中学生バスケットボール競技者における大腿四頭筋の構造と跳躍能力および月齢との関係

関根 悠太¹ 星川 精豪² 岡田 純一³

Relationship among quadriceps femoris muscle architecture, jump performance, and age in months in junior high school basketball players

Yuta Sekine¹, Seigo Hoshikawa² and Junichi Okada³

abstract

This study aimed to investigate the relationship among quadriceps femoris muscle architecture, jump performance, and age in months in junior high school basketball players. Nineteen male junior high school basketball players (age, 13.7 ± 0.7 years [168.1 ± 9.5 months]; height, 166.3 ± 10.3 cm; body mass, 54.3 ± 12.6 kg; competitive career duration, 5.3 ± 1.7 years) volunteered to participate in this study. We measured the vertical jump (VJ) and running jump heights using a single leg (RJS) or both legs (RJB). Quadriceps femoris (vastus medialis oblique [VMO], vastus medialis [VM], rectus femoris [RF], vastus intermedius [VI], vastus lateralis [VL]) muscle thickness (MT) was measured using real-time ultrasonography. The total MT of the VMO, VM, RF, VI, and VL was calculated (Total). Pennation angle (PA) was measured at the RF and VL. Images were analyzed by an image analysis software and fascicle length (FL) of the RF and VL were calculated by MT and PA. The ratio of MT to body mass^{1/3} (MT/BM^{1/3} ratio) was calculated to normalize the morphological differences. We observed a significant correlation between VJ and MT of the VMO ($r=0.558$, $p=0.013$), RJB and MT of the VMO, RF, Total (VMO, $r=0.538$, $p=0.017$; RF, $r=0.483$, $p=0.036$; Total, $r=0.539$, $p=0.017$), and between RJS and MT of the VL ($r=0.536$, $p=0.018$). We also observed a significant correlation between RJB and FL in VL ($r=0.569$, $p=0.011$). There were significant correlations between MT and MT/BM^{1/3} ratio in VMO and age in months (MT, $r=0.659$, $p=0.002$; MT/BM^{1/3} ratio, $r=0.511$, $p=0.026$). The results of the present study suggest that different parts of the quadriceps femoris muscle are related to jump performance in junior high school basketball players. When growth spurts occur during the age of junior high school student (12-15years old), VMO distal to the VM may increase specifically.

Key words : ultrasonography, muscle architecture, growth, youth athlete

超音波, 筋構造, 成長, 若年アスリート

¹ 日本体育大学

² 江戸川大学

³ 早稲田大学スポーツ科学学術院

¹ Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University

² Edogawa University

³ Faculty of Sport Sciences, Waseda University

I 緒 言

バスケットボール競技において、跳躍能力に代表される下肢のパワー発揮は極めて重要な要素である (Pliauga et al., 2015). バスケットボールの試合においては、選手は約 46~70 回の跳躍を行う (Drinkwater et al., 2008 ; van der Does et al., 2016) ことから、ルールの変更や試合時間の違いによって試合における跳躍回数の変化が予想されるものの、バスケットボールの試合において跳躍動作は頻繁に起こる動作であることがわかる。さらに、跳躍能力はバスケットボールにおいて重要とされるジャンプシュート、リバウンドといったオフェンス、ディフェンスにおける選手の価値を決定する要因となる (Pliauga et al., 2015). このように、跳躍能力はバスケットボールのパフォーマンスに大きく関わることから、バスケットボール競技者において跳躍能力の改善を目的としたトレーニングが実施されている。

中学生バスケットボール競技者の跳躍高は高校生、大学生バスケットボール競技者に比べ有意に低く、中学生バスケットボール競技者における跳躍動作の特徴として、高校生、大学生バスケットボール競技者に比べて踏切時の股関節、膝関節の屈曲が小さかったことが報告されている (星川ほか, 2015). このことから、中学生バスケットボール競技者における跳躍動作の特徴は、中学生バスケットボール競技者と高校生、大学生バスケットボール競技者の跳躍高の差に関与する因子の 1 つであることが考えられる。跳躍の踏切および着地における膝関節角度によって、外側広筋および内側広筋斜頭が活動するタイミングには差異が認められたことから、大腿四頭筋における個々の筋は膝関節の角度に依存して単独で作用することが示唆されている (Toumi et al., 2007). これらの先行研究から、中学生バスケットボール競技者の跳躍において主に動員される筋と、他の年代の跳躍において主に動員される筋との間には、部位差が存在する可能性がある。

大腿四頭筋を含むヒトの体肢筋の多くは羽状筋であり、これらの筋において、筋線維 (筋束) が筋の長軸方向 (力発揮方向) に対してある角度 (羽状角) をもって筋に付着している (久保ほか,

2003). 筋の肥大は羽状角の増加をもたらす。また、筋束の長さ (筋束長) は筋の短縮速度を決定する重要な因子であることが報告されている (Kumagai et al., 2000). 跳躍に代表される筋のパワー発揮には、筋量を反映する筋厚、羽状角、筋束長といった筋の構造が関与すると考えられている (Cormie et al., 2011 ; Mangine et al., 2014 ; Potteiger et al., 1999 ; Wilhelm et al., 2014). 成人男性における垂直跳びの跳躍高、跳躍時のパワー発揮と大腿直筋および外側広筋の筋厚、大腿直筋における羽状角、筋束長、外側広筋における筋横断面積との間に有意な相関関係があることが報告されている (Mangine et al., 2014). また、小学生、中学生を対象に行われた下肢筋群の筋量と疾走能力および跳躍能力の関係性に関する先行研究においては、膝伸展筋群の筋量とスクワットジャンプ、垂直跳びの跳躍高の間に有意な相関関係が認められている (吉本ほか, 2012). これらの報告により、大腿四頭筋の構造は跳躍能力に影響を及ぼす因子である可能性が示唆されている。先行研究において、一次元的な測定値である筋厚と多次元的な測定値である筋横断面積や筋量の間には高い相関関係が認められており、筋を定量化する方法としての筋厚の測定の有用性が示されている (Giles et al., 2015b). また、超音波法を用いた下肢筋群における部位毎の筋量の測定が行われており (池袋ほか, 2009), 大腿四頭筋に関しては、内側広筋斜頭、内側広筋、大腿直筋、中間広筋および外側広筋に細分化した調査が実施されている。大腿四頭筋の筋厚を細分化して調査した報告によれば、同一の筋であっても、部位によってその機能や役割は異なり、形態も独立していることから、細分化した筋厚の評価を行う必要性も示唆されている (Giles et al., 2015a ; Giles et al., 2015b). しかしながら、成長の著しい中学生の年代を対象とした大腿四頭筋を構成する各部位の構造と跳躍能力の関係性について、多くは明らかとされていない。日本のこどもにおいて、身体の成長率が最大となる発育のスパート (Peak Height Velocity : PHV) が生じる年齢は 12.6 歳から 13.4 歳の範囲である (Satake et al., 1993). また、十代前半あるいは思春期の発育スパートの期間において、成長の個体差は顕著である (佐竹, 2006). 身体質量の増加の

ピーク (Peak Weight Velocity : PWV) は PHV より遅れて到来することが知られている (Malina et al., 2004). しかしながら, 成長の過程における身体質量の増加に筋量の増加が関与する可能性から考えると, 中学生の年代 (12 歳~15 歳) における筋の成長には個体差があることが推察される.

トレーニングの実践には, 対象の成長の程度や成熟度を考慮する必要がある (山口ほか, 2015). 中学生の跳躍能力に関連する大腿四頭筋の成長の程度や部位差を明らかにすることにより, 成長の個体差の大きい年代に対してトレーニングを行う際の知見となり得る. 本研究は, 身体の成長が著しいとされる中学生のバスケットボール競技者を対象に, 大腿四頭筋の構造と跳躍能力の関係を明らかにすることを目的に調査を行った. さらに, 大腿四頭筋の成長の部位差を明らかにするために, 大腿四頭筋の構造と月齢との関係について調査を実施した.

II 方 法

1. 対象者

平成 27 年度全国中学校バスケットボール大会において優勝経験を有する中学生バスケットボール競技者 19 名を本研究の対象とした (Table 1). 調査時における対象者の学年は中学 3 年生 3 名, 中学 2 年生 8 名, 中学 1 年生 8 名であった. 測定実施の段階において, 上肢, 下肢に傷害がなく, バスケットボールの実施が可能であることを本研究の参加の条件とした. 調査に先立ち, 本研究の目的, 方法および測定実施の際に考えられる危険性について, 対象者とその保護者, チームの責任者に対して説明を行い, 書面において参加の同意を得た. 本研究は日本体育大学倫理委員会の承認を得て行われた (承認番号 第 016-H022 号).

2. 跳躍高の測定

自立式跳躍高計測器 (ヤードスティック) を用いて跳躍の最高到達点の測定を行った. 本研究における跳躍方法の種類は垂直跳び (VJ), 助走を用いた両脚踏切による跳躍 (Running jump by both legs : RJB) および助走を用いた利き脚の片脚踏切による跳躍 (Running jump by single leg :

Table 1 Characteristics and jump performance in junior high school basketball players

		Mean	SD
Age	(yrs)	13.7	0.7
Age	(month)	168.1	9.5
Height	(cm)	166.3	10.3
Body mass	(kg)	54.3	12.6
Competitive career	(yrs)	5.3	1.7
VJ	(cm)	50.1	3.8
RJB	(cm)	56.6	5.9
RJS	(cm)	55.9	6.8

VJ, vertical jump ; RJB, running jump by both leg ; RJS, running jump by single leg

RJS) の計 3 種目とした. 跳躍高の測定に先立ち, 各跳躍方法の試技における注意点の説明を行った. VJ は, 踏切前に対象者の足底が地面から離れないように注意し, 上肢を用いた反動動作を行うよう指示した. RJB および RJS においては, 助走距離および踏切位置は対象者の任意とし, 全力で跳躍を行うよう指示した. 対象者は各跳躍方法の試技に先立って 1 回以上の練習を行った. 測定は VJ, RJB, RJS の順に実施され, 各跳躍方法において 2 回ずつ試技が行われた. 試技間には 3 分以上の休息時間が設けられ, 跳躍方法が変更される際に跳躍方法の説明と確認を行った. 助走と踏切のタイミングが合わなかった, ヤードスティックに触れることができなかった, 異なる踏切脚での跳躍および規定外の跳躍方法による試技は全て失敗試技と判断した. 失敗試技と判断された場合は, 3 分以上の休息の後にさらに 1 試技の測定を行った.

ヤードスティックで測定された各跳躍方法による最高到達点から跳躍高を算出するため, 指高 (中指-床間距離) の測定を行った. 測定肢位は, 予め床面を基準に鉛直方向に伸ばされたメジャーを固定した壁面に対して体側面を向け, 肩関節屈曲 180°, 最大回内位とし, 手掌面, 体側およびシューズ側面を壁面に接触した姿勢とした. 指高の値は, 測定肢位をとった対象者の中指先端に目線を合わせ, 0.5 cm 単位で読み上げた数字とした. 指高の測定は跳躍の測定で着用するシューズを履いた状態で実施された.

Figure 1 Location of ultrasound measurements (left thigh)
VMO, vastus medialis oblique ; VM, vastus medialis ; RF, rectus femoris ; VI, vastus intermedius ; VL, vastus lateralis ; APD, the distance from the anterior superior iliac spine to the superior tip of the patella

3. 大腿周径位の測定

超音波による筋の構造の測定部位を定めるため、先行研究の方法を参考に (Giles et al., 2015b), 対象者の利き脚における大腿周径位の測定を行った。スチール製のメジャーを用いて上前腸骨棘-膝蓋骨上端の距離 (Anterior superior iliac spine-superior tip of the patella distance : APD) を測定した。APD の値より、膝蓋骨上端から近位方向に 5% (APD 5%), 20% (APS 20%) および 50% (APD 50%) の位置における大腿周径位を測定した。さらに、APD 5%, APD 20% および APD 50% における周径位から、内側広筋斜頭、内側広筋、大腿直筋、中間広筋および外側広筋の測定箇所を求めた。内側広筋斜頭の測定箇所は APD 5% の大腿周径位の内側方向 12.5% において、内側広筋の測定箇所は、APD 20% の大腿周径位の内側方向 12.5% において、外側広筋の測定箇所は APD 50% の大腿周径位の外側方向 10% において各々算出された部位とした。大腿直筋および中間広筋の測定箇所は APD 50% の直上とした。全ての測定部位はフェルトペンによってマーキングされた (Figure 1)。

4. 大腿四頭筋構造の測定

超音波診断装置 (Prosound2 Hitachi Aloka

Medical, Ltd.) を用いて内側広筋斜頭、内側広筋、大腿直筋、中間広筋および外側広筋の横断像を撮像した。また、大腿直筋、外側広筋における羽状角の測定を行うため、縦断像を撮像した。皮膚に接触する超音波探触子面には超音波用のゼリーを塗布し、皮膚を圧迫することによる筋の変形が生じないように配慮した。測定における対象者の肢位は安静仰臥位とし、リラックスした状態を保ち下肢に力を入れないように指示した。

5. 筋厚、羽状角の測定および筋束長の推定

各測定部位において得られた超音波画像は DICOM 形式で超音波診断装置に保存された後、ポータブル HDD に取り込まれ、オフラインのパーソナルコンピュータ上で画像解析ソフトウェア (Image J 1.45I, National Institutes of Health, US) を用いた解析が行われた (Figure 2)。内側広筋、中間広筋における筋厚は、皮下脂肪組織と筋組織の境界面から筋組織と骨組織までの距離とした。内側広筋斜頭、大腿直筋、外側広筋における筋厚は、皮下脂肪組織と筋組織の境界面から中間広筋との境界面までの距離とした。また、全ての測定部位における筋厚の総和を算出した。大腿直筋、外側広筋における羽状角はそれぞれの筋の深部腱膜と筋束のなす角として分析した (久保ほか,

Figure 2 Muscle thickness and pennation angle

VMO, vastus medialis oblique ; VM, vastus medialis ; RF, rectus femoris ; VI, vastus intermedius ; VL, vastus lateralis ; θ , pennation angle

2003 ; Kumagai et al., 2000 ; Mangine et al., 2014). 各測定部位における筋厚の値は、2回測定された画像データの平均値とした。各測定部位における筋厚および羽状角の再試験信頼度については24時間以上の間隔を空けて実施された（筋厚、内側広筋斜頭：0.91、内側広筋：0.86、大腿直筋：0.92、中間広筋：0.89、外側広筋：0.94、羽状角、大腿直筋：0.93、外側広筋：0.95、 $n=11$ ）。

筋束長は先行研究（久保ほか、2003 ; Kumagai et al., 2000 ; Mangine et al., 2014）に基き、大腿直筋および外側広筋の筋厚と羽状角の値から以下の式を用いて推定した。

$$\text{筋束長} = \text{筋厚} \cdot \sin(\text{羽状角})^{-1}$$

6. 統計処理

各測定項目の値は平均値 $\pm$ 標準偏差で示された。筋厚については、対象者間において身体の高さに関係することなく筋厚を比較する指標として、身体質量^{1/3}に対する筋厚の比（MT/BM^{1/3}比）を算出した（宮谷ほか、2003）。各跳躍方法における跳躍高と大腿四頭筋の構造との関係性および跳躍方法間での関連の有無を明らかにするために相関分析を行い、ピアソンの積率相関係数を求めた。また、月齢と大腿四頭筋の構造の関係性についても同様に相関分析を行った。統計処理はIBM SPSS Statistics 22（IBM SPSS社製）を用いて行われ、いずれの数値も危険率5%未満をもって有意とした。

Table 2 Muscle thickness, pennation angle and fascicle length in the quadriceps femoris

	Muscle Thickness (mm)		MT/BM ^{1/3} ratio (mm/kg ^{1/3})		Pennation Angle (degree)		Fascicle Length (mm)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
VMO	25.1	4.8	6.6	1.0				
VM	35.3	5.1	9.4	1.2				
RF	24.6	3.9	6.5	0.9	11.3	3.0	130.9	31.4
VI	19.3	2.6	5.1	0.6				
VL	25.7	3.4	6.8	0.8	15.3	3.5	102.3	30.2
Total	130.0	14.8	34.5	2.8				

MT, muscle thickness; BM, body mass; VMO, vastus medialis oblique; VM, vastus medialis; RF, rectus femoris; VI, vastus intermedius; VL, vastus lateralis; Total, the total of MT in VMO, VM, RF, VI and VL

Ⅲ 結 果

Table 2 に各測定部位における筋厚の絶対値および身体質量^{1/3}に対する筋厚の比 (MT/BM^{1/3}比) を示した。

1. 跳躍方法間の相関関係

Figure 3 に各跳躍方法における跳躍高の関係性について示した。RJB と VJ, RJS の間には有意な正の相関関係が認められた (VJ, $r=0.713$, $p=0.001$; RJS, $r=0.627$, $p=0.004$)。VJ と RJS の間には有意な相関関係は認められなかった。

2. 跳躍高と筋構造の相関関係

Table 3 に各跳躍方法における跳躍高と各測定部位における筋厚の絶対値, MT/BM^{1/3}比および大腿直筋, 外側広筋における羽状角, 筋束長との関係性について示した。VJ と内側広筋斜頭における筋厚の絶対値の間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.558$, $p=0.013$)。RJB と内側広筋斜頭, 大腿直筋における筋厚の絶対値, 各部位の筋厚の総和および外側広筋における筋束長との間には有意な正の相関関係が認められた (内側広筋斜頭の筋厚, $r=0.538$, $p=0.017$; 大腿直筋の筋厚, $r=0.483$, $p=0.036$; 筋厚の総和, $r=0.539$, $p=0.017$; 外側広筋の筋束長, $r=0.569$, $p=0.011$)。RJS と外側広筋における筋厚の絶対値の間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.536$, $p=0.018$)。VJ, RJB および RJS と全ての測定部位における MT/BM^{1/3}比の間には有意な相

関関係は認められなかった。

3. 月齢と筋構造の相関関係

Table 4 に月齢と筋厚の絶対値, MT/BM^{1/3}比, 大腿直筋, 外側広筋の羽状角および筋束長との関係性について示した。月齢と内側広筋斜頭における筋厚の絶対値および MT/BM^{1/3}比の間には有意な正の相関関係が認められた (絶対値, $r=0.659$, $p=0.002$; MT/BM^{1/3}比, $r=0.511$, $p=0.026$)。月齢と内側広筋斜頭を除く各測定部位における筋厚の絶対値, MT/BM^{1/3}比, 大腿直筋, 外側広筋における羽状角および筋束長の間には有意な相関関係は認められなかった。

Ⅳ 考 察

超音波によって推定された筋量は関節トルクと高い関係性がある (Fukunaga et al., 2001)。膝関節伸展時に発揮されたトルクは跳躍能力を規定する因子であることが報告されている (Rouis et al., 2015)。本研究では、垂直跳びの跳躍高 (VJ) と大腿四頭筋厚の総和との間には有意な相関関係は認められなかった ($r=0.440$, $p=0.059$)。しかしながら、助走を用いた両脚踏切による跳躍の跳躍高 (RJB) との間には有意な相関関係が認められた。また、VJ および RJB と内側広筋斜頭における筋厚の絶対値の間には有意な正の相関関係が認められた。一方で、成人において認められた大腿直筋および外側広筋の筋厚と VJ における跳躍時の速度および跳躍高との関係性 (Dobbs et al., 2015;

Figure 3 Correlation coefficients between height of vertical jump, running jump by both leg and running jump by single leg

VJ, vertical jump : RJB, running jump by both leg : RJS, running jump by single leg

Mangine et al., 2014) は、本研究の対象である中学生のバスケットボール競技者においては認められなかった。内側広筋の遠位に位置する内側広筋斜頭は、荷重時（跳躍の着地や遠心性収縮時）において膝蓋骨を安定させ、膝関節を伸展させる役割を持つ。このことから、内側広筋斜頭は内側広筋の近位部とは異なる機能を有すると考えられている (Toumi et al., 2007)。Toumi et al. (2007) は、跳躍動作における膝関節屈曲角度の変化に伴う内側広筋斜頭および外側広筋の筋活動の変化に関する調査の中で、内側広筋斜頭の筋活動は、伸張性収縮局面（下降局面）における膝関節屈曲（大腿軸の延長線と下腿軸のなす角） $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 、短縮性収縮局面（上昇局面）における膝関節屈曲角度 $40^{\circ} \sim 0^{\circ}$ の範囲で生じることを報告した。また、

この研究では、内側広筋斜頭および外側広筋の筋放電量から、跳躍動作の各局面における筋活動の比率が算出されている。その結果、外側広筋の筋活動の比率は、跳躍の短縮性収縮局面における膝関節屈曲角度 $80^{\circ} \sim 60^{\circ}$ および $60^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の範囲において高値を示した。一方で、内側広筋斜頭の筋活動の比率は、膝関節屈曲角度 $40^{\circ} \sim 20^{\circ}$ および $20^{\circ} \sim 0^{\circ}$ の範囲において高値を示した。この報告から、跳躍動作において、大腿四頭筋を構成する各筋の活動には、膝関節屈曲角度に依存した部位差が存在することが推察される。また、内側広筋斜頭の筋活動は小さい膝関節屈曲角度の範囲において生じる可能性が考えられる。星川ほか (2015) は、跳躍の踏切時における膝関節最大屈曲角度（大腿軸と下腿軸のなす角）は中学生、高校生、大学生

Table 3 Correlation coefficients between each jump performance and muscle architecture (absolute muscle thickness, MT/BM^{1/3} ratio, pennation angle and fascicle length)

	VJ	RJB	RJS
Muscle Thickness			
VMO	0.558*	0.538*	0.288
VM	0.278	0.307	0.166
RF	0.356	0.483*	0.371
VI	0.118	0.142	0.063
VL	0.199	0.450	0.536*
Total	0.440	0.539*	0.384
MT/BM ^{1/3} ratio			
VMO	0.412	0.358	0.151
VM	-0.300	-0.023	-0.053
RF	0.111	0.215	0.191
VI	-0.267	-0.254	-0.192
VL	-0.124	0.109	0.332
Total	0.085	0.174	0.156
Pennation angle			
RF	0.295	0.102	0.099
VL	-0.057	-0.262	-0.030
Fascicle length			
RF	-0.034	0.256	0.255
VL	0.175	0.569*	0.448

*p<0.05

VJ, vertical jump ; RJB, running jump by both leg ; RJS, running jump by single leg

MT, muscle thickness ; BM, body mass

VMO, vastus medialis oblique ; VM, vastus medialis ; RF, rectus femoris ; VI, vastus intermedius ;

VL, vastus lateralis ; Total, the total of MT in VMO, VM, RF, VI and VL

Table 4 Correlation coefficients between age in month and muscle architecture (absolute muscle thickness, MT/BM^{1/3} ratio, pennation angle and fascicle length)

Muscle Thickness						
	VMO	VM	RF	VI	VL	Total
Age	0.659**	0.282	0.050	0.209	0.264	0.424
MT/BM ^{1/3} ratio						
	VMO	VM	RF	VI	VL	Total
Age	0.511*	-0.044	-0.236	-0.171	-0.051	0.043
Pennation Angle			Fascicle Length			
	RF	VL	RF	VL		
Age	-0.051	-0.152	0.063	0.280		

*p<0.05 **p<0.01

MT, muscle thickness ; BM, body mass

VMO, vastus medialis oblique ; VM, vastus medialis ; RF, rectus femoris ; VI, vastus intermedius ;

VL, vastus lateralis ; Total, the total of MT in VMO, VM, RF, VI and VL

の順番に $115.9 \pm 11.9^\circ$, $90.4 \pm 12.4^\circ$, $90.0 \pm 20.1^\circ$ であり, 中学生バスケットボール競技者は, 高校生, 大学生バスケットボール競技者に比べ,

跳躍の踏切時において膝関節の屈曲が小さい特徴があることを報告した. このことから, 跳躍の踏切動作における特徴の差異が, 他の年代に比べて

有意に低い中学生バスケットボール競技者の跳躍高に影響を及ぼすことを示した。これらの先行研究の報告と、本研究で認められた中学生の跳躍能力と内側広筋斜頭の筋厚との相関関係から、跳躍の踏切において他の年代よりも膝関節の最大屈曲角度が小さいという特徴を持つ中学生は、跳躍踏切時の小さい膝関節屈曲角度において筋活動が生じるという機能を有する内側広筋斜頭を動員した跳躍を行った可能性が考えられた。

成人男性を対象とした先行研究において、垂直跳びの踏切で発揮されたパワーと外側広筋および大腿直筋の筋厚との間における有意な正の相関関係が報告されている (Mangine et al., 2014)。本研究では、内側広筋斜頭を除く各測定部位における筋厚の絶対値と VJ との間には有意な相関関係が認められなかった。しかしながら、RJB と大腿直筋の筋厚の絶対値および RJS と外側広筋の筋厚の絶対値の間にはそれぞれ有意な正の相関関係が認められた。また、RJB と外側広筋の筋束長の間には有意な正の相関関係が認められた。Secomb et al. (2015) は、思春期の男女 (14.8 ± 1.7 歳) を対象に、下肢筋群の構造と筋力、筋パワー、伸張性脚スティフネスの関係性について検討し、その結果、外側広筋における筋厚および羽状角と跳躍時に発揮された力の最大値との間には有意な相関関係が認められたことを報告した。また、筋束長は、筋の急速な力発揮および動的活動下での最大パワー発揮との間には重要な関連があり (Cormie et al., 2011)、筋の力-速度関係、力-長さ関係に影響を及ぼすことから、筋束長を測定することにより、筋の力発揮に関する能力を生理学的、生体力学的に評価することが可能となる (Kwah et al., 2013; Timmins et al., 2016)。これらの先行研究から、筋の構造が筋のパワー発揮に及ぼす影響は明らかである。跳躍能力と筋の構造との関係性に関する報告の多くは、垂直跳びのパフォーマンスによるものであり、バスケットボールにおいて頻繁に行われる RJB、RJS と筋の構造との関係性に関する研究はない。RJB と大腿直筋の筋厚の絶対値、外側広筋の筋束長および RJS と外側広筋の筋厚の絶対値の間に認められた相関関係から、助走を用いた跳躍においても、VJ と同様に大腿直筋および外側広筋が影響を及ぼす可能性が示唆

された。

両脚および片脚による跳躍 (スクワットジャンプ、ドロップジャンプ) における大腿四頭筋の筋活動について調査した研究によると、大腿四頭筋の筋活動のパターンは、両脚による跳躍と片脚による跳躍で差異が認められ、片脚接地時における身体重心の外側への変位がこの差異に影響を及ぼした可能性が示されている (Toumi et al., 2007)。また、片脚接地が行われる走パフォーマンスと大腿四頭筋の構造の関係性が多くの先行研究において報告されている (Abe et al., 2001; 池袋ほか, 2011; Kumagai et al., 2000; 吉本ほか, 2012)。本研究では、助走を用いない VJ と RJB の間には有意な相関関係が認められた。一方、VJ と RJS との間には有意な相関関係が認められなかった。また、RJS と外側広筋における筋厚の絶対値との間に認められた相関関係は、VJ および RJB においては認められなかった。これらの結果は、助走の有無や踏切の形態 (片脚、両脚) などの跳躍動作の特徴によるものであり、跳躍動作の違いが跳躍高に関連する筋の部位差に影響を及ぼした可能性が考えられた。

身体のサイズをはじめとする成長の個体差は、誕生月の差異によって生じる (Carling et al., 2009; Hirose, 2009)。本研究は、成長の個体差が顕著である中学生バスケットボール競技者を対象に、大腿四頭筋の部位毎の成長について月齢を用いて検討した。その結果、月齢と内側広筋斜頭の筋厚の絶対値の間には有意な正の相関関係が認められた。男性の膝伸展筋群の筋横断面積は、7 歳から 18 歳まで加齢に伴って増加し、特に 12 歳を境に急激に増加する (金久ほか, 1985)。しかしながら、今日までに大腿四頭筋における成長の部位差については明らかにされていない。本研究の結果から、成長率の高い中学生の年代において、大腿四頭筋の中でも特に内側広筋の遠位部に位置する内側広筋斜頭が増加する可能性が示唆された。

さらに、本研究では身体の大きさに関係することなく筋厚を比較する指標として、身体質量^{1/3}に対する筋厚の比 (MT/BM^{1/3}比) を算出し、月齢との関係性について調査した。その結果、筋厚の絶対値と同様に内側広筋斜頭において有意な正の相関関係が認められた。PHV より遅れて到来する

ヒトの身体質量の増加のピーク (Peak Weight Velocity: PWV) には、筋量の増加が影響を及ぼす (Malina et al., 2004). 身体質量の関与を除外した本研究の結果から、成長の個体差が著しい年代における大腿四頭筋の成長には部位差が存在する可能性が考えられた。

本研究では、一般的な中学生の筋形態については調査を行っていないが、身体の成長が顕著である年代において、競技特異性が筋の成長に影響を及ぼす可能性がある。したがって、一般的な中学生や他年代との比較を横断的に行う必要がある。また、内側広筋斜頭を除く大腿四頭筋の部位には月齢との関係性が認められなかった。中学生年代の前後の年代において測定を実施することで、大腿四頭筋の成長の部位差について明らかになると考えられる。特に、本研究において対象者の発育の段階を示す指標は暦年齢 (月齢) のみであった。成長や成熟が筋の構造の変化に及ぼす影響を明らかにするためには、陰毛発生段階 (Fukunaga et al., 2014) や、骨の成熟度 (Hirose, 2009) といった生物学的成熟度を反映する指標を用いた発育の段階の評価が必要である。発育の段階を生物学的成熟度から評価し、筋の構造との関係性を検討することで、成長に伴う筋の構造の変化を明らかにすることを今後の検討課題とする。

V 結 論

本研究は、身体の成長が著しいとされる中学生のバスケットボール競技者を対象に、大腿四頭筋の構造と跳躍能力および月齢との関係を明らかにすることを目的として横断的に調査を行った。その結果、助走を用いた跳躍と内側広筋斜頭、大腿直筋、外側広筋の筋厚の絶対値および筋束長との間には、先行研究と同様に相関関係が認められた。一方で、中学生の垂直跳びの跳躍高は、内側広筋斜頭の筋厚の絶対値との間においてのみ相関関係が認められた。これらの結果から、跳躍の踏切において他の年代よりも膝関節の最大屈曲角度が小さいという特徴を持つ中学生は、跳躍踏切時の小さい膝関節屈曲角度において筋活動が生じるという機能を有する内側広筋斜頭を動員した跳躍を行った可能性が考えられた。また、中学生の年代

において、内側広筋の遠位部である内側広筋斜頭の筋厚のみに横断的变化が認められたことから、大腿四頭筋の成長には部位差が存在する可能性が示唆された。

文 献

- Abe, T., Fukashiro, S., Harada, Y., Kawamoto, K. (2001) Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters, *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 20, 141-147
- Carling, C., le Gall, F., Reilly, T., Williams, A. M. (2009) Do anthropometric and fitness characteristics vary according to birth date distribution in elite youth academy soccer players? *Scand J Med Sci Sports*, 19, 3-9
- Cormie, P., Prue, C., Michael, R. M., Robert, U. N. (2011) Developing maximal neuromuscular power, *Sports Med*, 41, 125-146
- Dobbs, C. W., Gill, N. D., Smart, D. J., McGuigan, M. R. (2015) Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes, *J Strength Cond Res*, 29, 661-671
- Drinkwater, E. J., Pyne, D. B., McKenna, M. J. (2008) Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players, *Sports Med*, 38, 565-578
- Fukunaga, T., Miyatani, M., Tachi, M., Kouzaki, M., Kawakami, Y., Kanehisa, H. (2001) Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans, *Acta Physiol Scand*, 172, 249-255
- Fukunaga, Y., Takai, Y., Yoshimoto, T., Fujita, E., Yamamoto, M., Kanehisa, H. (2014) Effect of maturation on muscle quality of the lower limb muscles in adolescent boys, *J Physiol Anthropol*, 33, 30
- Giles, L. S., Webster, K. E., McClelland, J. A., Cook, J. (2015a) Atrophy of the quadriceps is not isolated to vastus medialis oblique in individuals with patellofemoral pain, *J Orthop Sports Phys Ther*, 45, 613-619
- Giles, L. S., Webster, K. E., McClelland, J. A., Cook, J. (2015b) Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain? *Phys ther sport*, 16, 45-52

- Hirose, N. (2009) Relationships among birth-month distribution, skeletal age and anthropometric characteristics in adolescent elite soccer players, *J Sports Sci*, 27, 1159-1166
- 星川精豪, 藤田基弘, 広瀬統一 (2015) バスケットボール選手のジャンプ動作の年代別特徴, *トレーニング科学*, 26, 211-219
- 池袋敏博, 久保啓太郎, 岡田純一, 矢田秀昭, 角田直也 (2011) 重量挙げおよび陸上短距離選手における下肢筋群の筋厚と競技成績との関係, *体力科学*, 60, 401-411
- 金久博昭, 福永哲夫, 角田直也, 池川繁樹 (1985) 発育期青少年の単位筋断面積当りの筋力, *体力科学*, 34, 71-78
- 久保啓太郎, 東香寿美, 金久博昭, 久野譜也, 福永哲夫 (2003) 加齢に伴う筋厚, 羽状角および筋束長の変化, *体力科学*, 52, 119-126
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S., Mizuno M. (2000) Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinter, *J Appl Physiol*, 88, 811-816
- Kwah, L. K., Pinto, R. Z., Diong, J., Herbert, R. D. (2013) Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans : a systematic review, *J Appl Physiol*, 114, 761-769
- Mangine, G. T., Fukuda, D. H., LaMonica, M. B., Gonzalez, A. M. (2014) Influence of gender and muscle architecture asymmetry on jump and sprint performance, *J Sports Sci Med*, 13, 904-911
- Malina, R. M., Bouchard, C., Bar-Or, O. (2004) Growth, Maturation, and Physical Activity 2nd. ed., *Human Kinetics*, 137-157
- 宮谷昌枝, 東香寿美, 金久博昭, 久野譜也, 福永哲夫 (2003) 下肢筋厚における加齢変化の部位差および性差—20歳代と70歳代の比較—, *体力科学*, 52, 133-140
- Pliauga, V., Kamandulis, S., Dargeviciute, G., Jaszczanin, J., Kliziene, I., Stanislovaitiene, J., Stanislovaitis, A. (2015) The effect of a simulated basketball game on players' sprint and jump performance, temperature and muscle damage, *J Hum Kinet*, 46, 167-175
- Potteiger, J. A., Lockwood, R. H., Haub, M. D., Dolezal, B. A. (1999) Muscle power and fiber characteristics following 8 weeks of plyometric training, *J Strength Cond Res*, 13, 275-279
- Rouis, M., Coudrat, L., Jaafar, H., Filliard, J. R., Vandewalle, H., Barthelemy, Y., Driss, T. (2015) Assessment of isokinetic knee strength in elite young female basketball players : correlation with vertical jump, *J Sports Med Phys Fitness*, 55, 1502-1508
- Satake, T., Kikuta, F., Ozaki, T. (1993) Ages at peak velocity and peak velocities for seven body dimensions in Japanese children, *Ann Hum Biol*, 20, 67-70
- 佐竹隆 (2006) 発育研究の動向, *体育学研究*, 51, 253-262
- Secomb, J. L., Nimphius, S., Farley, O. R., Lundgren, L. E., Tran, T. T., Sheppard, J. M. (2015) Relationships between lower-body muscle structure and, lower-body strength, explosiveness and eccentric leg stiffness in adolescent athletes, *J Sports Sci Med*, 14, 691-697
- Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., Opar, D. A. (2016) Architectural adaptations of muscle to training and injury : a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness, *Br J Sports Med*, 50, 1-7
- Toumi, H., Poumarat, G., Benjamin, M., Best, T. (2007) New insights into the function of the vastus medialis with clinical implications, *Med Sci Sports Exerc*, 39, 1153-1159
- van der Does, H. T., Brink, M. S., Benjaminse, A., Visscher, C., Lemmink, K. A. (2016) Jump landing characteristics predict lower extremity injuries in indoor team sports, *Int J Sports Med*, 37, 251-256
- Wilhelm, E. N., Rech, A., Minozzo, F., Radaelli, R. (2014) Relationship between quadriceps femoris echo intensity, muscle power, and functional capacity of older men, *Age*, 36, 1113-1122
- 山口明彦, 井上恒志郎, 佐久間邦弘 (2015) 筋と筋力の発達, 子どもと発育発達, 13, 81-86
- 吉本隆哉, 高井洋平, 藤田英二, 福永裕子, 金高宏文, 西蘭秀嗣, 金久博昭, 山本正嘉 (2012) 小・中学生男子の下肢筋群の筋量および関節トルクが走・跳躍能力に与える影響, *体力科学*, 61, 79-88
- (受付 : 2016年7月12日 受理 : 2017年8月25日)

関根 悠太 (せきね ゆうた)

現職：帝京平成大学現代ライフ学部助教

早稲田大学大学院スポーツ科学研究科修士課程修了（スポーツ科学修士）。現在は早稲田大学大学院スポーツ科学研究科博士後期課程に在籍。

若年アスリートの筋形態、内分泌応答および各種体力要素の経年変化に関する研究を推進。成熟度に応じた段階的なトレーニングプログラムおよび傷害予防プログラムの構築を目指す。

アスレティックトレーナー、トレーニング指導者として、トップアスリートの医科学サポートも精力的に行い、研究と臨床の架け橋を実践する。

日本体育協会公認アスレティックトレーナー、認定ストレングス & コンディショニングスペシャリスト (NSCA)。