節屈曲時の筋反応時間

## 2) 肩関節外転時

図 3-3 に肩関節外転時の各筋左右における筋反応時間の比較を示した。挙上側 TrA/OI ( $2.1 \pm 13.5 \text{ msec}$ ) は、非挙上側 TrA/OI ( $17.5 \pm 16.4 \text{ msec}$ ) より有意に早く活動した ( $p < 0.05$ )。非挙上側 MF ( $13.0 \pm 14.4 \text{ msec}$ ) は、挙上側 MF ( $31.2 \pm 30.0 \text{ msec}$ ) より有意に早く活動した ( $p < 0.05$ )。

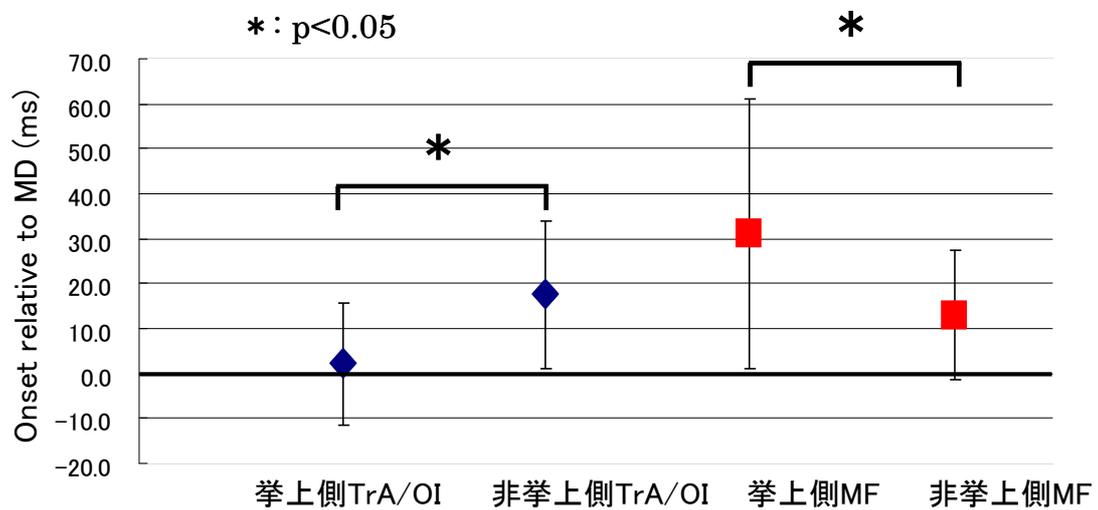


図 3-3 肩関節外転時の筋反応時間

## 5. 考察

本研究では、両側 TrA/OI は肩関節屈曲時および肩関節外転時に三角筋の筋活動開始後 50msec までに活動しており、いわゆるフィードフォワード反応が認められた。多くの先行研究において、フィードフォワードの基準は三角筋の筋活動開始から 50msec 後までと定義されている<sup>14,16,31)</sup>。筋活動開始から関節運動開始までは、電気力学的遅延が生じることが認められている<sup>12)</sup>。Aruin et al.<sup>49)</sup>の研究から、上肢挙上時の三角筋に生じる電気力学的遅延のため、三角筋の筋活動開始後 50msec までは上肢挙上に先行する体幹筋の収縮であると考えられている。本研究の結果は、TrA のフィードフォワードは全ての運動方向において生じるという先行研究を支持するものであり<sup>13,14)</sup>、両側 TrA/OI でフィードフォワードが生じる可能性が示唆された。

また、肩関節屈曲時には非挙上側 TrA/OI、MF が挙上側に先行して活動し、肩関節外転時には挙上側 TrA/OI が非挙上側に対して、非挙上側 MF が挙上側に対して先行して活動した。本実験における動作課題のような上肢の運動時には、上肢運動による重心動揺を最小限に抑えるために、姿勢を調節する先行随伴性姿勢調節が中枢神経系の働きによって生じると報告されている<sup>19)</sup>。例えば、肩関節伸展時に腹直筋は、屈曲、外転時よりも早く活動することが認められており、これは肩関節伸展に伴う重心の変化を中枢神経系の働きによって制御するものである<sup>13)</sup>。Allison et al.<sup>31)</sup> は、肩関節屈曲時に非挙上側の TrA、OI が挙上側よりも早く活動することを報告しており、これは本研究においても同様の結果であった。

肩関節外転時に、挙上側 TrA/OI が非挙上側に先行して活動した理由として以

下のことが考えられた。本実験試技では、挙上動作はできるだけ速く行うように指示した。できるだけ早く肩関節外転を行う際、体幹を非挙上側へ側屈させることで相対的に肩関節を外転させる角度を減少できると考えられる。しかし、上肢挙上時に体幹の前後屈や側屈を最小限に止めるように指示した。そのため、挙上側の  $TrA/OI$  が代償的な体幹の側屈運動を抑制するために先行して収縮したと考えられた。肩関節外転動作は前額面上の運動であるため、肩関節屈曲時より  $TrA/OI$  の筋反応時間の左右差に影響を与えたと考えられた。

$MF$  は肩関節屈曲、外転のいずれにおいても、非挙上側が挙上側に先行して活動しており、 $MF$  は挙上方向に関係なく非挙上側が挙上側に先行して活動する可能性が示唆された。肩関節外転による体幹の側屈モーメントに対する安定化として、 $TrA/OI$  においては挙上側が先行して収縮したが、 $MF$  においては同様の機序は認められなかった。 $MF$  は  $TrA$  と同時に収縮することで腰椎の分節的安定性が高まると考えられているが、本研究の結果から、 $MF$  は  $TrA$  と異なる筋反応時間を示す可能性が示唆された。

本研究によって、上肢挙上時の体幹深部筋の筋反応時間の左右差が明らかになった。大学野球投手における前腹筋（外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋）の筋横断面積は、非投球側が投球側よりも高値であることが報告されている<sup>50)</sup>。スポーツなどの非対称動作を行う際には、体幹深部筋が片側性に収縮することによって腰椎の安定性を得ている可能性が示唆された。しかし、下肢の筋や体幹のグローバル筋、上肢の筋を含めた検討は行なわれていない。スポーツ動作における筋反応時間を明らかにするためには、体幹深部筋のみではなく全身の筋反応時間を検討する必要がある。

## 6. まとめ

上肢挙上運動時の体幹深部筋の筋反応時間の左右差を明らかにするため、健康成人男性 21 名を対象に、TrA/OI, MF の筋反応時間測定を行なった。肩関節屈曲時の TrA/OI, MF および肩関節外転時の MF は、非挙上側が挙上側に先行して活動したが、肩関節外転時の TrA/OI は挙上側が非挙上側に対して先行して活動した。肩関節を挙上する方向によって、体幹深部筋の筋反応時間が異なる可能性が示唆された。

## 第4章. 【課題2】体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える即時的効果の検討

### 1. 目的

スポーツ現場で実施されている運動強度が高い体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える影響は明らかにされていない。そこで本研究では、体幹筋エクササイズを実施する前後での筋反応時間の違いを比較することを目的とした。

課題1によって、肩関節外転は前額面上の運動であるため、肩関節屈曲時より TrA/OI の筋反応時間の左右差に影響を与えることが明らかになった。肩関節屈曲時に、非挙上側が挙上側に先行して活動することは先行研究を支持しており<sup>31)</sup>、信頼性の高い結果であると考えられた。また、課題2における Core stability exercise が矢状面上の運動であることから、肩関節屈曲運動がエクササイズの効果を反映するのに最適であると考えられる。従って、課題2では肩関節屈曲時の筋反応時間の体幹筋エクササイズによる変化を明らかにすることを目的とした。

## 2. 介入内容

### 1) Core stability exercise 群

Elbow-toe with right arm and left leg lift (図 4-1), Elbow-toe with left arm and right leg lift (図 4-2) の順に姿勢保持を 30 秒ずつ 2 セット行った。エクササイズ間の休憩は 45 秒とし、セット間の休憩は 90 秒とした。



図 4-1 Elbow-toe with right arm and left leg lift



図 4-2 Elbow-toe with left arm and right leg lift

## 2) Draw-in exercise 群

仰臥位，股関節屈曲 45 度，膝関節屈曲 90 度にて腹部引き込み動作を 10～20 秒行い，それを 5 分間繰り返した．TrA の収縮を超音波診断装置で確認して，映像および口頭でフィードバックを与えながら実施した．

## 3) Control 群

特定のエクササイズは実施しなかった．

### 3. 筋反応時間測定

#### 1) 動作課題

動作課題はエクササイズ前 (pre) とエクササイズ後 (post) に実施した.

#### 2) 被験筋

筋電図測定の被験筋を以下に示した.

- ① 両側の腹横筋/内腹斜筋 (transversus abdominis muscle/obliquus internus muscle; TrA/OI)
- ② 両側の多裂筋 (multifidus muscle; MF)
- ③ 両側の外腹斜筋 (obliquus externus muscle; OE)
- ④ 利き手側の三角筋前部 (anterior part of deltoid muscle; AD)

#### 3) 電極貼付

筋電図導出部位は TrA/OI は上前腸骨棘の 2cm 内下方, MF は L5 棘突起の 2cm 外側, OE は臍高位で臍から 15cm 側方, AD は肩峰前縁より 3 横指下方とした (図 4-3).

電極を貼付する前に, 皮膚研磨剤およびアルコール脱脂綿を用いて皮膚抵抗が  $2k\Omega$  以下になるまで角質を除去した. 電極は双極表面電極 (日本光電社製; デイスポ電極 F ビトロード) を使用した. 電極は各筋の筋線維方向と平行になるように貼付し, 電極間距離は 10mm とした.

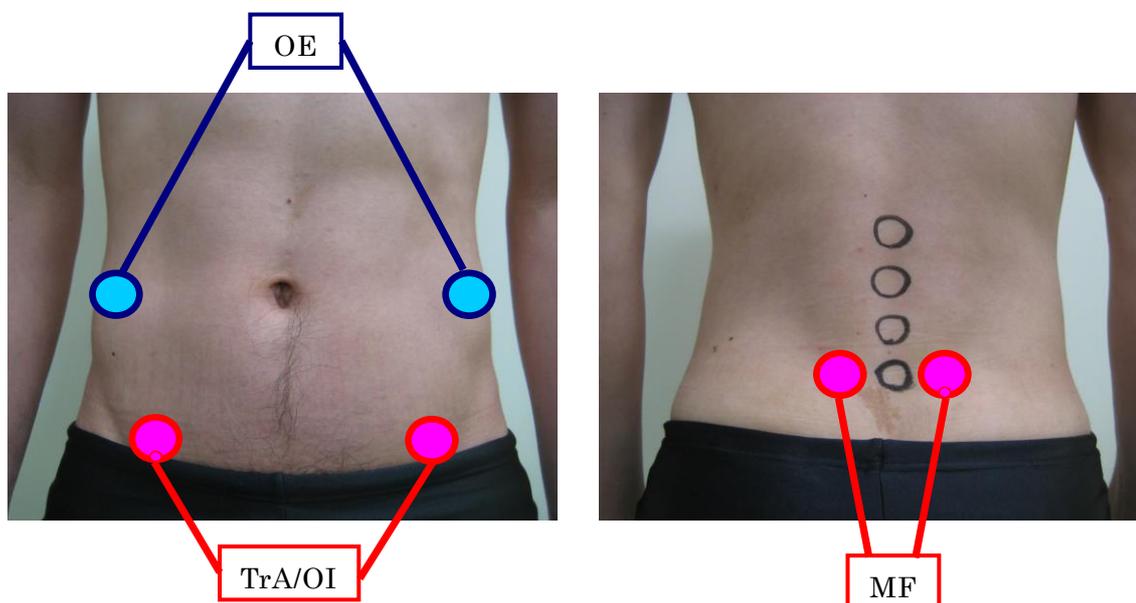


図 4-3 電極貼付位置

TrA/OI; 腹横筋/内腹斜筋, MF; 多裂筋, OE; 外腹斜筋

#### 4. 統計処理

各種介入内容が各筋における筋反応時間へ与える効果を検討するため、群 (Core stability exercise 群, Draw-in exercise 群, Control 群), 介入 (前, 後) の 2 要因分散分析を行った。主効果, 交互作用において有意な差が認められた場合, Bonferroni 法を用いて下位検定を行った。

統計学的分析は, 統計ソフト Dr. SPSS II for Windows を用い, 全ての検定において有意水準は 5%未満とした。

## 5. 結果

### 1) 体幹筋エクササイズによる即時的効果

#### (1) TrA/OI

図 4-4 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における拳上側 TrA/OI の筋反応時間を示した。TrA/OI の拳上側において、有意な交互作用は認められず、介入による有意な単純主効果が認められ、Core stability exercise 群の post (14.6±26.9msec) は pre (35.1±13.1msec) より有意に早くなった ( $p<0.05$ )。また、Draw-in exercise 群の post (3.8±20.3msec) は pre (22.0±19.8msec) より有意に早くなった ( $p<0.05$ )。

図 4-5 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における非拳上側 TrA/OI の筋反応時間を示した。非拳上側では有意な交互作用が認められた。単純主効果を検討した結果、介入による有意な単純主効果が認められ、Core stability exercise 群の post (10.0±22.4msec) は pre (-14.9±22.0msec) より有意に遅くなった ( $p<0.05$ )。

#### (2) MF

図 4-6 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における拳上側 MF の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

図 4-7 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における非拳上側 MF の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

### (3) OE

図 4-8 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における拳上側 OE の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

図 4-9 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における非拳上側 OE の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

### (4) AD

図 4-10 に体幹筋エクササイズ前後 (pre, post) における光刺激から AD の筋活動開始までの筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

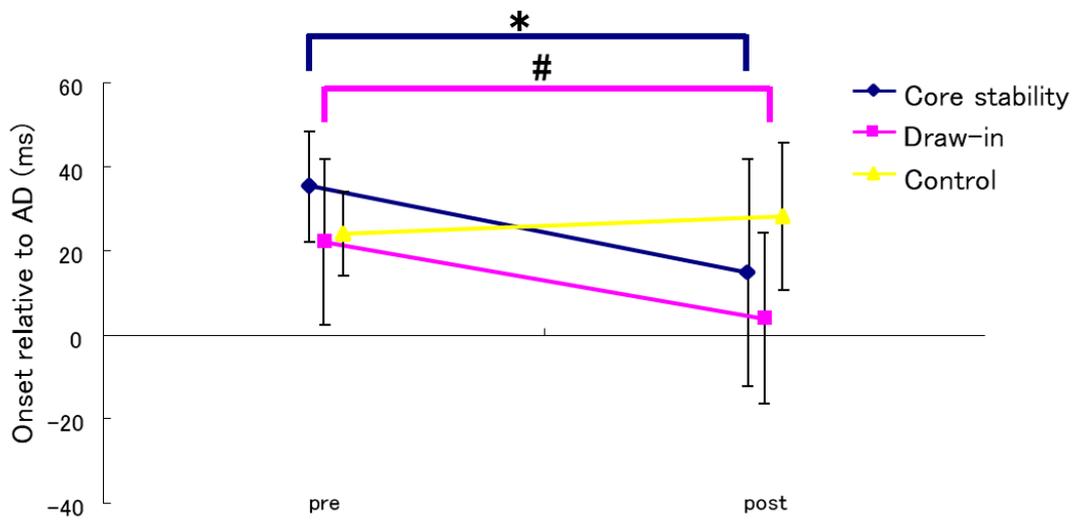


図 4-4 拳上側 TrA/OI の筋反応時間の比較

Values are means±SD \* p<0.05 Core stability pre vs. post

# p<0.05 Draw-in pre vs. post

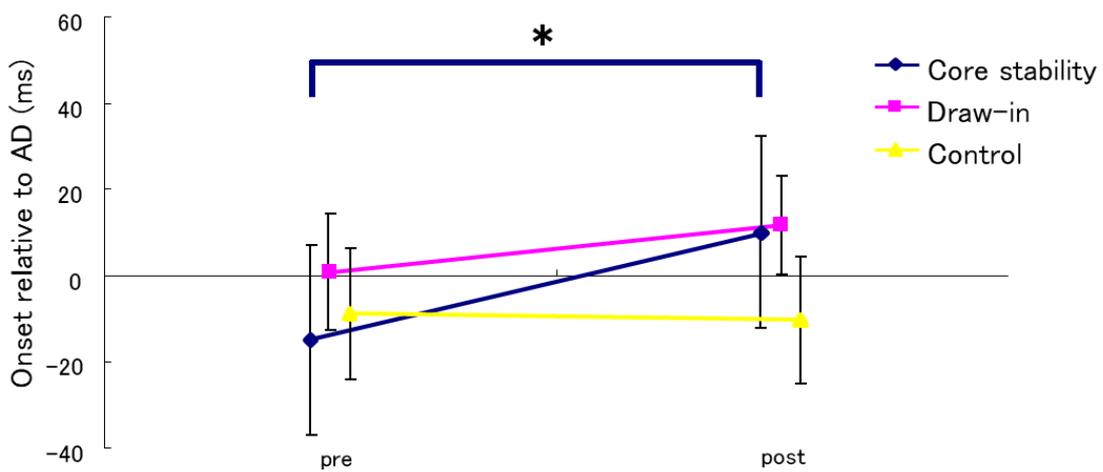


図 4-5 非拳上側 TrA/OI の筋反応時間の比較

Values are means±SD \* p<0.05 Core stability pre vs. post

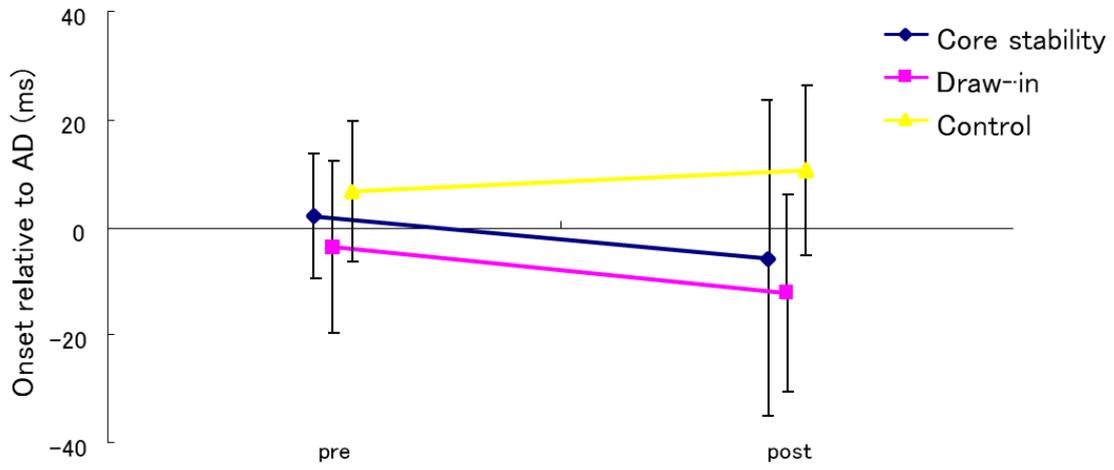


図 4-6 挙上側 MF の筋反応時間の比較

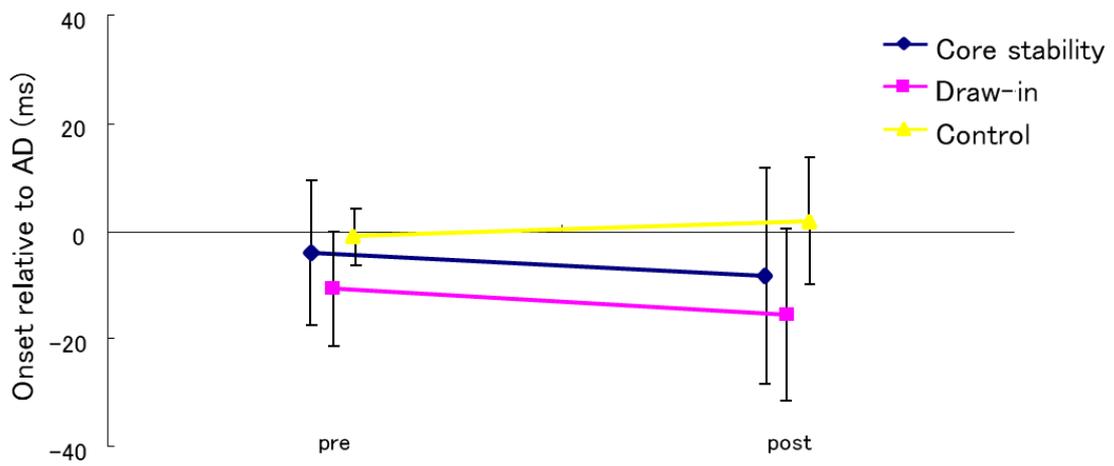


図 4-7 非挙上側 MF の筋反応時間の比較

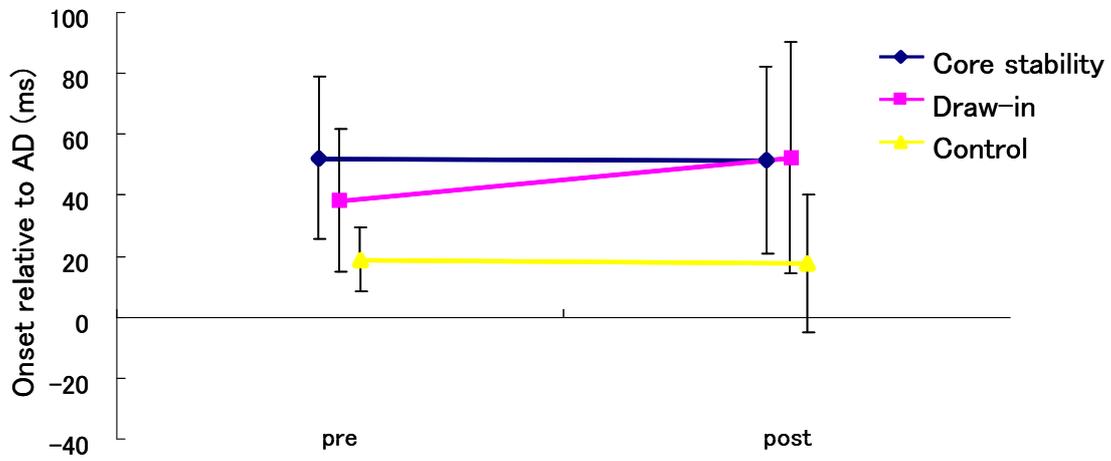


図 4-8 挙上側 OE の筋反応時間の比較

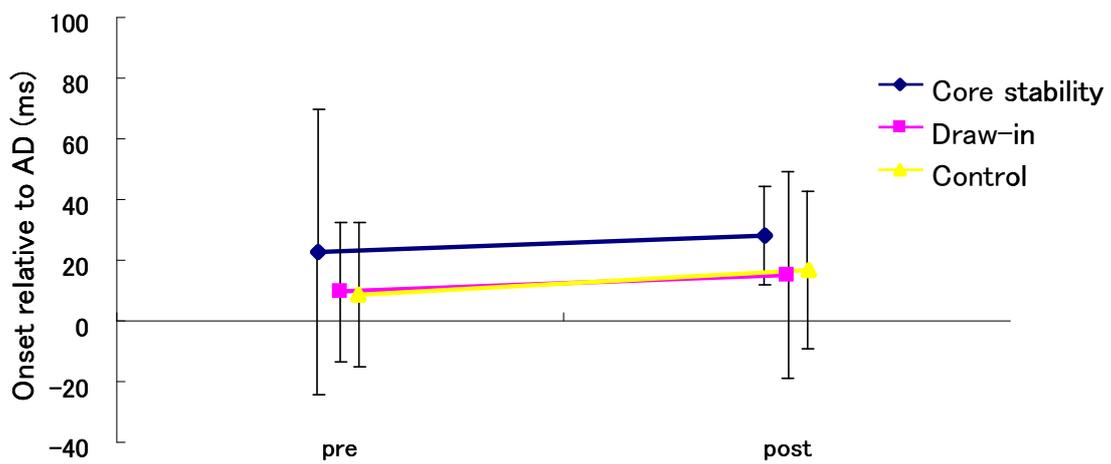


図 4-9 非挙上側 OE の筋反応時間の比較

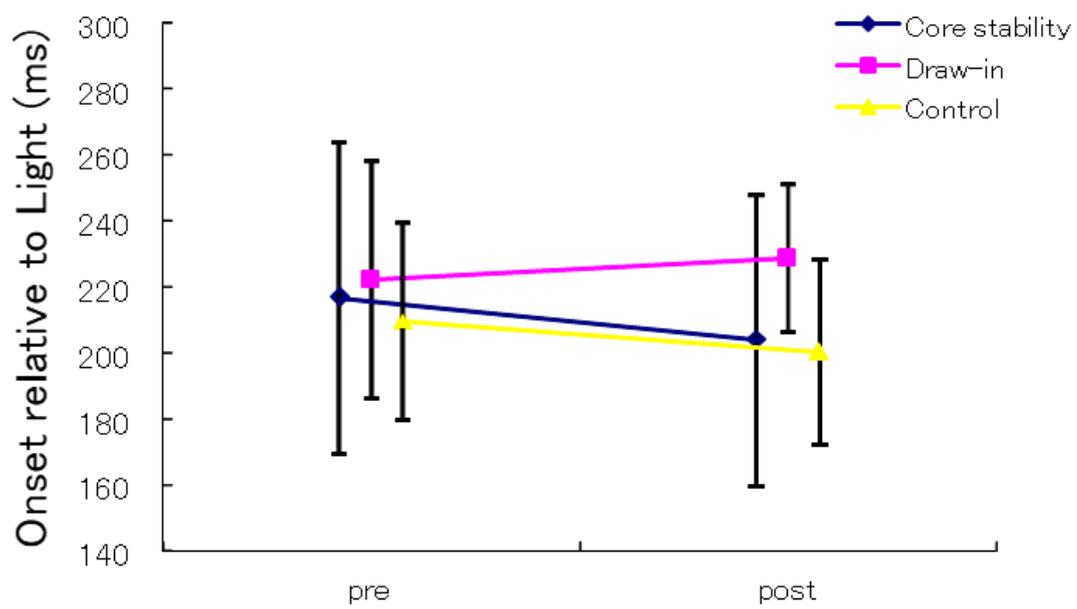


図 4-10 AD の筋反応時間の比較

## 6. 考察

### 1) TrA/OI

体幹筋エクササイズの即時的効果の検討では、Core stability exercise 群の挙上側、Draw-in exercise 群の挙上側 TrA/OI において、筋反応時間が有意に早くなった。

筋反応時間の変化は神経筋機能によるものであると広く考えられている。神経筋機能の変容の具体的な機序は明らかになっていないが、中枢神経系、反射性抑制、運動ニューロンの伝導速度などの要因が考えられる。その中でも、反射性抑制や運動ニューロンの伝導速度については、関節や末梢神経などの損傷が原因で引き起こされる運動ニューロンの興奮性の低下<sup>22)</sup>や伝導速度の低下であることが考えられるため、健常者を対象として実施した本研究においては、筋反応時間を変化させる機序としては考えにくい。したがって、本研究において筋反応時間に影響を与えた要因は中枢神経系による神経筋機能の改善であるとする。一般的に、トレーニングの即時的効果は、トレーニング刺激による運動単位の動員や発火頻度が上昇することによる神経筋機能の改善であると報告されている<sup>51)</sup>。運動ニューロンおよび運動野の興奮性の変化は、随意収縮を繰り返すことによって起こる<sup>43)</sup>。ヒトの感覚野および運動野はトレーニングによる可塑性変化を維持することが示されており<sup>44)</sup>、これらの変化は、トレーニング後数分から数時間以内に急速に起こりうることを示されている<sup>43,45)</sup>。従って、本研究で実施した Elbow-toe with right arm and left leg lift や Draw-in exercise は、TrA に対する特異的なエクササイズであり、これらのエクササイズを実施することで、TrA が刺激され TrA/OI の筋反応時間が早くなったと考

える。

本研究では、スポーツ競技において左右対称の動作は少なく、体幹筋が両側同時に活動はすることは少ないと考えられること、先行研究において体幹筋の筋反応時間は拳上側と非拳上側で異なる反応を示すことが報告されている<sup>31)</sup>ことから、拳上側と非拳上側の筋反応時間をそれぞれ計測した。その結果、拳上側 TrA/OI の筋反応時間は、Core stability exercise 群、Draw-in exercise 群ともに有意に早くなり、非拳上側 TrA/OI の筋反応時間は Core stability exercise 群では有意に遅くなったが、Draw-in exercise 群では有意な差は認められなかった。これらの結果は、体幹筋エクササイズによる両側の変化を示した新しい知見である。

先行研究では、肩関節屈曲時には非拳上側が拳上側よりも早く活動すると報告されている<sup>31)</sup>。この理由としては、上肢運動による重心動揺を最小限に抑えるために、姿勢を調節する先行随伴性姿勢調節が中枢神経系の働きによって生じる<sup>19)</sup>ためであると考えられている。本研究では、Core stability exercise 群の非拳上側の筋反応時間が有意に遅くなった。統計学的な比較は行っていないが、非拳上側 TrA/OI ( $10.0 \pm 22.4 \text{ msec}$ ) が拳上側 TrA/OI ( $14.6 \pm 26.9 \text{ msec}$ ) よりもわずかに先に活動しており、これは先行研究と同様の結果であった。これらの変化は Core stability exercise によって、拳上側 TrA/OI と非拳上側 TrA/OI の筋反応時間が両側性に近づく可能性を示唆した。TrA はインナーユニットとして腰椎の安定性向上に働く<sup>11)</sup>。TrA と MF はインナーユニットの外周を囲う構造をしており、その構造上両側性に収縮することによって腹腔内圧が上昇し、腰椎の安定性向上に貢献すると考えられた。また、エクササイズによる筋反応時

間の変化は介入前の値が高ければ高いほど早くなりやすく、逆に低ければ低いほど早くなりにくいと報告されている<sup>28)</sup>。Core stability exercise 群の非拳上側は pre の値が低かった (-14.9±22.0msec) ために更に早くならなかった可能性も考えられる。

先行研究において、短時間のエクササイズによる即時的効果は Draw-in exercise によってみられる<sup>26)</sup>が、Core stability exercise ではみられないことが報告されている<sup>29)</sup>。リハビリテーションにおいては機能改善のために特異的なエクササイズを実施した方が有効であり<sup>52)</sup>、TrA の収縮の遅延に対しては TrA の選択的収縮が必要であると考えられている<sup>26)</sup>。また、TrA の主動作筋に対する先行的収縮は他の腹筋群と独立して生じると報告されており<sup>53)</sup>、多くの研究で選択的収縮を目的とした Draw-in exercise が実施されている<sup>26,27)</sup>。

しかし、本課題では Core stability exercise 群においても筋反応時間の変化が認められた。この理由として、Core stability exercise の運動強度が先行研究と異なっていたことが考えられた。

## 2) MF および OE について

本研究では、MF および OE の筋反応時間に変化は見られなかった。この結果から、Core stability exercise や Draw-in exercise は、TrA に対する特異的なエクササイズであることが示唆された。

Draw-in exercise は TrA を選択的に収縮させるエクササイズであり、本実験においては、超音波診断装置を用いて OE を収縮させず TrA のみを収縮させるように確認しながら実施した。また、仰臥位で背部が床に接地している状態で

行うエクササイズであるため MF は収縮していないと考えられた。

一方、Elbow-toe with contralateral arm and leg lift はブリッジ動作であるから、身体部分の下面にある腹筋群が主動作筋となり、MF の筋活動は少ないが OE は活動する<sup>40)</sup>。また、Okubo ら<sup>41)</sup>によると Elbow-toe with contralateral arm and leg lift 時には OE の筋活動量が約 80%MVC まで高まるが、MF は多くても 10%MVC 以下であることが報告されている。さらに、グローバル筋を収縮させるトレーニングであるシットアップによって OE の筋反応時間が即時的に早くなることも報告されている<sup>26)</sup>。

したがって、本研究において MF の筋活動は少ないと考えられたが、筋活動が高いと予想される OE においても筋反応時間に有意差が認められなかった。その理由として、OE は体幹の屈曲や回旋のトルクを生むグローバル筋であるため、等張性収縮によって神経筋機能が改善されるが等尺性収縮では改善されない可能性が考えられた。つまり、本来の筋機能から推察すると、大きなトルクを生む筋であるグローバル筋は等張性収縮、腰椎の分節的安定性を高める筋であるローカル筋は等尺性収縮によって神経筋機能の改善が促される可能性がある。

### 3) AD について

光刺激から AD の筋活動開始までの筋反応時間に変化は見られなかった。体幹筋の筋反応時間は AD を基準値として求められる。そのため、介入内容が体幹筋に対するエクササイズであり、TrA/OI の筋反応時間の変化は肩関節挙上動作自体の影響を受けずに生じることが考えられた。動作課題である上肢挙上動

作を繰り返すことによる学習効果は認められないと考えられ、本研究の妥当性を支持する結果であった。

## 7. まとめ

本研究では、体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える即時的効果を検討した。その結果、即時的効果では、Core stability exercise 群および Draw-in exercise 群の挙上側 TrA/OI において、筋反応時間が有意に早くなった。

## 第 5 章. 【課題 3】 2 週間継続した体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える効果の検討

### 1. 目的

継続的な運動強度が高い体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える影響は明らかにされていない。また、エクササイズを定期的に行っている者の筋反応時間についても明らかにされていない。そこで本研究では、2 週間の体幹筋エクササイズ介入による筋反応時間への効果、および 2 週間後の運動習慣がある状態における即時的効果を検討することを目的とした。

### 2. 実験プロトコル

図 5-1 に実験プロトコルを示した。本実験は 14 日間 8 セッションのエクササイズ期間 (Ex. Period) を挟んだ 15 日間で実施した。まず Day1 に、体幹筋の筋反応時間を測定 (pre) した。その後、14 日間の Ex. Period を挟み、Day15 に Day1 と同様の測定を実施し (2w-pre)、Pre と 2w-pre を比較することで、2 週間の体幹筋エクササイズ介入による筋反応時間への影響を検討した (図 5-1 ①)。さらに 2 週間の介入後の即時的効果を検討した (2w-pre と 2w-post) (図 5-1 ②)。

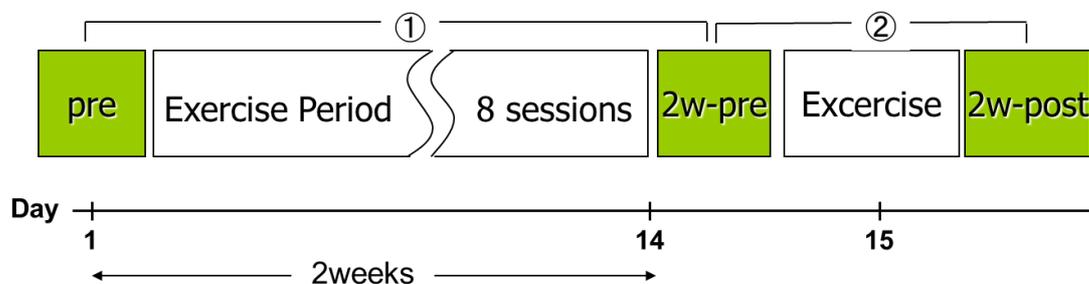


図 5-1 実験プロトコル

### 3. 介入内容

#### 1) Core stability exercise 群

Elbow-toe with right arm and left leg lift (図 5-2), Elbow-toe with left arm and right leg lift (図 5-3) の順に姿勢保持を 30 秒ずつ 2 セット行った。エクササイズ間の休憩は 45 秒とし、セット間の休憩は 90 秒とした。エクササイズは 1 週間に 4 日、計 2 週間実施し、Day15 に 1 度実施した。エクササイズは全て同一の検者の監督下で行った。



図 5-2 Elbow-toe with right arm and left leg lift



図 5-3 Elbow-toe with left arm and right leg lift

## 2) Draw-in exercise 群

仰臥位，股関節屈曲 45 度，膝関節屈曲 90 度にて腹部引き込み動作を 10～20 秒行い，それを 5 分間繰り返した．エクササイズは 1 週間に 4 日，計 2 週間実施し，Ex.15 に 1 度実施した．エクササイズは全て同一の検者の監督下で行った．Day1 および Day15 は，TrA の収縮を超音波診断装置で確認して，映像および口頭でフィードバックを与えながら実施した．

## 3) Control 群

特定のエクササイズは実施しなかった．

#### 4. 筋反応時間測定

##### 1) 動作課題

動作課題は Day1 (pre) と Day15 のエクササイズ前後 (2w-pre と 2w-post) に実施した。

##### 2) 被験筋

筋電図測定 of 被験筋を以下に示した。

- ① 両側の腹横筋/内腹斜筋 (transversus abdominis muscle/obliquus internus muscle; TrA/OI)
- ② 両側の多裂筋 (multifidus muscle; MF)
- ③ 両側の外腹斜筋 (obliquus externus muscle; OE)
- ④ 利き手側の三角筋前部 (anterior part of deltoid muscle; AD)

##### 3) 電極貼付

筋電図導出部位は TrA/OI は上前腸骨棘の 2cm 内下方, MF は L5 棘突起の 2cm 外側, OE は臍高位で臍から 15cm 側方, AD は肩峰前縁より 3 横指下方とした (図 5-4)。

電極を貼付する前に, 皮膚研磨剤およびアルコール脱脂綿を用いて皮膚抵抗が  $2k\Omega$  以下になるまで角質を除去した。電極は双極表面電極 (日本光電社製; ディスポ電極 F ビトロード) を使用した。電極は各筋の筋線維方向と平行になるように貼付し, 電極間距離は 10mm とした。

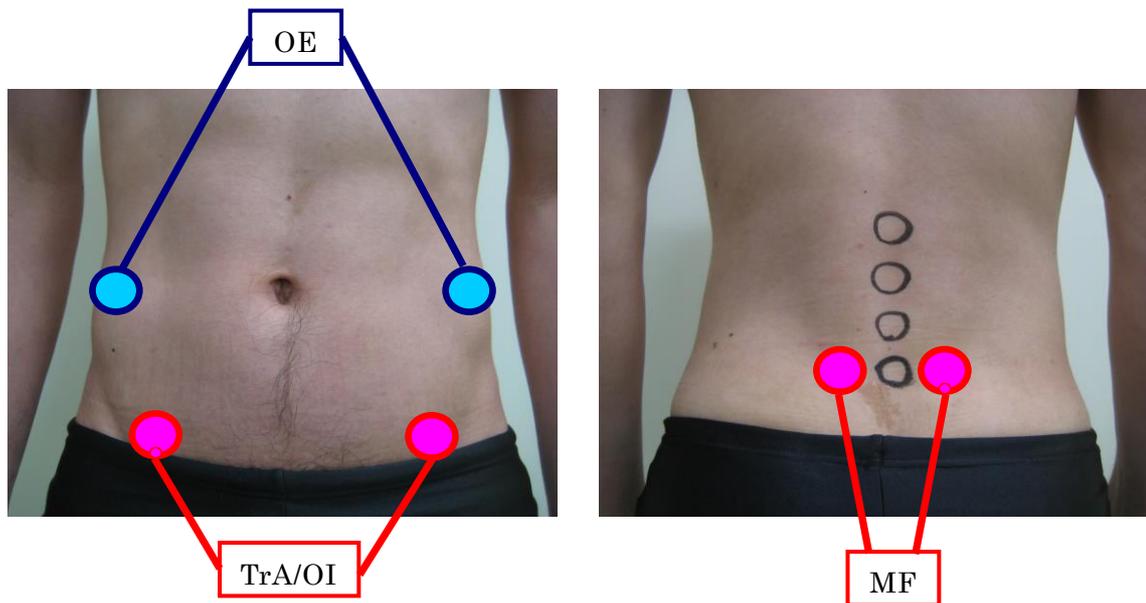


図 5-4 電極貼付位置

TrA/OI; 腹横筋/内腹斜筋, MF; 多裂筋, OE; 外腹斜筋

## 5. 統計処理

各種介入内容が各筋における筋反応時間へ与える効果を検討するため、群 (Core stability exercise 群, Draw-in exercise 群, Control 群), 介入 (前, 後) の 2 要因分散分析を行った。主効果, 交互作用において有意な差が認められた場合, Bonferroni 法を用いて下位検定を行った。

統計学的分析は, 統計ソフト Dr. SPSS II for Windows を用い, 全ての検定において有意水準は 5%未満とし, 5%以上 10%未満は有意傾向とした。

## 6. 結果

### 1) 2週間の体幹筋エクササイズ介入による効果

#### (1) TrA/OI

図 5-5 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における拳上側 TrA/OI の筋反応時間を示した。TrA/OI の拳上側において、有意な交互作用は認められず、介入による有意な単純主効果が認められ、Core stability exercise 群の 2w-pre ( $3.7 \pm 38.1 \text{ msec}$ ) は pre ( $35.1 \pm 13.1 \text{ msec}$ ) より有意に早くなった ( $p < 0.05$ )。

図 5-6 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における非拳上側 TrA/OI の筋反応時間を示した。非拳上側では有意な差は認められなかった。

また、Draw-in exercise 群、Control 群では拳上側、非拳上側ともに有意な差は認められなかった。

#### (2) MF

図 5-7 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における拳上側 MF の筋反応時間を示した。MF の拳上側では全ての群で、有意な差は認められなかった。

図 5-8 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における非拳上側 MF の筋反応時間を示した。非拳上側では有意な交互作用は認められず、介入による有意な単純主効果が認められ、Core stability exercise 群の 2w-pre ( $-13.3 \pm 20.2 \text{ msec}$ ) は pre ( $-4.0 \pm 13.4 \text{ msec}$ ) より有意に早くなった傾向を示した ( $p < 0.10$ )。また、Draw-in exercise 群の 2w-pre ( $-21.5 \pm 11.4 \text{ msec}$ ) は pre

( $-10.9 \pm 10.6$  msec) より有意に早くなった ( $p < 0.05$ ). Control 群では, 有意な差は認められなかった.

### (3) OE

図 5-9 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における拳上側 OE の筋反応時間を示した. 全ての群で有意な差は認められなかった.

図 5-10 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における非拳上側 OE の筋反応時間を示した. 全ての群で有意な差は認められなかった.

### (4) AD

図 5-11 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入前後 (pre, 2w-pre) における光刺激から AD の筋活動開始までの筋反応時間を示した. 全ての群で有意な差は認められなかった.

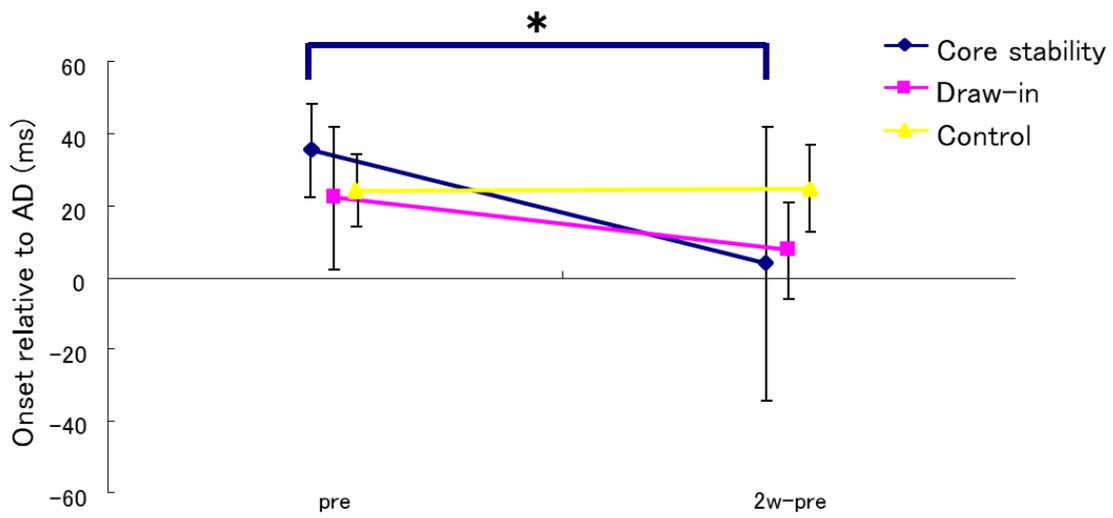


図 5-5 挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較

Values are means±SD \* p< 0.05 Core stability pre vs. 2w-pre

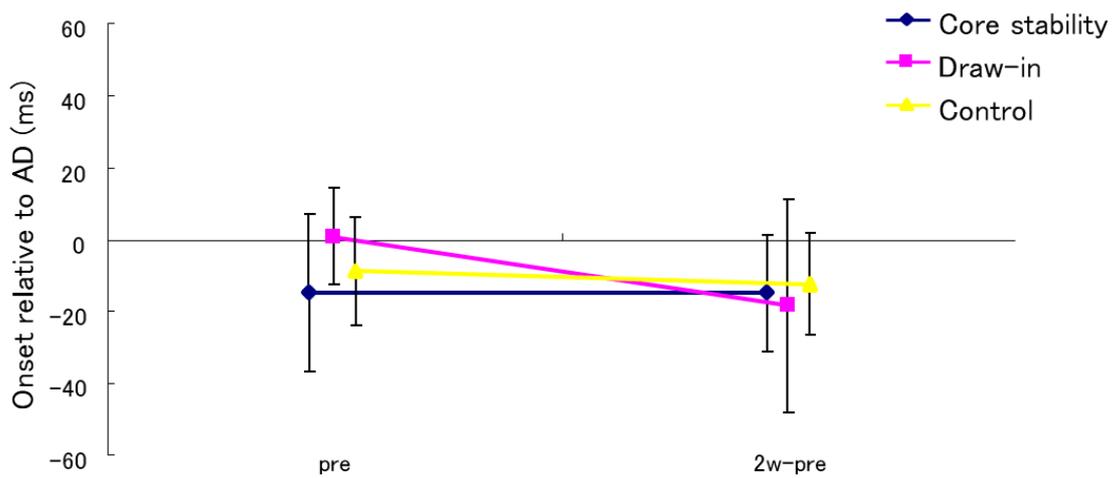


図 5-6 非挙上側 TrA/OI の筋反応時間の比較

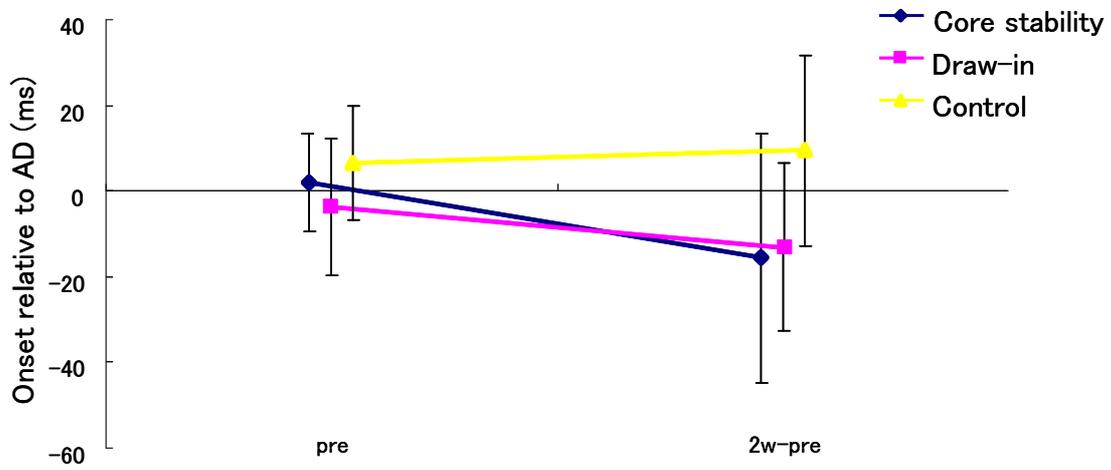


図 5-7 挙上側 MF の筋反応時間の比較

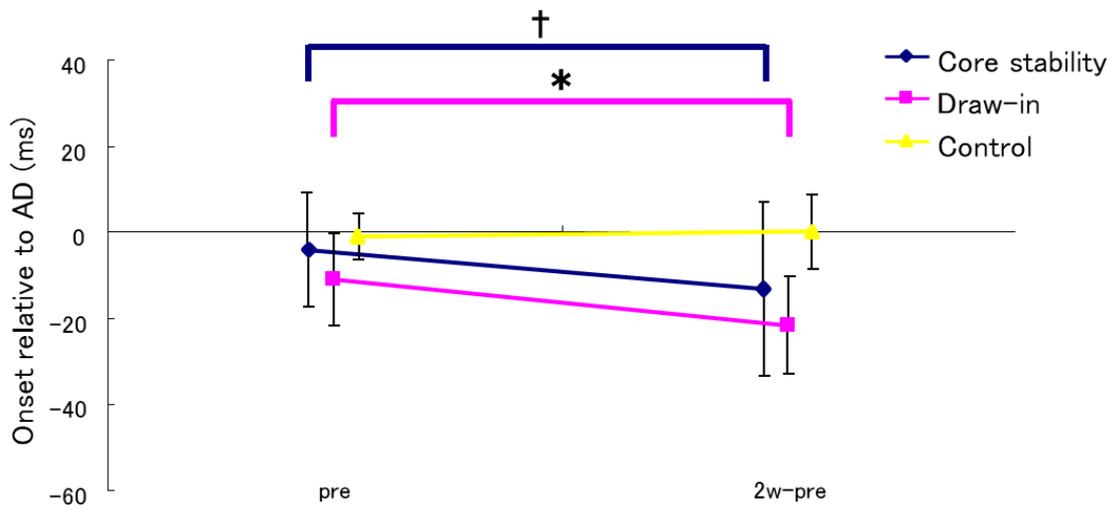


図 5-8 非挙上側 MF の筋反応時間の比較

Values are means±SD \*  $p < 0.05$  Draw-in pre vs. 2w-pre

†  $0.05 \leq p < 0.10$  Core stability pre vs. 2w-pre

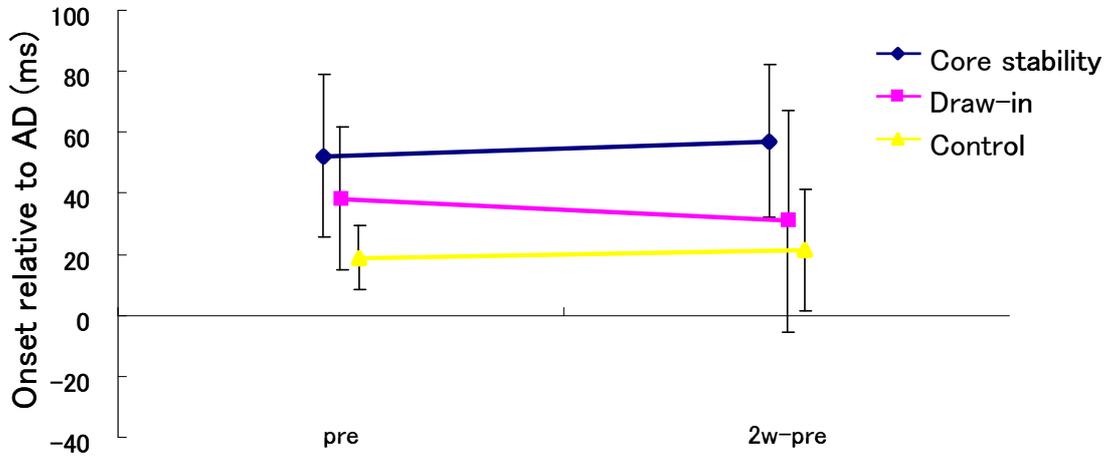


図 5-9 挙上側 OE の筋反応時間の比較

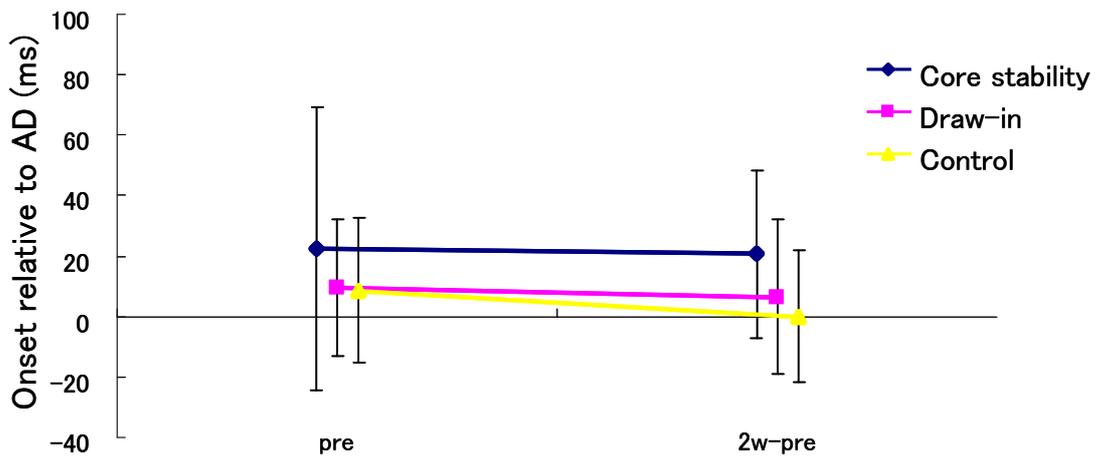


図 5-10 非挙上側 OE の筋反応時間の比較

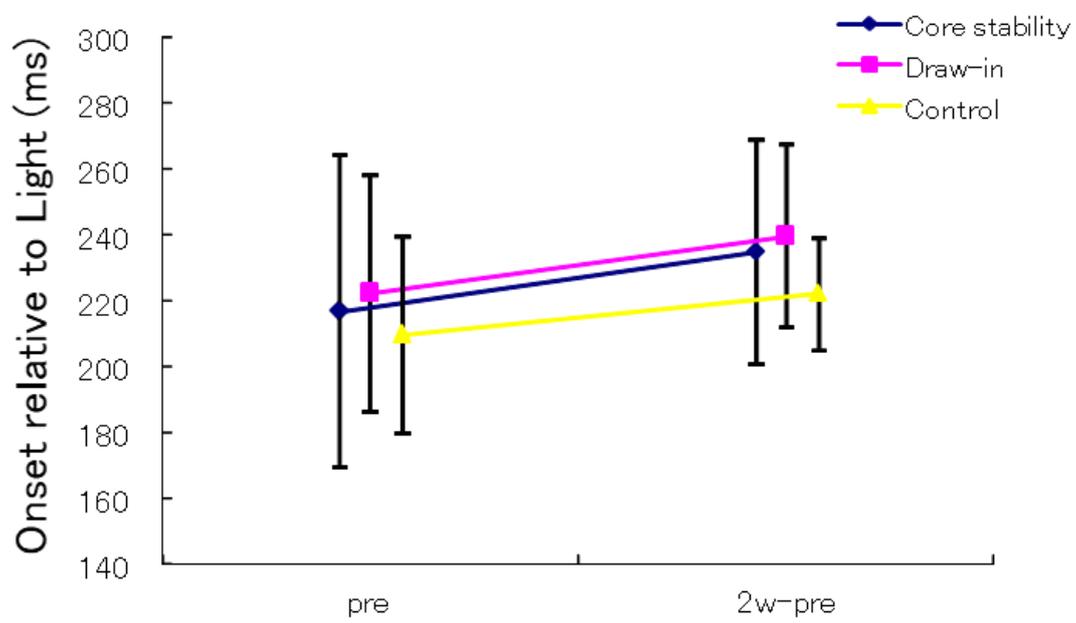


図 5-11 AD の筋反応時間の比較

## 2) 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後における即時的効果

### (1) TrA/OI

図 5-12 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における拳上側 TrA/OI の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

図 5-13 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における非拳上側 TrA/OI の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

### (2) MF

図 5-14 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における拳上側 MF の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

図 5-15 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における非拳上側 MF の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

### (3) OE

図 5-16 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における拳上側 OE の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

図 5-17 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post) における非拳上側 OE の筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

#### (4) AD

図 5-18 に 2 週間の体幹筋エクササイズ介入後 (2w-pre, 2w-post)における光刺激から AD の筋活動開始までの筋反応時間を示した。全ての群で有意な差は認められなかった。

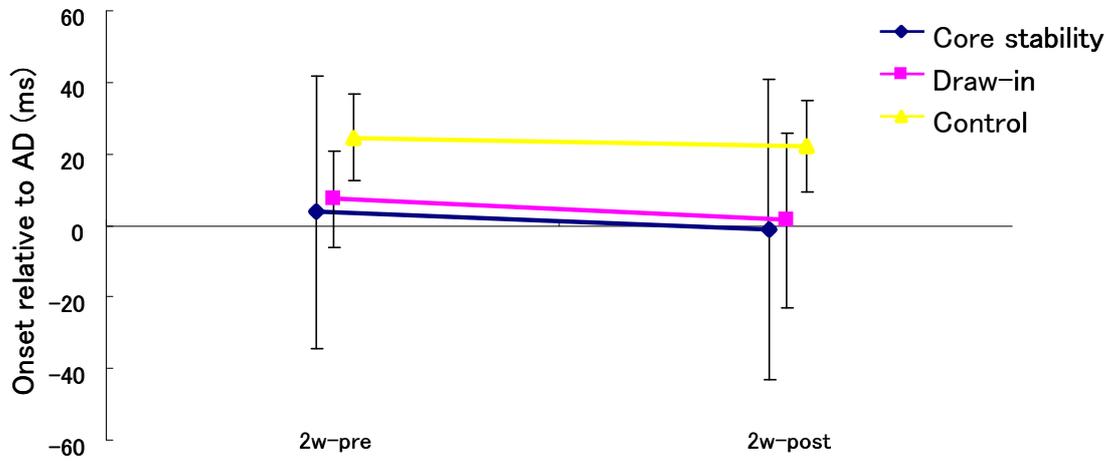


図 5-12 拳上側 TrA/OI の筋反応時間の比較

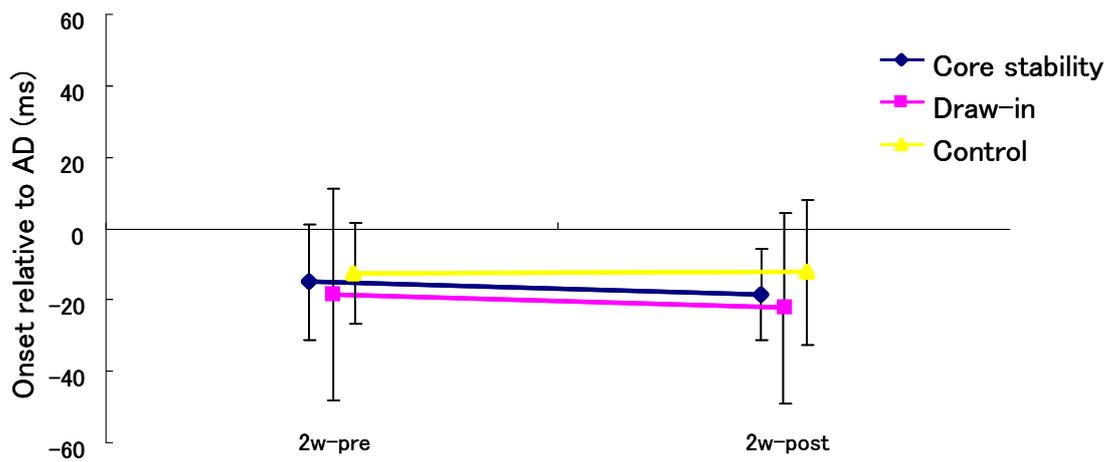


図 5-13 非拳上側 TrA/OI の筋反応時間の比較

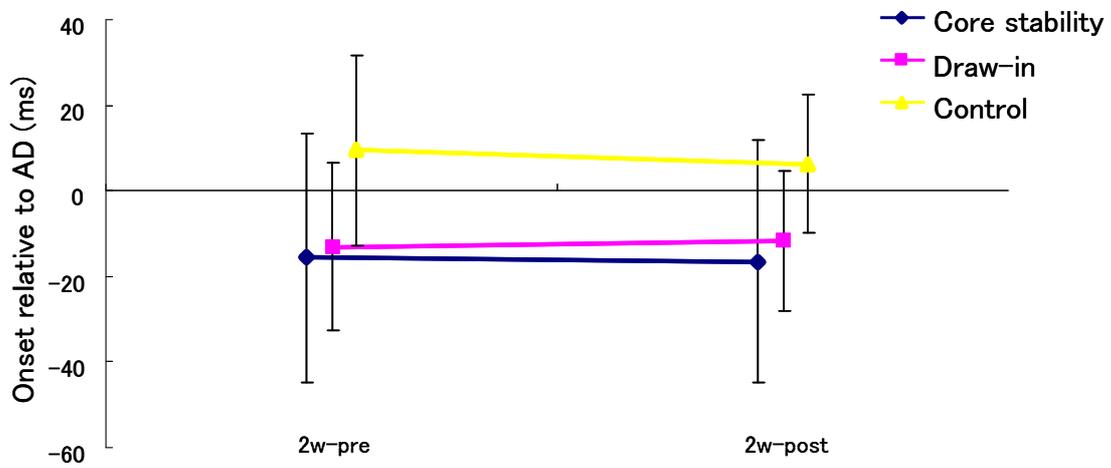


図 5-14 挙上側 MF の筋反応時間の比較

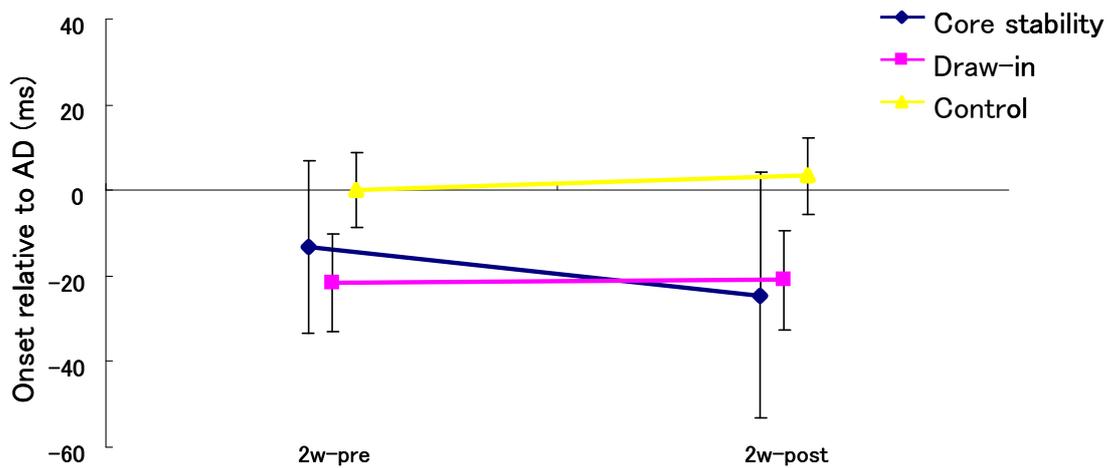


図 5-15 非挙上側 MF の筋反応時間の比較

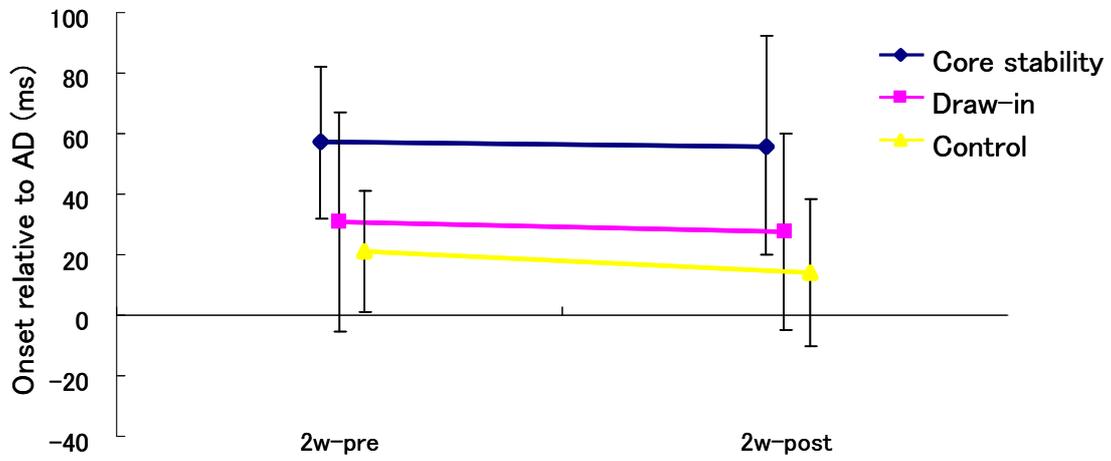


図 5-16 拳上側 OE の筋反応時間の比較

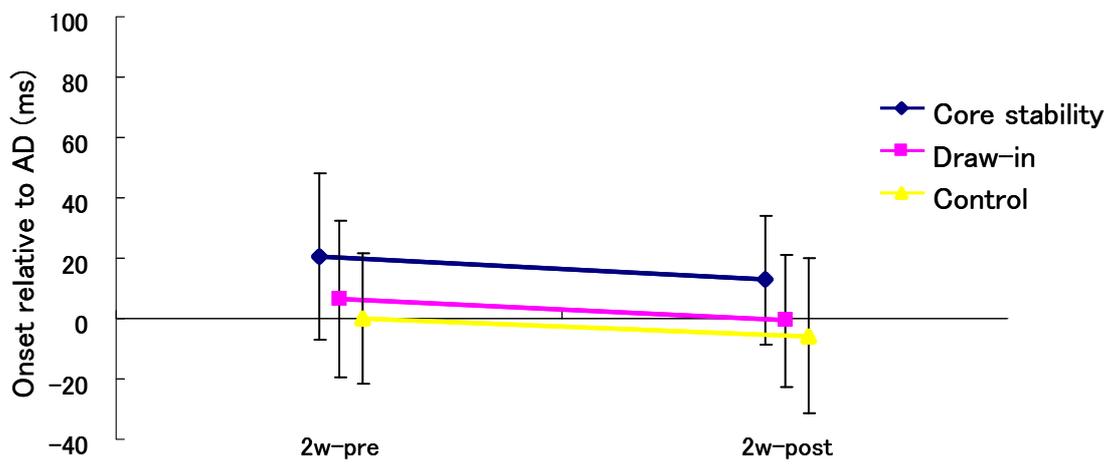


図 5-17 非拳上側 OE の筋反応時間の比較

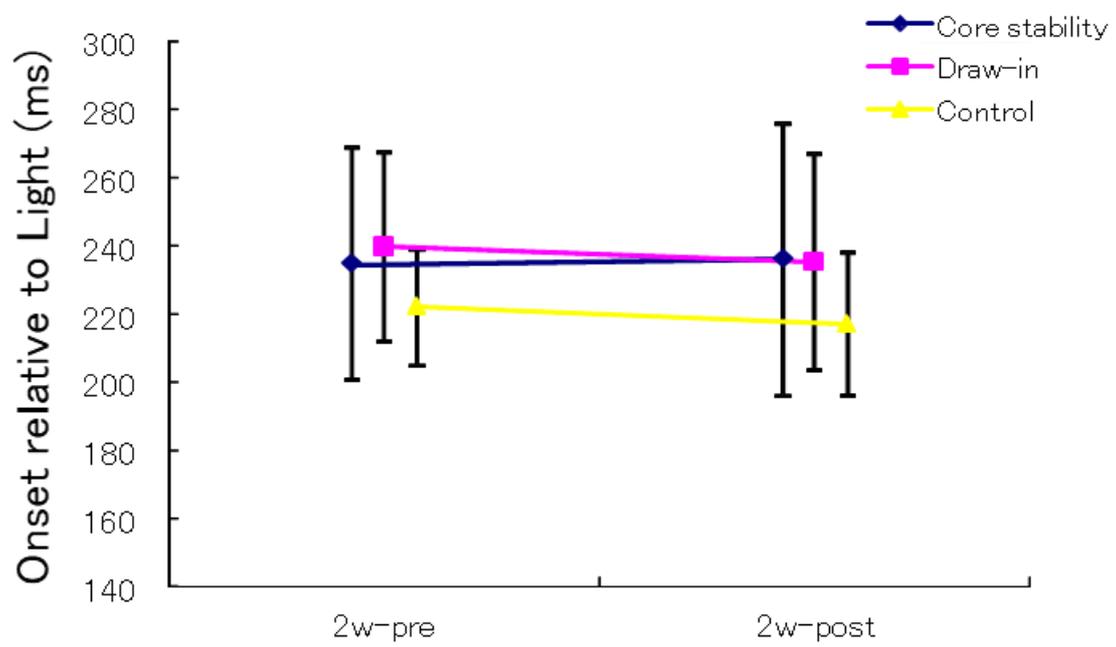


図 5-18 AD の筋反応時間の比較

## 7. 考察

### 1) 2週間の体幹筋エクササイズ介入による効果

#### (1) TrA/OI

2週間の体幹筋エクササイズ介入による効果の検討では、Core stability exercise 群の挙上側 TrA/OI において、筋反応時間が有意に早くなった。

一般的に、数日から数週間のトレーニングの短期的および中長期的効果は、トレーニング刺激による運動単位の動員や発火頻度が上昇することによる神経筋機能の改善、トレーニングによって微細な損傷がもたらされた筋組織の超回復によって起こる。筋組織の超回復が筋反応時間に影響を与えたとは考えにくいため、筋反応時間に影響を与えた要因は、課題 2 の即時的効果と同様に中枢神経系による神経筋機能の改善であると考えられる。また、一般的にトレーニングの短期的および中長期的効果は運動強度、運動時間、頻度に左右される。本研究における Core stability exercise 群と Draw-in exercise 群の運動時間および頻度は同一であった。一方、運動強度は Draw-in exercise が TrA の選択的収縮を目的としているのに対し、Elbow-toe with right arm and left leg lift は TrA の筋活動量が高いことが報告されている<sup>41)</sup>。

従って、本研究で実施した Elbow-toe with right arm and left leg lift は Draw-in exercise よりも TrA に対する筋活動量の高いエクササイズであり、このエクササイズを実施することで、TrA が刺激され TrA/OI の筋反応時間が早くなったと考える。

## (2) MF

2週間の体幹筋エクササイズ介入によって、MFにおいても筋反応時間が早くなることが認められた。Core stability exercise と Draw-in exercise は TrA を選択的、特異的に収縮させるため、MF の筋活動量は低い。そのため、これらのエクササイズが MF に対して直接的に作用することは考えにくい。しかし、TrA の収縮と同時に MF が収縮することにより胸腰筋膜が緊張して、TrA、MF と胸腰筋膜の間に形成される筋-筋膜コルセットが機能することで腰椎骨盤領域の安定性が向上する<sup>9)</sup>。また、背部伸筋群の収縮時に腹筋群のなかでも TrA が最も活動するという報告もある<sup>10)</sup>。以上のことから、TrA と MF は筋の機能上、非常に密接な関係であり、筋活動が相互に作用している可能性が考えられた。しかしながら、本研究の結果だけでは断定できないため、さらなる検討が必要であると考える。

## (3) OE

課題 2 の即時的効果と同様に、Draw-in exercise は筋活動量が低く、Core stability exercise は筋収縮様式が等尺性収縮であったため、筋反応時間に影響を及ぼさなかったと考えられた。

## (4) AD

光刺激から AD の筋活動開始までの筋反応時間に変化は見られなかったため、介入内容が体幹筋に対するエクササイズであり、体幹筋の筋反応時間の変化は肩関節挙上動作自体の影響を受けずに生じることが考えられた。課題 2 と同様

に、本研究の妥当性を支持する結果であった。

## 2) 2週間の体幹筋エクササイズ介入後における即時的効果

2週間の体幹筋エクササイズ介入後には Core stability exercise 群, Draw-in exercise 群ともに統計学的に有意な差は認められなかった。エクササイズによる筋反応時間の変化は介入前の値が高ければ高いほど早くなりやすく、逆に低ければ低いほど早くなりにくいと報告されている<sup>28)</sup>。したがって、2週間のエクササイズ介入によって中枢神経系による神経筋機能の改善により 2w-pre の値が低くなったため、介入時と同様のエクササイズでは即時的な効果を得られなかったのではないかと考える。よって、継続して体幹筋エクササイズを実施している選手などが即時的な効果を得るためには、トレーニングの原則に従い、定期的に筋活動量の高いエクササイズにする、頻度を増やす、時間を長くするなどの工夫を行うことで負荷を漸増的に高めていく必要があることが考えられた。

また、本実験の対象者は健常者であり、介入前において正常なフィードフォワードが認められているが、2週間のエクササイズ介入によって、筋反応時間は早くなっている。しかし、神経筋機能が無限に早くなることは考えにくく、筋反応時間の短縮に一定の限界値があることも考えられた。

## 8. まとめ

本研究では、2週間の体幹筋エクササイズが筋反応時間に与える効果を検討した。その結果、2週間の体幹筋エクササイズ介入によって、Core stability exercise 群の TrA/OI の筋反応時間が有意に早くなった。さらに、Core stability exercise 群および Draw-in exercise 群の MF において、筋反応時間が早くなった。また、2週間の体幹筋エクササイズ介入前にみられた即時的効果は、2週間の介入後では消失した。

## 第 6 章. 総括

### 1. 本研究のまとめ

課題 1 では、健常成人男性を対象とし、利き手側の肩関節を屈曲および外転させた際の、左右の TrA/OI, MF の筋反応時間を比較した。その結果、肩関節屈曲時の TrA/OI, MF は、非挙上側が挙上側よりも有意に早く活動した。また、肩関節外転時の TrA/OI は挙上側が非挙上側に対して先行して活動した。肩関節を挙上する方向によって、体幹深部筋の筋反応時間が異なる可能性が示唆された。スポーツなどの非対称動作を行う際には、体幹深部筋が片側性に収縮することによって腰椎の安定性を得ている可能性が示唆された。

課題 2 では、定期的な運動習慣がない健常者を 3 群 (Core stability exercise 群, Draw-in exercise 群, Control 群) に分け、各エクササイズが体幹深部筋の筋反応時間に与える即時的効果を検討した。その結果、Core stability exercise 群および Draw-in exercise 群の挙上側 TrA/OI において、筋反応時間が有意に早くなった。本研究で実施した Elbow-toe with right arm and left leg lift や Draw-in exercise は、TrA に対する特異的なエクササイズであり、これらのエクササイズを実施することで、TrA が刺激され TrA/OI の筋反応時間が早くなったと考えられた。

課題 3 では、同様に対象者を 3 群 (Core stability exercise 群, Draw-in exercise 群, Control 群) に分け、2 週間の体幹筋エクササイズ介入による筋反応時間への効果、および 2 週間後の運動習慣がある状態における即時的効果を検討した。2 週間の体幹筋エクササイズ介入によって、Core stability exercise 群の挙上側 TrA/OI, Core stability exercise 群および Draw-in exercise 群の非

拳上側 MF の筋反応時間が早くなった。Core stability exercise と Draw-in exercise は TrA を選択的、特異的に収縮させるため、MF の筋活動量は低い。しかし、TrA の収縮と同時に MF が収縮することにより胸腰筋膜が緊張して、TrA, MF と胸腰筋膜の間に形成される筋-筋膜コルセットが機能することで腰椎骨盤領域の安定性が向上すること<sup>9)</sup>や、背部伸筋群の収縮時に腹筋群のなかでも TrA が最も活動するという報告がある<sup>10)</sup>。以上のことから、TrA と MF は筋の機能上、非常に密接な関係であり、筋活動が相互に作用している可能性が考えられた。

本研究における TrA/OI の筋反応時間の短縮は拳上側において認められた。介入前は拳上側 TrA/OI は非拳上側 TrA/OI より遅く活動しており、介入前の値が高ければ高いほど早くなりやすいという先行研究<sup>28)</sup>を支持する結果であった。また課題 2 の結果から、Core stability exercise によって、拳上側 TrA/OI と非拳上側 TrA/OI の筋反応時間が両側性に近づく可能性を示唆された。TrA はインナーユニットの外周を囲う構造をしており、その構造上両側性に収縮することによって腹腔内圧が上昇し、腰椎の安定性向上に貢献すると考えられた。

課題 2 において、Draw-in exercise 群は拳上側 TrA/OI の筋反応時間を即時的に早くしたが、課題 3 においては 2 週間の介入前後で有意な差は認められなかった。一方、Core stability exercise 群は拳上側 TrA/OI の筋反応時間を即時的および 2 週間の介入においても早くさせた。トレーニングの短期的および中長期的効果は、適切なトレーニング負荷に対する応答として得られる。Core stability exercise は筋活動量が高く適切なトレーニング負荷であったが、Draw-in exercise は筋活動量が不十分であったと考えられた。つまり、即時的

な効果は TrA の選択的収縮による刺激を与えるだけでも得ることができるが、トレーニングの短期的および中長期的効果を得るためには、一定以上の筋活動量が必要であると考えられた。

2 週間の体幹筋エクササイズを継続させた後は、この即時的効果は消失した。TrA に対する特異的なエクササイズは筋反応時間を早くさせるが、継続して体幹筋エクササイズを実施している選手などが即時的な効果を得るためには、トレーニングの原則に従い、定期的に筋活動量の高いエクササイズにする、頻度を増やす、時間を長くするなどの工夫を行うことで負荷を漸増的に高めていく必要があることが考えられた。つまり、対象者の熟練度に合わせたエクササイズが必要であると考えられた。

本研究を通して OE の筋反応時間に変化は認められなかった。OE の筋活動量が低い Draw-in exercise 群のみではなく、OE の筋活動量が約 80%MVC まで高まる Core stability exercise 群においても認められなかった。この結果は、筋反応時間に影響を及ぼす因子として、筋の収縮様式も影響していると考えられた。つまり、体幹の屈曲や回旋のトルクを生むグローバル筋は等張性収縮によって、腰椎の分節的安定性を高める筋であるローカル筋は等尺性収縮によって神経筋機能の改善が促される可能性が示唆された。

また、Control 群は本実験の全ての期間において、全ての筋および全ての群で有意差は認められなかった。これらのことより、本実験における筋反応時間の変化は、体幹筋エクササイズによる影響であることが示唆された。また、本実験期間中に腰痛を訴える者はいなかったため、健常者は 2 週間では体幹筋の筋反応時間が変化しない可能性が示唆された。

本研究によって健常者における体幹深部筋の筋反応時間の短縮が明らかとなった。腰痛者を対象とした筋反応時間の改善は傷害に対する 1 つのアプローチであるが、健常者の筋反応時間の短縮は体幹筋に対するトレーニング効果の重要な指標となるであろう。体幹深部筋の筋反応時間の短縮は、腰椎の安定性向上に貢献すると考えられる。四肢が機能するための土台となる体幹の安定性が損なわれると、上下肢機能が低下すると考えられており<sup>9)</sup>、重量物挙上時にも早い体幹筋の活動によって腰椎の安定性が保たれていると考えられている<sup>17)</sup>。Core stability exercise がバランス、クーパーテスト、リバウンドジャンプを向上させるという報告があり<sup>42)</sup>、体幹深部筋が早く活動することによって腰椎の安定性が向上し、上下肢機能を含めたスポーツパフォーマンスに貢献することが考えられた。本結果はスポーツ現場において Core stability exercise を実施する際の有用な情報になり得ると考えられる。また、健常者の筋反応時間が短縮したことによって、神経筋機能の変容が傷害に関係なく生じることが示唆された。

## 2. 本研究の限界と今後の課題

本研究では 2 週間の介入期間中は、各群で同一のエクササイズを実施した。2 週間の介入後の即時的効果が認められなかったことから、エクササイズの強度や頻度および時間などを漸増させていく必要があると考えられた。また、OE の筋反応時間が早くならなかったことから、筋収縮様式による運動効果の比較も検討していく必要があると考えられた。さらに、各群 7 名ずつで行ったが、介入期間の延長や対象者数を増加させることによって更なる検討をする必要があると考えられた。

本研究ではローカル筋として TrA/OI と MF の筋反応時間測定した。TrA と MF はインナーユニットとして骨盤底筋や横隔膜とともに機能していると考えられている。本研究では骨盤底筋や横隔膜の測定を行っていないため、それらの筋の影響を考慮していない結果である。また、トレーニングの効果を筋反応時間によって評価したが筋活動量や筋厚の変化などは不明である。

本研究の対象者は健常成人男性であるため、アスリートを対象とした場合の筋反応時間の変化については依然不明である。そのため、アスリートを対象とした検討も必要であると考えられた。

## 3. 結論

本研究の結果、Core stability exercise は体幹深部筋の筋反応時間を早くすることが明らかになった。また、フィードフォワードが認められる健常者においても、体幹深部筋の筋反応時間が早くなることが認められたため、傷害の有無に関わらず神経筋機能が改善すると考えられた。さらに、体幹深部筋の筋反応時間は肩関節挙上側と非挙上側において異なることが示された。

## 謝辞

本研究を終えるにあたり、公私に渡り多大なるご指導を賜りました筑波大学人間総合科学研究科スポーツ医学専攻、宮川俊平教授、竹村雅裕准教授に謹んで感謝の意を表します。また、本論文の審査をして頂いた筑波大学人間総合科学研究科スポーツ医学専攻、向井直樹准教授に謹んで感謝の意を表します。早稲田大学スポーツ科学学術院、金岡恒治准教授には終始研究に対するご指導賜り深く感謝しております。

本研究を遂行するにあたり、多大なるご協力、ご助言を頂きました筑波大学アスレチックデパートメント、山元勇樹さんに感謝いたします。彼の存在なくして本研究の遂行はなし得ませんでした。また、論文執筆にあたり多くのご助言を頂きました帝京平成大学の大垣亮さんに深く感謝いたします。さらに、本研究の審査に当たり、終始ご協力頂いた筑波大学人間総合科学研究科スポーツ医学専攻の西田智さん、鈴木啓太さんに深く感謝いたします。

最後に、本実験にご協力いただいた被験者の方々、博士課程を共に過ごし、楽しいときも楽しいことも分かち合えた同期の皆様、いつも様々なお支援をして下さったスポーツ医学研究室の皆様にご感謝の意を述べさせて頂き、本論文の謝辞とさせて頂きます。

## 参考文献

- 1) 小泉圭祐: コアスタビリティトレーニングの意義と基本プログラム. 理学療法. 2009; 26: 1195-1202
- 2) Panjabi MM: The stabilizing system of the spine Part 1. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. J Spinal Disord. 1992; 5: 383-389
- 3) Panjabi MM: The stabilizing system of the spine. Part 2. Neutral zone and instability hypothesis. J Spinal Disord. 1992; 5: 390-397
- 4) Bergmark A: Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. Acta Orthop Scand. 1989; 230(suppl): 20-24
- 5) Kiefer A, Shirazi-Adl A, Parnianpour M: Synergy of the human spine in neutral postures. Eur Spine J. 1998; 7: 471-479
- 6) Cholewicki J, McGill SM: Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implication for injury and low back pain. Clin Biomech. 1996; 11: 1-15
- 7) Hodges PW, Moseley GL: Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. J Electromyogr Kinesiol. 2003; 13: 361-370
- 8) McGill SM, Grenier S, Kavcic N, Cholewicki J: Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. J Electromyogr Kinesiol. 2003; 13: 353-359
- 9) 齋藤昭彦: 体幹筋の機能及び治療 - 腰椎の分節安定性. 理学療法学. 2007; 22: 1-6
- 10) Cresswell AG, Grundstrom H, Thorstensson A: Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. Acta Physiol Scand. 1992; 144: 409-418
- 11) Vleeming A, Pool-Gondzwaard AL, Stoeckart R, van Wingerden JP, Snijders CJ: The posterior layer of the thoracolumbar fascia. Its function in load transfer from spine to legs. Spine. 1995; 20(7): 735-758

- 12) Norman RW, Komi PV: Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiol Scand.* 1979; 106: 241-248
- 13) Hodges PW, Richardson CA: Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Experimental Brain Research.* 1997; 114: 362-370
- 14) Hodges PW, Richardson CA: Contraction of the Abdominal Muscles Associated With Movement of the Lower Limb. *Physical Therapy.* 1997; 77: 132-144
- 15) Hodges PW, Richardson CA, Jull G: Evaluation of the relationship between laboratory and clinical tests of transversus abdominis function. *Physiotherapy Research International.* 1996; 1: 30-40
- 16) Hodges PW, Richardson CA: Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine.* 1996; 21: 2640-2650
- 17) Watanabe M, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Tatsumura M, Miyakawa S: Trunk muscle activity while lifting objects of unexpected weight. *Physiotherapy.* 2013; 99: 78-83
- 18) Mitchell A, Dyson R, Hale T, Abraham C: Biomechanics of ankle instability. Part 1: Reaction time to simulated ankle sprain. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40(8): 1515-1521
- 19) Belen'Kii VY, Gurfinkel VS, Paltsev YI: Elements of control of voluntary movement. *Biofizika.* 1967; 12: 135-141
- 20) Dickstein R, Shefi S, Marcovitz E, Villa Y: Anticipatory postural adjustment in selected trunk muscles in poststroke hemiparetic patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004; 85: 261-267
- 21) Latash ML, Aruin AS, Neyman I, Nicholas JJ: Anticipatory postural adjustments during self inflicted and predictable perturbations in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry.* 1995; 58: 326-334

- 22) Hurley MV, Newham DJ: The influence of arthrogenous muscle inhibition on quadriceps rehabilitation of patients with early, unilateral osteoarthritic knees. *British Journal of Rheumatology*. 1993; 32: 127-131
- 23) Richardson C, Jill G, Hodges P, Hides J (齋藤昭彦訳): 脊椎の分節的安定性のための運動療法 腰痛治療の科学的基礎と臨床. *エンタプライズ*. 2002; 69-80
- 24) Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Meulstee J: Lowered motor conduction velocity of the peroneal nerve after inversion trauma. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1994; 26: 877-883
- 25) Konradsen L, Ravn J.B: Ankle instability caused by prolonged peroneal reaction time. *Acta Orthop Scand*. 1990; 61(5): 388-390
- 26) Tsao H, Hodges PW: Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training. *Exp Brain Res*. 2007; 181: 537-546
- 27) Tsao H, Hodges PW: Persistence of improvement in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2008; 18: 559-567
- 28) Marshall PW, Murphy BA: Muscle activation changes after exercise rehabilitation for chronic low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008; 89: 1305-1313
- 29) Hall L, Tsao H, MacDonald D, Coppieters M, Hodges PW: Immediate effects of co-contraction training on motor control of the trunk muscles in people with recurrent low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2009; 19: 763-773
- 30) Jari P, Arokoski, Valta T, Kankaanpää M, Airaksinen O: Activation of lumbar paraspinal and abdominal muscles during therapeutic exercises in chronic low back pain patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004; 85: 823-832
- 31) Allison GT, Morris SL, Lay B: Feedforward responses of transversus abdominis are directionally specific and act asymmetrically: Implications for core stability theories. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2008; 38: 228-237

- 32) Okubo Y, Kaneoka K, Imai A, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, Miyakawa S: Comparison of the activity of the deep trunk muscles measured using intramuscular and surface electromyography. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*. 2010; 10: 611-620
- 33) Stevens VK, Bouche KG, Mahieu NN, Coorevits PL, Vanderstraeten GG, Danneels LA: Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. *BMC Musculoskelet Disord*. 2006; 7: 75
- 34) McGill S, Juker D, Kopf R: Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity (psoas, quadratus lumborum, abdominal wall in the lumbar spine) in the lumbar spine. *J Biomech*. 1996; 29: 1503-1507
- 35) P Marshall, B Murphy: The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2003; 13: 477-489
- 36) McGill SM: Low back exercises: evidence for improving exercise regimens. *Phys Ther*. 1998; 78: 754-765
- 37) Escamilla RF, Babb E, DeWitt R, Jew P, Kelleher P, Burnham T, Busch J, D'Anna K, Mowbray R, Imamura RT: Electromyographic analysis of traditional and nontraditional abdominal exercises: implications for rehabilitation and training. *Phys Ther*. 2006; 86: 656-671
- 38) Hides J, Wilson S, Stanton W, McMahon S, Keto H, McMahon K, Bryant M, Richardson C: An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "Drawing-in" of the abdominal wall. *Spine*. 2006; 31: E175-178
- 39) O'Sullivan PB: Lumbar segmental 'instability': clinical presentation and specific stabilizing exercise management. *Man Ther*. 2000; 5: 2-12
- 40) 富田昌夫: クラインフォーゲルバッハの運動学. *理学療法学*. 1994; 21: 571-575

- 41) Okubo Y, Kaneoka K, Imai A, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, Miyakawa S: Electromyographic analysis of transversus abdominis and lumbar multifidus using wire electrodes during lumbar stabilization exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2010; 40: 743-750
- 42) Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, Shiraki H: Trunk Muscle Activity During Lumbar Stabilization Exercises on Both a Stable and Unstable Surface. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2010; 40: 369-375
- 43) Pascual-Leone A, Dang N, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, Hallett M: Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol*. 1995; 74: 1037-1045
- 44) Sanes JN, Donoghue JP: Plasticity and primary motor cortex. *Annu Rev Neurosci*. 2000; 23: 393-415
- 45) Classen J, Leipert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG: Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol*. 1998; 79: 1117-1123
- 46) Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Shiraki H: Effects of two types of trunk exercises on balance and athletic performance in youth soccer players. *Int J Sports Phys Ther*. 2014; 9: 47-57
- 47) Sato K, Mokha M: Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runner? *J Strength Cond Res*. 2009; 23: 133-140
- 48) Jonathan JD, Taunton JE, Mills WA: The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial. *Phys Ther Sport*. 2005; 6: 60-66
- 49) Aruin AS, Latash ML: Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res*. 1995; 103: 323-332
- 50) 里 隆文, 宮川 俊平, 向井 直樹, 竹村 雅裕, 福田 崇, 泉 重樹: 大学野球投手の体幹部の筋力および筋横断面積の検討. *体力科学*. 2006; 7: 75-82

- 51) Kraemer WJ, Ratamess NA: Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36: 674-688
  
- 52) Biitefisch C, Hummelsheim H, Denzler P, Mauritz KH: Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *Journal of the Neurological Sciences.* 1995; 130: 59-68
  
- 53) Hodges PW, Richardson CA: Transversus abdominis and the superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. *Neuroscience Letters.* 1999; 265: 91-94