

中学生における側腹部筋厚の 発育—アロメトリー法を用いて—

Growth change in thickness of lateral abdominal muscle during
adolescence using allometric analysis

坂植 航*1, 筒井俊春*2, 前道俊宏*2, 鳥居 俊*2

キー・ワード：Lateral abdominal muscle, ultrasound imaging, during adolescence
側腹部筋群, 超音波, 発育期

〔要旨〕 本研究の目的は中学生の側腹部筋厚全体の筋厚の発育様式と外腹斜筋 (external oblique ; EO), 内腹斜筋 (internal oblique ; IO), 腹横筋 (transversus abdominis ; TrA) の個別の筋厚の発育様式の違いを明らかにすることを目的とした。対象は地域クラブチームに所属する中学生 191 名で, 超音波画像診断装置を用いて右側の EO, IO, TrA の筋厚を測定した。身長で 5cm ごとの階級に分類し, 身長 (x) と側腹部筋 (y) のアロメトリー式 $y=bx^a$ を算出した。その後直線式を算出し両者が複数の直線で表される場合, 隣接する直線の交点を変移点とした。変移点はアロメトリー係数 a の値が 1 以上変化した点とした。側腹部筋のアロメトリー係数 a は 1 つの変移点をもつ 2 相の直線で表され, それぞれアロメトリー係数 a は 1.28, 3.42 で変移点は 168.8cm であった。EO と IO は 2 つの変移点をもつ 3 本の直線で表され, EO のアロメトリー係数 a は 2.58, 1.56, 2.76 で変移点は 142.0cm, 171.3cm となった。IO は 0.82, 2.05, 4.55 で変移点は 157.4cm, 170.4cm となった。TrA は 1 つの変移点をもつ 2 本の直線で表され, -1.53, 1.56 で変移点は 145.3cm となった。このことから, 体幹を安定させる作用をもつ TrA は早期に発育することが考えられた。

1. 緒言

体幹は, 身体の中でも最も質量が大きく¹⁾, 全身の質量に対する体幹部質量の割合は 12 歳から 15 歳の男子で 46.2% から 47.2% と報告されており²⁾, 様々な動作で体幹は主要なパワーの発生源となっている³⁾。体幹筋群の中には外腹斜筋 (external oblique ; EO), 内腹斜筋 (internal oblique ; IO), 腹横筋 (transversus abdominis ; TrA) で構成される側腹部筋群がある。体幹筋群は付着部位, 機能の違いによって分類され⁴⁾, TrA は体幹を安定させる作用がある。この TrA の作用は身体の運動には重要であり, TrA の作用が低下していると

腰痛などの障害につながる事が報告されている⁵⁾。村上ら⁶⁾は腰痛を有する者と健常者の超音波画像診断装置で撮像した側腹部筋群の筋厚を比較し, 腰痛を有する者は TrA が薄く, EO, IO が厚かったと報告しており, 体幹を安定させる TrA の重要性が示唆された。一方, 発育期を対象に側腹部筋群の筋厚を測定した報告では Watanabe ら⁷⁾は中学生と成人の側腹部筋群の筋厚を比較し, 収縮時の IO, TrA の筋厚で成人の方が有意に厚いことを報告している。発育期は形態やパフォーマンスの変化が著しい^{8,9)}ことを考慮すると, 成人との比較だけではなく, より細かい発育過程を評価し検討する必要があると考える。また, 体幹を安定させる TrA の機能の低下やそれに伴う EO, IO の過剰な筋活動が腰痛を引き起こす可能性^{6,10)}があることから, EO, IO, TrA それぞれの筋の発育過程の違いを検討することが必要であると考え

*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*2 早稲田大学スポーツ科学学術院

Corresponding author : 鳥居 俊 (shunto@waseda.jp)

る。

身体発育のタイミングはすべての人で同じではなく、個体差が存在する。つまり、身体発育を評価する場合には、出生からの時間経過を表す暦年齢以外の生物学的な指標を用いて評価することが必要であると考えられる。身体の一部を基準として、他の部位の発育及び発達を調べるという相対成長の観点からアロメトリー法が様々な先行研究に用いられている。Asumussenら¹¹⁾は、身長と身体各部や身体機能との関連について、身長の発育と身体各部の発育が相似しているものと仮定し、その理論値と実測値の比較を行った。その結果、体幹長および胸囲などの形態項目の発育速度については身長の発育に対する理論値とほぼ同様の値が認められたと報告している。また、同様の手法を用いて体筋断面積の相対発育について検討した金久ら¹²⁾は男子では身長153cmから163cmに筋断面積の急増期を示すことを報告している。このように、身長を基準としたアロメトリー法を用いることで身長に対する形態の変移点や発育度合を検討できると考える。

以上のことから側腹部筋群の筋厚を生物学的な発育指標を用いて検討することで体格の視点から側腹部筋群の発育様式を示すことができ、EO, IO, TrAの発育様式の違いによる障害リスクの把握、発育様式に応じたトレーニング立案に役立つ知見を得ることができると期待される。

以上より本研究は、中学生の側腹部筋厚全体の筋厚の発育様式とEO, IO, TrAの個別の筋厚の発育様式の違いを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 対象

対象は地域スポーツクラブチーム（サッカー、野球、アルティメット）に所属し、1週間に1回以上の競技活動を行っている中学生男子217名で、対象の中で右利きである191名を解析対象とした。本研究は著者の所属機関の「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認（2021-218）を得て実施しており、対象者およびその保護者にも本研究の意図を十分に説明し、同意を得た上で研究に参加してもらった。

(2) 超音波画像診断装置による側腹部筋厚測定

側腹部筋厚の測定には超音波画像診断装置（Nobles, HITACHI社）の7.5MHzの探触子を用いて側腹部筋全筋厚、その他の個別3筋である外腹斜筋（external oblique; EO）、内腹斜筋（internal oblique; IO）、腹横筋（transversus abdominis; TrA）の撮像を行った。本研究は発育様式を検討するため、すべて右利き側の対象で右側の筋厚のみを検討した。

測定は久保田ら¹³⁾の方法に基づき、測定姿勢は仰臥位で上肢は体幹に沿って力を抜いてもらい、股関節、膝関節軽度屈曲位とした。測定部位は前腋窩線上にて肋骨辺縁と腸骨稜を結ぶ床面と平行となる線の中央点とした。筋厚に対する呼吸の影響を小さくするため安静呼気終末時に撮像を行った。撮像した画像は超音波画像診断装置に内蔵したデジタルキャリパー機能を用いてそれぞれの筋の筋膜と筋膜の間の距離を筋厚として0.1mm単位で測定した（図1）。また事前に本測定法の検者内信頼性を求め、すべての筋厚で0.845（ICC: 1.1）以上を示した。

(3) 相対発育（アロメトリー法）の評価

森下の方法¹⁴⁾に従い、身長と側腹部筋厚におけるアロメトリー式 $y=bx^a$ を算出した。アロメトリー式は、両辺の対数をとると $\log y = \log b + a \log x$ という一次関数式で表される。式の算出にあたり、身長で5cmごとの階級に分類した。各身長階級において、身長の平均値（ x ）と側腹部筋厚の平均値（ y ）を求めて両対数グラフにプロットし、その直線性（相関係数0.7以上）を確認した。そして最小二乗法により直線式 $\log y = \log b + a \log x$ を算出した時、両者が複数の直線で表される場合には、その隣接する直線の交点を変移点とみなした。なお、採用した回帰直線の組み合わせは係数 a の値が変移点の前後で1以上変化した組み合わせとした。アロメトリー式 $y=bx^a$ における a は x および y のそれぞれの相対発育速度間の比と考えられており、つまり $a > 1$ または $a < -1$ の場合は x に対する y の発育速度が大きく、 $-1 < a < 1$ の場合には y の発育速度が小さいことを意味する^{11,13)}。

(4) 統計処理

アロメトリー法による身長と側腹部筋厚、EO, IO, TrAの筋厚の関係における相関係数の算出には、べき乗回帰分析（ $y=bx^a$ ）を用いた。

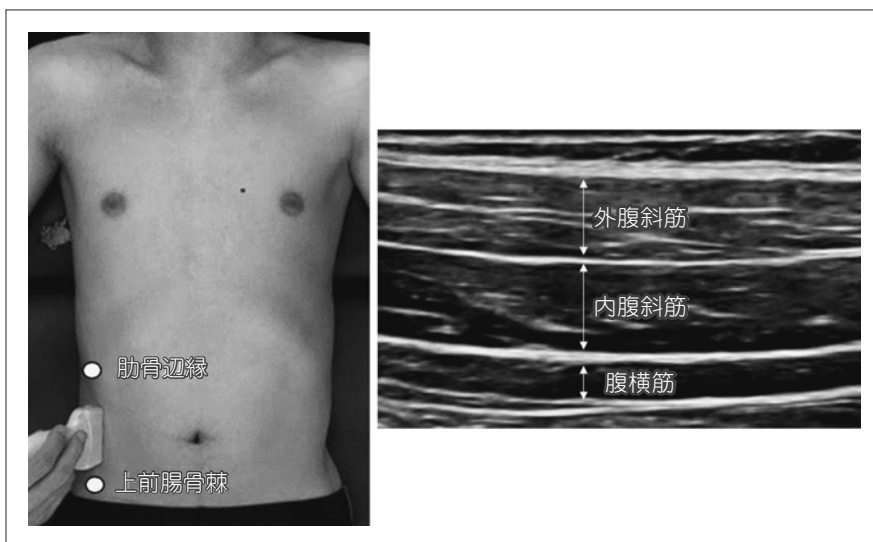


図1 側腹部筋群の測定部位と超音波画像

表1 身長区分ごとの基本情報ならびに側腹部筋群の筋厚

| 身長区分 | n | 年齢 (歳) | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 側腹部筋 (mm) | EO (mm) | IO (mm) | TrA (mm) |
|-----------|----|----------|-----------|----------|-----------|---------|----------|----------|
| ≤139.9 | 6 | 12.3±0.3 | 137.4±1.4 | 34.2±5.2 | 15.8±3.1 | 4.8±1.1 | 7.9±1.6 | 3.0±0.9 |
| 140-144.9 | 9 | 12.6±0.4 | 143.2±1.2 | 39.2±6.6 | 17.2±1.4 | 5.9±0.9 | 8.7±1.1 | 2.7±0.4 |
| 145-149.9 | 23 | 12.6±0.5 | 147.5±1.4 | 39.2±3.2 | 16.6±2.3 | 5.7±0.8 | 8.1±1.6 | 2.7±0.7 |
| 150-154.9 | 20 | 13.1±0.8 | 152.6±1.7 | 43.7±5.9 | 18.5±2.3 | 6.2±1.1 | 9.1±1.7 | 3.2±0.8 |
| 155-159.9 | 36 | 13.4±0.8 | 157.5±1.5 | 49.2±8.9 | 18.1±3.3 | 6.3±1.8 | 8.8±1.8 | 3.0±0.9 |
| 160-164.9 | 43 | 14.0±0.9 | 162.1±1.3 | 51.7±6.6 | 19.8±3.5 | 6.9±1.4 | 9.8±2.1 | 3.1±1.0 |
| 165-169.9 | 35 | 14.1±0.9 | 167.3±1.4 | 59.0±8.8 | 20.4±3.5 | 6.9±1.3 | 10.0±2.3 | 3.5±1.2 |
| 170-174.9 | 14 | 14.7±0.8 | 172.7±1.5 | 61.1±6.8 | 21.0±3.0 | 7.2±1.8 | 10.3±1.4 | 3.5±0.9 |
| 175≤ | 5 | 14.8±0.4 | 177.0±1.4 | 65.0±5.5 | 25.0±2.4 | 8.1±2.1 | 13.1±1.5 | 3.8±0.8 |

(mean ± SD)

(EO ; 外腹斜筋, IO ; 内腹斜筋, TrA ; 腹横筋)

3. 結果

対象者の基本情報（暦年齢，身長，体重）ならびに側腹部筋厚とEO，IO，TrAの筋厚の結果を表1に示した。なお，表1にはアロメトリー法による検討のため，すべての対象者を5cmごとの身長階級群に分類した際の値を示した。

図2aは身長と側腹部筋の筋厚の関係について，各身長階級の平均値を両対数表示で表したものである。1つの変移点をもつ2相の直線で表された。身長との関係は $y=0.008x^{15}$ ， $R^2=0.877$ で表され，アロメトリー係数aはそれぞれ1.28, 3.42, 変移点は168.8cmであった。

図2bから図2dはEO，IO，TrAの筋厚についての結果である。EOは2つの変移点をもつ3相の直線で表され，身長との関係は $y=0.0014x^{17}$ ， R^2

$=0.924$ となった(図2b)。IOもEOと同様に2つの変移点をもつ3相の直線であり，身長との関係は $y=0.0031x^{16}$ ， $R^2=0.781$ となった(図2c)。TrAは1つの変移点をもつ2相の直線で表され， $y=0.0093x^{12}$ ， $R^2=0.735$ となった(図2d)。アロメトリー係数aの変化をそれぞれ図3に示し，EOは2.58, 1.56, 2.76, 変移点は142.0cm, 171.3cmとなった。IOのアロメトリー係数aはそれぞれ0.82, 2.05, 4.55, 変移点は157.4cm, 170.4cmとなった。TrAのアロメトリー係数aはそれぞれ-1.53, 1.56, 変移点は145.3cmとなった(図3)。

4. 考察

本研究で算出された側腹部筋厚の発育が急増する期間は165.0cm-169.9cmであった。これまで身長相対発育からみた筋の発育については，金久

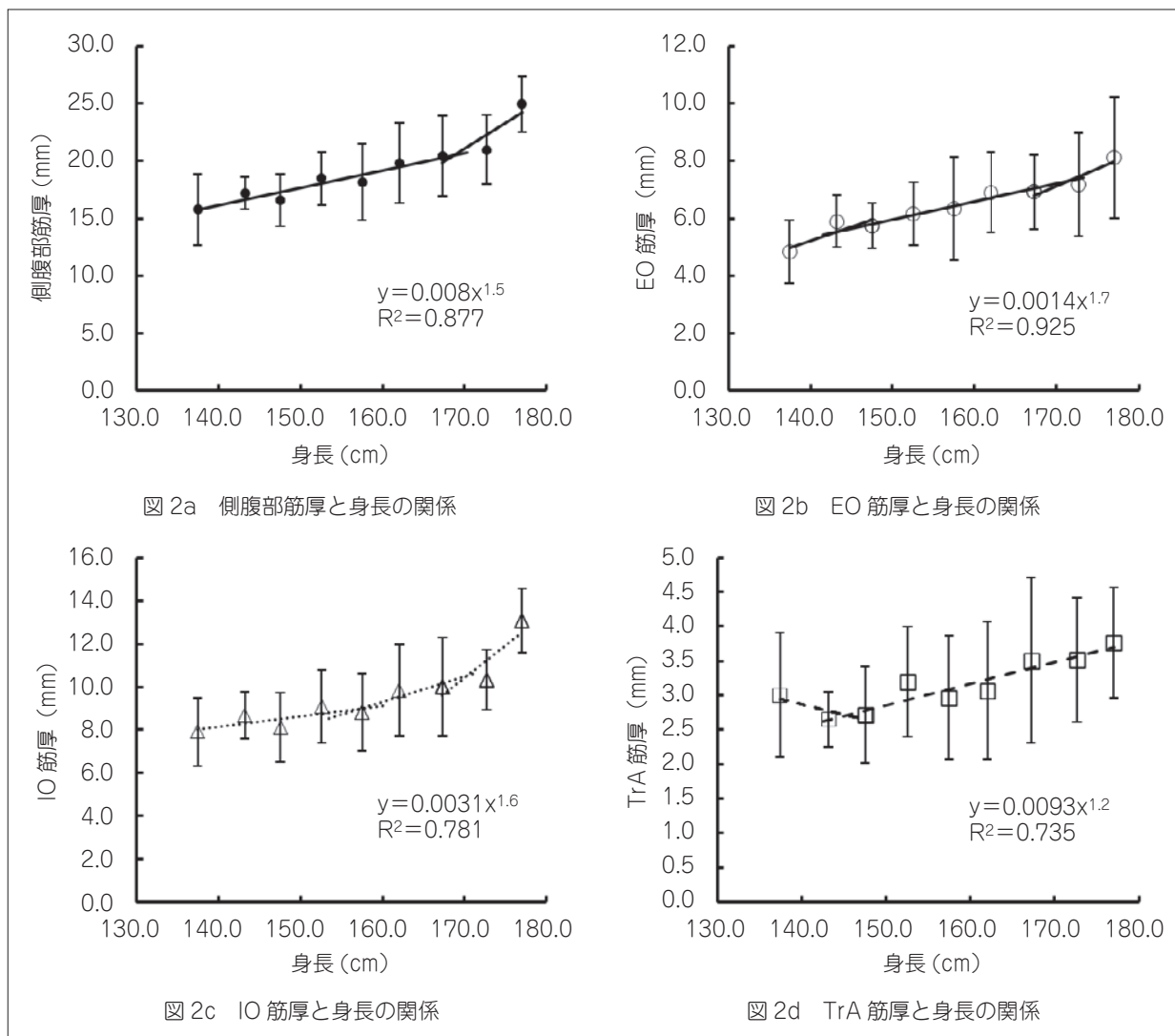


図2 側腹部筋厚 (a左上), 個別3筋 (EO : b右上, IO : c左下, TrA : d右下) と身長の関係

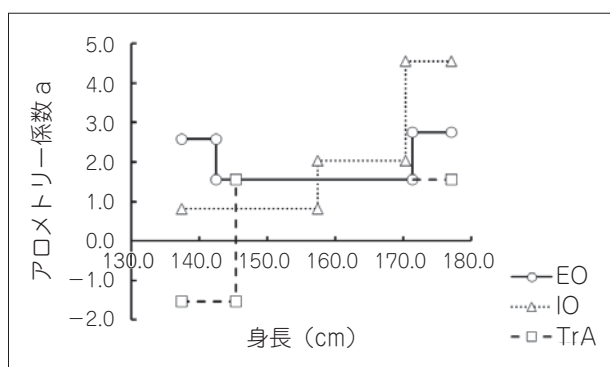


図3 EO, IO, TrAのアロメトリー係数 a の変化

ら¹²⁾ が日本人青少年の体肢筋断面積を、熊川と角田¹⁵⁾ がスピードスケート選手の大腿部筋厚を検討している。金久ら¹²⁾ は身長と体肢筋断面積との関係を2つの変移点をもつ3本の直線で表し、身長

152.1-153.2cm から163.1cm-165.9cmの間で最も高いアロメトリー係数 a となったと報告した。熊川と角田¹⁵⁾ はスピードスケート選手を対象に、大腿前面、後面それぞれ152.2cm-168.1cmの間で筋

厚が身長発育よりも発育速度が高いことを報告した。本研究で側腹部筋厚が身長発育に対して急増する区間は165.0cm-169.9cmであり、これら2つの報告とは異なっていた。また体肢筋断面積、大腿部筋厚のアロメトリー係数 a は急増期間後、身長発育より遅い発育速度になるが、側腹部筋のアロメトリー係数 a の減少は認められなかった。これらの報告から側腹部筋群は今回の対象の中学生以降でも身長発育よりも速い発育であると考えられる。

側腹部筋群それぞれの発育様式について、EOのアロメトリー係数 a は142.0cm以前では2.58と高値を示したが、142.0cm以降では1.56となり減少した。IOのアロメトリー係数 a は157.4cm以前では0.87で低値を示したが、157.4cm以降では2.05となり増加した。身体発育の観点から最大身長増加時期は約13歳前後と報告されている¹⁶⁾。EOのアロメトリー係数 a の減少した期間は140.0-144.9cmで、これに相当する年齢は12.6歳であり、IOのアロメトリー係数 a の増加した期間は155.0-159.9cmで、これに相当する年齢は13.4歳であった。EOとIOは体幹の回旋運動に関与していると報告されている¹⁷⁾。最大身長増加時期でEOのアロメトリー係数 a は減少し、IOのアロメトリー係数 a は増加していることから、体幹回旋運動に関与するEO、IOは異なった発育様式をとっている可能性がある。

EO、IOのアロメトリー係数 a が最も高い値を示したのは170.0cm以降であったのに対し、TrAのアロメトリー係数 a は145.3cm以降からアロメトリー係数 a が1.56と増大しており、EO、IOより早い時期にアロメトリー係数 a が高値を示していた。TrAは体幹の付着部位、機能の違いから、ローカル筋群に分類され⁴⁾、体幹の安定化に関与している。体幹を安定させるTrAは中学生初期で身長発育より速い発育速度となり、体幹回旋運動に関与するEO、IOはTrAが発育し、その後の身長の増加とあわせて発育していくことが考えられる。

本研究において側腹部筋群の発育の急増期間に相当する暦年齢は14.1歳であった。発育期で生じる1つの障害である腰椎分離症は男子では13歳頃の中学生に発生が多いことが報告されており¹⁸⁾、繰り返しの腰椎の伸展・回旋ストレスが原因と言われている¹⁹⁾。本研究から体幹の回旋・安

定化に関わる側腹部筋群はこの時期では筋の発育途上である。発育が不十分な体幹筋が腰椎に加わるストレスを緩和できていない可能性が考えられる。EOは142.0cm以降でアロメトリー係数 a は減少し、IOは157.4cm以降でアロメトリー係数 a は増加していた。このアロメトリー係数 a が変化したEOとIOの変移点に相当する年齢はそれぞれ12.6歳、13.4歳であり、腰椎分離症の好発時期に近い¹⁸⁾。体幹の動作でEOは反対側、IOは同側の体幹回旋に作用し、それぞれが主働筋、補助筋として共同的に作用し体幹回旋運動を安定させている¹⁷⁾。この時期に共同して体幹回旋運動に関与するEO、IOの発育速度のアンバランスが生じていることから、主働筋として作用する時に補助筋である筋の安定がなく、腰椎分離症を引き起こす可能性が考えられる。一方、体幹の安定化に貢献するローカル筋のTrAのアロメトリー係数 a が増加する変移点は145.3cmであった。変移点に相当する暦年齢は12.6歳であった。体幹の伸展ストレス等に対して姿勢が崩れないように、TrAが活動し体幹を安定させていると報告されており²⁰⁾、腰椎分離症などの腰部障害を防ぐためにはTrAの活動が重要であると考えられる。このことから腰椎分離症の好発時期である中学生期でのTrAを賦活化させるトレーニングを早期から行うことが発症予防に重要だと考える。今回、アロメトリー法を使用し側腹部筋群の発育を検討した。このことでスポーツ現場や医療現場で指導者が体格から側腹部筋群の発育を推測し、腰部障害の予防法の立案、トレーニング法を検討する目安になると期待される。

本研究の限界は3点挙げられる。まず1つ目に最終予測身長の個人差を考慮していないため、個人の発育を反映しきれていない可能性がある。2つ目に対象者の行っている競技の特性の違いに応じて、発育が異なっていた可能性が考えられる。また、腰部障害などの障害との関係は示していない。今後は、腰痛等の腰部障害と発育様式における側腹部筋群との関係を検討することが必要になると考える。

5. 結論

中学生の側腹部筋厚とEO、IO、TrAそれぞれの相対発育を検討し、側腹部筋厚は165.9cmから169.9cmの区間に身長発育より先行した発育を示

し、四肢の筋よりも発育が遅れる可能性がある。

EO, IO 共に2つの変移点をもつ3相の直線で表され、特に170.0cmから174.5cm以降により筋厚の変化が急増していた。TrAは145.3cmで急増しており、TrAがEO, IOより早期に発育する可能性がある。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) 阿江通良. 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn J Sport Sci.* 1996; 15: 155-162.
- 2) 横井孝志, 渋谷侃二, 阿江通良. 日本人幼少年の身体部分係数. *体育学研究.* 1986; 31: 53-66 doi: 10.5432/jjpehss.KJ00003392242.
- 3) 村松正隆, 星川佳広, 飯田朝美, 他. 高校生スポーツ選手の体幹筋群の筋サイズ—性差と競技種目差の検討—。 *体育学研究.* 2010; 55: 577-590 doi: 10.5432/jjpehss.09046.
- 4) Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1989; 230: 1-54 doi: 10.3109/17453678909154177.
- 5) Teyhen DS, Bluemle LN, Dolbeer JA, et al. Changes in Lateral Abdominal Muscle Thickness During the Abdominal Drawing-in Maneuver in Those With Lumbopelvic Pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009; 39: 791-798 doi: 10.2519/jospt.2009.3128.
- 6) 村上幸士, 桜庭景植, 永井康一. 腰痛の有無にて比較した腹部筋群の筋厚. *理学療法科学.* 2010; 25: 893-897 doi: 10.1589/rika.25.893.
- 7) Watanabe H, Abe H, Tojima M, et al. Ultrasonography of the deep abdominal muscles at rest and during the drawing-in maneuver: A comparative study of Japanese adolescent vs. adult soccer players. *Isokinet Exerc Sci.* 2013; 21: 187-193 doi: 10.3233/IES-130512.
- 8) 村田祐樹, 鳥居 俊, 飯田悠佳子, 他. 中学生サッカー選手における下肢の発育発達変化. *発育発達研究.* 2012; 2012: 10-19 doi: 10.5332/hatsuhatsu.2012.10.
- 9) 蔭山雅洋, 鈴木智晴, 前田 明. 発育期の野球選手における投手と野手の投球速度に及ぼす体力要因の検討. *体育学研究.* 2020; doi: 10.5432/jjpehss.19105.
- 10) Hodges PW, Moseley GL, Gabriellson A, et al. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Exp Brain Res.* 2003; 151: 262-271 doi: 10.1007/s00221-003-1457-x.
- 11) Asmussen E, Heebooll-Nielsen K. A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *J Appl Physiol.* 1955; 7: 593-603 doi: 10.1152/jap.1955.7.6.593.
- 12) 金久博昭, 角田直也, 池川繁樹, 他. 相対発育からみた日本人青少年の筋断面積. *人類学雑誌.* 1989; 97: 63-70.
- 13) 久保田潤, 奥村幸治, 鳥居 俊, 他. 大学テニス選手における腹筋群の形態的特徴. *日本臨床スポーツ医学会誌 J Jpn Soc Clin Sports Med.* 2009; 17: 30-35.
- 14) 森下はるみ. 日本人青少年の形態発育と機能発育の解析的研究. *体育学研究.* 1966; 11: 47-58 doi: 10.5432/jjpehss.KJ00003491540.
- 15) 熊川大介, 角田直也. 相対発育からみたスピードスケート選手の滑走能力と大腿部の筋厚及び無酸素性パワーの発達. *体力科学.* 2008; 57: 119-130 doi: 10.7600/jspfsm.57.119.
- 16) Suwa S, Tachibana K, Maesaka H, et al. Longitudinal Standards for Height and Height Velocity for Japanese Children from Birth to Maturity. *Clin Pediatr Endocrinol.* 1992; 1: 5-13 doi: 10.1297/cpe.1.5.
- 17) Andersson EA, Grundström H, Thorstensson A. Diverging Intramuscular Activity Patterns in Back and Abdominal Muscles During Trunk Rotation. *Spine.* 2002; 27: E152.
- 18) 大場俊二, 南 和文, 伊藤博元. 腰椎疲労骨折の早期診断と早期スポーツ復帰. *日本臨床スポーツ医学会誌 日本臨床スポーツ医学会編集委員会 編.* 2007; 15: 429-440.
- 19) Letts M, Smallman T, Afanasiev R, et al. Fracture of the Pars Interarticularis in Adolescent Athletes: A Clinical-Biomechanical Analysis. *J Pediatr Orthop.* 1986; 6: 40-46.
- 20) Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A. The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Exp Brain Res.* 1994; 98: 336-341 doi: 10.1007/BF00228421.

Growth change in thickness of lateral abdominal muscle during adolescence using allometric analysis

Sakamaki, W.^{*1}, Tsutsui, T.^{*2}, Maemichi, T.^{*2}, Torii, S.^{*2}

^{*1} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

^{*2} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: Lateral abdominal muscle, ultrasound imaging, during adolescence

[Abstract] The purpose of this study was to examine the relative growth of muscle thickness in the lateral abdominal muscle groups of junior high school students as well as the differences in growth patterns between the three individual muscles. The subjects were 191 junior high school students from a local club team and the right external oblique; EO, internal oblique; IO and transversus abdominis; TrA muscle thicknesses were measured using an ultrasound imaging device. The height and these parameters were plotted on a logarithmic graph to obtain the allometric equation $y = bx^a$. EO and IO were represented by three-phase straight lines with two inflection points, EO's allometry coefficients being 2.58, 1.56, and 2.76, and the inflection points being 142.0 cm and 171.3 cm. IO's allometry coefficients were 0.82, 2.05, and 4.55, and its inflection points were 157.4 cm and 170.4 cm. TrA was depicted as two-phase straight lines with allometry coefficients of -1.53 and 1.56, with the inflection point of 145.3 cm. This suggests that TrA which has a stabilizing effect on the trunk, grows early.