

博士論文

「野球選手における体幹筋の形態的特性」

和智 道生

京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科

バイオテクノロジー専攻

目次

第 1 章 序章.....	1
1-1. 人間のロコモーションにおける体幹筋の重要性.....	1
1-2. 体幹筋の分類.....	3
1-3. インナーユニットとアウターユニットの重要性.....	4
1-4. スポーツ競技における体幹筋の重要性.....	5
1-5. 回旋系スポーツ競技選手における体幹筋の左右非対称性.....	6
1-6. 先行研究の問題点.....	6
1-7. 本研究の目的と概略.....	9
第 2 章 超音波を用いた体幹筋筋厚測定の有効性	
(磁気共鳴画像法を用いた体幹筋筋断面積との比較)	13
2-1. 目的.....	13
2-2. 方法.....	14
2-3. 結果.....	24
2-4. 考察.....	35
2-5. まとめ.....	41
第 3 章 野球選手における体幹筋の形態的特性の検討.....	42
3-1. 目的.....	42

3-2. 方法.....	43
3-3. 結果.....	46
3-4. 考察.....	52
第4章 総括論議.....	55
4-1. 超音波を用いた体幹筋厚測定の有効性とその問題点.....	55
4-2. 野球選手における体幹筋の形態的特性.....	59
4-3. 打撃および投球が野球選手の形態的特性に及ぼす影響.....	60
4-4. 投手における形態的特性の検討.....	65
4-5. 野球選手の形態的特性を考慮したトレーニング方法の検討.....	65
結論.....	69
謝辞.....	72
参考文献.....	73

図・表一覧

図 2.1 体幹筋の計測部位.....	16
図 2.2 体幹筋の超音波画像.....	17
図 2.3 体幹筋の MRI 画像.....	20
図 2.4 超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋厚の相関関係.....	27
図 2.5 超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋断面積の相関関係.....	28
図 2.6 体重補正後の野球選手群と非トレーニング群の体幹筋筋厚, 体幹筋筋断面積の比較.....	31
図 2.7 野球選手群の超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋厚の相関関係.....	32
図 2.8 野球選手群の超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋断面積の相関関係.....	33
図 2.9 野球選手にみられた多裂筋横断面の形状.....	34
図 3.1 野球選手群の体幹筋, 四肢筋における肥大率.....	48
図 3.2 打撃を基準とした野球選手群と非トレーニング群の左右非対称性.....	51
図 4.1 投打とも同側に回旋する選手と逆側に回旋する選手の左右非対称性.....	63
図 4.2 体幹トレーニングを行なっている高校生の体幹のイメージ.....	66
表 2.1 超音波を用いた体幹筋筋厚測定の信頼性の確認.....	25
表 2.2 超音波および MRI を用いて計測した体幹筋の筋厚と筋断面積.....	26
表 2.3 野球選手群と非トレーニング群の体幹筋筋厚と体幹筋筋断面積.....	30
表 3.1 体幹筋および四肢筋の筋厚の比較.....	47
表 3.2 打撃および投球を基準にした筋厚の左右非対称性の比較.....	50
表 4.1 打撃側と投球側が同側の選手と異なる選手の左右非対称性の比較.....	62

略語一覧

本研究で用いる主な略語は、以下の通りである.

AW : abdominal wall 腹斜筋群

CI : confidence interval 信頼区間

CRA : central rectus abdominis 腹直筋中部

CT : Computed Tomography コンピュータ断層撮影

EO : external obliques 外腹斜筋

ICC : intraclass correlation coefficients 級内相関係数

IO : internal obliques 内腹斜筋

LRA : lower rectus abdominis 腹直筋下部

MCSA : muscle cross sectional area 筋断面積

MF : lumbar multifidus 多裂筋

MRI : magnetic resonance imaging 磁気共鳴画像

MT : muscle thickness 筋厚

TrA : transverse abdominus 腹横筋

URA : upper rectus abdominis 腹直筋上部

US : ultrasonography 超音波装置

第 1 章 序章

1 - 1. 人間のロコモーションにおける体幹筋の重要性

体幹筋は人間が日常生活や運動をおこなうために重要な役割を果たしている。人間は二足で直立することにより、四肢や脊柱の可動域が広くなり、手足を自由に動かしたり、脊柱を屈曲、伸展したりできるようになった。また、後弯していた脊柱が直立し、頭蓋の後方に位置していた後頭環椎関節と大後頭孔が頭蓋底中心部に來ることによって重量のある頭部、および体幹を低エネルギーにて保持することが可能となった。このような脊柱の構造的変化に加えて、体幹筋が立位姿勢を保持することで人間は直立二足歩行が可能になった。

体幹とは、一般的に頭部および四肢を除いたいわゆる胴体部分のことを指す。この部分は身体の中心、コアとなる部位であり、骨盤内には身体の重心がある。また、頭部や四肢と比較して質量が大きく、あらゆる部位で発生したエネルギーを他の部位へと伝達する領域でもある。近年、スポーツや理学療法の分野では、体幹、コア、軸、丹田といった言葉がよく用いられるが、これらの言葉も身体の中心の重要性を説明するために用いられており、類義であると言える。この体幹は筋肉・骨・靭帯・関節で構成される。脊椎は 24 個の椎骨と仙骨、および尾骨より構成され、椎骨は上方から頸椎 7 個、胸椎 12 個、腰椎 5 個となっている。矢状面から見ると胎生期、新生児の脊柱は一次弯曲のみで C 字型の弯曲をしているが、首が据わり、立位、歩行時期へと姿勢が変化してくると、頸椎部、腰椎部の前弯が出現する。そして、10 歳頃には逆 S 状の脊柱カーブ(いわゆる脊柱の生理的弯曲)が完成する。しかし、椎骨のみでは立位を保持するには非常に脆弱である。先行研究においては、腰椎構造体に関しては椎体、椎間板のみでは機械的強度を有さないとの報告もあり(Crisco

et al. 1992), また, 骨モデルを用いた研究では体幹筋の収縮がない場合, 脊柱は微量の圧縮や回旋ストレスでさえも抗することが出来ない(Morris et al. 1961 ; Gracovetsky and Farfan 1986). つまり, 安定性を得るためには骨構造を周囲から支える筋, 靭帯, 関節などの円滑なバランス調整が不可欠であるとされている(Crisco and Panjabi 1991 ; Gardner-Morse et al. 1995 ; Cholewicki and McGill 1996).ゆえに人間は体幹筋の進化によって体幹を直立させ, 日常生活, さらに野球やサッカーなどの高度な運動を行うことが可能になった.

近年, スポーツ分野, 介護分野においても, 体幹の安定性を制御する筋肉の役割が重要視されている. 体幹における安定とは脊柱の剛性を高め, 各椎体間に生じる無駄な動きが抑えられている状態のことと解釈されている(Morris et al. 2013). 腰部の骨格構造は非常に弱く, 重力に抗して直立姿勢を保持するためには靭帯や筋肉が欠かせない. Gracovetsky and Farfan (1986)は, 筋肉, 靭帯がなければ, 椎体と椎間板は構造上 2kg 以上のメカニカルストレスが加わると損傷が生じると報告しており, Morris et al. (1961)の報告した数学的モデルでは, 脊柱は回旋方向に 2°動くことで損傷してしまう. したがって, 骨格だけでは直立姿勢に耐えられることができないことから, 体幹に存在する筋が体幹の安定性に寄与していることが考えられる.

また, もう一つ体幹に存在する筋肉(体幹筋)が重要視されている理由としては, 体幹の安定性に寄与するのみならず, 四肢にいたるまでのパフォーマンスが改善すると考えられているためである(小粥. 2011 ; 徳久ら. 2011). 古来より武道や禅, 太極拳, ヨガ, ピラティスにいたるまで, いわゆる躰下にある「丹田」を鍛えることが重要であると経験則あるいは実践的見地から考えられてきた(高岡. 2006). 重力下で合目的な運動を行うためには可動性(mobility)と安定性(stability)が必要であり(宮下ら. 2012), 体幹筋の働きにより安定性が向上することにより, 四肢は効率よく運動を行う

ことができるとされている(徳久, 2011). Hu et al. (2012)は, 体幹にベルトを巻きつけ安定性を向上させたうえで, 背臥位にて一側下肢挙上運動(Active Straight Leg Raise: ASLR)を行わせたところ, 挙上の主動作筋である大腿直筋の筋活動が減少したと報告し, 体幹の安定が四肢の運動効率を高めるために必要であると結論づけている.

1-2. 体幹筋の分類

体幹筋には様々な分類法が提唱されている. それらを確認すると, 可動性に貢献する筋肉と安定性に貢献する筋肉はそれぞれ異なっているとされている. 一般には, 起始部・停止部などの解剖学的特徴から体幹筋はローカルマッスルとグローバルマッスルに分類される(Bergmark 1989).

Bergmark の定義に従うと, ローカルマッスルは起始もしくは停止部が腰椎に直接付着する深層筋, グローバルマッスルは直接付着しない表在筋である. グローバルマッスルの特徴としては主に体幹の表層に位置し, 大きいモーメントアームにより脊柱の運動をコントロールするだけでなく, 直接的に胸郭と骨盤に力を伝達することにも関与し, 体幹に加えられた外力と均衡を保つ役割がある(McGill et al. 2003). つまり, グローバルマッスルは物を持ち上げる, 走るといった運動を引き起こすトルクを発生させ, 人間が活動する中で生じるあらゆる外的負荷に対してこれを調整するよう機能する. 一方, ローカルマッスルの特徴としては脊柱の関節中心に近く, モーメントアームが小さいため, 体幹にトルクを発生させる能力は限られているが, 細かな分節運動に適しているため, 脊柱の安定化に貢献する. 先行研究においてもローカルマッスルのわずかな筋活動増加により, 脊柱の不安定性を防ぐことが報告されている(Nachemson et al. 1976). Cholewicki et al. (1996)の報告によると骨盤, 胸郭に付着するグローバルマッスルは脊椎の剛性を高めることは可能だが, 脊柱

の構造的安定性を高めるにはローカルマッスルの活動が不可欠である。ゆえに、体幹においてはどちらがより重要であるかという視点ではなく、どちらも相互にはたらき、協調的に機能することで脊柱が安定化、目的の運動が遂行されるということを理解する必要がある。

1-3. インナーユニットとアウターユニットの重要性

また、Vleeming et al. (1995)は、体幹筋群の機能に着目し、体幹と上下肢の運動を制御するアウターユニットと腹腔内圧に関与するインナーユニット(腹横筋、多裂筋、骨盤底筋、横隔膜)に分類した。Hodges et al. (2005)によると、腹腔内圧を最大の 27~61%上昇させることで脊柱の剛性(stiffness)が安静時より 8~31%上昇したことから、腹腔内圧の上昇は腰椎の stability を向上させると言われている。Cresswell (1994)は、胃内に圧計測器を入れ腹腔内圧の上昇を調べたところ、インナーユニットの活動は腹腔の内圧を上昇させたが、アウターユニットである腹直筋を収縮させても腹腔内圧は上昇しなかったと報告している。さらにインナーユニットは、低負荷活動中だけでなく、重量物を持ち上げるような高負荷の課題であっても、脊柱剪断力の低減に作用することが報告されている(Hodges et al. 2015)。以上のことから、インナーユニットの役割の1つとして、身体運動の際に腹腔内圧を上昇させることによって体幹を安定させる機能があると考えられる。

インナーユニットは身体運動において最も早く活動を始めるといわれている。Hodges et al. (1997a)の報告によると、下肢の屈曲、伸展、外転動作の場合、主動作筋の活動よりもインナーユニットが先行して活動する。これは下肢の運動にともなう反力に対する予備動作であると考えられている。インナーユニットの予備動作は下肢の運動だけでなく上肢の運動においても活動している(Hodges et al. 1997b)。Smith et al. (2007)は、同様の動作で骨盤底筋も動作直前に活動を始めると

報告している。また、Takasaki et al. (2009)は、徒手にて骨盤に一定の圧力を加え体幹の安定性を向上させたうえで、下肢の伸展動作を行わせたところ、圧迫を加えない時に比べて大殿筋の活動タイミングが早期にみられたと報告している。これは体幹を安定化させることが、大殿筋を介して下肢の運動効率を高めていることを示している。大殿筋は解剖学的には体幹の筋肉と連結しており、腰部の力を下肢に伝達するはたらきがある(Vleeming et al. 1995)。ゆえに、インナーユニットの活動は下肢の活動にも影響を与えていると示唆される。Lee (2003)は、アウターユニットの筋群(彼らの定義によると腹直筋や脊柱起立筋、三角筋、大腿四頭筋等の表層筋)が活動に加わるためには、その前段階でインナーユニットの活動が必要であると述べており、事前に、かつ適切にインナーユニットが活動することがアウターユニットの筋発揮を向上させるのに必要であると考えられている。このようにインナーユニットのはたらきは四肢のアウターユニットとの連動性を評価することで明らかにされてきた。この理論においても、Bergmark の提唱した概念と同様に、アウターユニットが効率よく活動するための基盤を成すものとして、協調的なインナーユニットのはたらきが重要である。

1-4. スポーツ競技における体幹筋の重要性

体幹筋のとりわけインナーユニットが四肢の運動よりも先行して活動することは、運動効率を高めるために重要であり(Hu et al. 2012)、スポーツ競技において欠かせない機能である。また、先行研究では体幹筋の大きさが下肢、体幹のパフォーマンスと相関していること(Kubo et al. 2011 ; Tachibana et al. 2007)、体幹筋トレーニングによりパフォーマンスが向上することが多く報告されている(Urs et al. 2013 ; Kibler et al. 2006 ; Willardson. 2007 ; Behm et al. 2010)。

一方で、体幹、下肢の筋力低下や可動域制限が上肢のケガに影響を与えている例も多い(Aguinaldo et al. 2007, 2009 ; Davis et al. 2009 ; Jeff et al. 2004). 腰痛者や股関節疾患者を対象に行った研究においても、障害側の多裂筋の活動遅延(Tsao et al. 2010 ; Tateuchi et al. 2013), 脊柱起立筋の過活動(Hodges et al. 2003)が報告されている。これらのことから、体幹筋はスポーツ競技選手にとって障害予防においても重要な筋肉である。

1-5. 回旋系スポーツ競技選手における体幹筋の左右非対称性

体幹筋の形態的左右差においては、腹部では11~26%(Rankin et al. 2006 ; Mannion et al. 2008), 背部でも2~13%の左右差が存在している(Fortin et al. 2013 ; Hides. 2008a). このような体幹部の左右差は非対称性のスポーツ競技を行っている選手でとくに著名にみられる。これまでにテニス選手では腹直筋上部の非利き手側の肥大(Sanchis-Moysi et al. 2010a), オーストラリアンフットボール選手では利き足の腸腰筋と非利き足の腰方形筋の肥大(Hides et al. 2010), クリケット投手では利き手の腰方形筋と多裂筋, 非利き手の腸腰筋の肥大(Ranson et al. 2008)が報告されている。これらのスポーツ選手における筋肉の左右非対称性は一般者と異なる筋形態であり、またそれぞれの種目によっても左右非対称性の生じる部分が異なっていることから、特定のスポーツ動作によって生じていることが考えられる。

1-6. 先行研究の問題点

以上の先行研究により以下の問題点が挙げられた。

- 1) 筋肉の大きさを計測することは、スポーツにおける特徴を把握することや、トレーニングに伴

う肥大、障害の有無を研究するために重要な意味をもつ。筋サイズは筋力に深く関わっていることから(Maughan et al. 1983), 大きな筋肉はスポーツに有利にはたらく可能性が考えられる。従来、体幹筋の形態は磁気共鳴画像(magnetic resonance imaging, MRI)や、コンピュータ断層撮影(Computed Tomography, CT)を用いた筋断面積の計測によって評価、検討されてきた。先行研究では、これらの機器を使用することで体幹筋のスポーツ特異性や、障害との関わりが明らかにされている(Hides et al. 2008c ; Sanchis-Moysi et al. 2010a ; Ploumis et al. 2011 ; Bernard et al. 2006)。

例えば、Hides et al. (2008c)は、MRI を用いてクリケット選手の腰方形筋、背筋群(脊柱起立筋+多裂筋)、腸腰筋の筋断面積を計測し、左右非対称性や障害との関連を報告している。また、Sanchis-Moysi et al. (2010a)は、MRI を用いてテニス選手の腹直筋を前額面および水平断面にて計測することで体幹筋の形態的特性を検討している。これらの研究に用いられている計測機器は解像度が高く、信頼性も確認されているため、ゴールドスタンダードな実験方法として広く用いられている。しかし、MRI や CT は静止した状態を保持する必要があるため、脊椎疾患を有するものや低学年の子ども、高齢者では計測が困難であり、計測時間が長いため、限られた人数しか計測できない。また、CT は放射線を用いるため、被曝のリスクもある。加えて両機器とも高額かつ装置が大きいため、被験者には装置のある場所まで出向いてもらわないといけない。

一方で超音波装置は空間分解能(細かい構造の評価ができる)と時間分解能(リアルタイム)が高く、短時間で大人数の計測を行うことが可能である。加えて非侵襲であることから安全に、幅広い年齢層に適応できる。また、装置も MRI, CT と比較して安価で小さく、移動が容易いので様々な場所で利用できる。つまり、超音波装置は MRI や CT と同等の精度で、より広範囲の対象者に適応できる点において優れている。しかし、超音波は計測可能な幅が狭く、体幹筋計測の多くは筋厚計測

のみで(Takai et al. 2011; Sugaya et al. 2014), 筋断面積を計測した報告は少ない(Hides et al. 1995). ゆえに, 超音波計測における体幹筋の測定値は MRI や CT と比較し, 有効であるかを確認する必要がある.

近年, 上肢および下肢における先行研究では, 超音波により計測した筋厚は, MRI や CT で測定した筋断面積や筋体積と強い相関があることが報告されている(Takai et al. 2011; Abe et al. 2016; Miyatani et al. 2004; Ogawa et al. 2012; Sipilä et al. 1993). Takai et al. (2011)は, 体幹の安定化に作用し, 股関節屈曲筋でもある大腰筋を超音波, MRI を用いて計測し, 超音波にて計測した筋厚と MRI を用いた筋断面積に強い相関があることを報告している. また, 筋厚から筋断面積を算出する推定式を作成し, 算出した推定筋断面積が MRI 測定から求めた筋断面積と差がないことを報告している. また, Hides et al. (1995)は, 第2腰椎から第1仙椎までの多裂筋の筋断面積を超音波, MRI を用いて計測し, それぞれに差がないこと, また両機器とも多裂筋における左右差を検出可能であることを明らかにしている. このように, 超音波を用いて計測した筋厚は, MRI や CT で筋断面積, 筋体積を計測することのサロゲートマーカーとして利用できる可能性がある. しかし, 多くの体幹筋において超音波を用いることの有効性は確認されていない.

2) スポーツ選手は日々トレーニングを実施していない一般者に比べて体幹筋が形態的に発達している可能性がある. 筋力トレーニングは体幹筋の肥大を生じさせ(Danneels et al. 2001), 体幹筋の肥大はスポーツ選手のパフォーマンス向上に関係している(Kubo et al. 2011). 実際, スポーツ選手を対象にした先行研究では, トレーニングを受けていない人に比べて体幹筋が 1.5 倍大きい選手の例も報告されている(Sanchis-Moysi et al. 2010a). しかし, 我々の知る限りでは, スポーツ選手

の体幹筋においても超音波を用いることの有効性は確認されていない。

3) 野球競技において体幹は、下肢からの運動エネルギーを上肢に伝達するためにはたつき、運動効率を高める役割を担っている(Shaffer et al. 1993 ; Welch et al. 1995 ; Aguinaldo et al. 2007). 野球選手における先行研究では体幹の筋力低下や可動域制限は、上肢のケガに影響を与えている例も多い(Aguinaldo et al. 2009 ; Adam et al. 2010 ; Davis et al. 2009). したがって、野球など回旋系競技を行うスポーツ選手において体幹筋の形態を正しく評価することはパフォーマンスや障害予防の面からも有益である。Conte et al. (2012)の報告によれば、メジャーリーガーの過去 20 年分の故障者リストを調査した結果、腹筋の中でも、腹斜筋の筋挫傷が開幕時期に多く発生していたとされている。これは打者、投手ともに発生しており、また打者であれば非打撃側、投手であれば非投球側に多く発生していることが明らかになっている。また、プロテニス選手を対象にした研究では、非利き側の腹直筋が特異的に肥大することが報告されている(Sanchis-Moysi et al. 2010a). これは繰り返されるサーブ動作によって生じていると考えられる。これらのことから、野球などの回旋スポーツにおいては体幹筋、とりわけ打撃や投球の反体側における腹筋群が重要な役割を果たしていることが考えられる。しかし、野球選手における体幹筋の形態的特性については詳細には把握されていない。

1-7 本研究の目的と概略

1-7-1. 目的

本研究では、はじめに超音波装置を用いて、体幹筋の筋形態を正確に計測する方法を確立する。

その確立した体幹筋における超音波測定法を野球選手の形態測定に応用することにより，回旋系スポーツ競技が体幹筋に及ぼす形態的变化を捉えることを目的とした．回旋系スポーツ競技における体幹筋の形態的特性を計測するための実験(実験 4)に先立って，超音波装置を用いて，体幹筋の筋形態を正確に計測することは可能か，以下の実験により検証した．まず，一般者を対象に超音波測定による筋厚測定の信頼性を検討し(実験 1)，次に MRI を用いて妥当性および筋断面積との関係性を検証し，超音波測定が MRI の代用として計測可能かを確認した(実験 2)．最後に，スポーツ選手においても超音波測定が MRI の代用として用いることが可能かを確認した(実験 3)．

1-7-2. 本研究の構成

本研究は，序章(第 1 章)，超音波を用いた体幹筋筋厚測定の有効性 (第 2 章)，野球選手における体幹筋の形態的特性の検討 (第 3 章)，および総括論議(第 4 章)からなる．

第 2 章：超音波を用いた体幹筋筋厚測定の有効性(磁気共鳴画像法を用いた体幹筋筋断面積との比較)

2-1) 超音波測定による体幹筋筋厚の信頼性(実験 1)

超音波測定における体幹筋筋厚の測定法を確立することを目的とし，腹横筋，内腹斜筋，外腹斜筋，腹直筋，多裂筋の計測値の信頼性を確認した．

2-2) 一般者における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係(実験 2)

超音波にて計測した数値が妥当であるかを確認する目的で，MRI を用いて実験 1 にて計測した部位の体幹筋筋厚，筋断面積を計測し，妥当性の検討および筋断面積との関係を検証した．

副論文： Wachi, M., Suga, T., Higuchi, T., Misaki, J., Tsuchikane, R., Tanaka, D., Miyake, Y., & Isaka, T. (2017). Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscle size: a pilot study. *The Journal of Physical Therapy Science*, 29(2), 245-249.

2-3) スポーツ競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と MRI を用いた体幹筋筋断面積の関係(実験 3)

超音波を用いた体幹筋筋厚測定値が、長年のトレーニングによって筋肥大したスポーツ選手においても妥当であるかを確認する目的で、野球選手(経験年数 10 年以上)を対象に超音波および MRI にて計測し、確認した。さらに筋厚と筋断面積との関係性についても検討した。

副論文： Wachi, M., Suga, T., Higuchi, T., Misaki, J., Tsuchikane, R., Tanaka, D., Miyake, Y., Kanazawa, N., & Isaka, T. (2017). Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscles size in athletes; a study focused on baseball batters. *The Journal of Physical Therapy Science*, 29(6), 1534-1538.

第 3 章：野球選手における体幹筋の形態的特性の検討(実験 4)

実験 1, 2, 3 で確立された超音波を用いた体幹筋筋厚測定法を回旋系のスポーツ競技である野球を行っている選手に応用し、一般者との体幹筋筋厚、四肢筋厚の比較、左右非対称性について確認した。また、この左右非対称性は、打撃側と投球側のどちらに生じるのかについても検討した。

第4章：総括論議

以上の結果に基づき、体幹筋計測の方法論、野球選手における体幹筋の形態的特性と、競技力維持、向上のためのトレーニング方法論について考察した。

第2章 超音波を用いた体幹筋筋厚測定の有効性

(磁気共鳴画像法を用いた体幹筋筋断面積との比較)

2-1. 目的

体幹筋の計測についてはこれまで、筋厚や筋断面積、筋体積など筋形態の計測には磁気共鳴画像法(MRI)やコンピュータ断層撮影法(CT)を用いて測定されてきた(Danneels et al. 2001 ; Gildea et al. 2013 ; Takai et al. 2011)。しかし、MRI や CT は静止した状態で保持する必要があることや撮影時間が長いこと、また CT は被曝のリスクもあることから、使用は限られた人数、年齢層に限定される。実験 1 では、超音波を用いた体幹筋筋厚測定の信頼性の検証、超音波で測定した体幹筋筋厚と、MRI を用いて計測した体幹筋筋厚および筋断面積との関係性を検討することを目的とした。体幹筋は腹直筋、腹横筋、内腹斜筋、外腹斜筋、腹斜筋群(腹横筋、内腹斜筋、外腹斜筋)、多裂筋を対象筋とした。これまでの研究では、アスリート、特に野球やテニスなど左右非対称な動作を繰り返し行うスポーツ選手は、体幹筋の機能、形態において左右非対称性を示すことが報告されている(Conte et al. 2012 ; Fleisig et al. 2013 ; Sanchis-Moysi et al. 2010a)。また、Sanchis-Moysi et al.(2010a)は、テニス選手の腹直筋に左右非対称性が存在し、さらにその左右非対称性は遠位部でより顕著であることを報告しており、腹直筋の左右非対称性は部位によって異なる可能性があることを示唆している。ゆえに本研究では、これらの体幹筋について左右ともに超音波を用いた筋厚と MRI を用いた筋厚、筋断面積の測定を試みた。また、腹直筋に関しては上部、中部、下部の 3 部位を計測した。

さらに実験 2 では、超音波検査の臨床現場における体幹筋サイズ評価への適用性をさらに検討す

るために、野球選手を対象に超音波を用いた筋厚と MRI を用いた筋厚、筋断面積の測定を試みた。

野球選手とトレーニングを日常的に実施していない被験者との体幹筋を比較し、スポーツ選手の特異的な筋形態の計測においても超音波測定が MRI の代用として用いることが可能かを確認した。

2-2. 方法

2-2-1. 超音波測定による体幹筋筋厚の信頼性(実験 1)

2-2-1-1. 被験者

12 名の健康な成人男性(年齢 22.5 ± 1.6 歳, 身長 169.5 ± 3.3 cm, 体重 63.8 ± 6.4 kg)が本実験に参加した。被験者には、実験前に本実験の手順、目的、およびリスクについて説明し、全参加者から書面によるインフォームドコンセントを取得した。被験者は特定のトレーニングプログラムを実施していない者、実験時に腰部に疼痛が認められない者、腹部および腰部の手術歴のない者、および MRI の禁忌にあてはまらない者とした。本研究は立命館大学びわこ・くさつキャンパスの倫理審査委員会によって承認(BKC-IRB-2011-06)を得て実施した。

2-2-1-2. プロトコール

B モード超音波画像検査装置(SSD-3500SV ; Aloka 社製, 日本)と 7.5 MHz のリニア式プローブを用いた。計測部位を図 2.1 に示す。腹直筋の筋厚は、Balius et al.(2012)の方法を参照して、腹直筋上部、腹直筋中部、腹直筋下部と定義して計測した。人間の腹直筋の多くは 3 つの腱画によって筋腹が肋骨下部に付着する第 1 層の筋腹から 4 つに区切られる(猪口ら, 1978)。腹直筋上部と腹直筋中部の筋厚は、それぞれ上部の中部の腱画間、中間と下部の腱画間に位置する第 2 層と第 3 層で

測定した。腹直筋下部の筋厚は、下部の腱画から恥骨までの第4層で測定した。それぞれの筋厚は、各層で前縁と後縁との距離が最大となる位置を採用した。第1層は肋骨の形状によって形態が様々であること、また筋線維以外のものと混在していることから計測対象から除外した。腹斜筋群である外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋の筋厚は、Reeve et al.(2009)の方法を参照して、前腋窩線上の肋骨下部と上前腸骨棘の midpoint における腹横筋の筋腱移行部より 15 mm の部位を計測した。また、それら3筋を合わせた筋厚を腹斜筋群とした。多裂筋の筋厚は、Gildea et al.(2013), Hides et al.(2008c, 2014)の方法を参照して、第5腰椎棘突起レベルとした。被験者には検査ベッドの上でリラックスしてもらうよう指示した上で、腹直筋上部、腹直筋中部、腹直筋下部、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋は背臥位にて、多裂筋は腹臥位にて測定し、各体幹筋の超音波画像を取得した(図 2.2)。

本研究では、左右を含む8つの体幹筋、計16ヶ所の筋厚を対象に、筋厚測定の信頼性を検証した。筋厚測定における信頼性の検証には、テスト-再テスト法を用いた。体幹筋筋厚の測定を行った日から1週間後に同部位の再測定を行った。測定中はモニター画面が直接見えないように配慮し、再測定までの期間、感染等による健康状態の変化がないことを確認し、実施した。また、すべての測定は同一検者が行った。

2-2-1-3. 統計処理

得られた結果は全て平均値と標準偏差で示した。1回目の測定での筋厚と2回目の測定での検者内信頼性の検証には級内相関係数 ICC(1, 1)を用いた。統計解析は、統計解析ソフトウェア SPSS (version 19 ; IBM 社製, 日本)を用い、いずれも統計的な有意水準は5%とした。

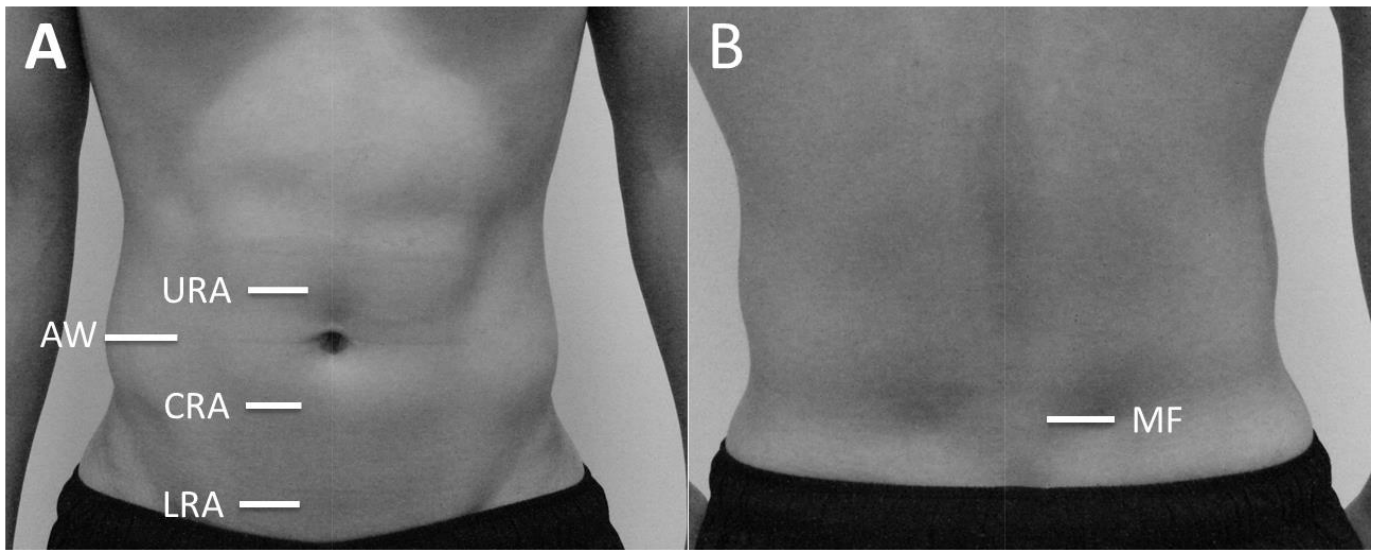


図 2.1 体幹筋の計測部位

背臥位での超音波計測部位 (A) と腹臥位での超音波測定部位 (B) .

URA, 腹直筋上部 ; CRA, 腹直筋中部 ; LRA, 腹直筋下部 ; AW, 腹斜筋群 (外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋も同部位) ; MF, 多裂筋.

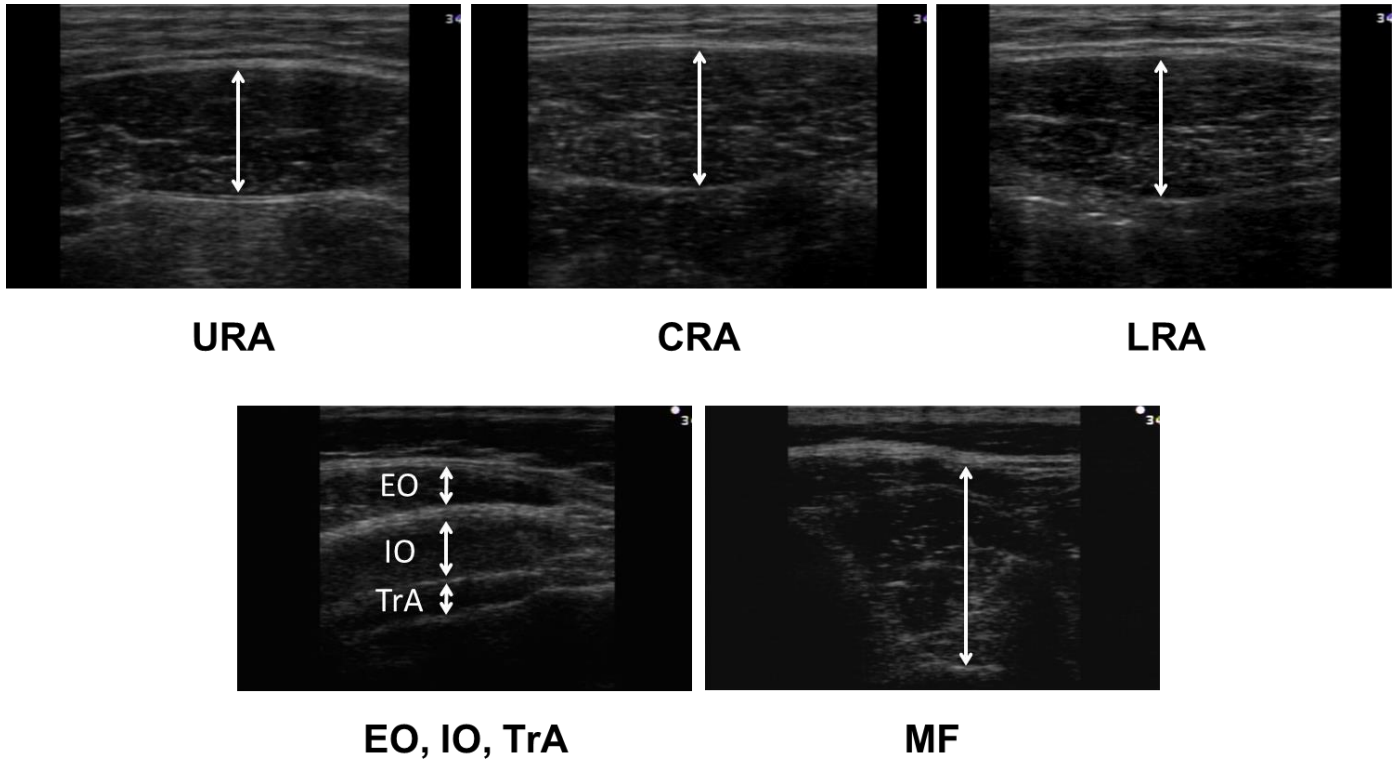


図 2.2 体幹筋の超音波画像

URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； EO, 外腹斜筋； IO, 内腹斜筋； TrA, 腹横筋； MF, 多裂筋.

2-2-2) 一般者における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と MRI を用いた体幹筋筋断面積の 関係(実験 2)

2-2-2-1. 被験者

24 名の健康な成人男性(年齢 : 22.2 ± 1.3 歳, 身長 : 171.5 ± 0.9 cm, 体重 : 64.7 ± 0.9 kg)が本実験に参加した。被験者には, 実験前に本実験の手順, 目的, およびリスクについて説明し, 全参加者から書面によるインフォームドコンセントを取得した。被験者は特定のトレーニングプログラムを実施していない者, 実験時に腰部に疼痛が認められない者, 腹部および腰部の手術歴のない者, および MRI の禁忌にあてはまらない者とした。本研究は立命館大学びわこ・くさつキャンパスの倫理審査委員会によって承認(BKC-IRB-2011-06)を得て実施した。

2-2-2-2. プロトコール

超音波測定

B モード超音波画像検査装置(SSD-3500SV ; Aloka 社製, 日本)と 7.5 MHz のリニア式プローブを用いた。実験 1 と同様の方法により, 腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋の筋厚を計測した。被験者には検査ベッドの上でリラックスしてもらうよう指示した上で, 腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋は背臥位にて, 多裂筋は腹臥位にて測定し, 各体幹筋の超音波画像を取得した。

MRI 測定

MRI 装置は, 臨床用 1.5-T MRI システム(Signa HDxt; GE Healthcare UK Ltd 社製, イギリス)

ス)を用いた。被験者の姿勢は、膝関節を完全伸展の仰臥位安静とし、リラックスしてもらうよう指示した。呼吸によるアーチファクトを減らすために呼気トリガを設定し、8チャンネルのBody Coilを用いてT2強調画像を取得した(スピンエコー法, 繰り返し時間(TR)=1呼吸, エコー時間(TE)=7.0ミリ秒, マトリックス=384×384, 有効視野=420×420 mm, ギャップなし, スライス厚=0.5 cm)。胸骨下端から恥骨部までの連続した横断画像を取得した。典型的なMRI画像を図2.3に示す。

得られた画像から画像解析処理ソフト(OsiriX Version 5.6; Pixmeo, Geneva, Switzerland)を用いて腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 腹斜筋群, 多裂筋の筋厚および筋断面積を計測した。腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部の筋厚計測位置は, Balius et al.(2012)の方法を参照し各筋腹の最大となる位置とした。腹斜筋群は, Reeve et al.(2009)の方法を参考にし, 前腋窩線上の肋骨下部と上前腸骨棘の midpoint に最も近いスライス画像にて腹横筋の筋腱移行部より 15 mm の部位を計測した。多裂筋は, Gildea et al.(2013), Hides et al.(2008c, 2014)の方法を参照して, 第5腰椎棘突起レベルとした。

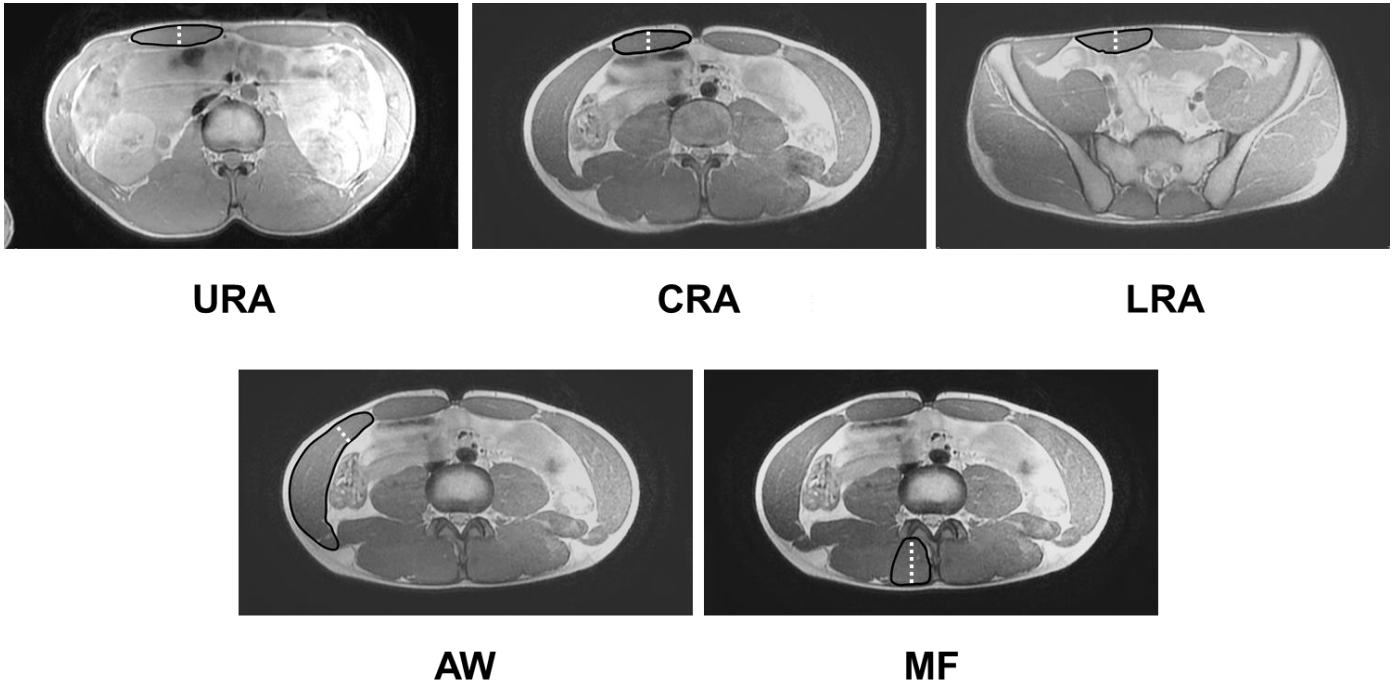


図 2.3 体幹筋の MRI 画像

白点線は筋厚の測定部位，黒実線は筋断面積の計測部位.

URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋.

2-2-2-3. 統計処理

得られた結果は全て平均値と標準偏差で示した。超音波計測による筋厚の妥当性を検証するために、対応のある t 検定を用いて MRI 計測による筋厚と比較した。超音波計測による筋厚と MRI 計測による筋厚、筋断面積との関係についてピアソンの相関係数分析を用いて評価した。統計解析は、統計解析ソフトウェア SPSS (version 19 ; IBM 社製, 日本)を用い、いずれも統計的な有意水準は 5%とした。

2-2-3) スポーツ競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と MRI を用いた体幹筋筋断面積の関係(実験 3)

2-2-3-1. 被験者

30 名の健康な大学野球選手(年齢 : 19.9 ± 1.0 歳, 身長 : 173.7 ± 4.0 cm, 体重 : 72.4 ± 5.5 kg)が本実験に参加した。野球経験年数は少なくとも 10 年以上行っていることとした(12.6 ± 1.8 年)。被験者には、実験前に本実験の手順、目的、およびリスクについて説明し、全参加者から書面によるインフォームドコンセントを取得した。被験者は実験時に腰部に疼痛が認められない者、腹部および腰部の手術歴のない者、および MRI の禁忌にあてはまらない者とした。事前の聞き取りから投手は野手と大きくトレーニング内容が異なったため投手は計測対象から除外した。本研究は立命館大学びわこ・くさつキャンパスの倫理審査委員会によって承認(IRB-2013-015)を得て実施した。

2-2-3-2. プロトコール

超音波測定

Bモード超音波画像検査装置(SSD-3500SV ; Aloka 社製, 日本)と 7.5 MHz のリニア式プローブを用いた。実験 1 と同様の方法により, 腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋の筋厚を計測した。被験者には検査ベッドの上でリラックスしてもらうよう指示した上で, 腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋は背臥位にて, 多裂筋は腹臥位にて測定し, 各体幹筋の超音波画像を取得した。

MRI 測定

MRI 装置は, 臨床用 1.5-T MRI システム(Signa HDxt; GE Healthcare UK Ltd 社製, イギリス)を用いた。被験者の姿勢は, 膝関節を完全伸展の仰臥位安静とし, リラックスしてもらうよう指示した。呼吸によるアーチファクトを減らすために呼気トリガを設定し, 8 チャンネルの Body Coil を用いて T2 強調画像を取得した(スピンエコー法, 繰り返し時間(TR)=1 呼吸, エコー時間(TE)=7.0 ミリ秒, マトリックス=384×384, 有効視野=420×420 mm, ギャップなし, スライス厚=0.5 cm)。胸骨下端から恥骨部までの連続した横断画像を取得した。

得られた画像から画像解析処理ソフト(OsiriX Version 5.6; Pixmeo, Geneva, Switzerland)を用いて腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 腹斜筋群, 多裂筋の筋厚および筋断面積を計測した。腹直筋上部, 腹直筋中部, 腹直筋下部, 腹斜筋群, の筋厚計測位置は実験 2 と同様の位置とした。

2-2-3-3. 統計処理

得られた結果は全て平均値と標準偏差で示した。実験 2 に参加した一般成人男性(n=24, 年齢 22.2 ± 1.3 歳, 身長 171.5 ± 0.9 cm, 体重 64.7 ± 0.9 kg)を非トレーニング群として用い, 筋厚と筋断面積を比較した。野球選手群と非トレーニング群との身長, 体重が与える影響を除外するために,

筋厚と筋断面積をそれぞれ 1/3 乗, 2/3 乗で補正した. 補正した野球選手群と非トレーニング群の筋厚を対応のない t 検定で比較した. 超音波計測による筋厚と MRI 計測による筋厚, 筋断面積との関係についてピアソンの相関係数分析を用いて評価した. 統計解析は, 統計解析ソフトウェア SPSS (version 19 ; IBM 社製, 日本)を用い, いずれも統計的な有意水準は 5%とした.

2-3. 結果

2-3-1. 超音波測定による体幹筋筋厚の信頼性(実験 1)の結果

超音波を用いた体幹筋筋厚測定の信頼性の結果を表 2.1 に示す。信頼性の確認実験の結果、超音波を用いた体幹筋筋厚測定の左右 8 部位、計 16 ヶ所において高い信頼性が得られた(0.919–0.970)。

2-3-2. 一般者における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係(実験 2)の結果

超音波およびMRIを用いて計測した左右の各体幹筋筋厚、MRIにて計測した左右の各体幹筋筋断面積を表 2.2 に示す。これらはMRIにて計測した体幹筋筋厚の値と比較して有意な差は認められなかった。また、超音波を用いた体幹筋筋厚測定値とMRIを用いた体幹筋筋厚測定値の関係を図 2.4 に示す。全 10 部位において有意な正の相関関係が認められた($R = 0.754-0.961$, $p < 0.01$)。

MRIを用いて計測した左右の各体幹筋筋断面積はそれぞれ腹直筋上部 $7.07 \pm 1.56 / 6.78 \pm 1.66$ cm^2 、腹直筋中部 $6.90 \pm 1.27 / 6.62 \pm 1.19$ cm^2 、腹直筋下部 $6.91 \pm 1.26 / 6.76 \pm 1.17$ 、腹斜筋群 $25.30 \pm 3.63 / 25.48 \pm 3.74$ 、多裂筋 $7.91 \pm 1.58 / 7.60 \pm 1.57$ であった。超音波を用いた体幹筋筋厚測定値とMRIを用いた体幹筋筋断面積の計測値の関係を図 2.5 に示す。全 10 部位において有意な正の相関関係が認められた($R = 0.631-0.821$, $p < 0.001$)。

表 2.1 超音波を用いた体幹筋厚測定信頼性の確認 (cm)

	First day	Second day	Difference	ICC	95%CI
URA					
Right side	1.35 ± 0.22	1.34 ± 0.18	0.05 ± 0.02	0.960	0.873-0.988
Left side	1.30 ± 0.20	1.31 ± 0.18	0.04 ± 0.03	0.965	0.890-0.990
CRA					
Right side	1.36 ± 0.18	1.38 ± 0.17	0.04 ± 0.03	0.963	0.883-0.989
Left side	1.35 ± 0.18	1.35 ± 0.16	0.04 ± 0.03	0.959	0.871-0.988
LRA					
Right side	1.54 ± 0.21	1.51 ± 0.23	0.05 ± 0.04	0.959	0.871-0.988
Left side	1.54 ± 0.24	1.52 ± 0.19	0.06 ± 0.04	0.946	0.832-0.984
AW					
Right side	2.20 ± 0.40	2.20 ± 0.45	0.10 ± 0.04	0.970	0.903-0.991
Left side	2.13 ± 0.35	2.13 ± 0.34	0.11 ± 0.08	0.921	0.760-0.976
EO					
Right side	0.69 ± 0.16	0.71 ± 0.18	0.07 ± 0.05	0.931	0.825-0.970
Left side	0.68 ± 0.16	0.68 ± 0.18	0.07 ± 0.05	0.929	0.808-0.983
IO					
Right side	1.01 ± 0.17	1.02 ± 0.21	0.05 ± 0.03	0.971	0.934-0.989
Left side	0.97 ± 0.23	1.01 ± 0.24	0.05 ± 0.04	0.982	0.952-0.990
TrA					
Right side	0.39 ± 0.07	0.40 ± 0.07	0.03 ± 0.02	0.902	0.724-0.962
Left side	0.38 ± 0.06	0.40 ± 0.06	0.03 ± 0.03	0.911	0.728-0.976
MF					
Right side	2.73 ± 0.43	2.80 ± 0.42	0.12 ± 0.13	0.919	0.755-0.976
Left side	2.71 ± 0.41	2.74 ± 0.34	0.08 ± 0.07	0.965	0.888-0.990

Mean ± SD.

URA, 腹直筋上部 ; CRA, 腹直筋中部 ; LRA, 腹直筋下部 ; AW, 腹斜筋群 ; EO, 外腹斜筋 ; IO, 内腹斜筋 ; TrA, 腹横筋 ; MF, 多裂筋.

ICC, intraclass correlation coefficients ; CI, confidence interval.

表 2.2 超音波およびMRI を用いて計測した体幹筋の筋厚と筋断面積

	US-measured MT (cm)		MRI-measured MT (cm)		MRI-measured MCSA (cm ²)	
	Right side	Left side	Right side	Left side	Right side	Left side
URA	1.38 ± 0.20	1.36 ± 0.21	1.38 ± 0.19	1.35 ± 0.19	7.07 ± 1.56	6.78 ± 1.66
CRA	1.41 ± 0.20	1.39 ± 0.20	1.42 ± 0.17	1.41 ± 0.16	6.90 ± 1.27	6.62 ± 1.19
LRA	1.54 ± 0.22	1.49 ± 0.24	1.52 ± 0.22	1.52 ± 0.22	6.91 ± 1.26	6.76 ± 1.17
AW	2.37 ± 0.35	2.37 ± 0.40	2.35 ± 0.36	2.34 ± 0.41	25.30 ± 3.63	25.48 ± 3.74
MF	2.73 ± 0.50	2.68 ± 0.41	2.82 ± 0.36	2.79 ± 0.33	7.91 ± 1.58	7.60 ± 1.57

MT, 筋厚； URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋.
Mean ± SD.

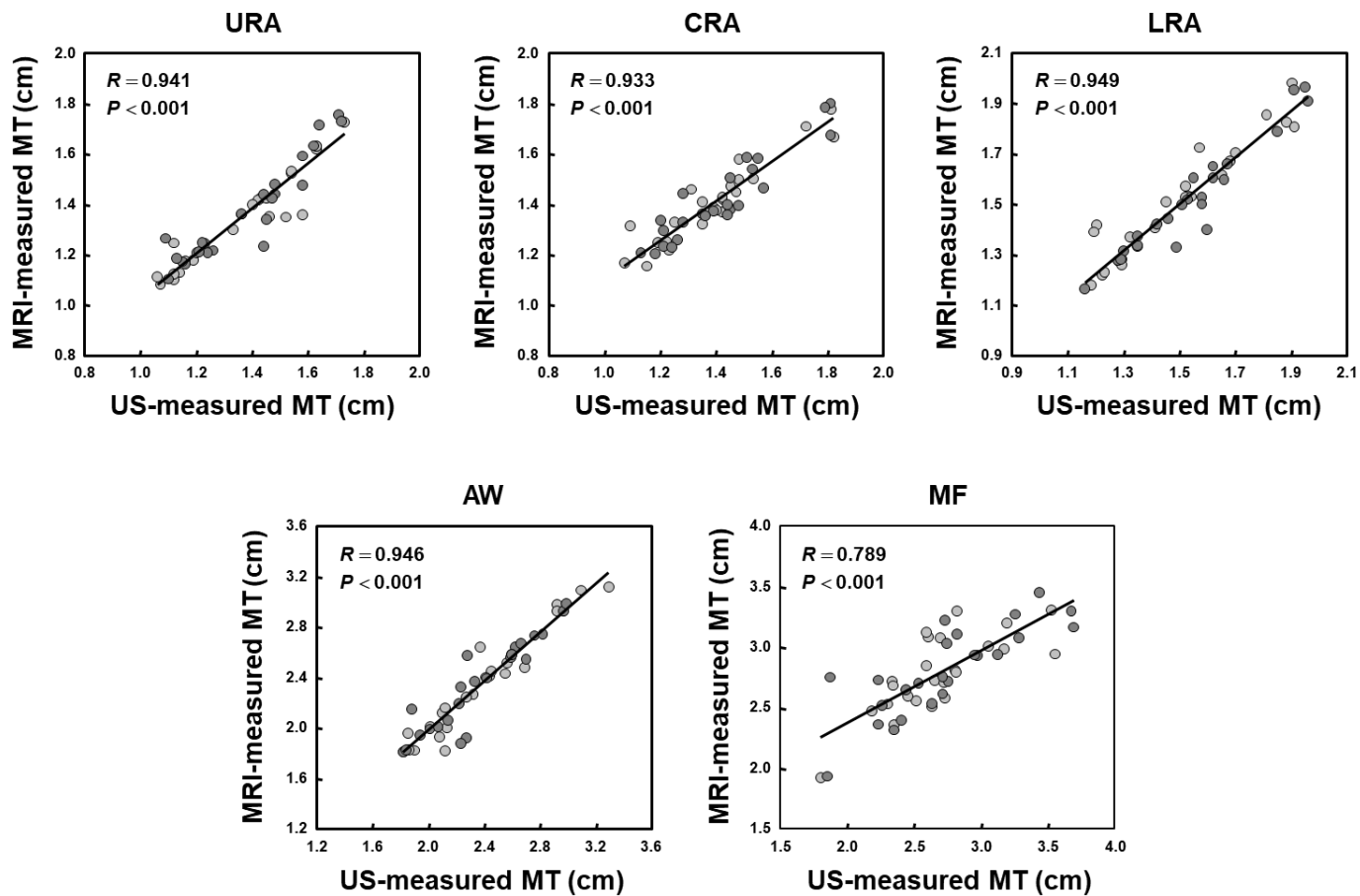


図 2.4 超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋厚の相関関係

濃い灰色は右側，薄い灰色は左側の各測定値をプロットした。相関係数は両側を合わせたものを示す。

URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋。

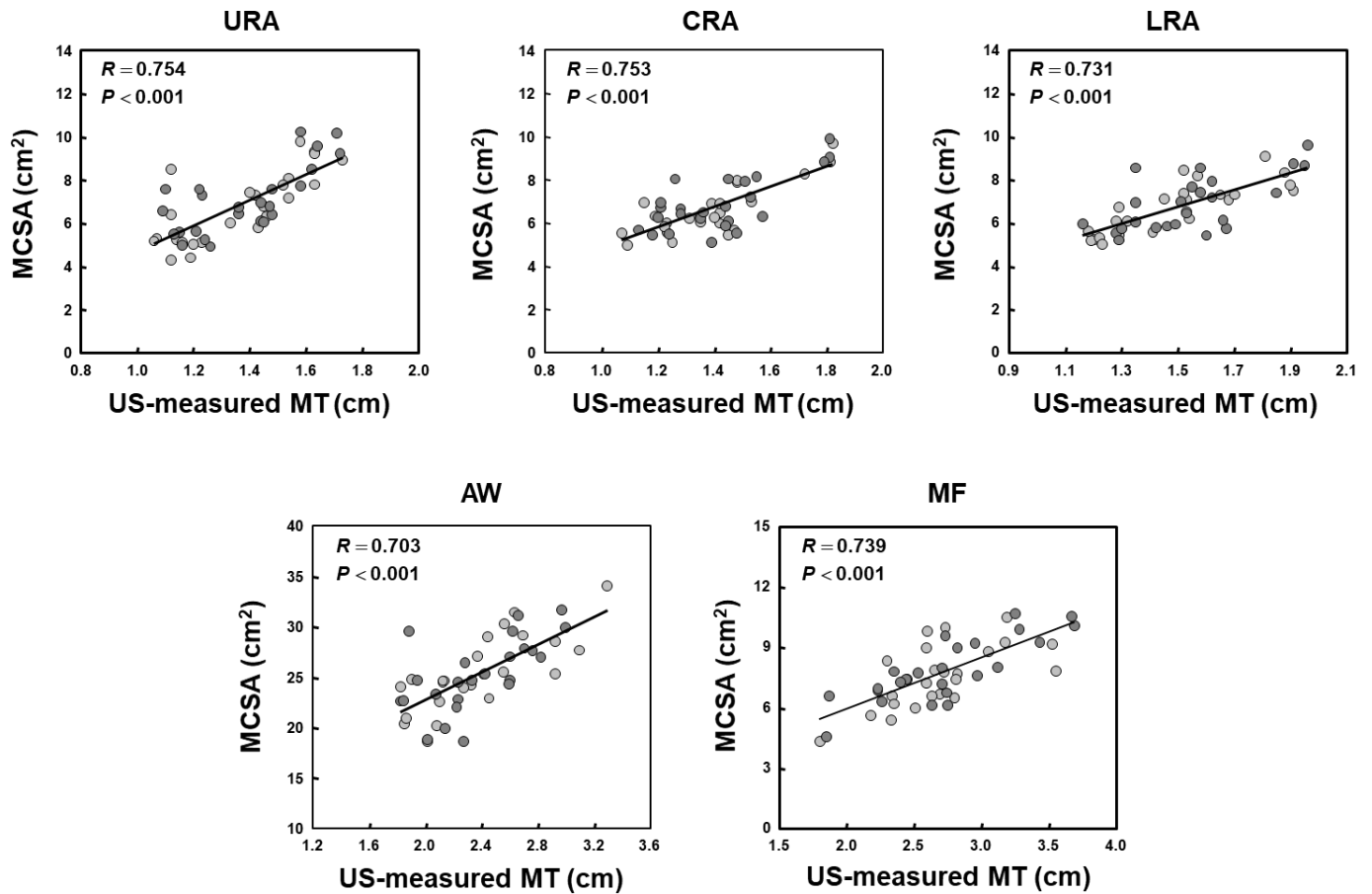


図2.5 超音波にて測定した体幹筋筋厚とMRIにて計測した体幹筋筋断面積の相関関係
 濃い灰色は右側，薄い灰色は左側の各測定値をプロットした。相関係数は両側を合わせたものを示す。
 URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋。

2-3-3. スポーツ競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と MRI を用いた体幹筋筋断面積の関係(実験 3)の結果

野球選手群と非トレーニング群の身長との間に有意な差は認められなかったが(173.7 ± 4.0 vs. 171.5 ± 0.9 cm), 体重は非トレーニング群よりも野球選手群のほうが有意に大きかった(72.4 ± 5.5 vs. 64.7 ± 0.9 kg; $p < 0.001$). 超音波にて計測した体幹筋筋厚値は MRI にて計測した体幹筋筋厚の値と比較して有意な差は認められなかった. 野球選手群および非トレーニング群の超音波を用いた体幹筋筋厚測定値と MRI を用いた体幹筋筋断面積の測定値を表 2.3 に示す. 体重補正後の体幹筋筋厚, 体幹筋筋断面積は, 多くの部位において野球選手群のほうが非トレーニング群に比べて有意に大きかった(それぞれ, $p < 0.05$)(図 2.6). 多裂筋の筋断面積のみ両群ともに有意な差は認められなかった.

超音波を用いた体幹筋筋厚測定値と MRI を用いた体幹筋筋厚測定値の関係を図 2.7 に示す. 全 10 部位において有意な正の相関関係が認められた($R = 0.793-0.986$, $p < 0.01$). 超音波を用いた体幹筋筋厚測定値と MRI を用いた体幹筋筋断面積の計測値の関係を図 2.8 に示す. 全 10 部位において有意な正の相関関係が認められた($R = 0.692-0.926$, $p < 0.01$).しかし, 超音波にて計測した多裂筋筋厚と MRI にて測定した多裂筋筋断面積との相関は, 他の体幹筋($R = 0.800-0.926 / 0.852-0.898$)と比較して相対的に低かった($R = 0.702-0.692$). 野球選手群の MRI 測定から得られた多裂筋の異なる横断面の形状を図 2.9 に示す. 野球選手の多裂筋の形状は, 四角形, 円形, 台形の形態を持っていることが確認できた.

表 2.3 野球選手群と非トレーニング群の体幹筋筋厚と体幹筋筋断面積

	Right side			Left side		
	Baseball players		Control	Baseball players		Control
	Absolute value	Normalized value	Normalized value	Absolute value	Normalized value	Normalized value
URA						
MT, cm	1.54±0.26	0.37±0.06	0.34±0.05*	1.52±0.27	0.36±0.06	0.34±0.05*
MCSA, cm ²	8.26±1.65	0.48±0.09	0.44±0.10*	8.34±1.52	0.47±0.09	0.42±0.10*
CRA						
MT, cm	1.63±0.26	0.39±0.06	0.35±0.05*	1.68±0.26	0.40±0.07	0.35±0.05*
MCSA, cm ²	8.32±1.66	0.48±0.09	0.43±0.08*	8.48±1.64	0.48±0.10	0.41±0.08*
LRA						
MT, cm	1.85±0.34	0.44±0.08	0.39±0.05*	1.90±0.32	0.45±0.08	0.37±0.06*
MCSA, cm ²	8.49±1.80	0.49±0.10	0.43±0.08*	8.51±1.72	0.48±0.10	0.42±0.07*
AW						
MT, cm	3.14±0.55	0.75±0.13	0.59±0.08*	3.15±0.58	0.74±0.14	0.59±0.09*
MCSA, cm ²	32.07±4.52	1.85±0.25	1.58±0.19*	32.66±3.89	1.85±0.23	1.59±0.21*
MF						
MT, cm	3.15±0.28	0.76±0.07	0.68±0.11*	3.23±0.28	0.77±0.07	0.67±0.09*
MCSA, cm ²	8.26±1.29	0.49±0.07	0.49±0.08	8.47±1.38	0.48±0.07	0.47±0.09

Mean ± SD. 筋厚と筋断面積はそれぞれ体重の 1/3 乗, 2/3 乗で補正した(Normalized values).

MT, 筋厚; MCSA, 筋断面積; URA, 腹直筋上部; CRA, 腹直筋中部; LRA, 腹直筋下部; AW, 腹斜筋群; MF, 多裂筋.

* Significant difference between normalized values, p < 0.001

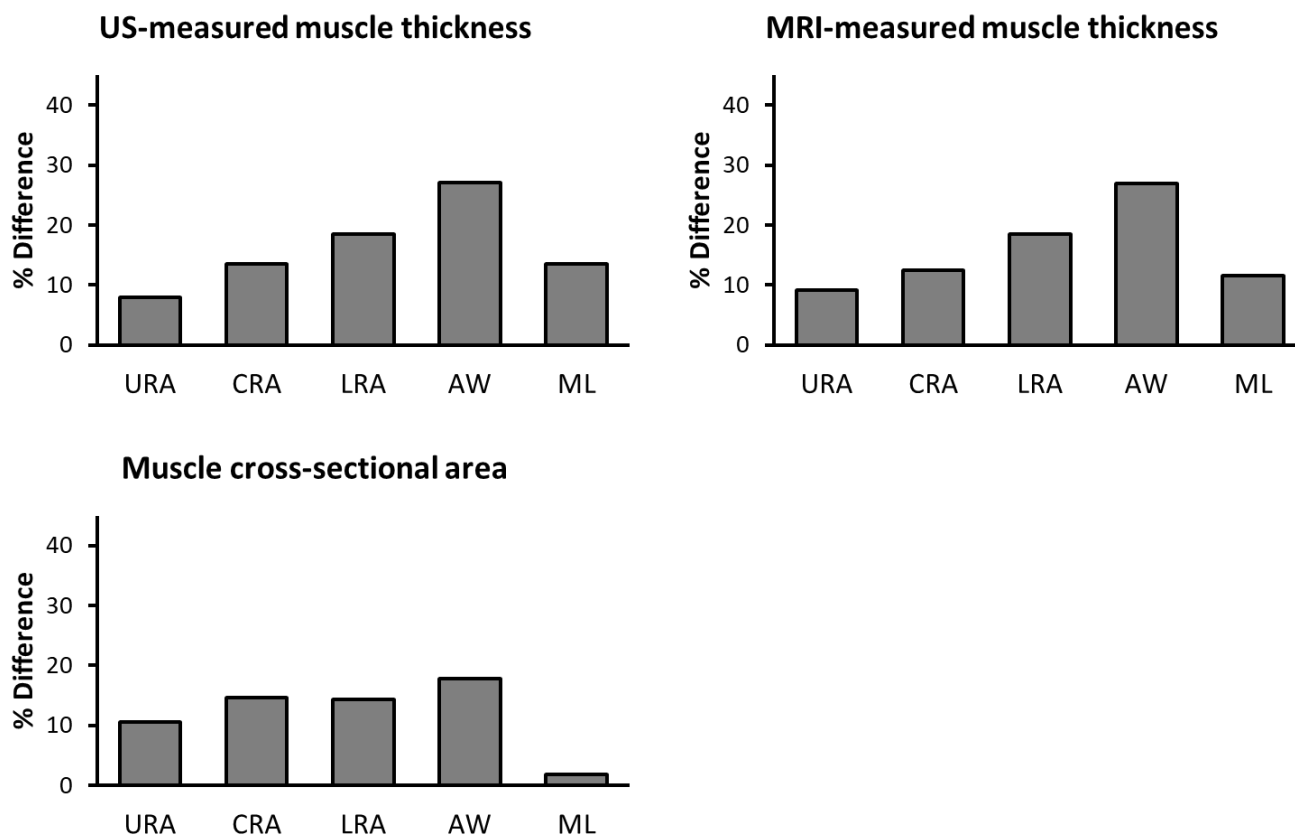


図 2.6 体重補正後の野球選手群と非トレーニング群の体幹筋筋厚，体幹筋筋断面積の比較
 肥大率(%) = 野球選手群の補正後の筋厚 / 非トレーニング群の補正後の筋厚の平均 × 100.
 0%は非トレーニング群と同等であること，正の値は野球選手群の筋肉が大きいことを示す.
 URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋.

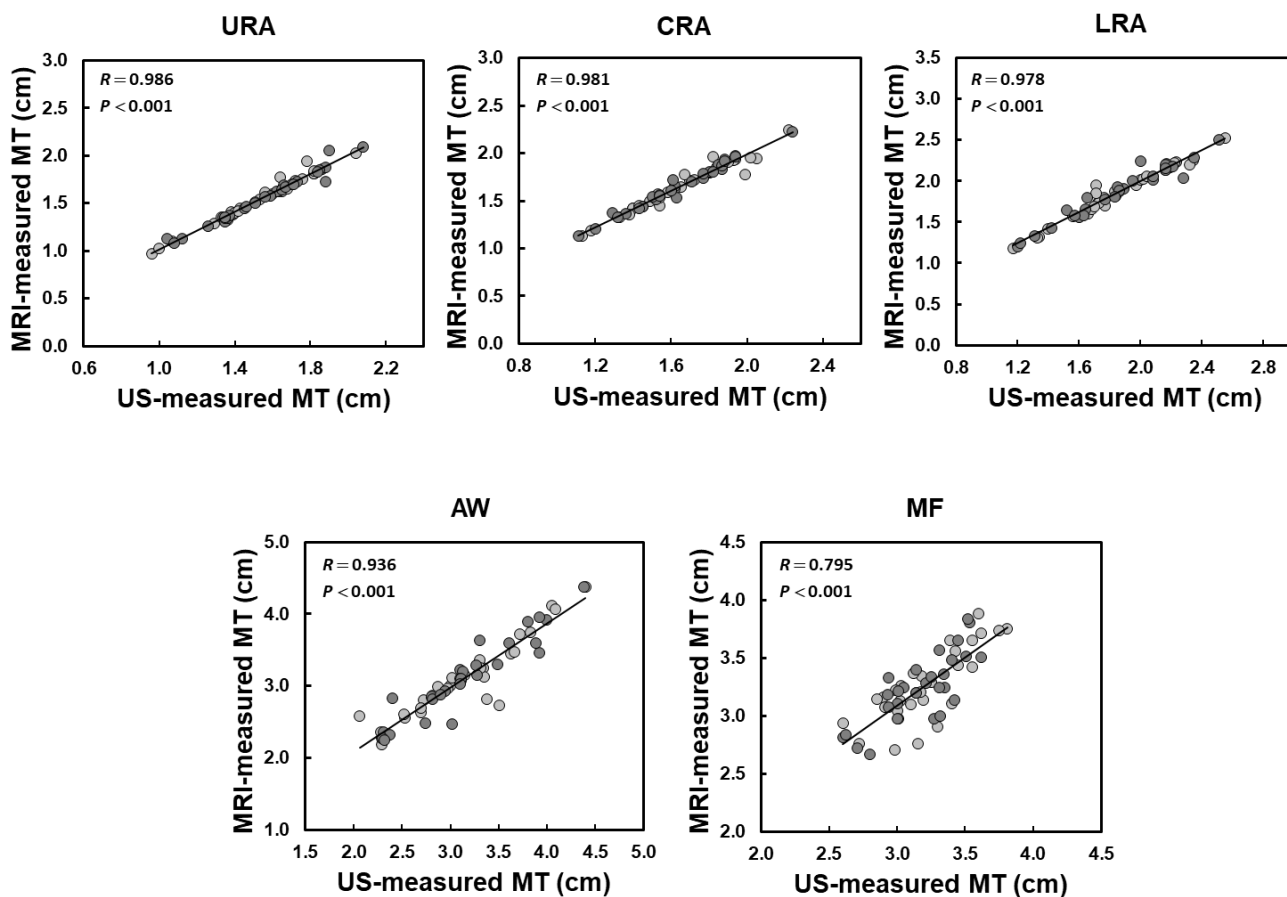


図 2.7 野球選手群の超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋厚の相関関係
 濃い灰色は右側，薄い灰色は左側の各測定値をプロットした。相関係数は両側を合わせたものを示す。
 URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋。

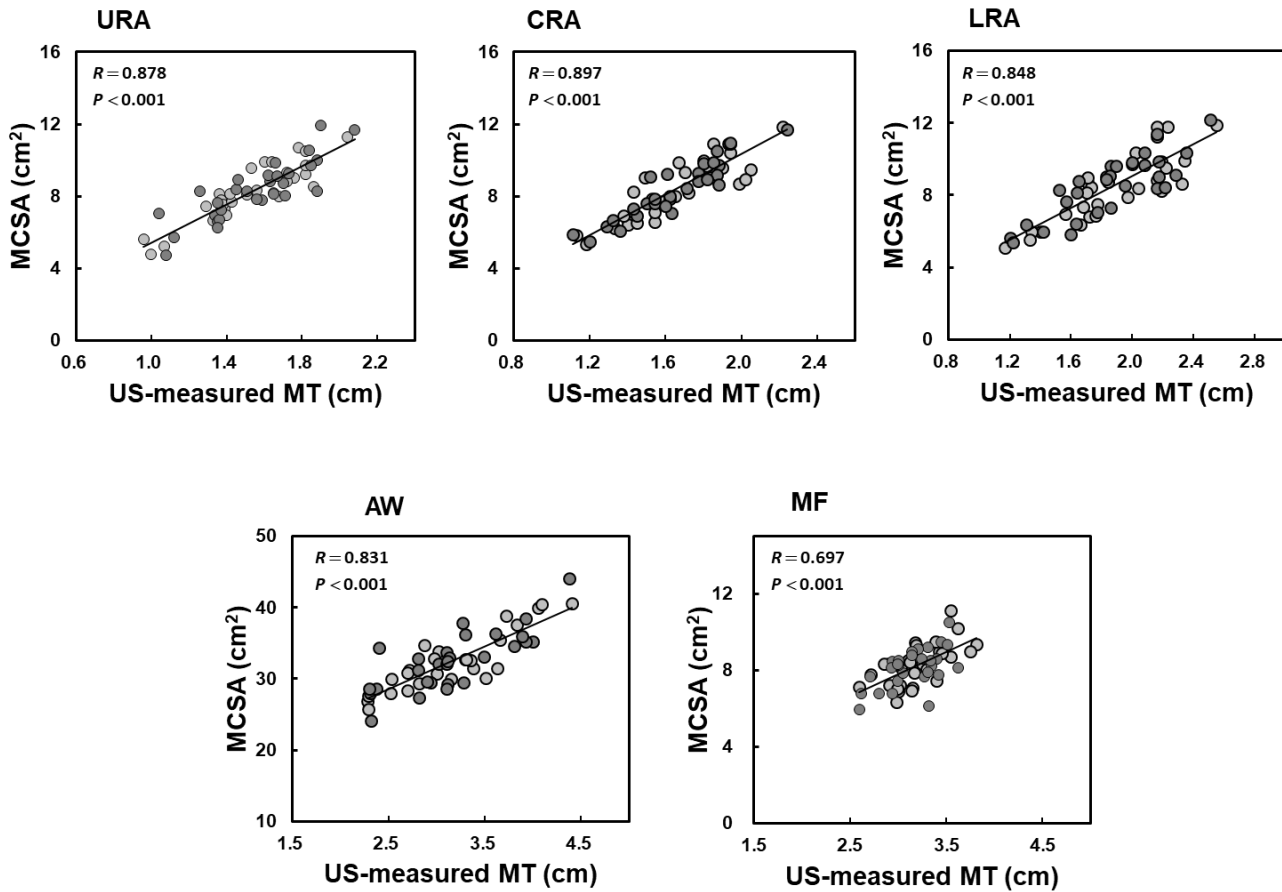
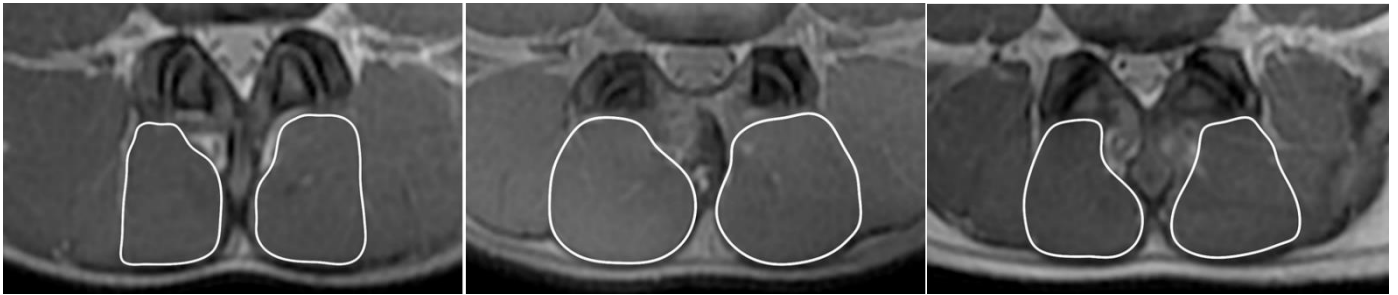


図 2.8 野球選手群の超音波にて測定した体幹筋筋厚と MRI にて計測した体幹筋筋断面積の相関関係
 濃い灰色は右側，薄い灰色は左側の各測定値をプロットした。相関係数は両側を合わせたものを示す。
 URA, 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； AW, 腹斜筋群； MF, 多裂筋。



四角形

円形

台形

図 2.9 野球選手にみられた多裂筋横断面の形状

2-4. 考察

2-4-1. 超音波測定による体幹筋筋厚の信頼性(実験 1)

超音波を用いた腹直筋, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋の筋厚測定における信頼性は, それぞれ >0.9 であった. ICC の検証においてこれらの数値であるということは, 偶然によらない高い一致であり, 他の先行研究とも同様の高い値である(Takai et al. 2011 ; Abe et al. 2016 ; Miyatani et al. 2004). ゆえに本研究結果より体幹筋筋厚の超音波測定は信頼性のある測定方法であるといえる.

2-4-2. 一般者における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係(実験 2)

先行研究においては超音波を用いた上肢筋や下肢筋の筋厚測定は, それらの筋断面積, 筋体積を反映しており, MRI の代用としての有効性が確立されている(Abe et al. 2016 ; Miyatani et al. 2004 ; Ogawa et al. 2012 ; Sipilä et al. 1993). さらに Takai et al.(2011)は, 一般者を対象に, 超音波を用いて大腰筋筋厚を計測した結果, MRI を用いた筋断面積と強い相関があったと報告している. 大腰筋は第 12 胸椎と椎間板を含む全腰椎の肋骨突起より起始することから(Agur and Dalley 1991), 体幹筋としても分類される. しかし, 機能的には大腰筋は体幹の運動よりもむしろ歩行時などの股関節屈曲運動に関与する(Anderson et al. 1997). 本研究では体幹の安定性や可動性に関与する腹直筋, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋を対象に, 超音波での筋厚測定の有効性を検討した. これらの体幹筋は, スポーツ選手の競技力に関与するだけでなく, 萎縮すれば高齢者の転倒リスクにもつながるため(Hicks et al. 2005), 日常生活動作を遂行する上でも重要な筋肉である. しかしながら, 我々の知る限り超音波を用いた体幹筋の測定方法が, 上肢筋や下肢筋の測定方法と同様に有効であるかは明らかにされていない.

そこで、超音波を用いた体幹筋筋厚と MRI を用いた体幹筋筋厚および体幹筋筋断面積との関連を検証した。超音波を用いた筋厚と MRI を用いた筋厚はそれぞれの筋肉において高い相関($R = 0.754-0.961$)があり、また、超音波を用いた筋厚と MRI を用いた筋断面積は中等度の相関($R=0.631-0.821$)があった。この中等度の相関は四肢の筋肉で検証した先行研究(Takai et al. 2011 ; Abe et al. 2016 ; Ogawa et al. 2012)と比較すると、やや低い値であった。四肢筋と体幹筋との相関係数の違いには、呼吸による形態変化が影響していると考えられる。四肢の筋肉は、計測時に安静位を保持しているため形態変化は起こりにくいが、腹直筋や外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋は肋骨に付着し、呼吸補助筋でもあるため呼吸運動の影響を受け形態変化を起こす。本研究では呼吸による影響を除外するために MRI において呼吸同期を行い、呼気相と吸気相の間にて撮像し、超音波においても同様の相にて計測を行った。しかしながら、四肢での相関係数と比較して、やや体幹筋における相関係数が低かったことは、呼吸による影響を受けていたためであると考えられる。さらに多裂筋においては先行研究(Hides et al. 2008c, 2014)と比較するため、超音波では腹臥位での計測を行い、MRI では背臥位にて撮像し、筋厚および筋断面積を計測した。ゆえに多裂筋においては超音波と MRI の測定姿勢の違いが影響していることが考えられる。

本研究により、超音波を用いた体幹筋の筋厚測定は、MRI を用いた筋厚および筋断面積と有意な相関関係があることが明らかとなった。先行研究によれば、体幹筋はトレーニングをすることで筋肥大が生じ(Danneels et al. 2001)、また、体幹筋の大きさはスポーツ選手のパフォーマンスにも関与する(Kubo et al. 2011)。一方で、高齢者を対象にした研究では、体幹筋の萎縮が生じ、これは転倒リスクにつながることから(Hicks et al. 2005)、機能障害や日常生活活動の狭小化につながる事が予想される。したがって、体幹筋を計測することは、幅広い世代において有意義な知見である。

しかしながら、MRI や CT を用いる従来の計測では、被ばくのリスクや禁忌のものに対しては実施できないこと、機器が大きくフィールドでの計測が困難であることが問題点であった。これらの問題点は超音波を用いた計測では解決できる。ゆえに、一般者において超音波による体幹筋計測は妥当性があり、有用な計測手法であるといえる。

2-4-3. スポーツ競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係(実験3)

本研究の結果から、野球選手において超音波を用いて測定した体幹筋筋厚と MRI を用いて測定された体幹筋筋厚、筋断面積との間に高い相関があることが明らかになった。これらの結果は、実験2にて実施したトレーニングを受けていない一般者を対象とした結果と同様であった(Wachi et al. 2017a)。ゆえに、体幹の筋肉が大きいスポーツ選手の体幹筋筋厚を超音波で計測し、MRI で測定した筋断面積との間に高い相関関係を示すことで、超音波測定がアスリートの体幹筋サイズを評価するための有効な方法である可能性を示唆し、超音波の適用性をさらに広げることができたと考えられる。

実験2において、非トレーニング群の体幹筋を評価するための超音波の有効性を明らかにした。しかし、スポーツ選手の体幹筋は日々トレーニングを実施していない一般者に比べて形態的に発達している可能性がある。筋力トレーニングは体幹筋の肥大を生じさせ(Danneels et al. 2001)、体幹筋の肥大はスポーツ選手のパフォーマンス向上に関係している(Kubo et al. 2011)。実際、Sanchis-Moyssi et al.(2010a, 2013)の一連の研究では、テニス選手ではトレーニングを受けていない人に比べて腹直筋(52%)と腹斜筋群(30%)が大きいことが報告されている。しかし、我々の知る限りでは、

スポーツ選手を対象に、超音波で計測した体幹筋筋厚と MRI で計測した体幹筋筋断面積との関係を調べた先行研究はない。したがって、本研究では野球選手群とトレーニングを日常的に行っていない非トレーニング群との関係を比較することで、体幹筋を評価するための超音波測定の有用性を検証した。

体重が異なる被験者の筋厚、筋断面積を比較するためには、補正が必要であるため、筋厚、筋断面積ともに体重で正規化した。野球選手群の補正後の筋厚と筋断面積は、多裂筋の筋断面積を除く全ての数値において、非トレーニング群よりも有意に大きかった。とりわけ腹直筋、腹斜筋群が他の部位よりも大きかった。体幹の回旋は打撃、投球の両方に必要であり(Braatz and Gogia. 1987 ; Shaffer et al. 1993)、腹斜筋群が体幹回旋に強い役割を果たしていることはよく知られている(Urquhart and Hodges. 2005)。また、打撃時には体幹筋の高い筋活動が生じている(Shaffer et al. 1993)。したがって、野球選手群において体幹筋が大きかったことは、打撃や投球動作に起因する可能性が示唆される。一方で、MRI 測定による多裂筋筋断面積は両群間で差がなかった。他の先行研究と比較してみると、Peltonen et al.(1998)は、思春期の女性アスリート(体操選手、フィギュアスケート選手、バレエダンサー)の多裂筋を含む脊柱起立筋群が、同世代のトレーニングを受けていない被験者よりも大きいことを報告している。Asaka et al.(2010)は、16名のエリートオアーズ(船の漕手)選手(67.8 ± 2.3 歳)の腹直筋は同年齢の非トレーニング群に比べて大きい、脊柱起立筋群は両群間で差がないことを報告している。また、Kubo et al.(2010)は、プロサッカー選手(23.7 ± 3.1 歳)の腹直筋と腹斜筋群はユースサッカー選手(16.8 ± 0.6 歳)の腹直筋と比べて大きい、脊柱起立筋群は両群間で差がないことを報告している。このように他のスポーツ競技において、種目によっては背部の筋肉がトレーニングの影響を受けていなかった。野球においても、多裂筋の筋断面積は

他の体幹筋とは異なり、長期的なトレーニングの影響を受けていない可能性が考えられる。これらの結果から、野球の打者では背部の筋肉ではなく、腹部の筋肉が特異的に肥大していることが示された。

野球選手群の超音波を用いた筋厚と MRI を用いた筋断面積は、それぞれの筋肉において高い正の相関があり($R = 0.697-0.897$)、これらの結果は、実験 2 における非トレーニング群と同様であった($R = 0.703-0.754$)。しかし、本研究では、多裂筋の相関係数($R = 0.697$)は他の体幹筋に比べて低かった($R = 0.831-0.897$)。多裂筋は筋電図を用いた研究から深層線維と表層線維で機能が異なることが報告されている。表層線維は腰椎の伸展と回旋に寄与し、深層線維は腰椎分節の安定性を向上させる(Richardson et al. 1995)。実際、体幹回旋を含む運動時には、多裂筋の表層線維と深層線維で筋活動が異なる(Arendt-Nielsen et al. 1996 ; Moseley et al. 2003)。このような活動領域の違いが、スポーツ選手における特異的な筋形態につながった可能性がある。今回の計測結果では、多裂筋の筋断面は、正方形、円形、台形の形態を示していた(図 2.9)。このように、多裂筋の形状が異なったことが、野球選手群では超音波を用いた筋厚測定値と MRI を用いた筋断面積測定値との相関が低かった原因ではないかと考える。ゆえに多裂筋を計測対象とする場合には筋厚を筋断面積の代用として用いずに、筋断面積も同時に計測していく必要があると考える。多裂筋のみであれば超音波のプロープ幅よりも小さいため、筋断面積の計測が可能である(Hides et al. 2008a, 2008c)。

これまでの先行研究では、様々な種目のスポーツ選手において、体幹筋の左右非対称な特異的肥大が生じることが報告されている(Asaka et al. 2010 ; Peltonen et al. 1998 ; Sanchis-Moysi et al. 2010a, 2013)。Sanchis-Moysi et al.(2010a, 2013)は、テニス選手の腹直筋と腹斜筋は利き手の反対側が有意に大きかったと報告している。また、Hides et al.(2008b)の報告によると、クリケッ

ト選手の多裂筋は打撃と反対側が有意に大きい。スポーツ選手の体幹筋の左右非対称性は、競技に有利な筋トルクの発揮が可能になることが考えられる(Housh et al.1992, Narici et al. 1996)。あるいは、逆に一側性のトレーニングの反復により特定の部位が肥大することで、動的運動時の機能的な能力を損なう可能性もある(Hides et al. 2016)。さらには、体幹筋の左右非対称性は腰痛のリスクと関連している(Barker et al. 2004 ; Hides et al. 2008b, 2008c, 2016)。本研究の結果から一般者およびスポーツ選手において超音波を用いた体幹筋計測の有効性が明らかにされた。ゆえに超音波は、臨床で容易にスポーツ選手の体幹筋を計測、フィードバックすることが可能であり、パフォーマンス向上、障害予防に非常に有用なツールである。

2-5. まとめ

本章では、健康な成人男性および大学スポーツ選手を対象に、超音波を用いた体幹筋計測法の実現可能性を検証した。

- 超音波を用いた腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋、多裂筋の筋厚測定における検査内信頼性は、ICC の検証においてそれぞれ >0.9 であった。0.9 以上は、偶然によらない高い一致であり、超音波を用いた体幹筋筋厚測定の信頼性が確認された。
- 一般者を対象に、超音波にて計測した左右の各体幹筋筋厚は MRI にて計測した体幹筋筋厚の値と比較して有意な差は認められなかった。また、超音波を用いた体幹筋筋厚測定値と MRI を用いた体幹筋筋断面積の計測値は、全ての部位において有意な正の相関関係が認められた。
- スポーツ選手を対象に超音波を用いて測定した体幹筋筋厚と MRI を用いて測定された体幹筋筋厚、筋断面積との間にも高い相関があることが明らかになった。しかし、多裂筋においては筋厚と筋断面積の相関係数が低く、各個人によって筋肉の形状が異なる可能性が示唆された。これらのことからスポーツ選手の体幹筋を対象とした超音波測定の有効性が確認された。

以上の結果から、超音波を用いて一般者およびスポーツ選手の体幹筋を計測することの有効性が確認された。この知見は、スポーツ選手の体幹筋計測、またスポーツパフォーマンス向上のための体幹トレーニングを行う上で重要な知見となる。

第3章: 野球選手における体幹筋の形態的特性の検討

3-1. 目的

実験3において、スポーツ競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定が有効であることが明らかとなった。体幹筋や四肢筋の大きさは、様々なスポーツパフォーマンスと関連していることが明らかにされており(Kubo et al. 2011 ; Miyatani et al. 2004 ; Tanaka et al. 2013), これまでの先行研究ではサッカー選手やテニス選手における特異的筋肥大や左右非対称性が報告されているが、野球選手においては明らかにされていない。野球において体幹筋は下肢からの運動エネルギーを上肢に伝達するためにはたらき、投打ともに運動効率を高める役割を担っている(Braatz and Gogia 1987 ; Shaffer et al. 1993). 実際、体幹の回旋筋力は、スイングスピードやボールスピードなどのパフォーマンスに関連している(Szymanski et al. 2007, 2010). このように、野球選手の体幹筋は、一側方向への打撃、投球の反復による競技特異的な形態的適応が生じている可能性がある。したがって本研究では超音波を用いて、野球選手における体幹、四肢筋の特異的筋肥大、左右非対称性を非トレーニングと比較し、検討することを目的とした。また、筋電図学的研究では打撃と投球における体幹筋の筋活動は異なることが報告されている(Shaffer et al. 1993). 近年の野球選手においては打撃と投球で利き手が異なる選手も多く、左右非対称性は打撃側と投球側のどちらに生じるのかについても検討した。さらに、投打で利き手が同一方向の選手と投打で利き手が反対方向の選手における左右非対称性の特徴についても検討を加えた。

3-2. 方法

3-2-1. 被験者

30名の健康な大学野球選手(年齢： 20.5 ± 0.7 歳，身長： 174.1 ± 4.0 cm，体重： 72.2 ± 6.5 kg)と非トレーニング群として30名の健康な成人男性(年齢： 21.5 ± 0.7 歳，身長： 173.5 ± 5.3 cm，体重： 64.1 ± 7.2 kg)が本実験に参加した。野球選手群の野球経験年数は少なくとも10年以上行っていることとした(13.5 ± 1.4 年)。体幹筋のDominant側，Non-dominant側を明確にするために，本研究では打撃による比較にはTrail handと同側の筋肉を打撃側，投球による比較には投球側をDominant側と定義した。野球選手群のうち16名は投打ともに同じ体側がDominant側(右投右打あるいは左投左打)であり，14名は投打でDominant側が異なる選手(右投左打)であった。非トレーニング群の被験者は特定のスポーツをしておらず，習慣的にトレーニングも実施していないものとした。非トレーニング群のDominant側は利き手側と定義した。全ての被験者は実験時に腰部に疼痛が認められない者，腹部および腰部の手術歴のない者，およびMRIの禁忌にあてはまらない者とした。被験者には，実験前に本実験の手順，目的，およびリスクについて説明し，全参加者から書面によるインフォームドコンセントを取得した。事前の聞き取りから投手は野手と大きくトレーニング内容が異なったため投手は計測対象から除外した。本研究は立命館大学びわこ・くさつキャンパスの倫理審査委員会によって承認(IRB-2013-015)を得て実施した。

3-2-2. プロトコール

超音波測定

Bモード超音波画像検査装置(SSD-3500SV；Aloka社製，日本)と7.5MHzのリニア式プローブ

を用いた。腹直筋の筋厚は、Balius et al.(2012)の方法を参照して、腹直筋上部、腹直筋中部、腹直筋下部と定義して計測した。人間の腹直筋の多くは3つの腱画によって筋腹が肋骨下部に付着する第1層の筋腹から4つに区切られる(猪口ら、1978)。腹直筋上部と腹直筋中部の筋厚は、それぞれ上部の中部の腱画間、中間と下部の腱画間に位置する第2層と第3層で測定した。腹直筋下部の筋厚は、下部の腱画から恥骨までの第4層で測定した。それぞれの筋厚は、各層で前縁と後縁との距離が最大となる位置を採用した。第1層は肋骨の形状によって形態が様々であること、また筋線維以外のものと混在していることから計測対象から除外した。腹斜筋群である外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋の筋厚は、Reeve et al.(2009)の方法を参照して、前腋窩線上の肋骨下部と上前腸骨棘の midpoint における腹横筋の筋腱移行部より 15 mm の部位を計測した。また、それら3筋を合わせた筋厚を腹斜筋群とした。多裂筋の筋厚は、Gildea et al.(2013)、Hides et al.(2008c, 2014)の方法を参照して、第5腰椎棘突起レベルとした。被験者には検査ベッドの上でリラックスしてもらうよう指示した上で、腹直筋上部、腹直筋中部、腹直筋下部、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋は背臥位にて、多裂筋は腹臥位にて測定し、各体幹筋の超音波画像を取得した。

四肢筋の筋厚は、上腕二頭筋、上腕三頭筋、前腕屈筋群、ハムストリングス、大腿四頭筋、前脛骨筋、腓腹筋を測定した。四肢筋の筋厚測定は、先行研究の測定部位に基づいて実施した(Miyatani et al. 2004 ; Sanada et al. 2006)。上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋厚は、上腕長(肩甲骨の肩峰から上腕骨の外側上顆までの距離)の近位から 60%、前腕屈筋群の筋厚は、前腕長(上腕骨の外側上顆から橈骨茎状突起までの距離)の近位 30%、ハムストリングスと大腿四頭筋群の筋厚は、大腿長(大腿骨大転子から膝関節外側裂隙までの距離)の近位 50%、前脛骨筋と腓腹筋の筋厚は、下腿長(膝関節外側裂隙から外果の最下端までの距離)の近位 30%で測定した。四肢筋の測定時には被験者は立位を

保持してもらうよう指示した上で、視線は前方を向き、左右に偏ることなく支持するよう計測した。

非トレーニング群に比較した野球選手群の筋厚の肥大率は、左右両部位の平均値を用いて、以下の式を用いて算出した。

$$\text{肥大率(\%)} = \text{野球選手群の筋厚} / \text{非トレーニング群の筋厚の平均} \times 100$$

筋厚の左右非対称性は、以下の式を用いて算出した。なお、以下の式により算出された正の値は Dominant 側が大きいこと、負の値は Non-dominant が大きいことを示す。

$$\text{左右非対称性(\%)} = (\text{Dominant 側筋厚} - \text{Non-dominant 側筋厚}) / \text{Dominant 側筋厚} \times 100$$

本実験に先立ち、15名の被験者(年齢: 22.3 ± 1.5 歳, 身長: 171.1 ± 4.9 cm, 体重: 66.5 ± 8.4 kg)を対象に、左右を含む8つの体幹筋、計16ヶ所の筋厚において筋厚測定の信頼性を検証した。筋厚測定における信頼性の検証には、テスト-再テスト法を用いた。体幹筋筋厚の測定を行った日から1週間後に同部位の再測定を行った。測定中はモニター画面が直接見えないように配慮し、再測定までの期間、感染等による健康状態の変化がないことを確認し、実施した。また、すべての測定は同一検者が行った。信頼性の確認実験の結果、全ての部位において高い信頼性が得られた(0.901-0.980)。

3-2-3. 統計処理

得られた結果は全て平均値と標準偏差で示した。統計解析は、統計解析ソフトウェア SPSS (version 19 ; IBM 社製, 日本)を用い, いずれも統計的な有意水準は5%とした。両群の等分散性を確認するために, Levene の誤差分散の等質性検定を用い, 体幹筋, 四肢筋ともに等分散であることを確認した。その後, 野球選手群と非トレーニング群の筋厚を対応のない t 検定で比較した。また, 身体特性による影響を除外するために体重を共変量として共分散分析(ANCOVA)を行った。Dominant 側と Non-dominant 側の差は対応のある t 検定を用いて比較した。

3-3. 結果

3-3-1. 野球選手群と非トレーニング群の身体的特徴

野球選手群と非トレーニング群の身長との間に有意な差は認められなかったが(174.1 ± 4.0 vs. 173.5 ± 5.3 cm), 体重は非トレーニング群よりも野球選手群のほうが有意に大きかった(72.2 ± 6.5 vs. 64.1 ± 7.2 kg; $p < 0.01$).

3-3-2. 野球選手群と非トレーニング群の体幹, 四肢の筋厚の比較

打撃側を基準とした野球選手群の体幹筋, 四肢筋の平均筋厚と非トレーニング群の比較を表 3.1 に示した。野球選手群の筋厚は, 前脛骨筋を除く全ての部位において非トレーニング群よりも有意に大きかった($p < 0.01$)。これらは体重を共変量として比較しても同様に有意に大きかった($p < 0.01$)。とりわけ非打撃側の内腹斜筋, 腹横筋の筋厚は野球選手群の方が約 1.5 倍大きかった(図 3.1)。

表 3.1 体幹筋および四肢筋の筋厚の比較

	Baseball players (n=30) (cm)		Control (n=30) (cm)		Baseball players / Control (%)	
	Dominant	Non-dominant	Dominant	Non-dominant	Dominant	Non-dominant
Trunk muscles						
URA	1.61 ± 0.22	1.62 ± 0.23	1.34 ± 0.23 *	1.33 ± 0.22 *	19.41 ± 16.57	20.89 ± 17.09
CRA	1.75 ± 0.27	1.72 ± 0.25	1.37 ± 0.20 *	1.35 ± 0.18 *	27.58 ± 19.42	27.25 ± 18.38
LRA	1.94 ± 0.31	1.99 ± 0.33	1.50 ± 0.25 *	1.48 ± 0.24 *	29.46 ± 20.83	33.96 ± 22.58
EO	0.87 ± 0.20	0.88 ± 0.19	0.78 ± 0.18 *	0.76 ± 0.24 *	12.06 ± 25.38	15.28 ± 25.07
IO	1.47 ± 0.28	1.65 ± 0.36	1.05 ± 0.22 *	1.07 ± 0.23 *	39.70 ± 26.52	54.78 ± 33.98
TrA	0.50 ± 0.11	0.59 ± 0.13	0.39 ± 0.10 *	0.38 ± 0.08 *	27.34 ± 28.95	56.55 ± 34.15
ML	2.75 ± 0.32	2.80 ± 0.31	2.58 ± 0.45 *	2.56 ± 0.43 *	6.65 ± 12.54	9.50 ± 12.00
Limb muscles						
Biceps	3.29 ± 0.31	3.23 ± 0.32	3.00 ± 0.36 *	2.95 ± 0.32 *	9.68 ± 10.28	9.63 ± 10.82
Triceps	3.56 ± 0.55	3.53 ± 0.52	3.17 ± 0.63 *	3.16 ± 0.59 *	12.34 ± 17.45	15.09 ± 17.04
Forearm	2.48 ± 0.29	2.39 ± 0.21	2.08 ± 0.20 *	2.01 ± 0.22 *	18.91 ± 14.08	18.86 ± 10.64
Hamstrings	7.57 ± 0.63	7.59 ± 0.58	6.29 ± 0.51 *	6.26 ± 0.51 *	20.29 ± 10.01	21.25 ± 9.25
Quadriceps	6.14 ± 0.52	6.13 ± 0.57	5.50 ± 0.55 *	5.45 ± 0.66 *	11.73 ± 9.46	12.47 ± 10.45
Tibialis anterior	2.95 ± 0.22	2.94 ± 0.22	2.92 ± 0.27	2.87 ± 0.30	1.12 ± 7.48	2.39 ± 7.66
Gastrocnemius	7.01 ± 0.48	6.93 ± 0.40	6.47 ± 0.48 *	6.45 ± 0.46 *	8.26 ± 7.47	7.44 ± 6.28

Mean ± SD. URA: 腹直筋上部 ; CRA, 腹直筋中部 ; LRA, 腹直筋下部 ; EO, 外腹斜筋 ; IO, 内腹斜筋 ; TrA, 腹横筋 ; MF, 多裂筋.

*p < 0.01 vs. 野球選手群.

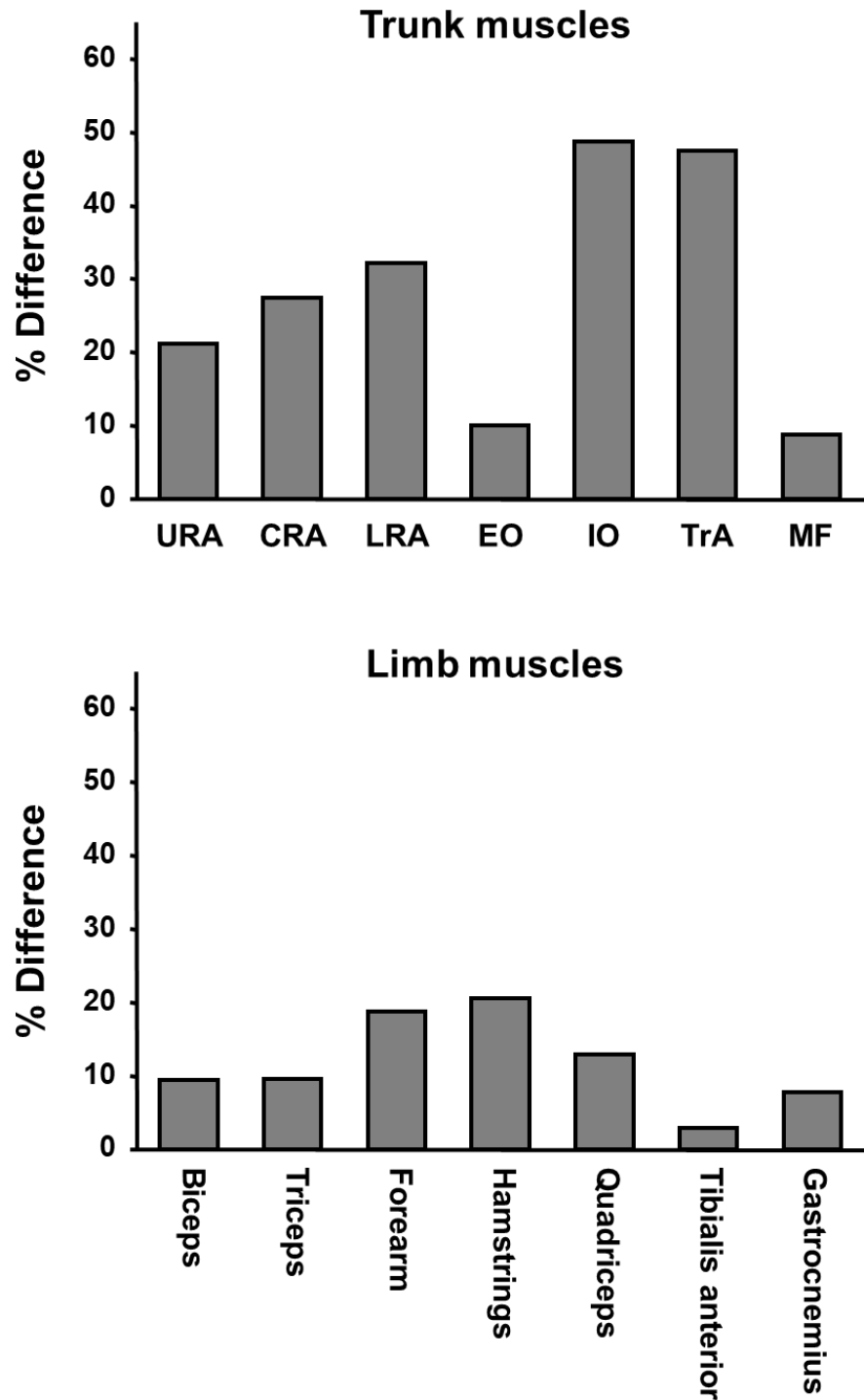


図 3.1 野球選手群の体幹筋，四肢筋における肥大率

肥大率(%) = 野球選手群の筋厚 / 非トレーニング群の筋厚の平均 × 100.

0%は非トレーニング群と同等であること，正の値は野球選手群の筋肉が大きいことを示す.

URA: 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； EO, 外腹斜筋； IO, 内腹斜筋； TrA, 腹横筋； MF, 多裂筋.

3-3-3. 野球選手群における左右非対称性

野球選手群の打撃，投球を基準とした Dominant 側と Non-dominant 側の筋厚を表 3.2 に示す。打撃を基準とした左右非対称性を比較した結果，体幹筋は内腹斜筋，腹横筋，多裂筋において，非打撃側の筋厚が打撃側と比較して有意に大きかった($p < 0.05$)。四肢筋は前腕屈筋群のみ打撃側の筋厚が非打撃側と比較して有意に大きかった($p < 0.05$)。一方で，投球を基準とした左右非対称性を比較した結果，体幹，四肢筋ともに有意な左右非対称性は認められなかった。同様に，非トレーニング群においても体幹，四肢筋ともに有意な左右非対称性は認められなかった。

また，打撃を基準とした野球選手群の左右非対称性と非トレーニング群の左右非対称性を図 3.2 に示す。内腹斜筋と腹横筋の左右非対称性は野球選手群の方が非トレーニング群と比較して有意に大きかった($p < 0.01$)。

表 3.2 打撃および投球を基準にした筋厚の左右非対称性の比較

	Baseball players (n=30)				Control (n=30)	
	Swinging		Throwing		Dominant	Non-dominant
	Dominant	Non-dominant	Dominant	Non-dominant		
Trunk muscles (cm)						
URA	1.61 ± 0.22	1.62 ± 0.23	1.62 ± 0.22	1.60 ± 0.23	1.34 ± 0.23	1.33 ± 0.22
CRA	1.75 ± 0.27	1.72 ± 0.25	1.73 ± 0.25	1.74 ± 0.26	1.37 ± 0.20	1.35 ± 0.18
LRA	1.94 ± 0.31	1.99 ± 0.33	1.94 ± 0.32	1.99 ± 0.32	1.50 ± 0.25	1.48 ± 0.24
EO	0.87 ± 0.20	0.88 ± 0.19	0.87 ± 0.17	0.89 ± 0.22	0.78 ± 0.18	0.76 ± 0.24
IO	1.47 ± 0.28	1.65 ± 0.36 *	1.52 ± 0.30	1.61 ± 0.36	1.05 ± 0.22	1.07 ± 0.23
TrA	0.50 ± 0.11	0.59 ± 0.13 *	0.54 ± 0.12	0.55 ± 0.14	0.39 ± 0.10	0.38 ± 0.08
ML	2.75 ± 0.32	2.80 ± 0.31 *	2.77 ± 0.33	2.78 ± 0.31	2.58 ± 0.45	2.56 ± 0.43
Limb muscles (cm)						
biceps	3.29 ± 0.31	3.23 ± 0.32	3.24 ± 0.29	3.28 ± 0.34	3.00 ± 0.36	2.95 ± 0.32
triceps	3.56 ± 0.55	3.53 ± 0.52	3.50 ± 0.54	3.59 ± 0.54	3.17 ± 0.63	3.16 ± 0.59
forearm	2.48 ± 0.29	2.39 ± 0.21 *	2.41 ± 0.25	2.47 ± 0.27	2.08 ± 0.20	2.01 ± 0.22
hamstrings	7.57 ± 0.63	7.59 ± 0.58	7.54 ± 0.61	7.62 ± 0.59	6.29 ± 0.51	6.26 ± 0.51
quadriceps	6.14 ± 0.52	6.13 ± 0.57	6.17 ± 0.49	6.10 ± 0.59	5.50 ± 0.55	5.45 ± 0.66
tibialis anterior	2.95 ± 0.22	2.94 ± 0.22	2.94 ± 0.21	2.95 ± 0.23	2.92 ± 0.27	2.87 ± 0.30
gastrocnemius	7.01 ± 0.48	6.93 ± 0.40	6.92 ± 0.44	7.02 ± 0.44	6.47 ± 0.48	6.45 ± 0.46

Mean ± SD. URA: 腹直筋上部； CRA, 腹直筋中部； LRA, 腹直筋下部； EO, 外腹斜筋； IO, 内腹斜筋； TrA, 腹横筋； MF, 多裂筋.

*p < 0.05 vs. 反対側.

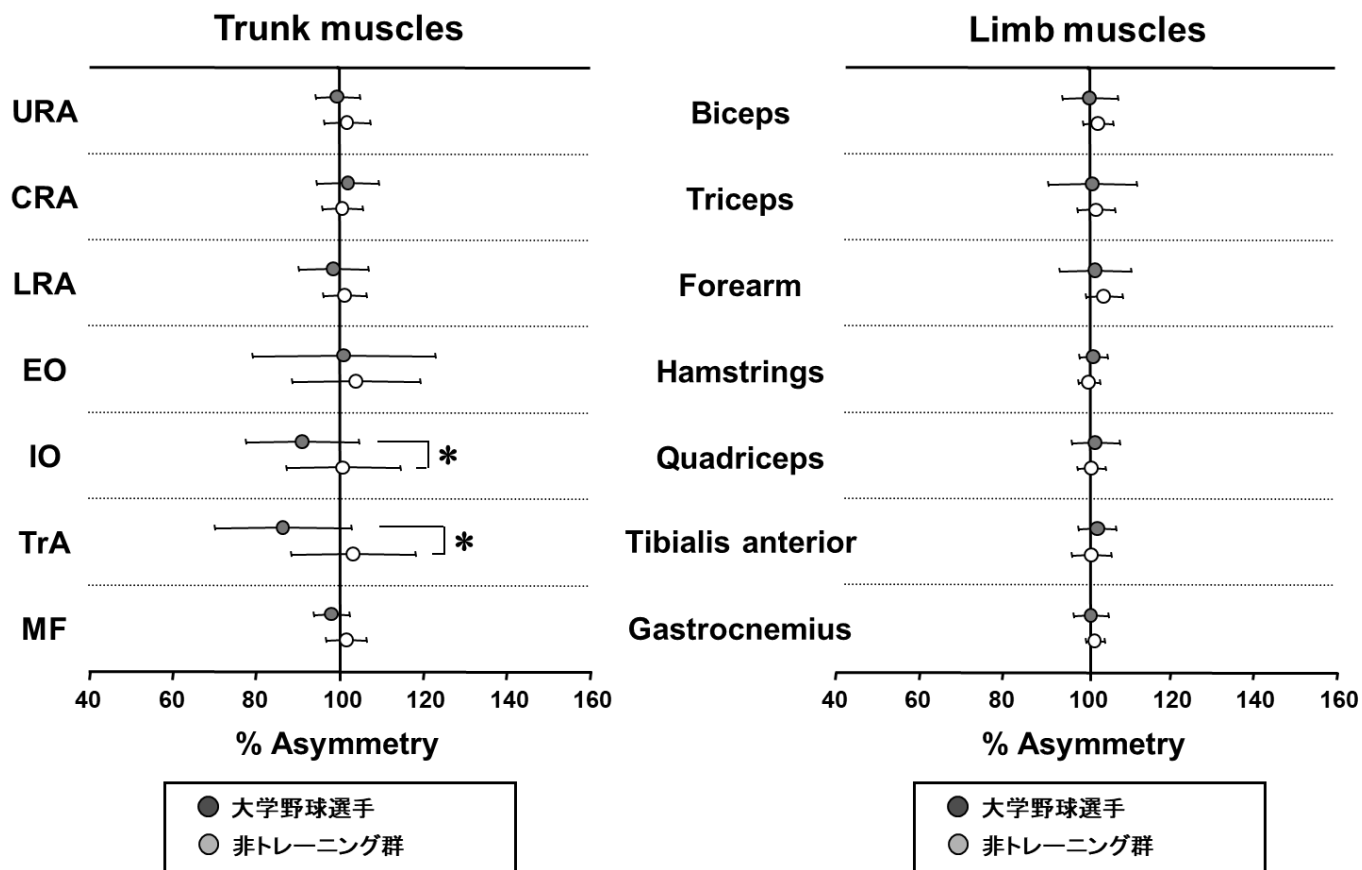


図 3.2 打撃を基準とした野球選手群と非トレーニング群の左右非対称性

左右非対称性(%) = (打撃側筋厚 - 非打撃側筋厚) / 打撃側筋厚 × 100.

100%は左右が同等であること、100%より大きい値は打撃側が優位であること、100%より小さい場合は非打撃側が優位であることを示す. URA: 腹直筋上部; CRA, 腹直筋中部; LRA, 腹直筋下部; EO, 外腹斜筋; IO, 内腹斜筋; TrA, 腹横筋; MF, 多裂筋. *p < 0.05.

3-4. 考察

3-4-1. 野球選手群と非トレーニング群の体幹、四肢の筋厚の比較

これまでの先行研究では、体幹筋と四肢筋の大きさが、様々なスポーツパフォーマンスと関連していることが明らかにされている(Kubo et al. 2011 ; Miyatani et al. 2004 ; Tanaka et al. 2013). 本研究では、前脛骨筋を除いた全ての筋厚において、野球選手群のほうが非トレーニング群と比較して有意に大きいことが示された。さらに、野球選手群と非トレーニング群との筋厚の差は、四肢(1.2%-21.2%)よりも体幹(6.7%-56.5%)の方が顕著に大きかった。特に、野球選手群の非打撃側の内腹斜筋と腹横筋の筋厚が顕著に大きかった。体幹の回旋は打撃と投球の両方に重要であり(Braatz et al. 1987 ; Shaffer et al. 1993), 内腹斜筋と腹横筋を含む腹斜筋群は体幹の回旋に大きな役割を果たしている(Urquhart and Hodges 2005). 実際, Shaffer et al.(1993)は表面筋電図を用いて打撃時の体幹筋の筋活動を計測し, pre-swing 期からの急激な腹斜筋群の筋活動を記録している。ゆえに, その結果として, 内腹斜筋と腹横筋は野球選手において特異的に肥大していることが考えられる。他のスポーツでは, Sanchis-Moysi et al.(2013)は, MRI を用いて筋断面積と筋体積を計測し, テニス選手やサッカー選手の腹斜筋群が特異的に肥大していることを報告している。しかし, これまで野球選手における体幹筋の特異的筋肥大に関しては, 著者の知る限り報告されてない。また, MRI では腹斜筋群としては計測できるが, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋を個別に計測することは筋肉と筋肉との境目が不明瞭な部位があることから困難であった。ゆえに本研究では超音波を用いて野球選手の体幹筋筋厚を測定することによって, 腹斜筋群の特異的筋肥大を明らかにした。

加えて, 内腹斜筋(48.7%), 腹横筋(47.4%)は非トレーニング群と比較して顕著に大きかった結果に対し, 外腹斜筋(9.9%)は2筋に比べると大きくはなかった。一般的に体幹回旋動作の主動筋は,

回旋方向と同側の内腹斜筋および腹横筋と対側の外腹斜筋であることをふまえると(Kumar et al. 1996 ; Moore et al. 2005), 本研究で認められた内腹斜筋および腹横筋の左右非対称性は, 一側方向への打撃の反復による競技特異的な形態的適応であると考えられる. このような回旋系スポーツにおける腹斜筋群の部位特異的筋肥大はこれまで明らかにされていなかった. 本研究の結果より, 内腹斜筋, 腹横筋の形態は外腹斜筋に比べて体幹回旋のトレーニングの影響を強く受けることが示唆された.

さらに, 野球選手群は非トレーニング群に比べて体重が有意に大きかったため, 筋厚が体重の影響を受けている可能性がある(Rho et al. 2013). ゆえに本研究では, 体重の影響を除外するために, 体重を共変量とした ANCOVA を用いたところ, t 検定と同様の結果を示した. 加えて, さらに検討するために, 筋厚を体重で補正した. 補正後の野球選手群の内腹斜筋, 腹横筋の筋厚は, 非トレーニング群と比較して有意な差が残っていた(data not shown). これらのことから, 本研究の結果は, 野球選手の体幹筋, 特に内腹斜筋, 腹横筋が非トレーニング群の体幹筋よりも大きく肥大し, それは体幹回旋の繰り返しに適応するための特異的筋肥大である可能性が示唆された.

3-4-2. 野球選手群における左右非対称性

非対称な動作を繰り返し行うスポーツを長年することで, 選手の筋肉は体幹だけでなく四肢においても非対称な筋形態に肥大することが報告されている(Gray et al. 2016 ; Hides et al. 2008b; Idoate et al. 2011 ; Sanchis-Moysi et al. 2010a, 2010b, 2013). そこで, 野球選手群の体幹筋四肢筋の筋厚の左右非対称性について検討した. 加えて, 野球における左右非対称性の要因には打撃と投球の影響が考えられる. そこで, 打撃または投球のいずれかに基づいて, Dominant 側と Non-

dominant 側に分類し、別々に検討した。その結果、内腹斜筋、腹横筋、多裂筋、前腕屈筋群では、打撃側と非打撃側の筋厚に有意な左右差が見られたが、投球側と非投球側の筋厚には有意な左右差は認められなかった。さらに内腹斜筋と腹横筋の左右非対称性は野球選手群の方が非トレーニング群と比較して有意に大きかった。これらのことから、野球選手群には左右非対称的な筋肥大が生じているが、これは投球の影響というよりは打撃による影響の方が大きいことが示唆される。野球におけるバットスイングは水平面での回旋動作であることから(Freisig et al. 2013)、非利き側の内腹斜筋および腹横筋は体幹回旋の主動作筋としてはたらく。田内ら(2005)はスイングスピードを速くするためには肩よりも先行した体幹の回旋が重要であると報告している。また、宮西(2006)もスイングスピードを上げる技術について検討したところ、身体の角運動量のうち体幹の角運動量の占める割合が大きいことから、体幹の回旋が重要であると結論づけている。ゆえに内腹斜筋、腹横筋は体幹の回旋動作に適応した左右非対称性が生じたものと考えられる。

これまでの先行研究ではサッカー選手やテニス選手における体幹筋の左右非対称性が報告されているが、野球選手における左右非対称性は明らかにされていなかった。本研究の結果は、野球選手の内腹斜筋、腹横筋は顕著に肥大していることに加えて、左右非対称な筋肥大をしていることを明らかにした。超音波測定は即時にフィードバックを得ることができるため、フィールドなど臨床現場において非常に有益である。今回得られた知見は、臨床現場における体幹筋筋厚測定によりスポーツパフォーマンスの向上や障害のリスクを評価するために役立つことができる可能性がある。

第4章 総合討議

4-1. 超音波を用いた体幹筋筋厚測定の有効性とその問題点

本博士論文では、回旋系スポーツ競技が体幹筋に及ぼす形態的变化を捉えることを目的とした。その目的を達成するために、超音波を用いた筋厚測定を体幹筋に応用し、一般者および回旋系スポーツ競技選手を正確に計測する必要性があった。これまでは、多くの体幹筋において超音波を用いた筋厚測定は報告されているが、有効性は確認されていなかった。近年の研究において、体幹筋の計測は磁気共鳴画像法(MRI)やコンピュータ断層撮影法(CT)を用いることがゴールドスタンダードであった。しかし、これらの機器は被曝リスク等の禁忌があり、姿勢が制限され、限られた被験者にしか適用できないため、スポーツ選手、高齢者、子ども、そして、あらゆる病態の患者など様々な被験者において、大規模に、幅広い対象者に対して利用することは困難である。それに対して超音波装置は空間分解能(細かい構造の評価ができる)と時間分解能(リアルタイム)が高く、加えて非侵襲であることから幅広い年齢層に適応できる。また、装置が小さく、移動が容易いので様々な場所での利用に適している。筋厚であれば体幹の深層部分であっても超音波装置で明瞭に計測可能であると考えられ、実際に先行研究でも体幹筋の計測がされている(Gildea et al. 2013 ; Hides et al. 2008c, 2014 ; Sugaya et al. 2014)が、それらの研究では体幹筋の筋厚が正確に計測できるか、従来のMRI法の計測値と比較、検討した上で用いられてなかった。そのため、計測された体幹筋筋厚の正確性に疑問がある状態であった。そこで本博士論文ではスポーツ選手の体幹筋測定に応用するための超音波測定の有効性を以下の3つの実験により検証した。

実験1では超音波を用いた体幹筋筋厚測定の信頼性を検討した。その結果、超音波を用いた腹直

筋, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋の筋厚測定における信頼性は, それぞれ >0.9 であった. ICC の検証において 0.9 以上は excellent であり, 超音波の信頼性を検討した他の先行研究と同様の高い値である(Takai et al. 2011 ; Abe et al. 2014 ; Sanada et al. 2007). このことから体幹筋筋厚の超音波測定は信頼性のある測定方法であることが示された.

実験 2 では一般者における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係を検討した. その結果, 超音波にて計測した体幹筋筋厚は MRI にて計測した体幹筋筋厚の値と比較して有意な差は認められず, 有意な正の相関が認められた ($R = 0.754-0.961$, $p < 0.01$). また, 超音波を用いた体幹筋筋厚測定値と MRI を用いた体幹筋筋断面積の計測値においても有意な正の相関が認められた($R = 0.631-0.821$, $p < 0.001$). このことから一般者において超音波による体幹筋計測は妥当性があり, 従来の MRI や CT を用いた計測方法と同様の有用な計測手法であることが示唆された.

実験 3 では野球競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係を検討した. その結果, 筋厚, 筋断面積は, 多くの部位において野球選手のほうが一般者比べて有意に大きかった(それぞれ, $p < 0.05$). さらに超音波を用いて測定した体幹筋筋厚と MRI を用いて測定された体幹筋筋厚, 筋断面積との間に高い相関があることが明らかになった. しかし, 多裂筋においては超音波にて計測した筋厚と MRI にて測定した筋断面積との相関が他の体幹筋($R = 0.800-0.926 / 0.852-0.898$)と比較して相対的に低かった($R = 0.702-0.692$). このことから多裂筋においては筋断面積のサロゲートマーカースとするには今後検討の余地があるが, それ以外の超音波測定はアスリートの体幹筋サイズを評価するための有効な方法であることが示された.

本博士論文により有効性が確認された体幹筋の超音波測定を様々なスポーツ選手に応用するこ

とで、これまで理解されてこなかったスポーツ競技に特異的な形態の計測や、障害との関連について、より詳細に理解する助けとなることが考えられる。体幹筋の形態を理解することは、スポーツ選手だけでなく、ヒトの健康増進や障害者にとってより良いトレーニング法やリハビリテーション法などの考案に繋がることから、スポーツ健康科学やリハビリテーション科学など身体計測、評価を扱う多くの研究領域において重要であると考えられる。

一方で、本博士論文により明らかとなった超音波を用いた体幹筋筋厚測定の問題点をまず、以下に列挙していく。体幹筋における筋厚と筋断面積の相関は、四肢の筋肉で検証した先行研究(Takai et al. 2011 ; Abe et al. 2014 ; Ogawa et al. 2012)と比較すると、やや低い値であった。例えば、Abe et al.(2014)の報告によると、ハムストリングスにおける超音波を用いた筋厚と、MRI を用いた 筋断面積との相関係数は 0.873 であった。さらに、Ogawa et al.(2012)は、股関節外転筋において同様の方法を行い、超音波を用いた筋厚と、MRI を用いた 筋断面積との相関係数は 0.922 と高い値であったことを報告している。これら四肢筋と体幹筋との相関係数の違いには、呼吸による形態変化による影響を受けていたためであると考えられる。

次に、多裂筋においては先行研究と比較するため、超音波では腹臥位での計測を行い(Hides et al. 2008c, 2012)、MRI では背臥位にて撮像し、筋厚および筋断面積を計測した。ゆえに多裂筋においては超音波と MRI での測定姿勢の違いも影響している可能性がある。加えて、筋肉の形状に関しても本研究の相関係数に影響していることが考えられる。Takai et al.(2012)の報告では、大腰筋における超音波を用いた筋厚と、MRI を用いた 筋断面積との相関係数は右側が 0.947、左側が 0.916 とそれぞれ高い値であった。大腰筋は脊椎に起始を有することから体幹筋に分類されるが、Takai et al.(2011)の計測部位においての呼吸の影響は極めて少ない。大腰筋や他の四肢筋の横断面は円形

であるが、腹直筋は楕円形、腹斜筋群は三日月形、多裂筋は台形様の形状を成している。これらの形状の違いが筋厚と筋断面積との相関に影響を与えているのではないかと考えた。先行研究においても三日月様の形状をした棘上筋での相関係数は 0.76 と中等度の相関であることが報告されている(Yi et al. 2012)。同様に、Sipilä and Suominen(1993)は膝関節伸展筋群において 0.76 と中等度の相関であったと述べている。また、Miyatani et al.(2004)は膝関節伸展筋群の筋厚と筋体積を計測した結果、0.47 の弱い相関であった。このように、当然ではあるが、超音波計測において楕円や、三日月、三角形などの形状をした筋肉を正確に計測することは、円形をなしている筋肉を計測するよりも困難である。ゆえに、これらの筋肉を対象とした時の超音波法の精度を上げるためには、同筋でも計測箇所を増やしたり、さらなる改善策が必要である。一方で、MRI を用いた筋厚と筋断面積においても同様の相関係数であったことから、超音波と MRI の計測機器の違いによる影響は少ないと考える。

最後に、本研究の被験者は成人男性に限られており、女性や筋が萎縮してしまっている高齢者などでは、成人男性と比べ筋の大きさなど形態的特性が異なると考えられるため、このような被験者に対して本論文で確立した方法論が適用できるかは明らかにされていない。とりわけ高齢者においては、筋萎縮に伴い筋内の脂肪組織・結合組織といった非収縮組織の増加が生じている(Arts et al. 2010 ; Fukumoto et al. 2015)。そのため超音波による筋厚評価では、そのような筋内脂肪組織等も含めて評価するため、筋力や身体機能との関連を減弱させてしまうと考えられる。したがって今後、高齢者などに対する本方法論の適用の可能性を検討していく必要があると考えられる。

4-2. 野球選手における体幹筋の形態的特性

野球において体幹を回旋させる場面は、主に打撃時と投球時である。先行研究では打撃における体幹回旋はスイングスピードに有意に関連しており(田内ら.2005 ; 宮西.2006), スイングスピードを生み出す各関節の貢献度を検討した報告では、特にスイング局面の前半は大部分が体幹の回旋によるものであることが明らかにされている(森下ら.2013). 投球においても, Hirashima et al.(2002)の報告によれば, 腹斜筋の筋活動はストライド期から接地期という投球の前半層において最も活動がみられている。これらの筋活動のタイミングはテニス選手のサーブ動作と似ている。Gordon et al.(2006)は森下らと同様の方法論を用いて, テニスのサーブ動作時におけるラケット中心の合成速度に対する関節運動の貢献度を算出した。その結果, テイクバックからラケットが前方に加速を始めた直後の体幹回旋運動が最も大きく, その瞬間のラケットスピードの約 50%に貢献していた。これらのことから, 野球, テニスどちらにおいても体幹筋の競技特異性はボールインパクト, あるいはボールリリースよりも早期の活動によるものと考えられる。しかし, 左右非対称性が認められた部位は, 野球とテニスでは異なる結果であった。Sanchis-Moysi et al.(2010a, 2013)の 2 本の先行研究では, テニス選手は腹直筋と腹斜筋群の両方に左右非対称性を示すことが報告されているが, 本研究では野球選手における左右非対称性は腹直筋ではなく, 内腹斜筋と腹横筋にみられた。Idoate et al.(2011)は, サッカー選手は腹直筋に左右非対称性を示すが, 腹斜筋群には左右非対称性を示さないことを報告している。これらの結果から, 体幹における左右非対称性の部位はスポーツ動作に大きく影響されることが考えられる。野球とテニスの動作を比較すると, テニスではストロークやサーブ動作は体幹の水平面での回旋に加え, 屈曲, 伸展を組み合わせた動作が反復して行われる (Chow et al. 2009). 実際, テニス動作においてはストローク時よりもサーブ時に腹直筋の爆発的な,

かつ左右非対称な筋活動が必要であることが報告されている(Sanchis-Moysi et al. 2010a ; Knudson and Blackwell 2000). しかし, 野球におけるバットスイングは水平面での回旋動作であることから(Freisig et al. 2013), 体幹回旋筋である非打撃側の内腹斜筋および腹横筋のみに左右非対称性が生じたものと考えられる. 一方, 上述のように一側方向への体幹回旋時には打撃側の外腹斜筋も貢献するが, 本研究において, 左右非対称性は認められなかった. 外腹斜筋は, 上部線維が体幹回旋に貢献するが, 中部線維および下部線維は同側への側屈に貢献することが示されている(Myers 2009). 本研究における外腹斜筋の筋厚測定部位は, 中部線維レベルでのみ計測を行ったため, 部位依存的な左右非対称性を捉えることができなかった可能性がある. したがって, 今後, 外腹斜筋において, 異なる線維レベルの計測も行い, 部位依存的な左右非対称性を検討する必要性がある.

4-3. 打撃および投球が野球選手の形態的特性に及ぼす影響

次に投打の影響について検討していく. 投打ともに Dominant 側が同じ選手(右投右打あるいは左投左打)と, 投打で Dominant 側が異なる選手(右投左打)に分類した筋厚を表 4.1 に示す. なお, Dominant 側は打撃側として統一した. 打撃側と非打撃側を比較した結果, 投打ともに Dominant 側が同じ選手は内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋, 前腕屈筋群は非打撃側が有意に大きく, 腓腹筋は打撃側が有意に大きかった($p < 0.05$). また, 投打で Dominant 側が異なる選手は内腹斜筋, 腹横筋は非打撃側が有意に大きく($p < 0.01$), その他の筋厚には有意な差は認められなかった.

投打ともに Dominant 側が同じ選手と, 投打で Dominant 側が異なる選手の左右非対称性について比較したものを図 4.1 に示す. 内腹斜筋の左右非対称性($89.9 \pm 16.6\%$ vs $91.7 \pm 11.0\%$)と腹横筋の左右非対称性($89.0 \pm 19.0\%$ vs $82.6 \pm 14.3\%$)は両選手ともに同様であった. 多裂筋は投打とも

に Dominant 側が同じ選手の方が有意な左右非対称性があった($97.4 \pm 4.7\%$ vs $98.8 \pm 4.3\%$).

また、第3章の結果から、内腹斜筋、腹横筋、多裂筋、前腕屈筋群では、打撃に基づく左右の筋厚には有意な差が見られたが、投球に基づく左右の筋厚には有意な差は認められなかった。

以上の結果から、内腹斜筋と腹横筋の左右非対称性は、打撃や投球時の利き手の違いによる影響を受けていないと考えられる。野球は打撃に使用するバット(約 900g)のほうが、投球に使用するボール(約 145g)よりも重い。また、本研究で対象にした野球選手は野手であり、打撃に多くの練習時間を費やしているため、打撃練習が筋肉の特異的筋肥大に影響している可能性が考えられる。これらことから、本研究でみられたような野球選手における内腹斜筋、腹横筋の左右非対称は打撃によって引き起こされていることが示唆された。

さらに、打撃と投球の利き手が同じ選手では、他にも、多裂筋、前腕屈筋群、腓腹筋にも左右非対称性がみられた。四肢筋の筋厚の左右非対称性は、打撃と投球の総合的な影響によって生じたものではないかと思われる。例えば、先行研究において、利き手側の前腕屈筋群は、打撃だけでなく投球においても正確なボールコントロールを行うために重要な役割を果たしている(Hirashima et al. 2002)。他にも、宮西ら(1997)は、大学生野球投手において手関節屈筋、指節間関節の屈伸筋がボールスピードに及ぼす貢献度は約 23%にも及ぶことを示している。また、利き手側の腓腹筋は、床反力の伝達や上半身を前方に加速させることで、スイング速度、ボールスピードを高めるという役割を果たしている(Kageyama et al. 2015 ; Katsumata et al. 2007 ; Reyes et al. 2011)。ゆえに、打撃と投球の両方に強く影響を受けているのが四肢の筋肉なのではないかと考える。打撃と投球で利き手側が異なる野球選手でこのような左右非対称が認められなかったことは、利き手側が逆転していることで、両側ともに特異的筋肥大が生じていることが考えられる。

表 4.1 打撃側と投球側が同側の選手と異なる選手の左右非対称性の比較

	Players with same side (n = 16)		Players with different side (n = 14)	
	Dominant	Non-dominant	Dominant	Non-dominant
Trunk muscles (cm)				
URA	1.64 ± 0.17	1.64 ± 0.19	1.57 ± 0.27	1.59 ± 0.27
CRA	1.78 ± 0.23	1.76 ± 0.23	1.72 ± 0.31	1.67 ± 0.27
LRA	1.98 ± 0.25	2.07 ± 0.27	1.90 ± 0.38	1.89 ± 0.38
EO	0.84 ± 0.17	0.88 ± 0.21	0.91 ± 0.23	0.88 ± 0.17
IO	1.37 ± 0.24	1.57 ± 0.37 *	1.59 ± 0.28	1.75 ± 0.34 *
TrA	0.52 ± 0.12	0.60 ± 0.14 *	0.48 ± 0.11	0.58 ± 0.12 *
ML	2.74 ± 0.32	2.81 ± 0.29 *	2.76 ± 0.34	2.80 ± 0.33
Limb muscles (cm)				
biceps	3.37 ± 0.32	3.29 ± 0.30	3.20 ± 0.31	3.16 ± 0.30
triceps	3.72 ± 0.49	3.66 ± 0.46	3.41 ± 0.58	3.35 ± 0.56
forearm	2.59 ± 0.26	2.46 ± 0.20 *	2.32 ± 0.26	2.35 ± 0.24
hamstrings	7.78 ± 0.52	7.68 ± 0.44	7.42 ± 0.70	7.39 ± 0.69
quadriceps	6.31 ± 0.54	6.37 ± 0.46	5.99 ± 0.47	5.81 ± 0.54
tibialis anterior	2.99 ± 0.22	2.96 ± 0.22	2.91 ± 0.21	2.91 ± 0.24
gastrocnemius	7.31 ± 0.34	7.13 ± 0.38 *	6.64 ± 0.32	6.72 ± 0.36

Mean ± SD. *p < 0.05 vs. Dominant.

URA: 腹直筋上部 ; CRA, 腹直筋中部 ; LRA, 腹直筋下部 ; EO, 外腹斜筋 ; IO, 内腹斜筋 ; TrA, 腹横筋 ; MF, 多裂筋. Mean ± SD.

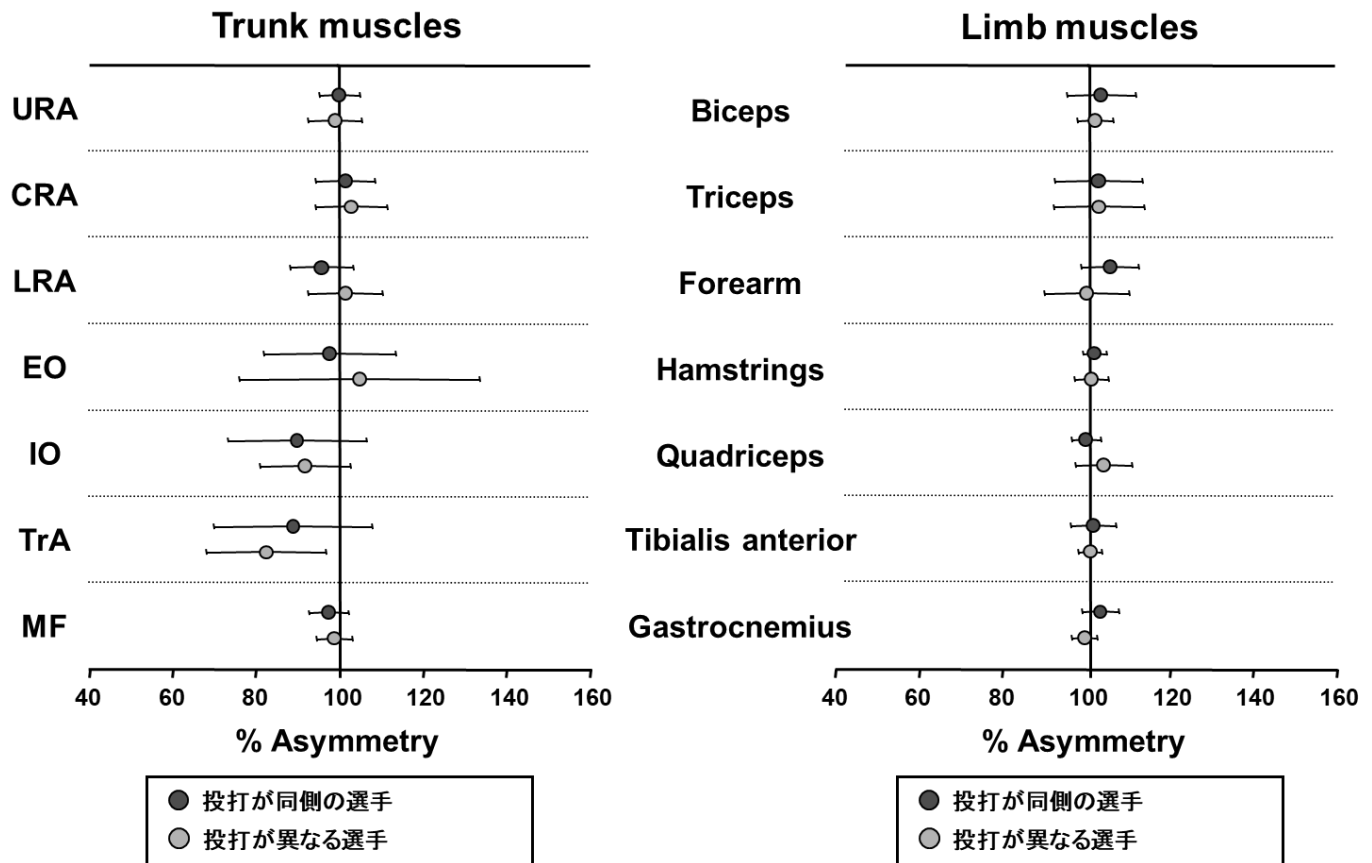


図 4.1 投打とも同側に回旋する選手と逆側に回旋する選手の左右非対称性

左右非対称性(%) = (打撃側筋厚 - 非打撃側筋厚) / 打撃側筋厚 × 100.

100%は左右が同等であること, 100%より大きい値は打撃側が優位であること, 100%より小さい場合は非打撃側が優位であることを示す. URA: 腹直筋上部; CRA, 腹直筋中部; LRA, 腹直筋下部; EO, 外腹斜筋; IO, 内腹斜筋; TrA, 腹横筋; MF, 多裂筋.

興味深いことに、多裂筋に関しては体幹筋でありながら、左右非対称性は打撃と投球の利き手が同じ選手にしか認められなかった。これは臨床的に有意義な知見であると考えられる。腰部の多裂筋は腹斜筋群と同様に体幹回旋に寄与する(Andersson et al. 2002)。したがって、内腹斜筋、腹横筋にはみられなかったが、多裂筋においては投球時の体幹回旋が、打撃による特異的左右差を打ち消している可能性がある。多裂筋の左右非対称性は臨床的には腰痛などの障害と関連していることが報告されている(Hides et al. 2008a, 2008b)。Hides et al.(2008a)は第5腰椎レベルでの多裂筋の筋断面積の左右差を比較し、一側性の腰痛患者では17.5%、両側性または中枢性の腰痛患者では10.5%であり、これらの左右差の値は健常者(1.9%)よりも有意に大きかったと報告している。また、第5腰椎レベルでの多裂筋の筋断面積の左右非対称性は、腰痛を罹患しているクリケット選手では8.3%であり、腰痛を有していないクリケット選手(0.7%)よりも顕著であった(Hides et al. 2008b)。野球選手においても打撃や投球に起因する腰痛の発症は、報告されており(Wasser et al. 2017)、必然的にスポーツ障害の面からも左右非対称性を考えなければならない。本研究では、腰痛を有していないものを被験者としたが、超音波測定による多裂筋の筋厚の差は、打撃と投球のDominant側が同じ選手では2.5%、打撃と投球のDominant側が異なる選手では1.2%であった。多裂筋の筋厚と筋断面積の関係は明らかになっていないため、本研究では筋断面積の左右非対称性と腰痛との関係を検討することはできなかった。しかし多裂筋の左右非対称性が大きいことは腰痛と関係する可能性があることから、打撃と投球の利き手を使い分けることは腰痛予防に有効であるのではないかと考えられる。

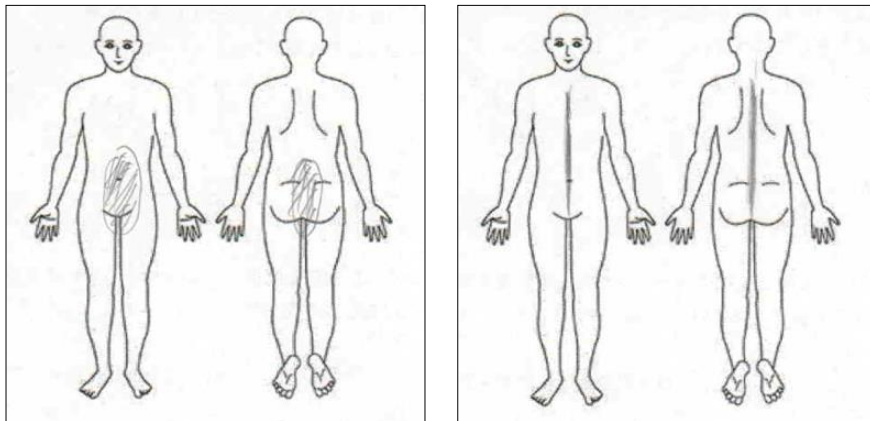
4-4. 投手における形態的特性の検討

本研究では野球選手群の体幹筋の特異的筋肥大と左右非対称性の要因は、投球ではなく打撃に起因していると結論づけた。しかし、今回の研究は投手と打者でトレーニング方法が大きく異なることから、投手を除く野手のみを対象に実施した。したがって、本研究結果は投手の体幹筋の特異的筋肥大と左右非対称性については不明である。投球時の体幹回旋は打撃時とは異なり(Freisig et al. 2013)、テニスのサーブのように腰椎伸展と体幹屈曲を組み合わせた斜め回転を必要とする(Braatz et al. 1987)。ゆえに、投手における体幹筋特異的筋肥大と左右非対称性については、今後、さらに研究が必要である。

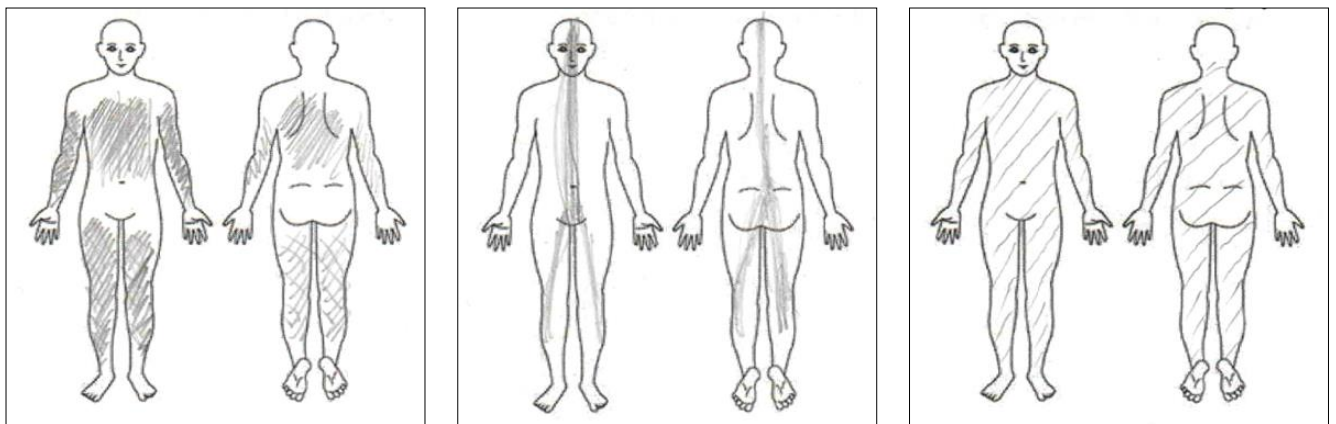
4-5. 野球選手の形態的特性を考慮したトレーニング方法の検討

特異性の原理から考えると、野球のパフォーマンスを向上させるためには野球動作に則した体幹トレーニングを実施することが必要である。先行研究において筋肉の大きさはパフォーマンスに影響することが明らかにされている。Kubo et al.(2011)は、体幹筋の筋断面積が大きいほど短距離走のタイムが短くなると報告しており、逆に Hicks et al.(2005)は、高齢者において体幹筋筋断面積の減少は歩行速度の低下、片脚立位時間の減少、転倒リスクの増加につながることを報告している。ゆえに特異的筋肥大や左右非対称性は野球の打撃パフォーマンスを向上させるための適応である可能性がある。しかし、本研究では、バットスイングの運動学的検討を行っていない点において、体幹筋の形態的特性と打撃パフォーマンスの関係を強く示唆できない。したがって、今後、野球における体幹筋の形態的特性、とりわけ左右非対称性と打撃パフォーマンスの関係を検討することで、野球における競技力向上のための体幹筋の有益性を明らかにできる可能性がある。

A. 体幹を正しくマークしている



B. 体幹と四肢をマークしている



C. 体幹以外をマークしている

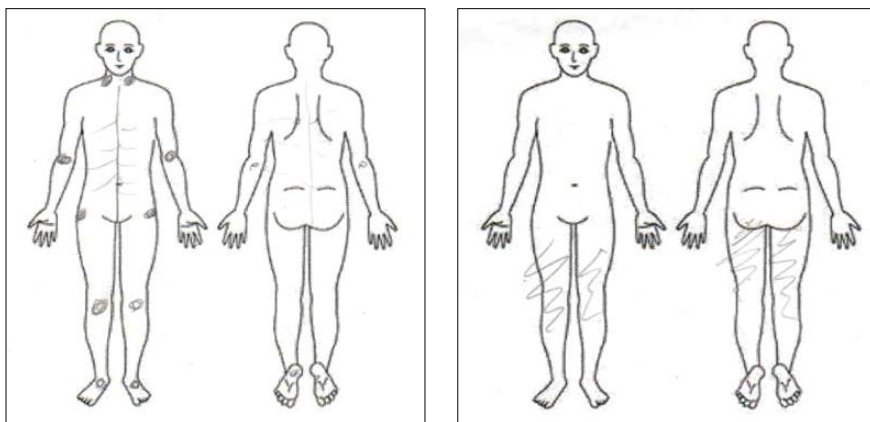


図 4.2 体幹トレーニングを行なっている高校生の体幹のイメージ (改変して引用)

63.0%の選手は正確に体幹をイメージしていた(A). 32.6%の選手は四肢も含めて体幹とイメージしていた(B). 4.4%の選手は体幹以外を体幹であるとイメージしていた(C).

和智道生, 栗原俊之, 山浦一保, 野口真一, 金沢伸彦, & 伊坂忠夫. (2014). 体幹トレーニングの認識と理解度に関する調査: 高校サッカー部を例として. トレーニング科学, 25(3), 233-242.

体幹のインナーユニットの強化はパフォーマンスの向上につながる可能性があることから、体幹トレーニングはとりわけ、スポーツ活動が最も活発な成長期の選手に必要であると思われる。本研究の結果は、年齢が限定的であり、成長期のスポーツ選手の体幹筋の発育、発達については明らかにしていない。一般的に筋肉の形態的発育は12歳から16歳が最も大きくなるとされているが、部位によって最も発育する時期は異なる (Tanner et al. 1981 ; 金久ら. 1989)。Tanner et al.(1981)は、身長の間年増加量が最大になる時期に下腿、その直後に上腕の筋幅が最も増加するとしている。金久ら(1989)は、思春期前および後は下肢の筋群が思春期中はより体幹に近い部位の筋断面積が最も増加するとしている。このように筋肉は部位によって発育スピードが異なるため、トレーニング効果は年齢によって異なることが示唆される。ゆえに今後、トレーニング処方に向けて研究対象の年齢層を広げ、体幹筋の競技特異的な発育発達段階を詳細に検討する必要がある。

ベネッセ教育総合研究所の調査報告(長沼. 2009)によると、中学生男子の76.1%は運動部に所属しており、高校生になっても継続しているものは、70.2%に上るという報告がある。これらの選手は、日々の部活動においてトレーニングを行っている。そのトレーニングの内容は顧問や監督によって決定されることも多く、指導者のトレーニングに関する知識、理解ならびに指導力量によって影響される。とりわけ体幹トレーニングに関しては、保健体育等、学校の授業では指導されないため、顧問や監督、もしくは選手が独学で学ぶことになる。体幹トレーニングの普及を調査した先行研究では(和智ら. 2013)、部活動に所属している高校生の89%が体幹トレーニングを行っており、中学生の頃に監督やコーチから指導を受けたものは62%であったことから、実施率も高いことが明らかになっている。体幹トレーニングの方法は数多くの書物で紹介されているが、明確に定められたトレーニング方法はないため、指導者、選手はその姿勢を模倣して、体幹トレーニングを行って

いると考えられる。しかし、高校生のスポーツ選手は実施状況と比較すると、体幹筋の知識や理解が十分でないことも報告されている(図 4.2)(和智ら. 2014)。トレーニングの際には、活動部位あるいは活動筋を意識することが重要であり、Remple et al.(2001)の報告では、意識した群は意識しなかった群よりも機能的パフォーマンスの改善が大きかった。加えて、Karen et al.(2004)によると、トレーニング課題を分析、理解したうえでトレーニングを行ったほうが効果は促進されることから、体幹トレーニングの処方には適切な理解と意識が重要である。ゆえにスポーツ選手は体幹トレーニングに関する認識を高め、効用を理解したうえでトレーニングを行うことで、効果的な体幹・インナーユニットの強化につながる可能性、ひいては競技成績に影響するのではないかと推測される。本研究により野球競技の特異的筋肥大や左右非対称性の部位が明らかになった。本研究の結果は、野球選手の競技パフォーマンスを向上するためのトレーニング処方の一助に貢献できると考える。

結論

これまで、体幹筋はスポーツ競技に必要であるという考えから、体幹筋についての関心が高まってきた。しかしながら、各スポーツに必要な体幹筋の部位や左右非対称性については明らかにされずにトレーニングが実施されていた。特異性の原理から考えると、スポーツパフォーマンスを向上させるためには競技動作に則したトレーニングを実施することが必要である。とりわけ、野球競技は、打撃、投球ともに一側方向のみの回旋動作を反復して行っている。したがって、野球選手の特異的筋肥大や左右非対称性といった形態的特性を検討する必要がある。また、体幹筋の形態的特性を検討するには超音波装置を用いて筋厚を正確に計測する方法を確立した上で実施する必要がある。

そこで本論文では、野球選手における体幹筋筋厚の計測実験に応用するために、はじめに一般者を対象として、体幹筋である腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋、多裂筋を、超音波装置を用いて正確に計測する方法を確立することを目的とした。次に、一般者を対象にした実験で確立した超音波測定法を、トレーニングにより筋肉が肥大しているスポーツ選手においても計測し、計測法の有用性について検討した。そして野球選手を対象に体幹筋筋厚を計測し、野球選手における体幹筋の形態的特性を明らかにすることを目的とした。

得られた知見は、以下の通りであった。

1. 超音波測定による体幹筋筋厚の信頼性

超音波を用いた腹直筋, 外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 多裂筋の筋厚測定における検査内信頼性は, ICC の検証においてそれぞれ >0.9 であった. 0.9 以上は excellent であり, 体幹筋筋厚の超音波測定は信頼性のある測定方法であった(実験 1)

2. 一般者における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係

超音波にて計測した左右の各体幹筋筋厚は MRI にて計測した体幹筋筋厚の値と比較して有意な差は認められなかった. また, 超音波を用いた体幹筋筋厚測定値と MRI を用いた体幹筋筋断面積の計測値は, 全ての部位において有意な正の相関関係が認められた. これらのことから, 超音波を用いて一般者の体幹筋を計測することの有効性が確認された(実験 2).

3. スポーツ競技選手における超音波を用いた体幹筋筋厚測定の妥当性と体幹筋筋断面積の関係

スポーツ選手においても体幹筋筋厚の信頼性は高かった. また, 超音波を用いて測定した体幹筋筋厚と MRI を用いて測定された体幹筋筋厚, 筋断面積との間にも高い相関があることが明らかになった. しかし, 多裂筋においては筋厚と筋断面積の相関が低く, 個々によって筋肉の形状が異なる可能性が示唆された. これらのことからスポーツ選手の体幹筋を対象とした超音波測定の有効性が確認された(実験 3).

4. 野球選手における体幹筋の形態的特性の検討

野球選手は一般者に比べて体幹筋が有意に肥大していた. さらに野球選手の体幹筋には, 内腹斜筋, 腹横筋において非打撃側が有意に大きい左右非対称性が生じていた. これは投球よりも

打撃に依存した特異的形態変化が生じていることが明らかになった。この2筋の筋厚は一般者の筋厚の約1.5倍大きかった(実験4)。

本博士論文ではスポーツ競技特有の体幹筋の形態的特性を明らかにするため、これまで解明されていなかった体幹筋の左右非対称性に着目し、超音波測定法を用いた検討を行った。超音波とMRIを用いた形態測定から、これまでゴールドスタンダードとされてきたMRIの代用として、超音波を用いることが可能であることが示唆された。また本研究の結果から、一般者のみならず、筋肥大が生じているスポーツ選手にも用いることが可能であると考えられた。

そして、確立した体幹筋の超音波測定法を野球選手に応用し、一般者との筋厚の比較、左右非対称性について検討した。その結果、野球選手は打撃への適用として非打撃測の内腹斜筋、腹横筋の筋肥大、左右非対称性が生じていることが考えられた。

以上のことから、超音波測定法は体幹筋の計測にも有用であることが示唆された。また、体幹筋は各スポーツ競技に適応するための形態的变化が生じている可能性が示唆された。本研究の結果は、臨床現場にて超音波測定法を用いるための有用な知見であり、また、競技パフォーマンスを向上するためのトレーニング処方の一助に貢献できると考える。

謝辞

本博士論文の執筆を終えるにあたり、博士課程後期課程 2 年間にわたって懇切丁寧な研究指導、親身な御助言を賜った京都工芸繊維大学大学院・野村照夫教授に深甚なる謝意の意を表します。野村教授には研究指導だけでなく、臨床における示唆や、様々な最新の知見をご指導下さいましたことに、心から感謝いたします。

京都工芸繊維大学大学院・来田宣幸教授には、入学前より親身に御助言を賜り、本研究の遂行に加え、長期間にわたり、絶え間なくご指導いただきましたことを心より感謝いたします。

立命館大学スポーツ健康科学部の諸先生方からは、多くのご指導、御助言を賜り心より感謝いたします。

びわこリハビリテーション専門職大学・治郎丸卓三准教授には研究デザインのアドバイス、実験の補助、論文執筆の助言、さらには公私にわたり絶え間なく支えてくださったことを深く感謝いたします。

京都工芸繊維大学大学院の生体行動科学研究室をはじめとする大学院生、立命館大学野球部、龍谷大学野球部の選手、監督の皆様、医療法人金沢整形外科クリニックの職員の皆様ならびに滋賀医療技術専門学校の学生の皆様には、本博士論文の実験における被験者を快く引き受けていただき、また様々な面で協力していただきました。謹んで皆様に感謝いたします。

参考文献

- Abe, T., Loenneke, JP., & Thiebaud, RS. (2016). Ultrasound assessment of hamstring muscle size using posterior thigh muscle thickness. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36, 206-210.
- Abe, T., Loenneke, JP., Thiebaud, RS., & Fukunaga, T. (2014). Age-related site-specific muscle wasting of upper and lower extremities and trunk in Japanese men and women. *Age (Dordr)*, 36, 813-821.
- Adam, WA., Brandon, DB., Leah, PG., Thomas, JN., Michael, RT., & Richard, JH. (2010). Correlation of Torque and Elbow Injury in Professional Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, 38, 1368-1374.
- Aguinaldo, AL., Buttermore, J., & Chambers, H. (2007). Effects of Upper Trunk Rotation on Shoulder Joint Torque Among Baseball Pitchers of Various Levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 42-51.
- Aguinaldo, AL., & Chambers, H. (2009). Correlation of Throwing Mechanics With Elbow Valgus Load in Adult Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, 37, 2043-2048.
- Agur, MR., & Dalley, AF. (1991). *Grant's Atlas of Anatomy*. Lippincott Williams & Wilkins
- Andersson, EA., Nilsson, J., & Thorstensson, A. (1997). Intramuscular EMG from the hip flexor muscles during human locomotion. *Acta physiologica Scandinavica*, 161, 361-370.
- Andersson, EA., Grundström, H., & Thorstensson, A. (2002). Diverging intramuscular activity patterns in back and abdominal muscles during trunk rotation. *Spine*, 27, E152-60.

Arendt-Nielsen, L., Graven-Nielsen, T., Svarrer, H., & Svensson, P. (1996). The influence of low back pain on muscle activity and coordination during gait: A clinical and experimental study. *Pain*, 64, 231-240.

Arts, IMP., Pillen, S, Schelhaas, HJ., Overeem, S., & Zwarts, MJ. (2010). Normal values for quantitative muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve*, 41, 32-41.

Asaka, M., Usui, C., Ohta, M., Takai, Y., Fukunaga, T., & Higuchi, M. (2010). Elderly oarsmen have larger trunk and thigh muscles and greater strength than age-matched untrained men. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 1239-1245.

Balius, R., Pedret, C., Idoate, F., & Ruiz-Cotorro, A. (2012). Ultrasound assessment of asymmetric hypertrophy of the rectus abdominis muscle and prevalence of associated injury in professional tennis players. *Skeletal Radiology*, 41, 1575-1581.

Barker, KL., Shamley, DR., & Jackson, D. (2004) Changes in the cross-sectional area of multifidus and psoas in patients with unilateral back pain: the relationship to pain and disability. *Spine*, 29, E515-E519.

Behm, GB., Drinkwater, EJ., Willardson, JM., & Cowley, PM. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35, 91-108.

Bergmark, A. (1989). Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavica Supplementum*, 230, 1-54.

Bernard, M., Schmid, MR., Boos, N., Pfirrmann, CWA., Brunner, F., Elfering, A., & Hodler, J. (2006). Fat Content of Lumbar Paraspinal Muscles in Patients with Chronic Low Back Pain and

in Asymptomatic Volunteers: Quantification with MR Spectroscopy. *Radiology* 240(3), 786-92.

Braatz, JH., & Gogia, PP. (1987). The mechanics of pitching. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 9, 56-69.

Chow, JW., Park, SA., & Tillman, MD. (2009). Lower trunk kinematics and muscle activity during different types of tennis serves. *Sports medicine, arthroscopy, rehabilitation, therapy & technology*, 1, 24.

Conte, SA., Thompson, MM., Marks, MA., & Dines, JS. (2012). Abdominal muscle strains in professional baseball :1991-2010. *The American Journal of Sports Medicine*, 40, 650-656.

Cresswell, AG. (1994). Responses of intra-abdominal pressure and abdominal muscle activity during dynamic trunk loading in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66, 315-320.

Crisco, JJ, 3rd, & Panjabi, MM. (1991). The intersegmental and multisegmental muscles of the lumbar spine. A biomechanical model comparing lateral stabilizing potential. *Spine*, 16, 793-799.

Crisco, JJ., Panjabi, MM., Yamamoto, I., & Oxland, TR. (1992). Euler stability of the human ligamentous lumbar spine. Part II: Experiment. *Clinical Biomechanics*, 7, 27-32.

Danneels, LA., Vanderstraeten, GG., Cambier, DC., Witvrouw, EE., Bourgois, J., Dankaerts, Wim., & De Cuyper, HJ. (2001). Effects of three different training modalities on the cross sectional area of the lumbar multifidus muscle in patients with chronic low back pain. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 186-191.

Davis, JT., Limpisvasti, O., Fluhme, D., Mohr, KJ., Yocum, LA., ElAttrache, NS., & Jobe, FW.

(2009). The Effect of Pitching Biomechanics on the Upper Extremity in Youth and Adolescent Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, 37, 1484-1491.

Escamilla, RF., Fleisig, GS., DeRenne, C., Taylor, MK., Moorman 3rd, CT., Imamura, R., Barakatt, E., & Andrews, JR. (2009). A comparison of age level on baseball hitting kinematics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 210-218.

Fleisig, GS., Hsu, WK., Fortenbaugh, D., Cordover, A., & Press, JM. (2013). Trunk axial rotation in baseball pitching and batting. *Sports Biomechanics*, 12, 324-333.

Flynn, MA., Woodruff, C., Clark, J., & Chase, G. (1972). Total body potassium in normal children. *Pediatric Research*, 6, 239-45.

Fortin, M., Yuan, Y., & Battié, MC. (2013). Factors Associated With Paraspinal Muscle Asymmetry in Size and Composition in a General Population Sample of Men. *Physical Therapy* 93(11), 1540-1550.

Fukumoto, Y., Ikezoe, T., Yamada, Y., Tsukagoshi, R., Nakamura, M., Takagi, Y., Kimura, M., & Ichihashi, N. (2015). Age-related ultrasound changes in muscle quantity and quality in women. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 41, 3013-3017.

Gardner-Morse, M., Stokes, IAF., & Laible, JP. (1995). Role of muscles in lumbar spine stability in maximum extension efforts. *Journal of Orthopaedic Research*, 13(5), 802-808.

Gildea, JE., Hides, JA., & Hodges, PW. (2013). Size and Symmetry of Trunk Muscles in Ballet Dancers With and Without Low Back Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43, 525-533.

Gordon, B.J., & Dapena, J. (2006). Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 24(1), 31-49.

Gracovetsky, S., & Farfan, H. (1986). The optimum spine. *Spine*, 11, 543-573.

Gray, J., Aginsky, K.D., Derman, W., Vaughan, C.L., & Hodges, P.W. (2016). Symmetry, not asymmetry, of abdominal muscle morphology is associated with low back pain in cricket fast bowlers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19, 222-226.

Hicks, G.E., Simonsick, E.M., Harris, T.B., Newman, A.B., Weiner, D.K., Nevitt, M.A., & Tyllavsky, F.A. (2005). Cross-sectional associations between trunk muscle composition, back pain, and physical function in the health, aging and body composition study. *Journal of Gerontology Series Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 60, 882-887.

Hides, J.A., Richardson, C.A., & Jull, G.A. (1995). Magnetic resonance imaging and ultrasonography of the lumbar multifidus muscle. Comparison of two different modalities. *Spine*, 20(1), 54-8.

Hides, J., Gilmore, C., Stanton, W.R., & Bohlscheid, E. (2008a). Multifidus size and symmetry among chronic LBP and healthy asymptomatic subjects. *Manual Therapy*, 13, 43-49.

Hides, J.A., Stanton, W., Freke, M., Wilson, S., McMahon, S., & Richardson, C. (2008b). MRI study of the size, symmetry and function of the trunk muscles among elite cricketers with and without low back pain. *British Journal of Sports Medicine*, 4, 809-813.

Hides, J.A., Stanton, W., McMahon, S., Sims, K., & Richardson, C.A. (2008c). Effect of Stabilization Training on Multifidus Muscle Cross-sectional Area Among Young Elite Cricketers With Low

Back Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 38, 101-108.

Hides, J., Fan, T., Stanton, W., Stanton, P., McMahon, K., & Wilson, S. (2010). Psoas and quadratus lumborum muscle asymmetry among elite Australian Football League players. *British Journal of Sports Medicine*, 44, 563–567.

Hides, JA., Stanton, WR., Smith, M., Mendis, D., & Sexton M. (2014) Small multifidus muscle size predicts football injuries. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2, 2325967114537588.

Hides, JA., Oostenbroek, T., Franettovich Smith, MM., & Mendis, MD.(2016). The effect of low back pain on trunk muscle size/function and hip strength in elite football (soccer) players. *Journal of Sports Sciences*, 34, 2303-2311.

Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*, 20, 301-310.

Hodges, PW., & Richardson, CA. (1997a). Contraction of the abdominal muscle associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*, 77, 132-142.

Hodges, PW., & Richardson, CA. (1997b). Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Experimental Brain Research*, 114, 362-370.

Hodges, PW., Moseley, GL. (2003). Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13, 361-370.

Hodges, PW., Eriksson, AE., Shirley, D., & Gandevia, SC. (2005). Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 38, 1873-1880.

Hodges, PW., Cholewicki, J., & J. H. van, D (著), 渡邊裕之 (翻訳). (2015). スパイナル・コントロール-体幹機能と腰痛の最新科学. (渡邊裕之 (翻訳), 編), 東京, ナップ.

Housh, DJ., Housh, TJ., Johnson, GO., & Chu, WK. (1992). Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73 (1), 65–70.

Hu, H., Meijer, OG., Hodges, PW., Bruijn, SM., Strijers, RL., Nanayakkara, PWB., Van Royen, BJ., Wu, W., Xia, C., & J. H. van, D. (2012). Understanding the Active Straight Leg Raise (ASLR): An electromyographic study in healthy subjects. *Manual Therapy*, 17, 531-537.

Idoate, F., Calbet, JA., Izquierdo, M., & Sanchis-Moysi, J. (2011). Soccer attenuates the asymmetry of rectus abdominis muscle observed in non-athletes. *PLoS One*, 6, e19022

猪口清一郎, 阿尻貞三, 野井信男, 木村忠直, 岩本壮太郎, 南雲祐司, & 佐藤亨. (1978). 腹直筋の腱画構成の比較解剖学的研究. *昭和医学会雑誌*, 38, 39-48.

Jeff, W., James, R., & Susan, H. (2004). Influence of pelvis rotation styles on baseball pitching mechanics. *Sports Biomechanics*, 3, 67-84.

Kageyama, M., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Maeda, A. (2015). Difference between adolescent and collegiate baseball pitchers in the kinematics and kinetics of the lower limbs and trunk during pitching motion. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14, 246-255.

Karen P. L. Chan, CC., Lee, TM., & Hui-Chan, CW. (2004). Mental Imagery for Promoting Relearning for People After Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, 1403-1408.

金久博昭, 角田直也, 池川繁樹, & 福永哲夫. (1989). 相対発育からみた日本人青少年の筋断面積.

人類學雜誌, 97(1), 63-79.

Katsumata, H. (2007). A functional modulation for timing a movement: a coordinative structure in baseball hitting. *Human Movement Science*, 26, 27-47.

Kibler, WB., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*, 36(3), 189-198.

Knudson, D., & Blackwell, J. (2000). Trunk muscle activation in open stance and square stance tennis forehands. *International Journal of Sports Medicine*, 21(5), 321-324.

Kubo, T., Muramatsu, M., Hoshikawa, Y., & Kanehisa, H. (2010). Profiles of trunk and thigh muscularity in youth and professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 1472-1479.

Kubo, T., Hoshikawa, Y., Muramatsu, M., Iida, T., Komori, S., Shibukawa, K., & Kanehisa, H. (2011). Contribution of trunk muscularity on sprint run. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 223-228.

Kumar, S., Narayan, Y., & Zedka, M. (1996). An electromyographic study of unresisted trunk rotation with normal velocity among healthy subjects. *Spine*, 21, 1500-1512.

Lee DG. (2003). *The Thorax*. Diane G Lee Physiotherapist Corp, Canada, pp. 103-135.

Malina RM. (1974). Adolescent changes in size, build, composition and performance. *Human Biology*, 46, 117-131.

Mannion, AF., Pulkovski, N., Toma, V., & Sprott, H. (2008). Abdominal muscle size and symmetry at rest and during abdominal hollowing exercises in healthy control subjects. *Journal of Anatomy*,

213, 173–182.

Maughan, R.J., Watson, J.S., & Weir, J. (1983). Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 338, 37-49.

McGill, S., Grenier, S., Bluhm, M., Preuss, R., Brown, S., & Russell, C. (2003). Previous history of LBP with work loss is related to lingering deficits in biomechanical, physiological, personal, psychosocial and motor control characteristics. *Ergonomics*, 46(7), 731-46.

宮西智久 (2006). 打動作と体幹・四肢の角運動量~野球のバッティングの場合~. *体育の科学*, 56 (3), 181-186.

宮下智, 和田良広, & 鈴木正則. (2012). 効果的な体幹筋トレーニング方法の検討 異なる運動における腹横筋と内腹斜筋の収縮厚から. *日本橋学館大学紀要*, 11, 41-51.

Miyatani, M., Kanehisa, H., Ito, M., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2004). The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 264-272.

Moore, K.L., & Dalley, A.F. Abdomen. (2005). In: Moore K.L., Dalley A.F. *Moore's Clinically Oriented Anatomy*. 5th ed. Philadelphia, Pa, Lippincott, Williams and Wilkins.

森下義隆, 平野裕一, & 矢内利政. (2013). 野球のバッティングにおけるバットヘッド速度に対する体幹および上肢のキネマティクスの貢献. *バイオメカニクス研究*, 17(4), 170-180.

Morris, J.M., Lucas, D.B., & Bresler, B. (1961). Role of the trunk in stability of the spine. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 43, 327-351.

Morris, S.L., Lay, B., & Allison, G.T. (2013). Transversus abdominis is part of a global not local

- muscle synergy during arm movement. *Human Movement Science* 32, 1176-1185.
- Moseley, GL., Hodges, PW., Gandevia, SC. (2003). External perturbation of the trunk in standing humans differentially activates components of the medial back muscles. *The Journal of Physiology*, 547(2), 581-587.
- Myers, TW. (2009). アナトミー・トレイン, 第1版. 松下松雄 (訳) , 医学書院, 東京, pp. 25-176.
- Nachemson, AL., Andersson, BJ., & Schultz, AB. (1986). Valsalva maneuver biomechanics. Effects on lumbar trunk loads of elevated intraabdominal pressures. *Spine*, 11(5), 476-9.
- 長沼菜月 (2009). 第2回子ども生活実態基本調査報告書 第2章, ベネッセ教育総合研究所, 68-71.
- Narici, MV., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., Conti, M., & Cerretelli, P. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157 (2), 175-186.
- 小粥智浩 (2011). スタビライゼーション. *臨床スポーツ医学*, 28, 302-308.
- Ogawa, M., Mitsukawa, N., Bemben, MG., & Abe, T. (2012). Ultrasound assessment of adductor muscle size using muscle thickness of the thigh. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21, 244-248.
- Peltonen, JE., Taimela, S., Erkintalo, M., Salminen, JJ., Oksanen, M., & Kujala, UM. (1998). Back extensor and psoas muscle cross-sectional area, prior physical training, and trunk muscle strength - a longitudinal study in adolescent girls. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 66-71.
- Ploumis, A., Michailidis, N., Christodoulou, P., Kalaitzoglou, I., Gouvas, G & Beris, A. (2011). Ipsilateral atrophy of paraspinal and psoas muscle in unilateral back pain patients with

- monosegmental degenerative disc disease. *The British Journal of Radiology*, 84, 709–713.
- Rankin, G., Stokes, M., & Newham, DJ. (2006). Abdominal muscle size and symmetry in normal subjects. *Muscle Nerve*, 34, 320-6.
- Ranson, C., Burnett, A., O'Sullivan, P., Batt, M., & Kerslake, R. (2008). The lumbar paraspinal muscle morphometry of fast bowlers in cricket. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(1), 31–37.
- Reeve A, Dilley A. (2009). Effects of posture on the thickness of transversus abdominis in pain-free subjects. *Manual Therapy*, 14, 679-684.
- Remple, M.S., Bruneau, RM., VandenBerg, PM., Goertzen, C., & Kleim, JA. (2001). Sensitivity of cortical movement representations to motor experience: evidence that skill learning but not strength training induces cortical reorganization. *Behavioural Brain Research*, 123, 133-141.
- Reyes, GF., Dickin, DC., Crusat, NJ., & Dolny, DG. (2011). Whole-body vibration effects on the muscle activity of upper and lower body muscles during the baseball swing in recreational baseball hitters. *Sports Biomechanics*, 10, 280-293.
- Rho, M., Spitznagle, T., Van, DL., Maheswari, V., Oza, S., & Prather, H. (2013). Gender differences on ultrasound imaging of lateral abdominal muscle thickness in asymptomatic adults: a pilot study. *PM & R*, 5, 374-380.
- Richardson, CA., & Jull, GA. (1995). An historical perspective on the development of clinical techniques to evaluate and treat the active stabilising system of the lumbar spine. *Journal of Physiotherapy Monograph*, 1, 5-13.
- Sanada, K., Kearns, CF., Midorikawa, T., & Abe, T. (2006). Prediction and validation of total and

regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 24-31.

Sanada, K., Kuchiki, T., Miyachi, M., McGrath, K., Higuchi, M., & Ebashi, H. (2007). Effects of age on ventilatory threshold and peak oxygen uptake normalised for regional skeletal muscle mass in Japanese men and women aged 20-80 years. *European Journal of Applied Physiology*, 99, 475-483.

Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Dorado, C., Alayón, S., & Calbet, JA. (2010a). Large asymmetric hypertrophy of rectus abdominis muscle in professional tennis players. *PLoS One*, 5, e15858.

Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Olmedillas, H., Guadalupe-Grau, A., Alayón, S., Carreras, A., ..., Calbet, JA. (2010b). The upper extremity of the professional tennis player: muscle volumes, fiber-type distribution and muscle strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 524-534.

Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Serrano-Sanchez, JA., Dorado, C., & Calbet, JA. (2012). Muscle Hypertrophy in Prepubescent Tennis Players: A Segmentation MRI Study. *Polosone*, 7, 1-7.

Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Izquierdo, M., Calbet, JA., & Dorado, C. (2013). The hypertrophy of the lateral abdominal wall and quadratus lumborum is sport-specific: an MRI segmental study in professional tennis and soccer players. *Sports Biomechanics*, 12, 54-67.

Shaffer, B., Jobe, FW., Pink, M., & Perry, J. (1993). Baseball batting. An electromyographic study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 292, 285-293.

Sipilä, S., & Suominen, H. (1993). Muscle ultrasonography and computed tomography in elderly

trained and untrained women. *Muscle Nerve*, 16, 294-300.

Smith, A., O'Sullivan, P., & Straker, L. (2008). Classification of sagittal thoraco- lumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. *Spine*, 33(19), 2101-7.

Sugaya, T., Abe, Y., & Sakamoto, M. (2014). Ultrasound evaluation of muscle thickness changes in the external oblique, internal oblique, and transversus abdominis muscles considering the influence of posture and muscle contraction. *The Journal of Physical Therapy Science*, 26, 1399-1402.

Szymanski DJ, McIntyre JS, Szymanski JM, Bradford, TJ., Schade, RL., Madsen, NH., & Pascoe, DD. (2007). Effect of torso rotational strength on angular hip, angular shoulder, and linear bat velocities of high school baseball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1117-1125.

Szymanski, DJ., DeRenne, C., & Spaniol, FJ. (2009). Contributing factors for increased bat swing velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 1338-1352.

Szymanski, DJ., Szymanski, JM., Schade, RL., Bradford, TJ., McIntyre, JS., DeRenne, C., & Madsen, NH. (2010). The relation between anthropometric and physiological variables and bat velocity of high-school baseball players before and after 12 weeks of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 2933-2943.

Tachibana, K., Yashiro, K., Miyazaki, J., Ikegami, Y., & Higuchi, M. (2007). Muscle cross-sectional areas and performance power of limbs and trunk in the rowing motion. *Sports Biomechanics*, 6,

44-58.

Takai, Y., Katsumata, Y., Kawakami, Y., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2011). Ultrasound method for estimating the cross-sectional area of the psoas major muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43, 2000-2004.

高岡英夫 (2006). 究極の身体, 講談社, 東京, 106-107.

Takasaki, H., Iizawa, T., Hall, T., Nakamura, T., & Kaneko, S. (2009). The influence of increasing sacroiliac joint force closure on the hip and lumbar spine extensor muscle firing pattern. *Manual Therapy* 14, 484-489.

Tanaka, NI., Komuro, T., Tsunoda, N., Aoyama, T., Okada, M., & Kanehisa, H. (2013). Trunk muscularity in throwers. *International journal of sports medicine*, 34, 56-61.

Tanner, JM., Hughes, PC., & Whitehouse, RH. (1981). Radiographically determined widths of bone muscle and fat in the upper arm and calf from age 3-18 years. *Annals of Human Biology*, 8, 495-517.

Tateuchi, H., Tsukagoshi, R., Fukumoto, Y., Akiyama, H., So, K., Kuroda, Y., & Ichihashi N.: (2013). Pelvic instability and trunk and hip muscle recruitment patterns in patients with total hip arthroplasty. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23, 151-158.

田内健二, 南形和明, 川村卓, & 高松薫. (2005). 野球のティーバッティングにおける体幹の捻転動作がバットスピードに及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 18 (1), 1-9.

徳久謙太郎 (2011). 脊柱機能の臨床的重要性と上下肢との連関, 第1版, 嶋田智明, 大峰三郎, 小林聖編, 文光堂, 東京, 64-68.

Tsao, H., Thomas, R Druitt, TR., Schollum, TM., & Hodges, PW. (2010). Motor Training of the Lumbar Paraspinal Muscles Induces Immediate Changes in Motor Coordination in Patients With Recurrent Low Back Pain. *The Journal of Pain*, 11(11), 1120-1128.

Urquhart, DM., & Hodges, PW. (2005). Differential activity of regions of transversus abdominis during trunk rotation. *European Spine Journal*, 14,393-400.

Urs, G., Albert, G., Tibor, H., Reto, WK., & Thomas, M. (2013). The Importance of Trunk Muscle Strength for Balance, Functional Performance, and Fall Prevention in Seniors A Systematic Review. *Sports Medicine*, 43, 627-641.

Vleeming, A., Pool-Goudzwaard, AL., Stoeckart, R., van Wingerden, JP., & Snijders, CJ. (1995). The posterior layer of the thoracolumbar fascia: its function in load transfer from spine to leg. *Spine*, 20, 753-758.

和智道生, 栗原俊之, 伊坂忠夫, 山浦一保, 治郎丸卓三, 辻貴之, 小嶋高広, 岡恭正, 野口真一, 永野琴美, & 金沢伸彦. (2013). 高校サッカー部員における体幹トレーニング実施状況と理解度. *理学療法湖都*, 33, 44-48.

和智道生, 栗原俊之, 山浦一保, 野口真一, 金沢伸彦, & 伊坂忠夫. (2014). 体幹トレーニングの認識と理解度に関する調査：高校サッカー部を例として. *トレーニング科学*, 25(3), 233-242.

Wachi, M., Suga, T., Higuchi, T., Misaki, J., Tsuchikane, R., Tanaka, D., Miyake, Y., & Isaka, T. (2017a). Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscle size: a pilot study. *The Journal of Physical Therapy Science*, 29(2), 245-249.

Wachi, M., Suga, T., Higuchi, T., Misaki, J., Tsuchikane, R., Tanaka, D., Miyake, Y., Kanazawa,

N., & Isaka, T. (2017b). Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscles size in athletes: a study focused on baseball batters. *The Journal of Physical Therapy Science*, 29(6), 1534-1538.

Wasser, JG., Zaremski, JL., Herman, DC., & Vincent, HK. (2017). Prevalence and proposed mechanisms of chronic low back pain in baseball: part i. *Research in Sports Medicine*, 1-12.

Welch, CM., Banks, SA., Cook, FF., & Draovitch, P. (1995). Hitting a baseball: a biomechanical description. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 22,193-201.

Willardson, JF. (2007). Core stability training. applications to sports conditioning programs. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 979-985.

Yi, TL., Han, IS., Kim, JS., Jin, JR., & Han, JS. (2012). Reliability of the supraspinatus muscle thickness measurement by ultrasonography. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 36, 488-495.