九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

幼児期から児童期前半の疾走能力および疾走動作に及ぼす下肢筋厚の影響

船津, 京太郎

https://doi.org/10.15017/1441243

出版情報：九州大学, 2013, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

KYUSHU UNIVERSITY

幼児期から児童期前半の疾走能力および疾走動作に及ぼす下肢筋厚の影響

船津　京太郎

幼児期から児童期前半の疾走能力および疾走動作に及ぼす下肢筋厚の影響

Effects of leg muscle thickness on sprint ability and sprint motion from infancy to early childhood

船津　京太郎

Kyotaro Funatsu

2014 年 3 月

もくじ

第一章　序論

1.1 子どもの体力と疾走能力……1

1.1.1 子どもの体力の現状……1

1.1.2 疾走能力の重要性……1

1.2 疾走能力の発達過程とその性差……3

1.2.1 幼児期、児童期の疾走能力の発達……3

1.2.2 思春期以降の疾走能力……4

1.3 下肢筋量の発育過程とその性差……5

1.4 下肢筋量が疾走能力、疾走動作に及ぼす影響……・6

1.4.1 下肢筋量と疾走能力との関係……・6

1.4.2 疾走動作と疾走能力との関係……7

1.4.3 下肢筋量と疾走動作との関係……7

1.5 研究の目的……8

1.6 論文の構成……11

第二章　3～8歳児における下肢筋厚の発育と性差

2.1 序論……13

2.2 方法……15

2.2.1 対象者……15

2.2.2 形態の測定……15

2.2.3 筋厚、皮下脂肪厚の測定……15

2.2.4 統計処理……17

2.3 結果……18

2.3.1 身長、体重、皮下脂肪厚……18

2.3.2 大腿囲、下腿囲……19
2.3.3 大腿部、下腿部の皮下脂肪厚……19
2.3.4 大腿部、下腿部の筋厚……19
2.3.5 下肢筋量の総量に対する各部位の割合（Mt/Tmt 比）……20
2.4 考察……25
2.4.1 身長、体重、BMI、下肢周径囲、皮下脂肪厚……25
2.4.2 下肢筋厚……26
2.4.3 今後の研究課題と展望……28
2.5 結論……29

第三章　3-8 歳児における下肢筋厚と疾走能力との関係
3.1 序論……30
3.2 方法……32
3.2.1 対象者……32
3.2.2 形態の測定……33
3.2.3 筋厚、皮下脂肪厚の測定……33
3.2.4 疾走能力の測定……33
3.2.5 統計処理……35
3.3 結果……36
3.3.1 形態……36
3.3.2 下肢筋厚……36
3.3.3 疾走能力指数……39
3.3.4 下肢筋厚と疾走能力との関係……42
3.3.5 走タイム上位群、下位群の形態、疾走能力、筋厚の差……45
3.3.6 形態と疾走能力との関係……45

3.4 考察……49
3.4.1 下肢筋厚……49
3.4.2 疾走能力の発達……49
3.4.3 下肢筋厚の発育と疾走能力との関係……50
3.5 結論……52

第四章　児童期における下肢筋厚と疾走動作との関係
4.1 序論……54
4.2 方法……57
4.2.1 対象者……57
4.2.2 下肢筋厚の測定……58
4.2.3 疾走動作の撮影、床反力の測定……58
4.2.4 算出項目……61
１）ストライド、ピッチ、スピード……61
２）接地時間、滞空時間、床反力……61
３）関節角度……61
４）関節角速度……61
５）Touch down distance、Release distance、Support distance
の算出……62
６）重心高および疾走中の重心の最低点と最高点の差……62
4.2.5 統計処理……64
4.3 結果……65
4.3.1 下肢筋厚……65
4.3.2 スピード、ストライド、ピッチ……66
4.3.3 運動学的指数、床反力……67

4.3.4 ストライド、ピッチと運動学的指数、床反力および筋厚の
相互関係……67
4.4 考察……70
4.5 結論……73

第五章　総括……77

参考文献……83

謝辞……92

第一章

序論

1.1　子どもの体力と疾走能力

1.1.1　子どもの体力の現状

子どもの身長，体重などの形態は，昔に比べて発育が早期化している．藤井ら[1)]は，1969 年から 1999 年の 30 年間において男女とも年次に伴って身長の発育が早期化し，特に男子において顕著であることを報告している．一方，体力面では平成 22 年度の文部科学省「体力・運動能力調査結果」[2)]によると，青少年における新体力テストの殆どの種目で横ばい傾向から向上傾向に転じたところがみられ，合計点はすべての年代において平成 10～22 年度の中で過去最高になったと報告されている．しかし，平成 23 年度の報告[3)]においても，疾走能力を含む体力・運動能力の推移を長期的に見た場合，体力水準が高かった昭和 60 年代と比較すると依然低い水準であり，形態は早熟であるが体力・運動能力は低い状況が続いている．

子どもの体力・運動能力低下の背景には外遊びのための環境の不足，ゲーム，テレビ，ビデオなどの屋内型遊びの増加が考えられ，いずれも身体活動を減少させる要因となっており，体力・運動能力の低下を引き起こしていると考えられている[4)]．しかし，体力は人間の健全な発達・成長を支え，より豊かで充実した生活を送る上で大変重要であり[5)]，運動能力はスポーツの競技成績に大きな影響を及ぼす．特に児童期に獲得する体力・運動能力はその後の人生における運動習慣を獲得する上でも重要な意味を持つと思われる．したがって，児童期には多くの身体活動を通して体力・運動能力を向上させる必要がある．

1.1.2　疾走能力の重要性

疾走能力を含めた体力・運動能力は，平成 23 年度の「体力・運動能力調査結果」[3)]からも，昭和 60 年代と比較して依然低い状況が続いていることが窺える．しかし，児童期に習得される疾走能力は，その後に習得する種々のスポーツ運動の前提となる重要なものであり，競技スポーツの達成水準を決める重要な基礎的能力

のひとつである[6]．走運動の基本的形態は幼児期に獲得される．児童期に入ると体格や体力の向上につれてストライド（m/歩）が経年的に増大し，疾走能力が著しく発達する[7,8,9]．その疾走能力の発達には形態的な要素と機能的な要素の両方の発達が関与しており[10]，身長などの体型[6]や筋力[11]などの体力の発達に強い影響を受ける（図 1-1）．

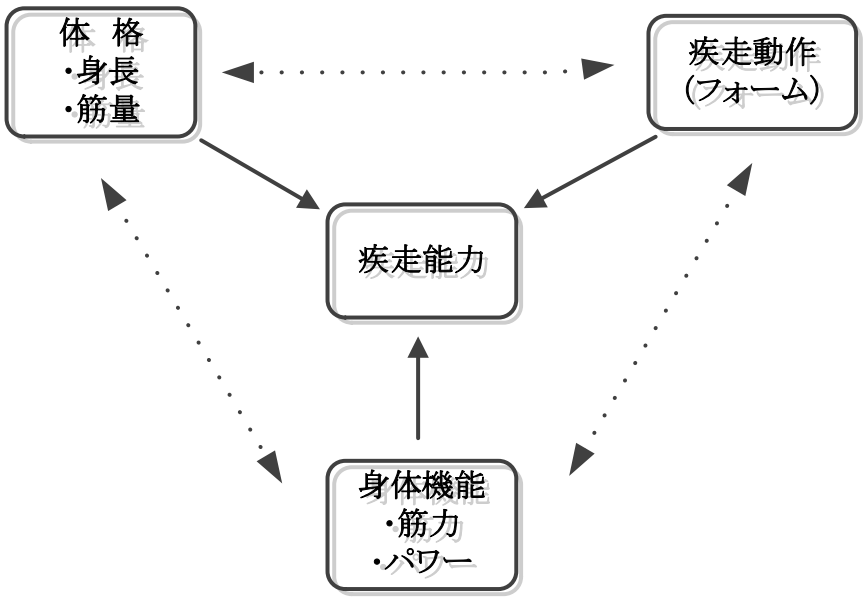


図 1-1　疾走能力の構成

1.2　疾走能力の発達過程とその性差

走運動は，非支持局面を伴うことから，両脚で支持する局面を有する「歩」とは区別される[12]．人間の走運動の始まりは生後 18～24 ヶ月とされており，24 ヶ月ではほとんどの子どもが走運動を獲得する[13]．宮丸[7,14]は誕生から成人に至るまでの疾走能力の発達過程を，①走運動の始まりの段階（生後 17～24 ヶ月），②基本的な走運動形態を獲得する段階（3～6 歳），③形態や機能の向上につれて走能力が発達する段階（6～12 歳），④走能力の性差が顕著になる段階（13 歳～成人）に区分している．以下に，この宮丸の分類に即して幼児期（上記②），児童期（上記③），思春期以降（上記④）の疾走能力の発達過程と性差について述べる．

1.2.1　幼児期，児童期の疾走能力の発達

子どもの疾走能力は，幼児期から児童期にかけて著しい発達を遂げる．種々の報告[6-9,10,15,16]によると，幼児期から児童期の疾走能力の発達は次のように特徴づけられる．生後 24 ヶ月で走運動が出現し，6 歳までに成人に近い疾走動作の形態を獲得する[8]．特に下肢の疾走動作においては，走動作が出現して間もない時期の特徴である膝関節の屈曲・伸展動作の少ない「前後方向へのスイング型」の動作から，屈曲・伸展動作の大きい「回転振動型」の動作へ急激に変容することが幼児期の大きな特徴である[8]．この段階で，走運動の基本的形態（フォーム）はすでに成人に近い水準に達しており，その後は特別な練習がないと大きく変容することはない[8]．

幼児期から児童期にかけての疾走速度の増加は，主にストライドの増大によるものである．疾走速度は 1 歩当たりの移動距離（ストライド：m/歩），1 秒間当たりの歩数（ピッチ：歩/秒），または双方の増大により増加する．先行研究[6-9,10,15,16]によれば，幼児期から児童期にかけてピッチはすでに成人の値と同じ水準に達しており，明確な経年的変化は認められない．一方，ストライドは加齢につれて著

しく増大し，疾走速度の増加はストライドの増大に起因するという見解は一致している．そのストライドの増大には，主に身長の伸びに伴う下肢長の増加が強い影響を与える[10]と考えられている．

以上のように，ストライドは加齢に伴って増大し，疾走能力に大きな影響を与える．しかし，ストライドを身長に対する比率で見た場合，幼児期に顕著な増大が認められるが，児童期に「1」に達した後は顕著な変化はなくほぼ一定の値を示す[8]．また，ストライドの増大には，合理的な疾走動作の獲得，筋力の増加，筋作用機序の改善[13]なども貢献することが示唆されている．

幼児期の疾走能力についての研究は少ない．宮丸の一連の研究[6,9,17]によれば，幼児期の疾走速度は男子が高い傾向にあるが，明確な性差は認められていない[9]．3～7 歳児を対象とした研究[17]では，各年齢でストライドは女子，ピッチは男子がやや大きく，幼児期には疾走能力の性差がある可能性が示唆されている．児童期にあたる 7～12 歳を対象とした研究では[6]，各年齢においてピッチと疾走速度は男子が高い値を示すことから，疾走能力の性差は 7 歳頃から出現し始めると考えられる．また，ストライドには明確な性差は認められず，児童期の疾走速度の性差はおもにピッチの違いによるものと考えられている．しかし，その理由については明らかにされていない．

1.2.2　思春期以降の疾走能力

有川ら[18]は，男子中学生は発育過程により疾走速度に対してストライド，ピッチの関与の程度が異なることを示唆しているが，全体的にみると疾走速度の増大はストライドの増大に起因すると述べており，疾走能力の発達の特徴は児童期と同様と思われる．高校期も中学校期までと同様に疾走速度は加齢と共に増大する．しかし，中学校期までに認められた加齢によるストライドの増大は認められず，疾走速度の増大はピッチの増大によるものである[19]．18 歳～21 歳にかけては，ス

トライドや身長比ストライドが経年的に低下し，思春期までのような疾走速度の経年的増大は認められず，むしろ，経年的に減少する傾向を示す[20]．

一方女子は，中学校 1〜2 年生にかけてストライドは身長の発育に同期して増大するが，ピッチは身長の発育に伴い低下するため，疾走速度に経年的変化は認められない[21]．また，疾走速度，ストライド，ピッチの全ての疾走能力において男子より低い値を示し，性差が明確になる．高校期においては疾走速度，ストライドやその身長比，ピッチのいずれも加齢による増大を示さず，中学校期に比べるとその男女差は一層大きくなる[22]．18 歳〜21 歳にかけては男子と同様にストライドの経年的減少により疾走速度も経年的に減少し，走速度の性差は思春期よりもさらに拡大する[20]．このような疾走能力の性差は，身長や筋量などの形態の発育差，筋力などの身体的機能の発達差が大きな原因と考えられる．

1.3　下肢筋量の発育過程とその性差

筋の量的な発育は発揮される力やパワーにも影響を及ぼし[23]，疾走能力の発達に強い影響を与える．したがって，形態と同様に筋の量的な発育様相を捉え，疾走能力の発達と関連づけることが重要と思われる．多くの研究で，筋の量的指標として，超音波法によって測定した筋横断面積[24-28]や，筋厚[24,26,29-35]が用いられている．それらの研究によると，上肢および下肢の筋量は，出生から 2 年は一生のうちで最も高い増加率を示し[35]，男子は 17，18 歳前後まで，女子は 16，17 歳前後まで加齢とともに増加する[28]．福永ら[28]，金久ら[36]によると，男子の筋横断面積は腕が 7 歳から 17 歳，脚が 7 歳から 18 歳まで加齢と共に増加し，12 歳を境に急激な増加がみられる．それに対し，女子の筋横断面積は腕の屈筋が 7 歳から 12 歳まで，他の筋が 7 歳から 16 歳まで加齢と共に緩やかに増加する[28,36]．女子の筋断面積の増加の割合は男子より低く，筋横断面積における性差は，上肢が 13 歳以後に，下肢が 14 歳以後において顕著となる．

子どもの筋厚を測定した先行研究[26,30,34,35,37]によると，筋厚は加齢とともに増加する．上肢は思春期以前においても，男子は女子よりも高い値を示すという報告[27,37]があるが，思春期前の子どもを対象とした研究に共通していることは下肢筋厚には上肢のような性差は認められないという見解である．しかし，これらの報告は対象者数やその年齢幅の狭さに問題が残っており，思春期前にあたる幼児期から児童期における筋の量的発育や性差については不明な部分が多く，体力や運動能力との関係も明らかにされていない．しかし，疾走能力を含めた体力や運動能力を向上させる至適トレーニングプログラムの作成には，筋の量的な発育過程とその性差や年齢差を十分に考慮する必要である．石田ら[30]は，50ヶ月から79ヶ月（4.2～6.6歳）の幼児の筋厚には性差は認められないと報告しているが，思春期前の子どもの下肢の筋の量的発育を明らかにするにはさらに対象者の年齢幅を広げ，幼児期から児童期前半（小学校低学年）にかけての子どもを対象とする研究が必要である．

1.4　下肢筋量が疾走能力，疾走動作に及ぼす影響

1.4.1　下肢筋量と疾走能力との関係

下肢筋群は，歩行，走行などの基本的な身体活動を行う上で重要な役割を果たす部位であり，疾走能力に対してきわめて重要である．これまで，成人のスプリンターを対象とした研究で，疾走能力（スピード，ストライド，ピッチ）に対する下肢筋群の重要性が指摘されてきた．大腿後部を含む股関節伸筋群は，接地期前半で身体を加速させる際に作用する[38]．特に大腿後部の筋群は立脚相における前方へのドライブの中心的役割を担う筋であり[39]，疾走速度との関連性が高く，スプリント走において最も重要な筋の一つである．また主として疾走中の支持期に働く足関節底屈筋群は，ストライドの増大に貢献し[38]，下腿後部の筋もスプリント走に重要な役割を果たす．また，ジュニアスプリンター（中学生）において

も疾走速度に対して大腿後部などの下肢の筋の重要性が指摘されている[40,41]．しかし，思春期前の子どもにおいては，優れた小学生ランナーは下肢筋力と疾走速度との間に密接な関係があるという報告[42]があるが，下肢の筋の量的発育と疾走能力との関係は明らかにされていない．

1.4.2　疾走動作と疾走能力との関係

一方，疾走動作（フォーム）も疾走能力に対して強い影響を及ぼす．世界一流スプリンターや成人スプリンターの疾走動作とパフォーマンスとの関係がバイオメカニクス的な手法を用いて分析されている．伊藤ら[43,44]は，疾走速度と接地中の脚全体の後方スイング速度が密接な関係にあることを明らかにした．また，幼児期から児童期の子どもを対象として疾走動作が分析されている．疾走動作の基本的形態は 2～6 歳ごろまでに獲得され[8,10,15]，遊脚膝関節がより引き付けられる（遊脚の最小膝関節角度が減少する）ようになり[10]，膝関節の屈曲が大きな疾走動作へと変容する[8]．疾走中の下肢の関節角度のうち，もも上げ角度（最小股関節角度）や膝引き付け角度（最小膝関節角度）は幼児期から成人までほぼ一定の値を示し[10]，児童期に獲得された疾走動作は特別なトレーニングがない限り大きく変容することはない[8]と言われている．しかし，走行タイムの速い子どもの動作特性を検討した研究[45]では，走行タイムの速い群は支持脚の接地時および接地中の膝関節が遅い群と比べてより伸展しており，そのことがストライドの増大に繋がると指摘されている．このような接地時，接地中に膝関節をより伸展させる動作には，膝関節の伸展に必要な筋群が作用することが考えられ，下肢の筋力や筋量と深い関わりがあると思われる．したがって，下肢の筋の量的な発育は疾走動作にも強い影響を与えると考えられる．

1.4.3　下肢筋量と疾走動作との関係

疾走動作は下肢の筋力と密接な関係がある[43,44,46,47]．伊藤ら[43,44]は，疾走速度と接地中の脚全体の後方スイング速度が密接な関係にあることなどを明らかにした．接地中脚スイング速度は股関節の伸展により発揮され[44]，大腿後部を含む股関節伸筋群は，接地期前半で身体を加速させる際に作用する[38]．特に大腿後部の筋群は立脚相における前方へのドライブの中心的役割を担う筋であり[39]，接地中の脚スイング速度に影響を与えると思われる．また，渡邉ら[46]は成人スプリンターの疾走速度，疾走動作，関節トルク，筋力の相互関係を検討し，回復期の股関節や支持期の膝関節および足関節の関節トルクの発揮と，それに引き続き生じる動作には等速性最大筋力が深く関わっていることを報告した．子どもを対象とした例では，加藤ら[42]が優れた小学生男子スプリンターの疾走動作要因の多くは等速性脚筋力との間に有意な相関があることを報告している．

筋量は関節トルクの決定因子[48]であり，その発育は筋力の向上をもたらし，疾走能力の発達に寄与すると考えられる．しかし，子どもを対象として，下肢の筋量と疾走動作との関係を検討した例はない．

1.5　研究の目的

前述のように，児童期に習得される疾走能力は，その後に習得するスポーツ動作の前提となるものであり，競技スポーツの達成水準を決める重要な基礎的能力である．幼児期から児童期にかけて疾走能力は，身長との間に高い相関が認められている．しかし，疾走能力は発揮される力やパワーとも密接な関係があり，力やパワーは筋の量に影響を受ける．幼児期から児童期においても，筋の量的な発育は子どもの疾走能力の発達に大きな影響を与えると思われる．したがって，形態の顕著な発育を伴う児童期は，筋の量的な発育と疾走能力および疾走動作との関係を捉えて運動プログラムを構築することがきわめて重要と思われる．優れた

小学生男子スプリンター（小学 6 年生）は下肢筋力とほとんどの疾走動作要因との間に有意な関係が認められており [42]，疾走動作要因とスピードとの間にも有意な関係が認められている．しかし，児童期における，筋力の決定因子である筋量と疾走能力（スピード，ピッチ，ストライド）との関係は明らかにされていない．さらに，思春期前にあたる幼児期から 8 歳頃にかけての子どもは，多くのスポーツ動作を即座に習得する年齢（9〜12 歳：ゴールデンエイジ）を迎える前の，疾走能力を始めとする基礎的な運動を習得する重要な時期（プレゴールデンエイジ）にあたる [49]．しかし，幼児期から児童期前半までの詳細な筋の発育過程や，筋の発育過程と疾走能力の発達過程との関係は十分に明らかにされていない．

そこで本研究は，3〜8 歳の子どもを対象として，下肢の筋の量的指標である筋の量的発育過程と，疾走能力および疾走動作との関係を明らかにし，思春期前の子どもにおける下肢の筋の量的発育が疾走能力および疾走動作に与える影響とその性差および下肢の各筋群が与える影響の部位差を明らかにすることを目的とした（図 1-2）．

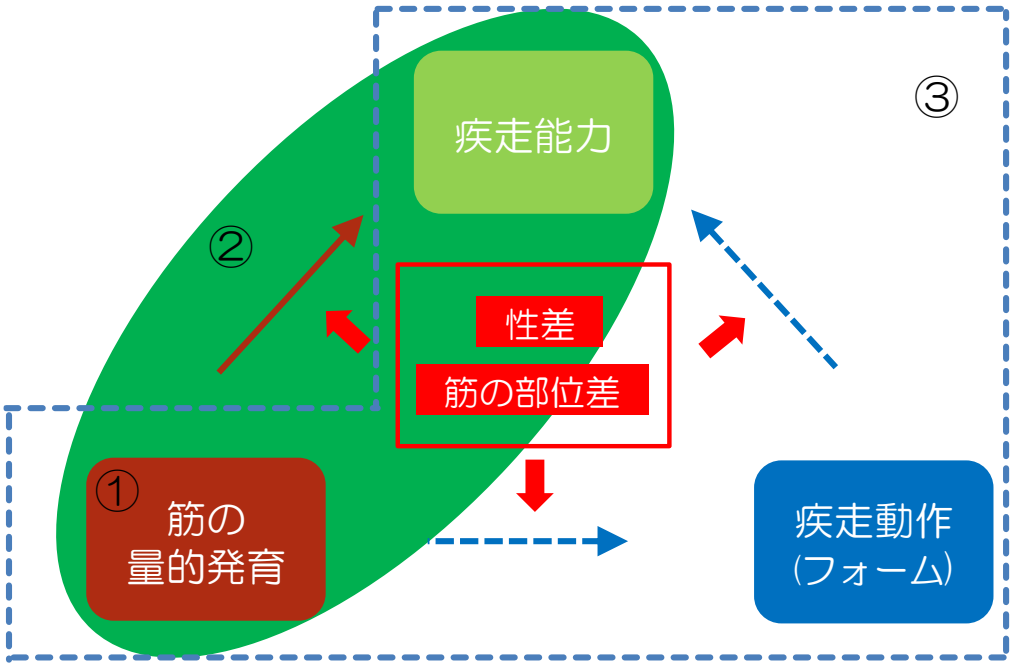


図 1-2　本研究における視点

①：第二章「幼児期から児童期前半における下肢筋厚の発育と性差」
②：第三章「幼児期から児童期前半における下肢筋厚の発育と疾走能力との関係」
③：第四章「児童期における下肢筋厚が疾走動作に及ぼす影響」

1.6　論文の構成

本論文の題目は「幼児期から児童期前半における下肢筋厚の発育が疾走能力および疾走動作に及ぼす影響」である．本論文は全五章により構成された．

第一章では本研究の背景を述べた．冒頭に子どもの疾走能力を含む体力の現状，疾走能力の重要性，および疾走能力の発達過程と性差を述べた．次に，疾走能力は運動を発現する筋との関連が深いため，筋の発育過程とその性差について示した．最後に筋の量的発育と疾走能力，疾走動作との相互関係と研究の目的を述べた．

第二章「幼児期から児童期前半における下肢筋厚の発育と性差」では，幼児期から児童期前半の子どもの下肢の筋厚を測定し，十分に明確にされていなかった思春期前の下肢の筋の量的発育とその性差を明らかにした．

第三章「幼児期から児童期前半における下肢筋厚の発育と疾走能力との関係」では，幼児から児童期前半の子どもの下肢の筋厚と疾走能力（スピード，ストライド，ピッチ）を測定し，下肢の筋の量的発育と疾走能力（スピード，ストライド，ピッチ）との関係を検討した．

第四章「児童期における下肢筋厚が疾走動作に及ぼす影響」では，幼児から児童期前半の子どもの下肢の筋厚と疾走動作の測定を通じ，下肢の筋の量的発育が疾走動作に及ぼす影響を検討した．

第五章「総括」では，第二章から第四章で述べた各研究の要旨，一連の研究から明らかになった点，今後の研究の課題ついて述べた．

なお，第二章は，体力科学，Vol.61(5):479-486（2012）に掲載された「3-8 才児における下肢筋厚の発育と性差」（船津京太郎，村木里志，綱分憲明）に基づいている．

第三章は，体力科学，Vol.62(2):131-139（2013）に掲載された「3-8 歳児にお

ける下肢筋厚の発育と疾走能力との関係」（船津京太郎，村木里志，綱分憲明）に基づいている．

第四章は体力科学，Vol.62(5):365-373（2013）に掲載された「児童期における下肢筋厚が疾走動作に及ぼす影響」（船津京太郎，村木里志）に基づいている．

第二章

3～8歳児における下肢筋厚の発育と性差

Growth and gender differences of lower limb muscle thickness in children aged between 3 and 8 years old.

2.1　序論

子どもにおける身長，体重などの形態は，1969 年から 1999 年の 30 年間において男女とも年次に伴って身長の発育が早期化し，特に男子において顕著である[1)]．一方，体力面では平成 22 年度の文部科学省「体力・運動能力調査結果」[2)]によると，青少年における新体力テストの殆どの種目で横ばい傾向から向上傾向に転じたところがみられ，合計点はすべての年代において平成 10～22 年度の中で過去最高になったと報告されている．しかし，体力・運動能力の推移を長期的に見た場合，体力水準が高かった昭和 60 年代と比較すると依然低い水準であり，形態は早熟であるが体力は低い状況が続いている．子どもの体力の低下の背景には外遊びのための環境の不足，あるいはゲーム，テレビ，ビデオなどの屋内型遊びの増加が考えられ，いずれも子どもたちの身体活動量を減少させる要因となっており，結果的に体力低下を引き起こしていると考えられている[4)]．このように，定量的運動能力の測定を通して子どもの体力について論じた例[50,51)]は多い．しかし，体力は運動を発現する筋の量や機能との関連が深く，また，筋の量的な発達は発揮される力やパワーにも影響を及ぼす[23)]．したがって，形態と同様に筋の量的な発育様相を捉え，体力の発達と関連づけることが重要と思われる．また，下肢筋群は，歩行，走行などの基本的な身体活動を行う上で重要な役割を果たす部位であり，その発育様相を知ることは運動プログラムを作成する上できわめて重要であると考えられる[52)]．しかし，筋の量的な発育と体力との関係についての報告は少ない．

近年では超音波法を用いて筋の量的指標である筋厚を測定した例[29-33)]が多くみられ，その妥当性も確認されている[34,53)]．超音波法を用いて子どもの筋厚を測定した例では，Heckmatt et al.[35)]が，0-12 歳の子どもの大腿四頭筋の筋厚を測定し，筋厚は年齢と共に増加するが，それぞれの年齢において男女差はなかったと報告している．しかし各年齢性別の対象者が 5 名から 21 名であり，対象者数のばらつきとその数に問題が残されている．また，子どもにおける上肢，下肢の特定

の筋の筋厚は体重がコントロールされていれば，年齢，身長，性は筋厚に対して有意な影響をもたないとする報告[26]もあるが，同様に対象者数において課題が残されていると思われる．さらに近年では石田ら[30]が，生後 50 ヶ月から 79 ヶ月の幼児を対象とし，皮下脂肪厚，筋厚を測定し，皮下脂肪厚は上腕後部，腹部，大腿前部において女児が有意に高く，筋厚は月齢とは有意な正の相関があるものの男女差はなかったことを報告している．しかし，その報告の中でより大きな年齢幅を持つ被験者群を対象とした研究の必要性が述べられている．

これらの幼児期，児童期の子どもを対象とした研究に共通しているのは，骨格筋の量的指標である筋厚は年齢と共に増加し，性差はみあたらないという見解である．しかし，これらの報告は前述のように被験者数やその年齢幅に問題が残っており，幼児期から児童期における筋の量的発育や性差については不明な部分が多い．したがって，骨格筋の量的発育変化における性差や部位差を明らかにするにはより多くの年齢幅を持つ被験者群を対象にした研究が必要と思われる．特に，思春期前の子どもの筋の量的発育は明らかにされていない．

そこで本研究においては 3-8 歳の幼児・児童を対象として，過去の研究[26,30,35]よりも各年齢各性の対象者数と年齢幅を広げ，形態，および超音波法により下肢の脂肪厚，筋厚を測定し，特に筋厚に着目し思春期前にあたる幼児期から児童期前半にかけての下肢の筋の量的発育変化と性差，部位差を明らかにすることを目的とした．

2.2　方法

2.2.1　対象者

本研究の対象者は 3 歳から 8 歳の幼児，児童である．私立 J 幼稚園に在籍する園児 188 名,総合型地域スポーツクラブ L のキッズスポーツ教室に通う幼児 17 名，幼児を対象として北九州市と総合型地域スポーツクラブ L との協働で行った運動教室に参加した幼児 83 名，近隣の小学校に通う児童 1 ～3 年生が 273 名，計 561 名であった．各年齢群は 3 歳が男児 46 名，女児 41 名，4 歳が男児 49 名，女児 42 名，5 歳が男児 47 名，女児 41 名，6 歳が男児 42 名，女児 41 名，7 歳が男児 44 名，女児 49 名，8 歳が男児 56 名，女児 63 名であった（表 2-1）．尚，本研究は長崎県立大学倫理委員会の承認を得た．また，測定に先立って対象者の保護者に対し，書面をもって本研究の目的，測定の方法，安全性の説明を行い，同意書を得た．

2.2.2　形態の測定

形態は身長，体重，大腿囲，下腿囲の 4 項目の測定を行った．周径囲（大腿囲，下腿囲）の測定点は大腿部が大転子点より大腿長の遠位 50%，下腿部は脛骨点より下腿長の遠位 30%とした．また得られた身長，体重のデータから body mass index(BMI)を算出した．周径囲は左右肢に対して測定を行い，平均値を算出した．

2.2.3　筋厚，皮下脂肪厚の測定

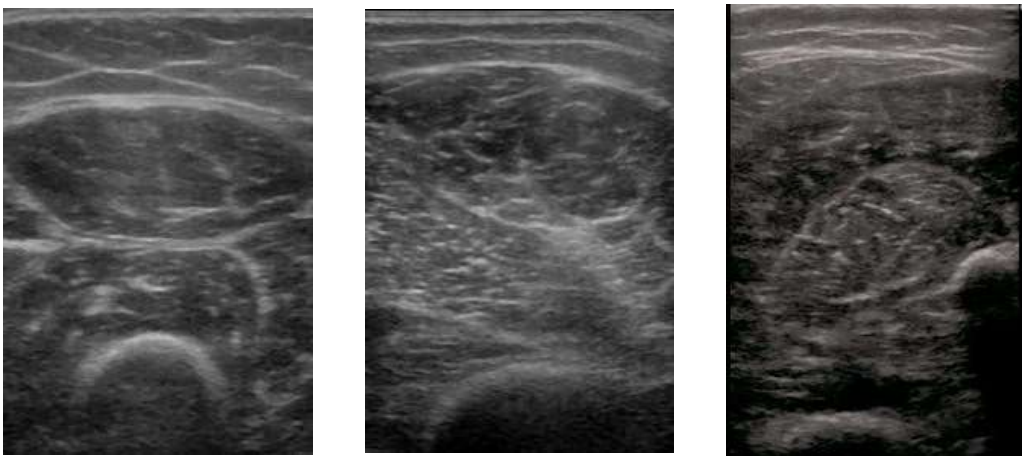
筋厚，脂肪厚は B モード超音波診断装置（SSD-900 ALOKA 社製）を用いて大腿前部，大腿後部，下腿後部の測定を行った（図 2-1）．測定時の超音波発振周波数は 7.5MHz であった．測定点は周径位と同様に大腿部が大転子点より大腿長の遠位 50%，下腿部は脛骨点より下腿長の遠位 30%とした．測定姿勢は，周径囲は立位，筋厚，脂肪厚は大腿前部は仰臥位，大腿後部は伏臥位とした．得られた超音波画像の皮膚から皮下脂肪と筋の境界を示す反射波までの距離を皮下脂肪厚とし，皮下脂肪

と筋の境界から，大腿では大腿骨まで，下腿では脛骨までを筋厚として測定した．筋厚の撮影は右肢についてのみ実施した．また，筋厚については各年齢群における部位別の量的な割合を比較するため，3 ケ所の筋厚の合計値（Tmt）に対する各部位の割合（以下 Mt/Tmt 比）を算出した．Mt/Tmt 比が高い値を示すことは，他の部位と比べて発育量が多いことを示す．

表 2-1　対象者の各年齢群の月齢と平均年齢

		年齢（歳）					
		3	4	5	6	7	8
	月齢（月）	36-47	48-59	60-71	72-83	84-95	96-107
男児	N	46	49	47	42	44	56
	平均±S.D.	3.5±0.3	4.4±0.3	5.4±0.3	6.6±0.3	7.5±0.3	8.5±0.3
女児	N	41	42	41	41	49	63
	平均±S.D.	3.6±0.3	4.4±0.3	5.6±0.3	6.5±0.3	7.5±0.3	8.5±0.3

平均値±標準偏差



大腿前部　　大腿後部　　下腿後部

図 2-1　下肢筋群の超音波画像

2.2.4　統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した．統計処理は IBM SPSS Statistics Version 19 を用い，年齢別の形態，周径囲，筋厚，皮下脂肪厚のデータに対し年齢と性を要因とした二元配置分散分析を行い，主効果，交互作用の有無を確認した．有意な性の主効果，または年齢×性の交互作用が認められた項目についてはスチューデントの t 検定を用い，各年齢群の性差の有意差検定を行った．また，全ての男女児毎のデータに対し，年齢を要因とする一元配置分散分析を行い，有意な年齢の主効果が認められた場合には Scheffe テストにより隣接する年齢間の差の検定を行った．有意水準はいずれも 5%未満とした．

2.3　結果

2.3.1　身長，体重，皮下脂肪厚

表 2-2 に身長，体重，BMI の測定結果を示す．身長，体重には有意な年齢の主効果がみられ，年齢が上がるにつれ高い値を示した．身長には有意な性の主効果も認められ，6 歳群において男児が有意に高い値を示した．BMI に有意な年齢の主効果が認められ，男児は 5 歳群，女児は 4 歳群が最も低い値を示し，それ以上の年齢群においては年齢が上がるにつれ高い値を示した．

表2-2　各年齢，性別の身体的特性

		年齢（歳）							ANOVA		
		3	4	5	6	7	8	Total	年齢	性	Int
身長	男児	96.9±4.6	102.6±4.1	108.6±5.0	116.6±5.0	122.3±5.5	127.4±4.6	112.7±11.9	P<0.01	P<0.05	NS
(cm)	女児	96.9±4.0	100.9±4.5	109.1±4.5	114.4±4.4*	121.6±5.1	126.4±5.2	113.0±11.8			
体重	男児	14.8±1.8	16.5±2.2	18.0±2.2	21.7±4.0	24.2±4.3	27.3±4.5	20.6±5.6	P<0.01	NS	NS
(kg)	女児	14.8±1.4	15.8±2.1	18.6±2.5	20.3±2.6	23.9±3.8	27.1±5.5	20.7±5.7			
BMI	男児	15.7±1.1	15.6±1.5	15.3±1.6	15.9±1.8	16.1±2.0	16.8±2.4	15.9±1.8	P<0.01	NS	NS
(kg/m2)	女児	15.7±1.1	15.5±1.1	15.6±1.4	15.5±1.2	16.1±1.8	16.9±2.5	15.9±1.8			

平均値±標準偏差
性差： *p<0.05　Int：交互作用

2.3.2　大腿囲，下腿囲

図 2-2 に大腿囲，下腿囲の測定結果を示す．双方とも有意な年齢の主効果が認められ，年齢が上がるにつれ高い値を示した．また，大腿囲には有意な性の主効果も認められ，3，5 歳群で女児が有意に高い値を示した．隣接する年齢間では，大腿囲は男児は 7-8 歳群，女児は 4-5 歳群，6-7 歳群および 7-8 歳群の間に有意差が認められた．下腿囲には有意な性の主効果は認められず，男児の 5-6 歳群，7-8 歳群，女児の 4-5 歳群，6-7 歳群，および 7-8 歳群の間に有意差が認められた．

2.3.3　大腿部，下腿部の皮下脂肪厚

図 2-3 に大腿部，下腿部の皮下脂肪厚の測定結果を示す．大腿部，下腿部の全ての部位に有意な年齢の主効果と性の主効果が認められ，男児は 5 歳群，女児は 4 歳群で最も低い値が認められ，それ以上の年齢では女児の大腿前部，下腿後部を除き年齢が上がるにつれ高い値を示した．また，大腿前部は 6 歳群を除いて，大腿後部は 5，7，8 歳群で，下腿後部では 5 歳群で女児が有意に高い値を示した．なお，5 歳女児の皮下脂肪厚が高い値を示したことから，対象者の所属の影響を検証するため 3，4，5 歳児を幼稚園群とスポーツクラブ群（総合型スポーツクラブ所属群および運動教室参加群）に分類し，各部位の皮下脂肪厚に対し年齢，性，所属を要因とした三元配置分散分析を行った．その結果，各部位に有意な所属の主効果および交互作用は認められなかった．

2.3.4　大腿部，下腿部の筋厚

図 2-4 に大腿部，下腿部の筋厚の測定結果を示す．大腿前部，大腿後部，下腿後部の全ての部位に有意な年齢の主効果が認められ，男児の大腿前部を除けば年齢が上がるにつれ高い値を示した．また，大腿前部に有意な性の主効果と年齢×性の交互作用が認められ，4 歳群を除けば女児が男児よりも高い値を示し，5，7，

8 歳群で有意差が認められた．更に，大腿後部にも有意な年齢×性の交互作用が認められ，3，5 歳群を除いて男児が高い値を示し，7 歳群で有意差が認められた．また下腿後部には有意な性の主効果，交互作用は認められなかった．隣接する年齢間では大腿前部における男児の 5-6 歳群，大腿後部における男児の 5-6 歳群，6-7 歳群，女児の 4-5 歳群，下腿後部における男児の 5-6 歳群，女児の 4-5 歳群の間に有意差が認められ，男児は全ての部位に共通して 5 歳群と 6 歳群の間に，女児は大腿前部を除いて 4 歳群と 5 歳群の間に有意差が認められた．

2.3.5　Mt/Tmt 比

図 2-5 に Mt/Tmt 比を示す．全ての部位に有意な性の主効果と年齢×性の交互作用が認められた．大腿前部は 4 歳群を除き女児が高い値を示し，6，7，8 歳群で有意差が認められ，女児は一定の値を示すのに対し男児は 4 歳群から 7 歳群まで年齢が上がるにつれ低い値を示していた．大腿後部では 3，5 歳群を除き男児が高い値を示し，6，7 歳群で有意差が認められた．女児は大腿後部も大腿前部と同様に一定の値を示すが，男児は 7 歳まで年齢が上がるにつれ高い値を示していた．下腿後部には有意な年齢の主効果は認められず,有意な年齢×性の交互作用が認められ，8 歳群で男児が有意に高い値を示した．

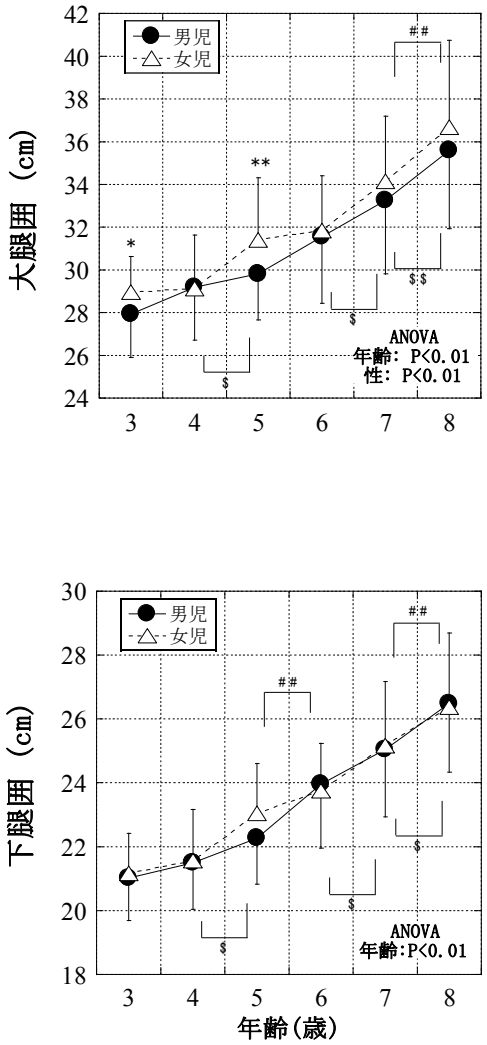


図 2-2　大腿囲，下腿囲の年齢変化
性差 ： *p<0.05, **p<0.01
年齢差:男児；#p<0.05, ##p<0.01,
女児；$P<0.05, $$P<0.01

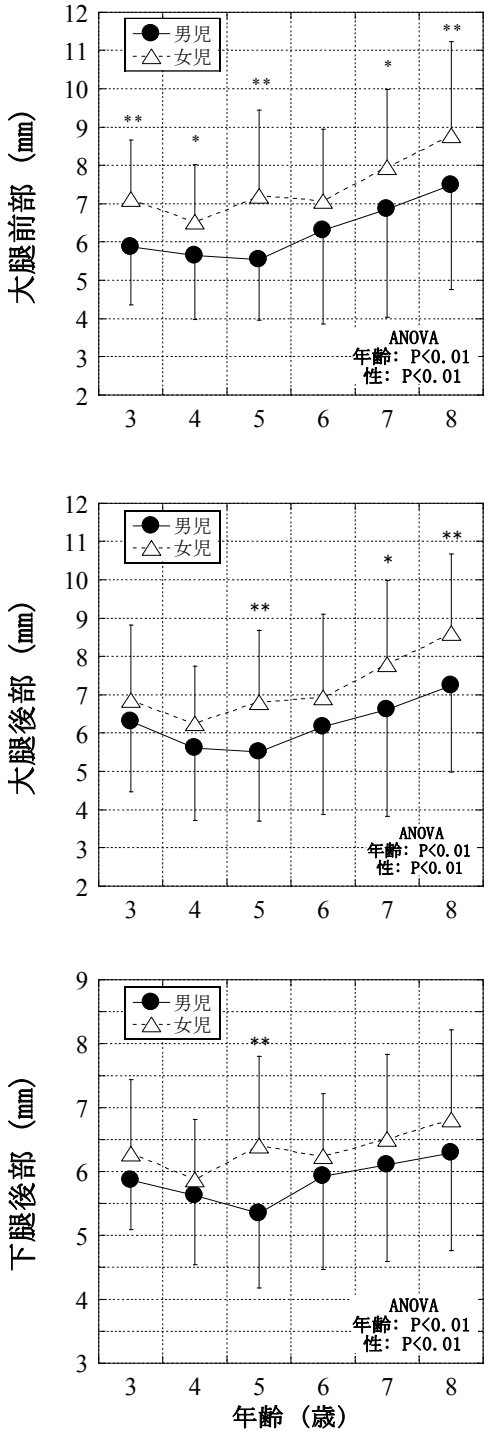


図 2-3 皮下脂肪厚の年齢変化
性差：*p<0.05，**p<0.01

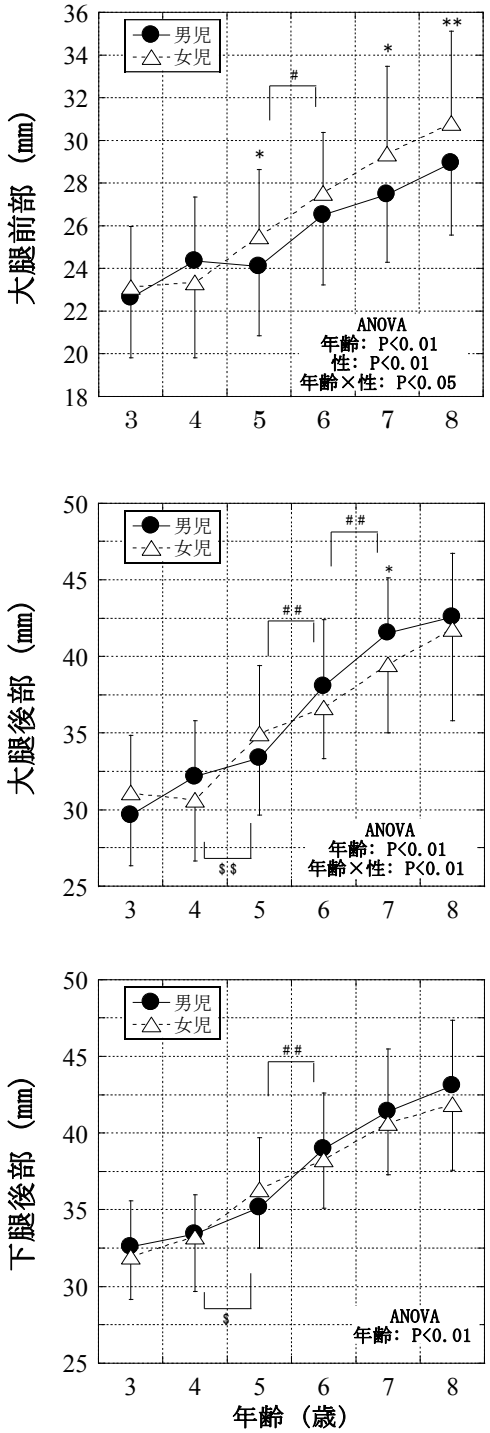


図 2-4　下肢筋厚の年齢変化
性差：*p<0.05, **p<0.01
年齢差：男児；#p<0.05, ##p<0.01,
女児；$P<0.05, $$P<0.01

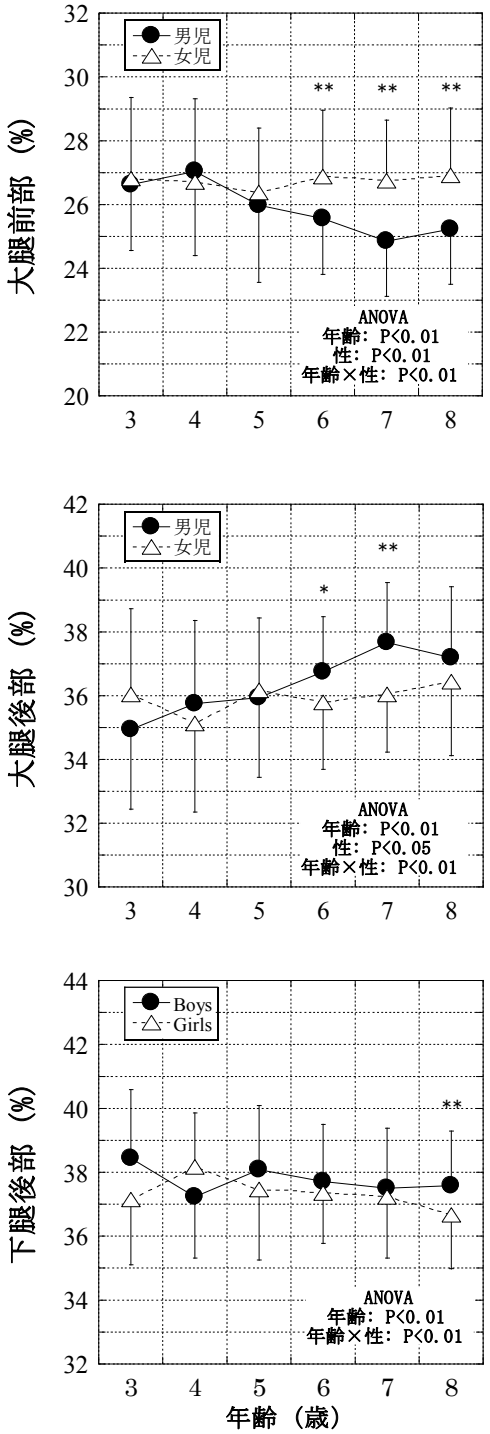


図 2-5　Mt/Tmt 比の年齢変化
性差：*p<0.05, **p<0.01

2.4　考察

2.4.1　身長，体重，BMI，下肢周径囲，皮下脂肪厚

本研究における身長，体重の測定値は種々の報告 [54-56] とほぼ同程度を示した．また，男女ともに年齢が上がるにつれ高い値を示した．また，身長には性の主効果が認められ，6 歳群において男児が有意に高い値を示した．一方，BMI には男女間ならびに隣接する年齢間に有意差は認められなかったが，男女ともに 3 歳から低下をみせ，5 歳でリバウンドしていた（表 2-2）．このような 6 歳前後でみられる BMI のリバウンド現象は Adiposity rebound として定義されている [57]．増田と小宮 [58]，中尾ら [59]は 5 歳児を最下点とする Adiposity rebound がみられたことを報告しており，本研究はそれらの報告を支持する結果となった．

大腿囲，下腿囲は年齢が上がるにつれ直線的に高い値を示し，大腿囲には性の主効果が認められ，女子が高い値を示した．一方，下腿囲には性差は認められなかった（図 2-2）．また，周径囲を構成する要素の一つである皮下脂肪厚は全ての部位に有意な性の主効果が認められ，女児が高い値を示し性差が認められた（図 2-3）．さらに，皮下脂肪厚の変化は BMI と類似していた．増田と小宮 [58]は，BMI rebound は SFM（皮下脂肪量）が関与していると指摘しており，本研究で認められた BMI のリバウンドは皮下脂肪厚が関与していると考えられる．また，本研究の大腿囲における性差は女児の高い皮下脂肪厚が影響していると思われる．

Taylor et al.[60]は本研究と同じ年齢幅の男女 40 人の体脂肪率を測定し，女児が有意に高い値を示したことを報告している．また，乙木ら [61]は同じ BMI の 3-6 歳の子どもを対象として身体組成およびその性差を検討し，男女間では総体脂肪量や体脂肪率に有意な差はないものの皮下脂肪厚はほとんどの年齢で女児が有意に高かったことを報告してしている．本研究においても BMI に性差は認められず，大腿部と下腿部の皮下脂肪厚は乙木ら [61]と同様に女児が有意に高い結果となった．これらのことから，幼児期から児童期前半における下肢の皮下脂肪厚には性差が

存在することが示された.

2.4.2　下肢筋厚

石田ら[30]は本研究と同じ部位の筋厚を測定しているが,対象者の年齢幅は 50-79 ヶ月（4.2-6.6 歳）である．その年齢幅においては，下肢の筋厚は月齢と有意な正の相関を示しており，年齢が上がるにつれ高い値を示している．しかし，石田ら[30]や Heckmatt et al.[35] の報告では有意な性差，部位差は認められていない．さらに，Scholten et al.[26]は，子どもの筋厚は体重と密接な関係があり，体重がコントロールされていれば年齢，身長，性は筋厚に有意な影響を与えるものではないと指摘している.

本研究は石田ら[30]の研究より年齢幅を広げ,3-8 歳までを対象とした.その年齢幅では下肢の筋厚は男女児ともに全ての部位に有意な年齢の主効果が認められ，石田ら[30]と一致する．部位別では，大腿前部では 4 歳群を除けば女児が高い値を示した．一方，大腿後部は大腿前部とは対照的に 3，5 歳群を除けば男児が女児より高い値を示した（図 2-4)．熊川と角田[62]は 10 歳から 22 歳までの男女スピードスケート選手の大腿部の筋厚を横断的に測定しているが，大腿前部の筋厚に性の主効果や年齢×性の交互作用は認められていない．しかし，14 歳以下の全ての年齢群では本研究と同様に女子が高い値を示しており，男子が女子より高い値を示すのは 15 歳以上の年齢群である．また，大腿後部には性の主効果が認められ男子が有意に高い値を示しており，本研究と一致する．これらのことから，本研究の年齢幅における大腿部の筋の量的発育には性差が存在すると思われる.

下腿後部筋厚には性差は認められなかった（図 2-4)．Tanner et al.[37]は，X 線を用いた 3-18 歳を対象とした測定から,11 歳以前においては下腿部の筋厚に性差はなかったことを報告している．また，Kanehisa et al.[27]は日本人の 4 つのグループ（7-9 歳，10-12 歳，13-15 歳，16-18 歳）を対象として下腿部の筋断面積を

測定しているが，7-9 歳，10-12 歳では性差は認められておらず，13-15 歳以降に明白な性差が出現することを報告しており，本研究における筋厚の測定結果と一致する．下腿部は大腿部と異なり，幼児期から児童期にかけては筋厚の性差が現れにくいことが示唆される．

筋厚においては男児 5-6 歳群，女児 4-5 歳群の差が顕著であり，差が現れる時期に男女児間に 1 年程度のずれが生じていた（図 2-4）．身長における横断的発育データの中で，出生から思春期急増開始年齢まで，発育速度の減少が続く過程で僅かな速度の上昇が指摘されたスパート事象は mid‐growth-spurt(MGS)と呼ばれている[63]．MGS については様々な報告[1,63-67]があるが，Bock[65]は思春期にみられる発育スパートの以前にも男女ともに発育速度が一時的に上昇する時期があることを指摘している．その時期は，男児が 4 歳を過ぎてから始まり 7 歳でピークを迎え，女児は 4 歳以前から始まり 6 歳以前でピークを迎えている．さらに，先行研究[64,66,67]では,MGS は男子より女子が早い時期に出現することが示されている．Molinari et al.[67]は，MGS は，骨格の一時的な発育割合の増加によるものと述べているが，脂肪や筋組織の発育にも一時的な発育割合の上昇期が存在する可能性を示している．近年では，藤井ら[1]が幼児期に身長，体重の一時的な発育速度が上昇する時期が存在し，そのピーク時期は男女間に差があることを示している．さらに,体重の発育ピーク時期は男児は 5 歳,女児は 4.3 歳であったと述べている．これらのことから，本研究の筋厚にみられた男児 5 歳群と 6 歳群，女児 4 歳群と 5 歳群にかけての年齢差と，差が生じる時期の男女差には，体重の増加に関与する筋の一時的な発育速度の上昇と，その出現時期が反映された可能性がある．

部位別の筋の量的割合の指標である Mt/Tmt 比は，大腿前部では女児は各年齢群で一定の値を示すのに対し，男児は年齢の主効果が認められ，4 歳群を境に低下する傾向にあった．一方，大腿後部も女児は大腿前部と同様に一定の値を示すが，男児は年齢の主効果が認められ，年齢が上がるにつれ増加する傾向にあった．し

かし，下腿後部においては男児，女児とも大腿部と比較して一定の割合を示している（図 2-5）．このことから，本研究の対象者の年齢幅では女児は下肢筋群の部位が異なっても相対的発育量が一定であるのに対し，男児は児童期前半に大腿前部の発育量が減少し，大腿後部の発育量が増加する可能性が示唆された．また，これは大腿部筋厚において男児が大腿後部，女児が大腿前部に高い値が認められた原因と思われる．池袋ら [52)] は男性の中学生から成人に至るまで，下肢筋群においては発育に伴う体重の 1/3 乗当たりの筋厚の変化には筋群や協働筋の中にも差があることを報告しており，思春期以降は筋により成長スピードが異なることを示唆している．また，金久ら [25)] は，身長を X とし，身長を基準とする種々の筋の筋断面積を Y として，その関係をアローメトリー式 $Y=bX^a$ の係数 a から検討し，筋は幾何学的に相似形で発育していないことを示している．本研究においても男児の下肢筋厚には発育の部位差がみられ（図 2-4，2-5），第 2 次性徴期以前にも筋の量的発育速度の部位差が存在すると考えられる．

2.4.3　今後の研究課題と展望

本研究において，大腿部筋厚に性差が認められた．児童期は，日常生活における活動量は男女間で差が認められる [51)] ことから，大腿部筋厚における性差（男女差）の原因は，内在的に備わっている発育の性差だけでなく，日常生活での下肢の筋群に与える負荷量の差が考えられる．また，下肢の筋は代表的な運動能力の一つである疾走能力に大きく影響する．その一方で疾走能力には性や年齢による違いがみられる [9)]．これらのことから，下肢筋厚の発育と疾走能力との関係を明らかにする必要がある．

2.5　結論

本研究は 3 歳から 8 歳までの子どもを対象とし，幼児期から児童期前半にかけての形態，および下肢の筋の量的発育変化の性差，部位差を明らかにすることを目的とした．その主な結果は以下の通りである．

１）下肢の皮下脂肪厚は女児において有意に高い値を示し，性差が認められた．

２）下肢筋厚には有意な年齢の主効果が認められ，年齢と共に増加した．

３）大腿部筋厚は，児童期前半において男児は大腿後部，女児は大腿前部でより高い値が観察され，発育の性差が認められた．

４）下肢筋厚の部位別の発育量は，女児は全ての部位において一定の割合で発育するのに対し，男児は児童期前半から大腿前部の相対的発育量が低下し，大腿後部の相対的発育量が増加することが示され，男児の下肢筋群の間には発育の部位差が存在した．

５）下肢筋厚において，男児 5-6 歳，女児 4-5 歳にかけての発育量が他の隣接する年齢間のそれより大きかった．したがって，幼児期における筋の量的な発育に男女間に 1 年程度のずれが生じることが示唆された．

謝辞

本研究の一部は科学研究費（NO.23650435，NO24500687）の助成を受けたものである．

第三章

3～8歳児における下肢筋厚と疾走能力との関係

Relationship of leg muscle thickness to sprint abilities in children aged between 3 and 8 years old

3.1　序論

疾走能力は代表的な運動能力の要素のひとつである．幼児期に走運動の基本的形態が獲得され，児童期に入ると体格や体力の向上につれてストライド（m/歩）が経年的に増大し，疾走能力が著しく発達する[7-9]．児童期に習得される疾走能力は，その後に習得する種々のスポーツ運動の前提となる重要なものであり，競技スポーツの達成水準を決める重要な基礎的能力のひとつになる[6]．その疾走能力の発達には形態的な要素と機能的な要素の両方の発達が関与しており[10]，身長[6]や筋力[11]などの体型および体力の発達に強い影響を受ける．

その疾走能力の発達過程をみると，幼児期にあたる 2 歳から 6 歳前後にかけては身長の発育に伴い疾走速度は著しく増加[6,8,15]，成人に近い疾走動作の基本的形態を獲得する．基本的形態の獲得以降は，疾走速度の増加はピッチ（歩/秒）の増大によるものではなく，ストライドの増大に起因し[15]，ストライドの増大は身長[15]や下肢長[10]の伸びに影響される．児童期においては，身長比ストライドは「1」に達した後は顕著な変化はなくほぼ一定の値を示すが，ストライド自体は加齢に伴って増大し，疾走能力は形態の経年変化に強い影響を受ける[8]．

一方，筋の量的指標である筋横断面積や筋厚は身長の発育に伴って増大する[25,68]．幼児期から思春期前にあたる 3 歳から 8 歳の男女児の下肢筋厚は加齢と共に増大することが報告されており[69]，福永ら[28]の報告も考慮すると，下肢の筋量は男子は 17，18 歳頃まで，女子は 16，17 歳頃までは経年的に増大する．このような筋の量的発達は発揮される力やパワーを高め[23,70]，疾走能力の発達にもつながる．斉藤と伊藤[10]はストライドの増大に作用する因子の一つとして筋力を挙げ，加藤ら[42]は優れた疾走能力を持つ小学生は，形態が大きく脚筋力が高いことを指摘している．さらに，吉本ら[71]は，小学生では体重当たりの下肢筋量が走速度に影響する因子のひとつであることを報告している．このように児童期の疾走能力と脚の筋量ならびに筋力には密接な関係があることが多くの研究により指摘されている．

前述のように幼児期から児童期にかけて疾走能力は著しく発達するが，身長と同様に筋の量的発育も疾走能力に大きな影響を与えると思われる．超音波画像による先行研究[26,30,34,35]では，思春期前の子どもの下肢の筋厚には明確な性差は認められていない．しかしながら，思春期前の子ども（3〜8 歳）を対象とした第二章の研究[69]では，下肢筋厚（大腿前部，大腿後部，下腿後部）の発育には性差や部位差が存在した．よって，疾走能力に対する筋の量や筋厚の寄与度は年齢，性，筋の部位によって異なる可能性がある．しかし，思春期前にあたる幼児から児童期前半の発育過程における筋の量的な発育と疾走能力との関係について触れた研究はほとんどなく，明らかにされていない点が多い．形態の顕著な発育発達を伴う幼児期から小学校期前半においては筋の量的な発育を捉え，疾走能力と関連付けることが運動プログラムを作成する上できわめて重要と思われる．

そこで本研究では，3〜8 歳の子どもを対象として，思春期前における下肢の筋の量的指標である筋厚と疾走能力との関係を検討し，筋の量的発育が疾走能力に与える影響と，その男女差，部位差を明らかにすることを目的とした．

3.2　方法

3.2.1　対象者

対象者は 3 歳から 8 歳の幼児，児童であり，第二章の研究[69]の対象者の中で疾走能力指標を計測した者を抽出した．私立Ｊ幼稚園に在籍する園児，総合型地域スポーツクラブＬのキッズスポーツ教室に通う幼児，幼児を対象として北九州市と総合型地域スポーツクラブＬとの協働で行った運動教室に参加した幼児，近隣の小学校に通う児童１〜3 年生，計 514 名であった．各年齢群の人数を表 3-1 に示す．測定に先立って対象者の保護者に対し書面をもって本研究の目的,測定の方法,安全性の説明を行い，同意書を得た．尚，本研究は長崎県立大学倫理委員会の承認を得た．

表 3-1　対象者の各年齢群の月齢と平均年齢

		年齢（歳）					
		3	4	5	6	7	8
	月齢（月）	36-47	48-59	60-71	72-83	84-95	96-107
男児	N	42	42	41	42	43	56
	年齢（歳）	3.5±0.3	4.4±0.3	5.4±0.3	6.6±0.3	7.5±0.3	8.5±0.3
女児	N	36	35	35	36	45	61
	年齢（歳）	3.6±0.3	4.4±0.3	5.6±0.3	6.6±0.3	7.5±0.3	8.5±0.3

平均値±標準偏差

3.2.2　形態の測定

身長，体重の測定を行った．得られた身長，体重のデータから body mass index(BMI)を算出した．

3.2.3　筋厚，皮下脂肪厚の測定

下肢の筋厚，皮下脂肪厚は B モード超音波診断装置（SSD-900 ALOKA 社製）により測定した.測定時の超音波発振周波数は 7.5MHz であった.測定部位は大腿前部(MTa)，大腿後部（MTp)，下腿後部（MTC）である．測定点は大腿部が大転子点より大腿長の遠位 50%，下腿部は脛骨点より下腿長の遠位 30%とした．測定姿勢は，周径囲は立位，筋厚，脂肪厚は大腿前部は仰臥位，大腿後部および下腿後部は伏臥位とした．得られた超音波画像の皮膚から皮下脂肪の筋の境界を示す反射波までの距離を皮下脂肪厚とし，皮下脂肪と筋の境界から，大腿では大腿骨まで，下腿では脛骨までを筋厚として測定した．筋厚の撮影は右肢のみ実施した．

また，筋厚については各部位（MTa，MTp，MTC）の合計値（MTtot）と部位別の量的な割合として MTtot に対する各部位の筋厚の割合（MTtot 比）を算出した．

3.2.4　疾走能力の測定

幼児はK女子大学の,小学生は所属する小学校の体育施設にて25m走の撮影を行い，スタンディングスタート姿勢から 30m まで全力で走ることを指示した．撮影は有川ら[72)]の方法により，ハイスピードカメラ（CASIO ExilimEX-F1）を用い，毎秒 300 フレームで撮影区間の側方 25m 地点からスタートからゴールまでをパンニング撮影した（図 3-1)．撮影した画像は画像解析ソフト Frame-DIAS for windows Ver.3 を用い，100Hz でコマ送り再生し，5m 毎（区間Ⅰ～Ⅴ）の区間記録，ピッチ，ストライド（絶対値，身長比）を算出した．それらの指標から 25m の平均速度，平均ストライド，平均ピッチを求めた．最高速度（速度が最大となる区間の速度：MaxV)，最高ピッチ（区

間ピッチの最高値：MaxFR)，最大ストライド（区間ストライドの最高値：MaxST)，身長比最大ストライド（MaxST/Ht）を算出した．さらに，走タイム（25ｍのタイム）の上位群と下位群の各指標の差を検討するため，各学年性別の上位半数を上位群，下位半数を下位群とした．

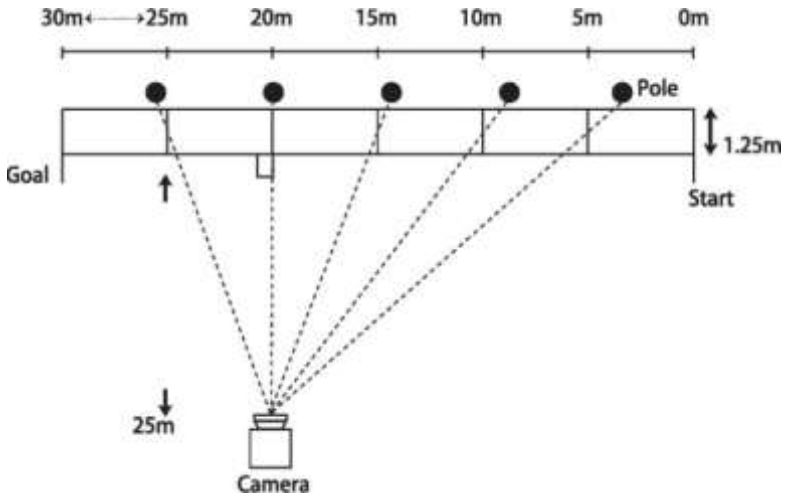


図 3-1 疾走能力の測定方法

3.2.5　統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した．統計処理は IBM SPSS Statistics Version　19 を用い，年齢別の形態，筋厚，疾走能力指標のデータに対し年齢と性を要因とした二元配置分散分析を行った．有意な性の主効果，または年齢×性の交互作用が認められた項目については，各年齢群の男児と女児の平均値の差をスチューデントの t 検定を用いて有意差検定を行った．男女児毎のデータに対し，年齢を要因とする一元配置分散分析を行い，有意な年齢の主効果が認められた場合には Scheffe テストにより年齢間の差の検定を行った．疾走能力指標と下肢筋厚の各計測値，および身長，体重と走タイムとの関係を Pearson の積率相関分析を行った．また，走タイム上位群と下位群の形態，筋厚指標，疾走能力指標は対応のない t 検定により差の検定を行った．有意水準はいずれも 5%未満とした．

3.3　結果

3.3.1　形態

身長，体重，BMI の測定結果と二元配置分散分析の結果を表 3-2 に示す．身長，体重の測定値は種々の報告[56,73]とほぼ同数値を示した．身長，体重は年齢が上がるにつれ高い値を示し，BMI は，男児は 5 歳群，女児は 6 歳群が最も低い値を示した．

3.3.2　下肢筋厚

大腿部，下腿部の筋厚の測定結果を表 3-3 に示す．MTa，MTp，MTC，MTtot には年齢の主効果が認められ，年齢が上がるにつれ増加していた．身長比は MTp/Ht，MTtot/Ht に年齢の主効果が認められ，同様に増加する傾向が認められた．MTtot 比は MTa/MTtot，MTp/MTtot に年齢の主効果が認められ，女児は一定の値を示すのに対し，男児は MTa/MTtot が低下し，MTp/MTtot が増加する傾向が認められた．

表 3-2　各年齢，性別の身体的特性

		年齢（歳）						ANOVA		
		3	4	5	6	7	8	年齢	性	Int
身長	男児	96.7±4.5	102.5±4.1	108.6±4.9	116.6±5.0*	122.3±5.6	127.4±4.5	P<0.01	P<0.05	NS
(cm)	女児	96.5±4.0	101.1±4.5	109.2±4.5	114.3±3.9	121.5±5.2	126.5±5.2			
体重	男児	14.8±1.7	16.6±2.3	18.1±2.2	21.7±4.0	24.0±4.2	27.3±4.5	P<0.01	NS	NS
(kg)	女児	14.6±1.4	15.9±1.9	18.7±2.6	20.1±2.1	24.0±3.9	27.4±5.4			
BMI	男児	15.8±1.0	15.7±1.5	15.3±1.7	15.9±1.8	16.0±1.9	16.8±2.4	P<0.01	NS	NS
(kg/m^2)	女児	15.7±1.0	15.5±1.0	15.6±1.4	15.4±1.1	16.2±1.8	17.0±2.4			

平均値±標準偏差
性差：*p<0.05　Int：交互作用

表 3-3　各年齢群の下肢筋厚

		年齢（歳）						ANOVA		
		3	4	5	6	7	8	年齢	性	Int
MTa	男児	22.7±2.8	24.7±3.5	24.4±3.2	26.5±3.3	27.5±3.2	28.9±3.4	P<0.01	P<0.01	NS
(mm)	女児	23.3±2.7	23.7±4.5	26.1±4.0	27.7±2.8	29.4±4.1	31.0±4.2			
MTp	男児	29.6±3.3	32.4±3.8	33.0±3.5	38.1±4.4	41.5±3.6	42.6±4.2	P<0.01	NS	P<0.01
(mm)	女児	30.8±3.6	31.0±3.9	35.9±5.3	36.7±3.1	39.8±4.4	42.1±5.7			
MTC	男児	32.6±3.0	33.5±2.6	35.2±2.6	39.0±3.6	41.5±4.1	43.1±4.3	P<0.01	NS	P<0.1
(mm)	女児	32.0±2.8	33.9±4.0	37.1±4.0	38.2±3.2	40.7±3.5	42.1±4.1			
MTtot	男児	84.9±7.3	90.6±7.4	92.5±7.1	103.6±9.9	110.6±9.1	114.6±10.0	P<0.01	NS	NS
(mm)	女児	86.1±7.0	88.6±10.4	99.1±11.4	102.5±7.1	109.9±10.5	115.3±12.4			
MTa /Ht	男児	23.4±2.8	24.1±3.4	22.5±3.0	22.7±2.4	22.5±2.4	22.7±2.6	NS	P<0.01	NS
(mm/m)	女児	24.1±3.0	23.5±4.3	24.0±3.6	24.3±2.5	24.3±3.4	24.5±3.0			
MTp /Ht	男児	30.6±3.0	31.6±3.6	30.4±3.5	32.6±3.1	34.0±3.0	33.4±3.2	P<0.01	NS	P<0.01
(mm/m)	女児	31.7±3.5	30.8±3.4	32.8±4.5	32.1±2.5	32.7±3.2	33.2±3.7			
MTC /Ht	男児	33.7±2.8	32.7±2.6	32.4±2.4	33.4±2.5	34.0±3.1	33.8±3.3	NS	NS	P<0.1
(mm/m)	女児	33.1±2.9	33.6±3.6	34.0±3.4	33.4±2.8	33.5±2.7	33.3±2.6			
MTtot /Ht	男児	87.8±6.3	88.5±7.2	85.2±6.9	88.8±6.5	90.4±6.8	90.0±7.6	P<0.05	P<0.05	NS
(mm/m)	女児	88.9±7.2	87.9±9.2	90.8±9.8	89.8±6.0	90.5±8.0	91.0±7.7			
MTa /MTtot	男児	26.7±2.1	27.3±2.7	26.3±2.3	25.6±1.8	24.9±1.7	25.2±1.7	P<0.01	P<0.01	P<0.01
(%)	女児	27.1±2.5	26.6±2.7	26.3±2.1	27.0±2.0	26.7±2.0	26.9±2.0			
MTp /MTtot	男児	34.9±2.5	35.7±2.8	35.5±2.3	36.7±1.7	37.6±1.8	37.2±2.2	P<0.01	P<0.1	P<0.05
(%)	女児	35.7±2.6	35.1±3.0	36.2±2.8	35.8±1.9	36.2±1.8	36.5±2.3			
MTC /MTtot	男児	38.4±2.2	37.1±2.1	38.1±2.0	37.7±1.8	37.6±1.9	37.6±1.7	P<0.1	P<0.05	P<0.01
(%)	女児	37.3±2.1	38.3±1.9	37.5±2.1	37.2±1.6	37.1±1.9	36.6±1.7			

平均値±標準偏差
MTa：大腿前部筋厚； MTp：大腿後部筋厚； MTC：下腿後部筋厚； MTtot：下肢筋厚の合計値
Int：交互作用

3.3.3　疾走能力指数

25m の平均スピード，平均ストライド，平均身長比ストライド，平均ピッチを図 3-2 に示す．全ての項目に有意な年齢の主効果が認められ，平均スピード，平均ストライド，平均身長比ストライドは年齢が上がるにつれ増大していた．平均ピッチは男女とも 4 歳群で最高値を示し，年齢が上がるにつれ低下していた．平均ピッチは女児に有意な年齢の主効果が認められ，3 歳群と 4，5 歳群，4 歳群と 8 歳群，5 歳群と 8 歳群との間に有意差が認められた．

疾走能力指数（最大値）の測定値を表 3-4 に示す．走タイム，MaxV には有意な年齢の主効果が認められ，走タイムは年齢が上がるにつれ短縮し，MaxV は増大していた．さらに有意な性の主効果も認められ，全ての年齢群で男児が高い値を示し，走タイムでは 7 歳群，MaxV では 7，8 歳群で男児が有意に高い値を示した．

MaxST，MaxST/Ht にも有意な年齢の主効果が認められ，年齢が上がるにつれ増大していた．MaxST/Ht には有意な性の主効果も認められ，6，8 歳群で女児が有意に高い値を示した．MaxFR には有意な年齢の主効果が認められ，男児は 4 歳群，女児は 5 歳群で最大値を示し，それ以上の群では年齢が高いほど低い値を示した．さらに MaxFR には性の主効果が認められ 5，8 歳群を除き男児が有意に高い値を示した．

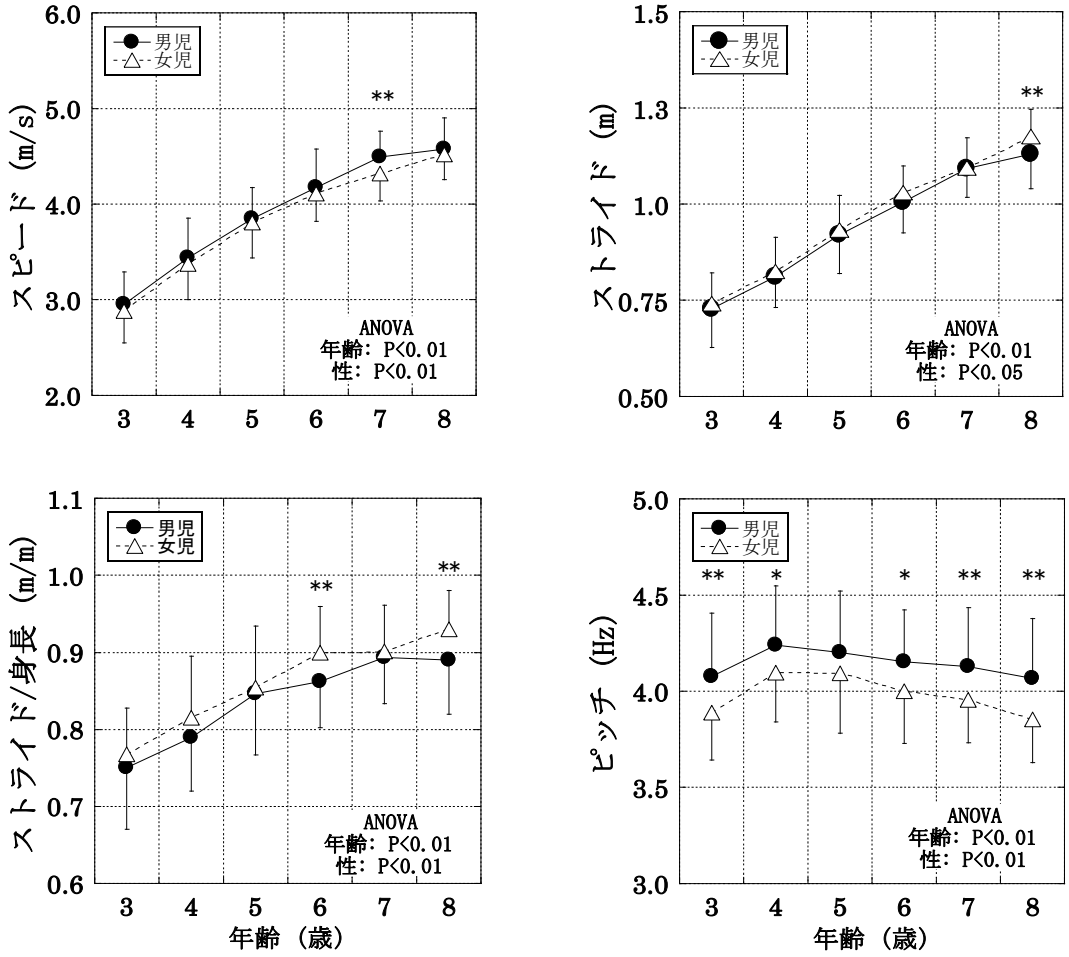


図 3-2　疾走能力指標（平均値）の年齢変化

性差:*P<0.05; **P<0.01

表 3-4　各年齢群の疾走能力指標（最大値）

			年齢（歳）						ANOVA		
			3	4	5	6	7	8	年齢	性	Int
Rec	男児	平均値	8.59	7.39	6.54	6.05	5.58**	5.49	P<0.01	P<0.05	NS
		標準偏差	1.03	1.00	0.55	0.61	0.33	0.40			
	女児	平均値	8.78	7.50	6.63	6.11	5.81	5.54			
		標準偏差	1.03	0.82	0.75	0.46	0.39	0.33			
MaxV	男児	平均値	3.24	3.78	4.28	4.70	5.10**	5.22**	P<0.01	P<0.01	NS
		標準偏差	0.41	0.46	0.38	0.50	0.38	0.44			
	女児	平均値	3.18	3.70	4.22	4.60	4.87	5.13			
		標準偏差	0.39	0.46	0.44	0.36	0.36	0.36			
MaxST	男児	平均値	0.80	0.89	1.02	1.13	1.26	1.30	P<0.01	NS	NS
		標準偏差	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.11			
	女児	平均値	0.81	0.90	1.04	1.15	1.23	1.34			
		標準偏差	0.09	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10			
MaxST/Ht	男児	平均値	0.82	0.87	0.94	0.97*	1.03	1.02**	P<0.01	P<0.05	NS
		標準偏差	0.10	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08			
	女児	平均値	0.83	0.89	0.95	1.01	1.01	1.06			
		標準偏差	0.08	0.10	0.09	0.07	0.07	0.07			
MaxFR	男児	平均値	4.28**	4.45*	4.43	4.36**	4.32**	4.22	P<0.01	P<0.01	NS
		標準偏差	0.34	0.33	0.36	0.29	0.31	0.33			
	女児	平均値	4.05	4.27	4.29	4.17	4.12	4.04			
		標準偏差	0.26	0.28	0.37	0.28	0.23	0.26			

Rec：走タイム(S)； MaxV：最大スピード(m/s)； MaxST：最大ストライド(m)；
MaxFR：最大ピッチ(Hz)
性差： *p<0.05; **P<0.01　Int：交互作用

3.3.4　下肢筋厚と疾走能力との関係

疾走能力指標と下肢筋厚との関係をそれぞれ表 3-5，3-6 に示す．走タイムと有意な負の相関が認められたのは，男児 6 歳群の MTa，MTp，女児 3 歳群の MTC，4 歳群の MTp，MTp/Ht，MTC，6 歳群の MTp，MTp/Ht，7 歳群の MTp であった．他の疾走能力指標と筋厚との関係は，男児では 3 歳群の MTp と MaxV，MaxST，MaxST/Ht，MTC と MaxST との間に，5 歳群の MTC と MaxV，MaxST，MaxST/Ht との間に，6 歳群の MTp と MaxV，MTC と MaxV,MaxST との間に有意な正の相関が認められた.さらに 7 歳群の MTC と MaxV，MaxST との間に有意な正の相関が認められた．尚，男児の 4 歳群と 8 歳群では筋厚と疾走能力指標との間には有意な関係は認められなかった.

女児では全ての年齢群において筋厚と疾走能力指標との間に何かしらの相関関係が認められた．3 歳群では MTa/Ht と MaxFR，MTC と MaxST/Ht との間に，4 歳群では MTp および MTp/Ht と MaxV，MaxST，MaxST/Ht との間に，5 歳群では MTC と MaxV との間に，6 歳群では MTp と MaxV，MaxST との間に，7 歳群では MTp と MaxV，MTC と MaxV，MaxST との間に，8 歳群では MTp と MaxST との間に有意な正の相関が認められた.

表3-5　疾走能力と下肢筋厚指標との間の単純相関係数（男児）

	MTa	Mta /Ht	MTp	MTp /Ht	MTC	MTC /Ht	MTtot	MTtot /Ht	Mta /MTtot	MTp /MTtot	MTC /MTtot
	(mm)	(mm/m)	(mm)	(mm/m)	(mm)	(mm/m)	(mm)	(mm/m)	(%)	(%)	(%)
3歳											
Rec	0.01	-0.20	-0.30	-0.11	-0.17	0.07	-0.20	0.07	0.25	-0.22	0.01
MaxV	0.05	-0.16	**0.34** *	0.13	0.20	-0.08	0.26	-0.05	-0.21	0.22	-0.05
MaxST	0.13	-0.16	**0.42** **	0.13	**0.34** *	-0.03	**0.38** *	-0.02	-0.22	0.19	-0.01
MaxST/Ht	0.03	-0.18	**0.31** **	0.11	0.24	-0.02	0.26	-0.04	-0.23	0.17	0.03
MaxFR	-0.16	0.01	-0.15	0.03	-0.23	-0.02	-0.22	0.01	0.00	0.04	-0.05
4歳											
Rec	0.11	0.17	-0.06	0.02	-0.18	-0.06	-0.04	0.07	0.16	-0.04	-0.16
MaxV	-0.03	-0.11	0.16	0.06	0.24	0.07	0.16	0.01	-0.15	0.08	0.08
MaxST	-0.12	-0.27	0.27	0.08	0.22	-0.08	0.16	-0.12	-0.28	0.24	0.05
MaxST/Ht	-0.16	-0.21	0.26	0.17	0.19	0.05	0.12	0.00	-0.30	0.26	0.04
MaxFR	0.09	0.14	-0.09	-0.01	0.17	0.27	0.05	0.16	0.09	-0.20	0.14
5歳											
Rec	-0.24	-0.08	-0.08	0.11	**-0.46** **	-0.19	**-0.33** *	-0.06	-0.08	0.23	-0.17
MaxV	0.24	0.09	0.03	-0.14	**0.42** **	0.17	0.29	0.04	0.12	-0.28	0.18
MaxST	0.10	-0.09	0.11	-0.11	**0.44** **	0.12	0.28	-0.03	-0.09	-0.11	0.23
MaxST/Ht	0.05	0.00	0.13	0.06	**0.37** *	0.28	0.23	0.14	-0.13	-0.04	0.19
MaxFR	-0.04	0.04	-0.29	-0.17	**-0.34** *	-0.20	-0.29	-0.15	0.19	-0.14	-0.06
6歳											
Rec	**-0.31** *	-0.22	**-0.32** *	-0.21	-0.27	-0.13	**-0.34** *	-0.23	-0.09	-0.06	0.15
MaxV	**0.32** *	0.21	**0.32** *	0.19	**0.31** *	0.15	**0.36** *	0.22	0.08	0.03	-0.11
MaxST	0.27	0.10	0.23	0.02	**0.38** *	0.14	**0.33** *	0.10	0.04	-0.12	0.08
MaxST/Ht	0.05	0.02	-0.04	-0.10	0.10	0.06	0.04	-0.02	0.05	-0.17	0.11
MaxFR	0.04	0.10	0.11	0.19	-0.13	-0.09	0.01	0.09	0.06	0.23	-0.28
7歳											
Rec	0.03	0.04	0.05	0.07	-0.25	-0.25	-0.08	-0.08	0.10	0.27	**-0.35** *
MaxV	0.08	0.06	0.04	0.00	**0.31** *	**0.31** *	0.18	0.16	-0.04	-0.28	**0.31** *
MaxST	0.19	0.09	0.20	0.04	**0.33** *	0.21	0.30	0.14	0.00	-0.18	0.18
MaxST/Ht	0.00	0.08	0.08	0.17	0.14	0.25	0.09	0.21	-0.08	-0.05	0.13
MaxFR	-0.14	0.04	-0.22	0.02	-0.19	0.02	-0.22	-0.03	0.03	0.01	-0.03
8歳											
Rec	-0.08	-0.03	-0.08	-0.02	-0.13	-0.07	-0.12	-0.05	0.01	0.03	-0.05
MaxV	0.14	0.09	0.13	0.06	0.16	0.10	0.17	0.10	0.03	-0.04	0.02
MaxST	0.00	-0.10	0.08	-0.05	-0.02	-0.15	0.02	-0.12	-0.03	0.10	-0.10
MaxST/Ht	-0.08	-0.06	-0.03	-0.01	-0.12	-0.10	-0.09	-0.07	-0.01	0.08	-0.10
MaxFR	0.08	0.14	-0.04	0.03	0.17	0.24	0.08	0.17	0.04	-0.19	0.21

MTa：大腿前部筋厚； MTp：大腿後部筋厚； MTC： 下腿後部筋厚； MTtot：下肢筋厚の合計値
Rec：走タイム（s)；MaxV：最大スピード（m/s)；MaxST：最大ストライド（m)；MaxFR：最大ピッチ（Hz)
*p<0.05; **P<0.01

表3-6　疾走能力と下肢筋厚指標との間の単純相関係数（女児）

	MTa	Mta /Ht	MTp	MTp /Ht	MTC	MTC /Ht	MTtot	MTtot /Ht	Mta /MTtot	MTp /MTtot	MTC /MTtot
	(mm)	(mm/m)	(mm)	(mm/m)	(mm)	(mm/m)	(mm)	(mm/m)	(%)	(%)	(%)
3歳											
Rec	-0.10	0.07	-0.22	-0.05	**-0.35** *	-0.13	-0.29	-0.04	0.10	0.00	-0.13
MaxV	0.06	-0.10	0.14	-0.02	0.21	0.01	0.18	-0.05	-0.06	-0.01	0.08
MaxST	-0.08	-0.28	0.26	0.04	0.34	0.06	0.24	0.24	-0.28	0.14	0.18
MaxST/Ht	-0.07	-0.20	0.21	0.07	**0.34** *	0.16	0.22	0.02	-0.25	0.08	0.21
MaxFR	0.31	**0.37** *	-0.19	-0.10	-0.03	0.10	0.02	0.02	**0.39** *	**-0.36** *	-0.04
4歳											
Rec	-0.27	-0.23	**-0.51** **	**-0.46** **	**-0.38** *	-0.31	**-0.45** **	**-0.40** *	0.00	-0.09	0.14
MaxV	0.20	0.14	**0.47** **	**0.41** **	0.29	0.21	**0.37** *	0.30	-0.04	0.14	-0.15
MaxST	0.31	0.26	**0.56** **	**0.52** **	0.30	0.22	**0.46** **	**0.40** *	0.05	0.16	-0.32
MaxST/Ht	0.23	0.27	**0.39** *	**0.47** **	0.17	0.24	0.31	**0.39** *	0.09	0.10	-0.27
MaxFR	-0.18	-0.18	0.01	0.02	0.06	0.07	-0.05	-0.05	-0.25	0.08	0.22
5歳											
Rec	-0.11	0.00	0.00	0.12	-0.27	-0.12	-0.13	0.01	-0.01	0.18	-0.23
MaxV	0.16	0.05	0.11	-0.01	**0.34** *	0.19	0.22	0.08	-0.03	-0.10	0.17
MaxST	0.01	-0.12	0.08	-0.05	0.23	0.07	0.12	-0.04	-0.17	-0.01	0.19
MaxST/Ht	-0.08	-0.10	-0.07	-0.09	0.11	0.09	-0.02	-0.04	-0.14	-0.08	0.25
MaxFR	0.21	0.24	-0.04	-0.03	0.05	0.09	0.07	0.11	0.31	-0.18	-0.06
6歳											
Rec	-0.11	-0.08	**-0.36** *	**-0.35** *	-0.18	-0.14	-0.28	-0.24	0.13	-0.21	0.10
MaxV	0.06	-0.01	**0.39** *	0.31	0.18	0.08	0.27	0.16	-0.19	0.26	-0.08
MaxST	0.05	-0.05	**0.42** *	0.32	0.19	0.06	0.29	0.13	-0.22	0.30	-0.10
MaxST/Ht	0.04	0.08	0.24	0.32	0.11	0.16	0.17	0.24	-0.12	0.17	-0.06
MaxFR	0.04	0.07	0.10	0.16	0.05	0.11	0.09	0.15	-0.03	0.04	-0.01
7歳											
Rec	-0.10	0.00	**-0.37** *	-0.28	-0.28	-0.12	-0.29	-0.15	0.18	-0.27	0.07
MaxV	0.09	0.00	**0.35** *	0.27	**0.31** *	0.18	0.28	0.17	-0.20	0.23	-0.01
MaxST	0.12	-0.01	0.29	0.14	**0.41** **	0.21	**0.30** *	0.12	-0.17	0.04	0.14
MaxST/Ht	0.03	0.08	0.04	0.11	0.22	**0.32** **	0.10	0.19	-0.07	-0.13	0.19
MaxFR	0.07	0.10	0.17	0.23	-0.08	-0.03	0.07	0.12	0.05	0.24	-0.28
8歳											
Rec	-0.22	-0.16	-0.21	-0.16	-0.21	-0.12	-0.24	-0.18	-0.06	-0.03	0.12
MaxV	0.18	0.11	0.21	0.15	0.19	0.09	0.22	0.15	0.02	0.07	-0.12
MaxST	0.22	0.07	**0.30** *	0.18	0.22	0.01	**0.29** *	0.12	-0.02	0.17	-0.21
MaxST/Ht	-0.06	-0.05	-0.07	-0.06	-0.11	-0.12	-0.09	-0.09	0.01	0.02	-0.04
MaxFR	0.05	0.13	-0.05	0.01	0.00	0.10	-0.01	0.09	0.12	-0.11	0.01

MTa：大腿前部筋厚； MTp：大腿後部筋厚； MTC： 下腿後部筋厚； MTtot：下肢筋厚の合計値
Rec：走タイム (s); MaxV: 最大スピード (m/s); MaxST: 最大ストライド (m); MaxFR: 最大ピッチ (Hz)
*p<0.05; **P<0.01

3.3.5　走タイム上位群，下位群の形態，疾走能力，筋厚の差

走タイムの上位群と下位群の年齢，形態，BMI の測定値を表 3-7 に示す．年齢，形態，BMI には男女児ともに上位群と下位群との間に有意差は認められなかった．走タイム,MaxST,MaxST/Ht,MaxFR は男女児ともに上位群が有意に高い値を示した(表 3-8)．男児は筋厚に両群間の有意な差は認められなかったが，女児の MTp，MTp/Ht，MTC，MTC/Ht,MTtot,MTtot/Ht において上位群が有意に高い値を示した(表 3-9,表 3-10)．

3.3.6　形態と疾走能力との関係

各年齢群の形態（身長，体重）と走タイムとの間の相関係数を表 3-11 に示す．男児は 4，7，8 歳群を除き，女児は 6 歳群を除き形態と走タイムとの間に有意な関係が認められた．

表 3-7　走タイム上位群と下位群の形態

性	疾走能力レベル	n	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m^2)
男児	上位群	134	6.2±1.8	114.1±11.4	20.9±4.9	15.9±1.5
	下位群	132	6.0±1.8	112.2±12.6	20.7±6.3	16.1±2.2
女児	上位群	126	6.4±1.8	114.6±11.8	21.4±5.8	16.0±1.8
	下位群	122	6.2±1.8	112.2±11.9	20.6±5.9	16.0±1.8

平均値±標準偏差

表 3-8　走タイム上位群と下位群の疾走能力

性	疾走能力レベル	n	Rec (s)	MaxST (m)	MaxST/Ht (m/m)	MaxFR (Hz)
男児	上位群	134	6.06±0.94**	1.14±0.20**	0.98±0.10**	4.40±0.32**
	下位群	132	7.04±1.42	1.02±0.22	0.90±0.12	4.27±0.33
女児	上位群	126	6.13±0.94**	1.16±0.20**	1.01±0.09**	4.20±0.28**
	下位群	122	7.03±1.42	1.05±0.21	0.93±0.12	4.08±0.29

平均値±標準偏差
Rec: 走タイム (s); MaxV: 最大スピード (m/s); MaxST: 最大ストライド (m); MaxFR: 最大ピッチ (Hz)　**P<0.01

表 3-9　走タイム上位群と下位群の下肢筋厚（1）

性	疾走能力レベル	n	MTa (mm)	MTa/Ht (mm/m)	MTp (mm)	MTp/Ht (mm/m)	MTC (mm)	MTC/Ht (mm/m)
男児	上位群	134	26.3±3.5	23.1±2.7	36.9±6.0	32.2±3.6	38.4±5.0	33.6±2.8
	下位群	132	25.7±4.2	22.9±3.0	36.3±6.4	32.2±3.4	37.3±5.6	33.1±2.9
女児	上位群	126	27.9±4.8	24.2±3.2	37.9±6.3*	32.9±3.6*	38.9±4.9**	33.9±2.9*
	下位群	122	27.1±4.8	24.1±3.4	36.0±6.0	31.9±3.5	37.1±5.1	33.0±2.9

平均値±標準偏差
MTa：大腿前部筋厚； MTp：大腿後部筋厚； MTC： 下腿後部筋厚　　*P<0.05; **P<0.01

表 3-10　走タイム上位群と下位群の下肢筋厚(2)

性	疾走能力レベル	n	MTtot (mm)	MTtot/Ht (mm/m)	Mta/MTtot (%)	MTp/MTtot (%)	MTC/MTtot (%)
男児	上位群	134	101.6±13.1	88.9±7.0	26.0±2.2	36.2±2.4	37.9±2.0
	下位群	132	99.0±15.1	88.0±7.5	25.9±2.3	36.5±2.4	37.6±1.9
女児	上位群	126	104.7±14.7*	91.0±8.0*	26.6±2.1	36.1±2.4	37.3±1.8
	下位群	122	100.2±14.6	89.0±7.9	27.0±2.2	35.9±2.4	37.1±2.0

平均値±標準偏差
MTtot：下肢筋厚の合計値　*P<0.05

表 3-11　各年齢群の形態（身長，体重）と走タイムとの間の単純相関係数

	3 歳		4 歳		5 歳		6 歳		7 歳		8 歳	
	男児	女児	男児	女児	男児	女児	男児	女児	男児	女児	男児	女児
身長	-0.50**	-0.40*	-0.23	-0.32	-0.47**	-0.37*	-0.38*	-0.12	-0.04	-0.35*	-0.18	-0.28*
体重	-0.41**	-0.29	0.07	-0.40*	-0.38*	-0.26	-0.12	-0.04	0.11	-0.18	-0.07	-0.07

*P<0.05; **P<0.01.

3.4　考察

3.4.1　下肢筋厚

第二章で述べた筆者らの研究[69]では思春期前の 3 歳〜8 歳児の大腿部筋厚は，大腿前部は 5 歳群以上で女児，大腿後部は 3，5 歳群を除いて男児が有意に高い値を示した（図 2-4）．また，MTtot 比は，女児は部位による発育の速度が一定であるのに対し，男児は加齢につれて大腿前部が低下し，大腿後部が増加することを示した（図 2-5）．本研究においては大腿前部と大腿後部は第二章[69]の結果と同様の傾向を示した．また筋厚の身長比は大腿後部のみに年齢の主効果が認められ，男児の 3 歳群と 8 歳群の間に有意差が認められ，年齢と共に増加していた（表 3-3）．このことから，男児の大腿後部は身長の発育を上回る速度で発育をしており，女児と異なる現象と考えられる．

3.4.2　疾走能力の発達

本研究の平均スピード，平均ストライドは男女児とも年齢が上がるにつれ増大した（図 3-2）．平均スピードは男児が高い値を示し，これらの傾向は先行研究[8,15]と一致する．本研究の対象と年齢幅が近い 4 歳から 7 歳までの子どもを対象とした宮丸ら[17]の報告でも疾走速度は男児が女児より高い傾向を示し，本研究と一致する．これに対し，ピッチはストライドのような経年的変化はなく，成人まで一定の値を示すと報告されている[15]．しかし，本研究の年齢幅ではピッチは男女児ともに 4 歳群でピークとなり，8 歳群まで低下していた．さらに，女児の 3 歳群と 4 歳群の間には有意な増大が認められた（図 3-2）．近年の報告[74]によると，幼児期の疾走速度の増大は歩幅の増大のみならず，ピッチの増大にも起因することが示唆されており，幼児期の疾走速度の増大にはストライドとピッチの双方の増大が関与すると考えられる．

3.4.3　下肢筋厚の発育と疾走能力との関係

疾走能力と下肢の筋厚との関係は，男児は 3，6 歳群で大腿後部との間に，3，5，6，7 歳群で下腿後部との間に有意な相関が認められた（表 3-5）．女児は 4，6，7，8 歳群で大腿後部と，3，4，5，7 歳群で下腿後部との間に有意な相関が認められた（表 3-6）．ジュニアスプリンターを対象とした先行研究では，スプリント動作の反復によりハムストリングの筋横断面積が有意に増大する[40]ことや，疾走速度の増大には主にハムストリングの発達が影響を与える[41]ことが示唆されている．成人男性でも膝関節屈曲筋力とスプリント能力との間には高い相関がある[75]．さらに，大腿後部の筋群は立脚相における前方へのドライブの中心的役割を担う筋群と指摘されている[39]．本研究では MTp と疾走能力との間に有意な相関が認められ，幼児期から児童期前半ですでにジュニアスプリンターや成人スプリンターと同様に，大腿後部の筋量が疾走能力に影響を及ぼすことが示唆された．

筋量は関節トルクの決定因子である[48]が，成人男子スプリンターの疾走速度と足関節底屈トルクとの間には有意な正の相関が認められている[46]．近年の研究[71]では，小学生の走速度の説明因子のひとつとして足関節底屈トルクが挙げられている．宮丸ら[17]は 3 歳から 7 歳頃の疾走能力の発達過程のひとつに，加齢につれて疾走中の支持脚下腿の前傾が増大することを指摘している．下腿の前傾の増大により支持期後半に足関節がより背屈され，その後の底屈動作に下腿後部の筋が関与すると思われる．本研究においても MTC の発育が底屈トルクに反映され，疾走能力に影響を及ぼしたと考えられる．これらのことから，大腿後部と同様に，疾走能力の発達には下腿後部の筋の量的発育も影響を及ぼすことが示唆された．

斉藤ら[15]によると，2 歳から 11 歳までの子どもの疾走速度の向上はストライドの増大によるものである．本研究において，男児は 3 歳群の MTp，MTC，5 歳群の MTC，7 歳群の MTC（表 3-5），女児では 4 歳群の MTp，MTp/Ht，6 歳群の MTp，7 歳群の MTC，8 歳群の MTp と MaxST または MaxST/Ht との間に有意な関係が認められた（表 3-6）．身

長で除した筋厚指標でもST,ST/Htとの間に有意な関係が認められたことから(表3-5, 3-6)，身長を含む形態の発育に加えて下肢の筋量の発育がストライドの増大をもたらし，疾走能力の発達に寄与すると考えられる．

本研究の男児 8 歳群には形態や筋厚と疾走能力との間に有意な相関は認められなかった（表 3-5，3-11）．疾走動作の基本的形態は 6 歳頃までかなりの習熟位相に達し，その後は特別な練習がない限りは大きく変容することはないと言われている [8]．したがって，疾走動作の改善を目的とした意図的なトレーニングを行わなければ，筋量および筋力の発育発達過程が走，跳躍能力の向上に貢献する [71]．また，6 歳以降は下肢長の増加など形態的な発達が疾走能力の増大に寄与するが，同時に脚筋力や脚筋パワーなどの向上も疾走能力に影響を与える [10]．先行研究 [76-78] ではトレーニングにより子どもの筋力やパワーが増大することが示唆されている．Ozmun et al.[76]は思春期直前の子どものウエイトトレーニングにより，動員される運動単位の増加，運動単位の発火頻度の改善など，成人と同様の神経系の適応によって筋力が増大することを報告した．このような単位筋量あたりの筋力に関わる要因の改善はパワーの向上をもたらし，疾走能力の発達に貢献すると思われる．本研究では，男児の大腿後部が身長の発育を上回って発育することが示され（表 3-3)，全ての年齢群で下肢筋量が疾走能力に影響を与えると思われた．しかし，これらの先行知見を考慮すると，本研究の男児 8 歳群では，体格や筋量などの形態的要素より下肢の筋力やパワー，または疾走動作（フォーム）などの他の要素の向上が疾走能力に影響を与えたと推察される．

一方，女児は全ての年齢群で下肢筋厚と疾走能力との間に有意な相関が認められた（表 3-6)．特に，男児とは対照的に 8 歳群で MTp と MaxST との間に有意な相関が認められた．したがって，女児は男児と異なり 3 歳から 8 歳の年齢幅では下肢の筋量が疾走能力に強い影響を及ぼすと考えられる．この知見は，男児は走タイムの上位群と下位群で形態や筋厚に有意差は認められないが（表 3-7，3-9，3-10)，女児においては大腿後部と下腿後部は上位群が有意に高い値を示したことからも裏付けられる（表

3-9)．また，小学校 4 年生では女児は男児に比べ日常生活での走行（ジョギング）以上の強度の活動時間が少ない[51]と言われている．本研究は小学校 3 年生までを対象としているが，同様に走行以上の強度の活動時間が少ないことが考えられ，男児と比較し疾走動作を獲得する機会が少なく，生得的な筋量が疾走能力に影響を及ぼすと考えられるが，さらに検討が必要であろう．

男児の 4 歳群では隣接する年齢群と異なり，形態や下肢筋厚と走タイムとの間に有意な相関が認められなかった（表 3-5）．また，本研究の平均ピッチは，男児には有意差こそ認められなかったが,男女児とも 3 歳から 4 歳にかけて急激に増大している(図 3-2)．2 歳から 6 歳頃には，膝関節引きつけ角度が著しく減少し[10]，膝関節の屈曲・伸展の少ない振動系から屈曲・伸展を伴う回転振動系の疾走動作へ変容する[8]．その年齢幅の中でも男児の 4 歳前後は，本研究の 3-4 歳群のピッチが増大したことから，著しく疾走動作が変容する時期にあたり，疾走動作の変容が疾走能力に影響を与える可能性があるが，本研究の結果からは明らかにはできない．

大腿後部や下腿後部の筋の量的発育がストライドに影響を及ぼし，疾走能力の発達に影響を及ぼすことが示唆されたが，下肢の筋の量的な発育の違いにより疾走動作が異なることが予想される．したがって，下肢の各部位の筋の量的発育と疾走動作との関係については今後の検討課題である．

3.5　結論

本研究では，幼児期，児童期前半（3〜8 歳）の子どもを対象として下肢の筋の量的指標である筋厚と疾走能力との関係を検討し，筋の量的発育が疾走能力に与える影響と，その男女差，部位差を明らかにすることを目的とした．その結果，男女児ともに大腿後部または下腿後部の筋厚と疾走能力（走タイム，MaxV，MaxST，MaxST/Ht）との間に有意な相関が認められ，これらの筋量の発育が疾走能力の発達に影響を及ぼすことが示唆された．しかしながら男児の 4，8 歳群では，疾走能力には形態（身長，体重）

もしくは筋厚と相関性が認められず，他の年齢群と比較すると体格や筋量などの形態的要素より下肢の筋の質やパワー，または疾走動作（フォーム）などの他の要素の向上が疾走能力により影響を及ぼすと考えられる．それに対して女児は生得的な下肢の筋量が疾走能力に強い影響を及ぼすと考えられる．

謝辞

本研究は科学研究費補助金（NO.23650435，NO.24500687）の助成を受けたものである．

第四章

児童期における下肢筋厚と疾走動作との関係

Relationship of leg muscle thickness to sprint motion in childhood

4.1　序論

子どもの疾走能力は，幼児期から児童期にかけて著しい発達を遂げる．宮丸[7,9]は誕生から成人に至るまでの疾走能力の発達過程を，①走運動の始まりの段階（生後 17～24 ヶ月），②基本的な走運動形態を獲得する段階（3～6 歳），③形態や機能の向上につれて走能力が発達する段階（6～12 歳），④走能力の性差が顕著になる段階（13 歳～成人）に区分している．児童期はこの過程のうち，形態や機能の発育につれて疾走能力が向上する時期にあたり，身長の発育によるストライドの増大が疾走能力の著しい発達を促す[6,8,9]．また，筋の発育[79]や筋力の発達[10,42,71]もストライドの増大に強い影響を及ぼす．第三章で述べた筆者らの研究[79]では，思春期前にあたる 3～8 歳の子どもの大腿後部，下腿後部の筋厚の発育が，身長などの形態と同様にストライドの増大に影響を及ぼすことが明らかになり，下肢の筋の量的発育も疾走能力の発達を促す重要な因子であることを示した．これまで，成人スプリンターを対象とした研究で，疾走能力に対する大腿後部[38,41,42,46,75,80,81]や下腿後部[38]の筋の重要性が指摘されていたが，幼児期から思春期前の子どもにおいてすでに同様の傾向が認められた．

一方，疾走動作も疾走能力に対して強い影響を及ぼす．スプリンターの疾走中の下肢関節角度，角速度などの疾走動作要因とパフォーマンスとの関係がバイオメカニクス的な手法を用いて分析されている．伊藤ら[43,44]は一流スプリンターの疾走速度と疾走動作の関係を検討し，疾走速度と遊脚膝関節の最小引き付け角度，最大もも上げ角速度，接地中の最小足関節角度，脚全体の後方スイング速度との間に有意な正の相関があることを報告した．また，競技者は一般人と比較して接地時の膝関節，足関節角度，接地中の最小膝関節，足関節角度が有意に大きい[82]ことや，ジュニアスプリンターは加齢に伴い最大もも上げ角速度や脚全体のスイング速度が増大する[41]ことなどが報告されている．

このように疾走動作は疾走能力に強い影響を与えるが，疾走動作は下肢の筋力と

密接な関係がある[46,47,83]．渡邉ら[46]は成人スプリンターの疾走速度，疾走動作，関節トルク，筋力の相互関係を検討し，回復期の股関節や支持期の膝関節および足関節の関節トルクの発揮と，それに引き続き生じる動作には等速性最大筋力が深く関わっていることを報告した．また，子どもを対象とした例では，加藤ら[42]が優れた小学生男子スプリンター（6 年生）の疾走動作要因の多くは等速性脚筋力との間に有意な相関があることを報告し，児童期にも脚筋力と疾走動作は密接な関係にあると考えられる．

筋量は関節トルクの決定因子[48]であり，その発育は筋力の向上をもたらし，疾走能力の発達に寄与すると考えられる．第三章では，3〜8 歳の子どものほとんどの年齢群で疾走能力（走タイム，最高スピード，最大ストライド，身長当たりの最大ストライド）と大腿後部または下腿後部筋厚との間に有意な正の相関があることを述べ，思春期前においてすでに下肢筋量と疾走能力は密接な関係にあることを示した．前述のように疾走能力は疾走動作に強い影響を受けるが，疾走動作は下肢の筋の量的発育に影響を受けると考えられる．さらに第三章では，8 歳男児においては，他の年齢群と異なり疾走能力と形態や下肢筋厚との間に有意な関係が認められず，8 歳頃からの疾走能力の発達に寄与する要因がそれまでとは変化する可能性を示し，疾走動作（フォーム）などの他の要因が影響を及ぼし始めることを示唆した．その疾走動作には下肢筋量の発育が影響すると考えられるが，思春期前の児童期における下肢の筋の量的発育が疾走動作に与える影響や，疾走動作が疾走能力に与える影響は明らかにされていない．さらに，下肢筋厚の発育には性差がある[69]ことが報告されているが，下肢の筋量が疾走動作に及ぼす影響の男女差や部位差も明らかにされていない．

児童期に習得される疾走能力はその後に習得するスポーツ動作の前提となるものであり，競技スポーツの達成水準を決める重要な基礎的能力である[6]．児童期は，形態や機能の発育につれて疾走能力が発達するが，それに加えて下肢の筋の量的な

発育も疾走能力の発達に寄与する[79]．しかし，下肢の筋量と，疾走動作との関係は明らかにされておらず，特に，思春期前にあたる児童の下肢筋量と疾走動作の関係について触れた研究はない．そこで本研究は，8 歳の児童を対象として，下肢の筋の量的指標である筋厚と疾走動作との関係を明らかにし，思春期前における筋の量的発育が疾走動作に与える影響とその男女差，部位差を明らかにすることを目的とした．

4.2　方法

4.2.1　対象者

対象者は北九州市内の小学校に通う小学 3 年生（8.2～9.3 歳）の健康な児童 41 名（男児 21 名，女児 20 名）（表 4-1）である．そのうち，週に 2 日以上の定期的な運動を行っているのは 12 名であった．対象者の身長，体重は種々の報告[84,85]と比較し，男児の身長において若干高い値を示したが，ほぼ同程度を示した．測定に先立って対象者の保護者に対し書面をもって本研究の目的，測定の方法，安全性の説明を行い，同意書を得た．尚，本研究は九州共立大学倫理委員会の承認を得て行った．

表 4-1　対象者の身体的特性

	男児 n=21	女児 n=20
年齢（歳）	8.8 ± 0.4	8.8 ± 0.5
身長（cm）	131.0 ± 4.7	128.0 ± 5.3
体重（kg）	27.3 ± 2.8	25.5 ± 3.6
BMI (kg/m^2)	16.0 ± 1.2	15.6 ± 2.0

平均値±標準偏差

4.2.2　下肢筋厚の測定

下肢の筋厚は超音波診断装置（LOGIQe GE Healthcare 社製）の B モード画像により測定した.測定時の超音波発振周波数は 10MHz であった.測定部位は大腿前部(MTa), 大腿後部（MTp), 下腿後部（MTC）である．測定点は安部と福永[86)]の方法に従い，大腿部が大転子点より大腿長の遠位 50%,下腿部は脛骨点より下腿長の遠位 30%とした．測定姿勢は，大腿前部は仰臥位，大腿後部および下腿後部は伏臥位とした．得られた超音波画像の皮下脂肪と筋の境界から，大腿では大腿骨まで，下腿では脛骨までを筋厚として測定した．筋厚の撮影は右肢のみ実施した．また，各部位（MTa，MTp，MTC）の合計値（MTtot）と部位別の量的な割合として MTtot に対する各部位の筋厚の割合（MTtot 比）を算出した．

4.2.3　疾走動作の撮影，床反力の測定

疾走動作と床反力は，三次元動作解析システム（図 4-1）を用いて撮影した．撮影は山田ら[45)]を参考に 15-20m区間で行った．対象者に二回の試行を行わせ，十分な休養を取らせた後に撮影を行った．スタートは，スタンディング姿勢を取らせ，5m 前方に位置するスターターの持つ旗が上がると同時にスタートさせた．撮影区間での速度逓減を防ぐため，撮影区間から 5m追加した 25mをゴールとして設定し，ゴールまで全力で駆け抜けるよう指示した．撮影区間で速度逓減が認められず，右足がフォースプラットフォーム上に接地した試技を成功試技とした．撮影が複数回に及んだ場合は試技の間に十分な休憩を挟んだ.

12 台の赤外線カメラ（HawkRT Motion Analysis 社製）により，対象者の体節基準点に貼りつけた反射マーカーを，サンプリング間隔 200Hz で撮影した．床反力は走路に埋設された 4 枚のフォースプラットフォーム(Type 9287B KISTLER 社製:90×60cm)により三方向の床反力をサンプリング間隔 1000Hz で測定した．人体へのマーカー取り付け位置は頭頂点，前額点，後頭点，頚椎点，肩峰点，橈骨点，前腕遠位背側点，

上後腸骨棘の中点，腸棘点，転子点，大腿骨外側上顆点，外果点，第 1 中足骨頭と第 5 中足頭の中点，踵骨隆起とし，計 23 ヶ所とした．反射マーカーの三次元座標データと床反力は動作解析システムを制御するソフトウエア（EVaRT 5.0.4 Motion Analysis 社製）を用いて収集し，スティックピクチャー化した．この際，対象者に対し左右方向を x 軸，走行方向を y 軸，上下方向を z 軸とした．収集した座標はデータ統合解析プログラム （KineAnalyzer 3.5.25 キッセイコムテック社製）を用いて解析した．

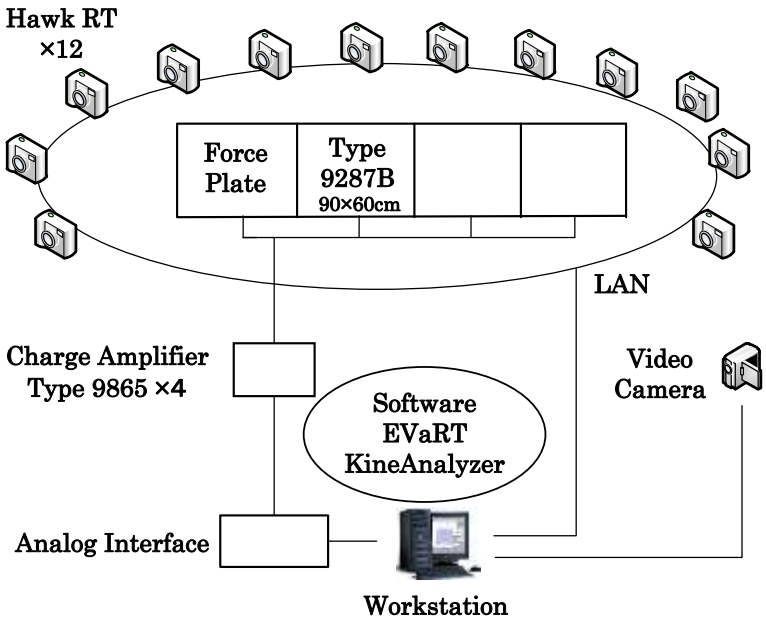


図 4-1 疾走動作と床反力の測定方法

4.2.4　算出項目

下肢の運動学的指数は伊藤ら[44]，加藤ら[42,87]，谷川ら[82]を参考にした．また，左足が離地し，次に左足が接地するまでを 1 サイクルとし，その間の支持期（右脚：支持脚），回復期（左脚：スイング脚）を分析の対象とした．

１）ストライド，ピッチ，スピード

ストライド（m），ピッチ（Hz）は 2 歩の平均値を用いた．スピード（m/s）はストライドとピッチの積とした．

２）接地時間，滞空時間，床反力

対象者がフォースプラットフォームを踏み，Z 成分が出現して消失するまでを基準に，右足が接地している時間を接地時間（ST），右足が離地し，左足が接地するまでを滞空時間（FT）とした．床反力は y 方向の正の成分の最大値（Fy），z 方向の着地時の衝撃を含んだ第 1 ピーク以降のピーク値（Fz）を算出した．

３）関節角度

支持期の開始にあたる支持脚接地時の①股関節（L-θH），②膝関節（L-θK），③足関節の角度（L-θA），接地から離地に至るまで（接地中）の④膝関節（Sup-θKmin），⑤足関節の最小角度（Sup-θAmin），離地時の⑥股関節（RL-θH），⑦膝関節（RL-θK），⑧足関節の角度（RL-θA），スイング脚の⑨最小膝引付角度（Swg-θKmin），⑩最大もも上げ角度（Swg-θTh）を算出した（図 4-2）．

４）関節角速度

支持脚接地中の⑪股関節（Sup-ωH），⑫膝関節（Sup-ωK），⑬足関節（Sup-ωA）の最大伸展角速度，⑭最大脚スイング速度（ωL），スイング脚の⑮股関節（Swg-ωH），

⑯膝関節の最大屈曲角速度（Swg-ωK），⑰接地寸前の脚振り戻し速度（ωL-swb）を算出した（図 4-2）.

５）Touch down distance, Release distance, Support distance の算出

接地，離地時の足と身体重心との距離を算出するため，接地，離地時における第 1 中足骨頭と第 5 中足頭の中点から身体重心までの y 方向の水平変位をそれぞれ Touch down distance（TD），Release distance（RD）（図 4-2），およびその和を Support distance（SD）とした．また，TD，RD，SD の身長比を算出した.

６）重心高および疾走中の重心の最低点と最高点の差

江原と山本[88)]の方法により身体重心(CG)を算出し,疾走中の重心の最低点(CG-L)，最高点（CG-H），およびその差（CG-diff）と，それらの身長比を算出した.

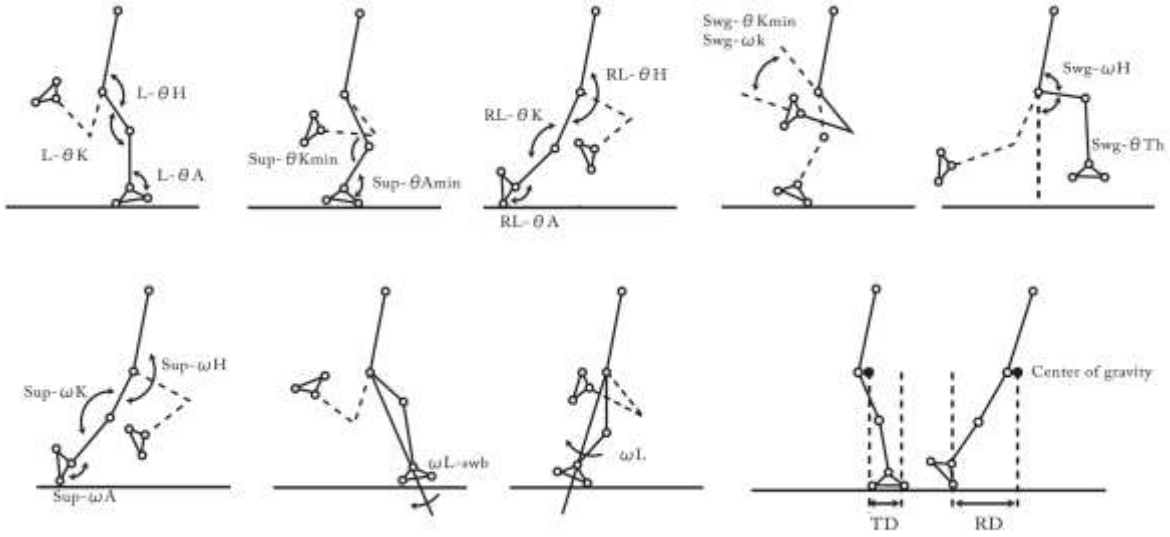


図 4-2　運動学的指数

L-θH, L-θK, L-θA：支持脚接地時の股関節，膝関節，足関節角度，**Sup-θKmin, Sup-θAmin**：支持脚接地中の最小膝関節，足関節角度，**RL-θH, RL-θK, RL-θA**：支持脚離地時の股関節，膝関節，足関節角度，　**Swg-θKmin**：スイング期の最小膝関節角度，**Swg-θTh**：スイング脚の最大もも上げ角度，**Sup-ωH, Sup-ωK**, **Sup-ωA**：支持脚接地中の最大股関節，膝関節，足関節伸展角速度，**Swg-ωH, Swg-ωK**：スイング脚の最大股関節，膝関節屈曲角速度，**ωL-swb**：接地寸前脚降り戻し速度，**ωL**：支持脚接地中の最大脚スイング速度，**TD**：Touch down distance，**RD**：Release distance.

4.2.5　統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した．統計処理は IBM SPSS Statistics Version 19 を用いた．測定項目間の関係を明らかにするため，ピアソンの積率相関分析を行った．各年齢群の男児と女児の平均値の差をスチューデントの t 検定を用いて有意差検定を行った．また，ストライド，ピッチをそれぞれ従属変数とし，身長，体重，接地時間，滞空時間，床反力，関節角度，関節角速度，TD，RD，SD を独立変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行った．なお，選択された独立変数間の多重共線性がないことを確認した[89]．有意水準はいずれも 5%未満とした．

4.3　結果

4.3.1　下肢筋厚

下肢筋厚の絶対値と身長比および各部位の合計値に対する割合を表 4-2 に示す．下肢筋厚は MTC のみに有意差が認められ，男児が女児より高い値を示した．

表 4-2　下肢筋厚指標の測定値

	Mta (mm)	MTa/Ht (mm/m)	MTp (mm)	MTp/Ht (mm/m)	MTC (mm)	MTC/Ht (mm/m)
男児	28.1±2.5	21.5±1.8	41.1±3.2	31.4±2.6	42.2±3.7 *	32.3±2.6
女児	27.9±3.6	21.8±3.1	39.8±4.1	31.2±3.7	39.2±4.0	30.7±3.3

	MTtot (mm)	MTtot/Ht (mm/m)	Mta/MTtot (%)	MTp/MTtot (%)	MTC/MTtot (%)
男児	111.4±7.2	85.1±5.2	25.2±1.8	36.9±1.8	37.9±1.8
女児	107.0±8.4	83.8±7.9	26.1±2.5	37.2±2.2	36.7±2.8

平均値±標準偏差
MTa：大腿前部筋厚，MTp：大腿後部筋厚，MTC：下腿後部筋厚, MTtot：下肢筋厚の合計値
性差：*P<0.05

4.3.2　スピード，ストライド，ピッチ

スピード，ストライド，ピッチの測定結果を表 4-3 に，各変数間の相関係数を表 4-4 に示す．スピードとピッチは男児が有意に高い値を示した．男児のスピードはストライドとの間に有意な相関が認められたが，ピッチとの間には有意な相関は認められなかった．女児のスピードはストライド，ピッチ双方との間に有意な相関が認められた．

表 4-3　疾走能力指標の測定値

	スピード (m/s)	ストライド (m)	ストライド/身長 (m/m)	ピッチ (Hz)
男児	5.61±0.42 **	1.34±0.10	1.02±0.07	4.19±0.23 **
女児	5.20±0.44	1.35±0.11	1.05±0.08	3.85±0.33

平均値±標準偏差　性差：**P<0.01.

表 4-4　スピード，ストライド，ピッチの間の単純相関係数

		スピード (m/s)	ストライド (m)	ストライド/身長 (m/m)	ピッチ (Hz)
男児	スピード		0.72 **	0.51 *	0.36
	ストライド			0.89 **	-0.39
	ストライド/身長				-0.50 *
	ピッチ				
女児	スピード		0.52 *	0.57 **	0.50 *
	ストライド			0.87 **	-0.48 *
	ストライド/身長				-0.30
	ピッチ				

*P<0.05; **P<0.01.

4.3.3　運動学的指数，床反力

運動学的指数と床反力の測定値を表 4-5 に示す．下肢の関節角度，関節角速度は Swg-θKmin，ωL で男児が有意に高い値を示した．ST，FT，TD/Ht×100 は女児が有意に高い値を示し，CG-L は男児が，CG-diff/Ht×100 は女児が有意に高い値を示した．

4.3.4　ストライド，ピッチと運動学的指数，床反力および筋厚の相互関係

ストライド，ピッチをそれぞれ従属変数とし，身長，体重，運動学的指数および床反力を独立変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行った（図 4-3）．その結果，男児ではストライドの説明変数として FT，RD，Fy/Wt，L-θH が，ピッチの説明変数として FT，FT/ST，ωL-swb，RL-θH が選択された．さらに FT/ST と MTp，MTp/Ht，MTC，MTtot，MTtot/Ht との間に有意な単純相関が認められた．女児ではストライドの説明変数として FT，RD，Fy/Wt，Sup-ωK が選択され，ピッチの説明変数として CG-diff，ωL，L-θK が選択された．さらに，ωL と MTp，MTp/Ht との間に有意な単純相関が認められた．

表 4-5　運動学的指数と床反力の測定

	男児			女児		
L-θH (deg)	132.69	±	5.84	134.49	±	8.23
L-θK (deg)	144.00	±	7.62	146.29	±	9.27
L-θA (deg)	89.07	±	6.33	88.64	±	4.49
Sup-θKmin (deg)	125.74	±	5.11	125.32	±	6.02
Sup-θAmin (deg)	77.33	±	4.68	76.51	±	4.48
RL-θH (deg)	189.74	±	5.61	189.17	±	6.17
RL-θK (deg)	149.68	±	6.99	151.73	±	5.78
RL-θA (deg)	109.31	±	6.45	111.37	±	7.10
Swg-θKmin (deg)	44.95	±	11.69 *	36.63	±	9.95
Swg-θTh (deg)	60.27	±	5.01	58.39	±	5.23
Sup-ωH (deg/s)	698.72	±	67.20	652.19	±	106.77
Sup-ωK (deg/s)	506.50	±	109.36	533.42	±	100.95
Sup-ωA (deg/s)	707.37	±	125.85	761.99	±	106.32
Swg-ωH (deg/s)	699.35	±	89.30	684.58	±	59.52
Swg-ωK (deg/s)	983.39	±	126.61	972.75	±	138.45
ωL-swb (deg/s)	206.98	±	102.72	185.28	±	69.02
ωL (deg/s)	517.23	±	44.92 **	460.80	±	96.60
ST (s)	0.13	±	0.01 *	0.14	±	0.02
FT (s)	0.11	±	0.01 *	0.12	±	0.02
FT/ST	0.85	±	0.15	0.84	±	0.14
TD (m)	0.24	±	0.03	0.26	±	0.04
TD/Ht×100 (%)	18.53	±	2.54 *	20.26	±	2.81
RD (m)	0.38	±	0.04	0.37	±	0.03
RD/Ht×100 (%)	28.65	±	2.41	28.60	±	2.09
SD (m)	0.62	±	0.04	0.63	±	0.05
SD/Ht×100 (%)	47.18	±	3.17	48.86	±	3.58
CG-L (m)	0.71	±	0.03 *	0.69	±	0.03
CG-H (m)	0.77	±	0.03	0.76	±	0.04
CG-diff (m)	0.06	±	0.01	0.07	±	0.01
CG-diff/Ht×100 (%)	4.83	±	0.82 *	5.45	±	1.00
Fz (N)	713.70	±	104.07	689.34	±	109.50
Fz/Wt (N/kg)	26.01	±	2.38	27.11	±	2.72
Fy (N)	144.96	±	20.03	136.96	±	28.59
Fy/Wt (N/kg)	5.28	±	0.46	5.37	±	0.85

平均値±標準偏差

L-θH, L-θK, L-θA:支持脚接地時の股関節，膝関節，足関節角度， Sup-θKmin, Sup-θAmin：支持脚接地中の最小膝関節，足関節角度， RL-θH, RL-θK, RL-θA：支持脚離地時の股関節，膝関節，足関節角度，Swg-θKmin：スイング期の最小膝関節角度，Swg-θTh：スイング脚の最大もも上げ角度，Sup-ωH, Sup-ωK, Sup-ωA：支持脚接地中の最大股関節，膝関節，足関節伸展角速度，Swg-ωH, Swg-ωK：スイング脚の最大股関節，膝関節屈曲角速度，ωL-swb：接地寸前脚降り戻し速度，ωL：支持脚接地中の最大脚スイング速度，ST：支持時間， FT：滞空時間，TD: touch down distance; RD: release distance; SD: support distance; CG-L, CG-H:重心の最低点，最高点， CG-diff：重心の最低点と最高点の差： Fz, Fy：床反力の垂直成分，水平成分

性差： *P<0.05; **P<0.01.

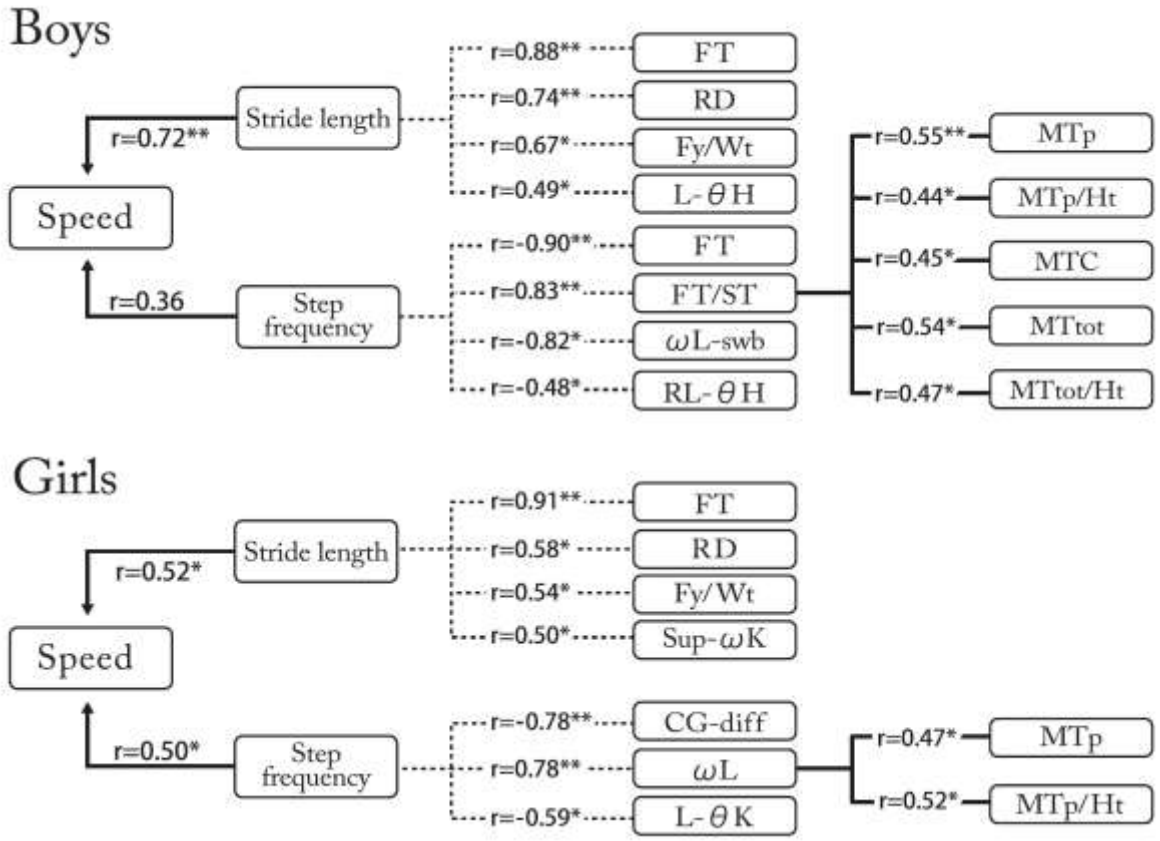


図4-3　疾走能力，運動学的指数および下肢筋厚の関係

Speed：スピード，Stride length：ストライド，Step frequency：ピッチ
L-θH：離地時股関節角度，L-θK：接地時膝関節角度，RL-θH：離地時股関節角度，　Sup-ωK：接地中最大膝関節伸展角速度，ωL：接地中最大脚スイング速度，ωL-swb：接地寸前脚振り戻し速度，FT：滞空時間，ST：接地時間，RD：Release Distance，Fy：床反力の水平成分，CG-diff：重心差
実線：単純相関係数，点線：偏相関係数
*P<0.05, **P<0.01.

4.4　考察

先行研究[6,10,15]によると，疾走速度の増加は身長の発育に伴うストライドの増大が主因であり，ピッチには年齢差がみられず，発育に伴う疾走速度の向上には貢献しない．対象者の学年が同一である本研究においても，男児では加藤ら[42]と同様に疾走速度とストライドとの間には有意な関係が認められ，ピッチとの間には認められなかった．しかし，女児ではスピードとストライド，ピッチ双方との間に有意な関係が認められ，成人女子スプリンターの特徴[44]と一致した．

身長，体重の影響を除去し，ストライド，ピッチを従属変数として運動学的指数と床反力を独立変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行った．その結果，男女児ともにストライドの説明変数としてFT(滞空時間),RD(Release distance），Fy/Wt（体重当たり地面反力の水平成分）が選択され，正の関係が認められた．疾走中の滞空時間[15]や地面反力の水平成分[90]は加齢と共に増加することから，ストライドの増大に伴う現象と思われる．また，トレーニングにより小学生の疾走速度が向上する要因の一つに，離地時股関節角度の増大によるストライドの改善[5]が挙げられているが，Release distance は離地時股関節角度を反映すると推察される．さらに男児のストライドと L-θH（接地時股関節角度）との間に正の関係が認められた．しかし，成人スプリンター[44]や一般高校生[87]には疾走速度と接地時股関節角度との有意な関係は認められておらず，本研究の結果は子ども特有の現象と考えられる．一方女児は，ストライドと Sup-ωK（接地中最大膝関節伸展角速度）との間に有意な正の関係が認められた．一般高校生の接地中の膝関節伸展速度は男子より女子が高い[87]と指摘されており，女児は膝関節の伸展動作はストライドを獲得する手段の一つと思われる．しかしながら，男女児ともに，ストライドの説明変数として選択された運動学的指数および床反力と下肢筋厚との間には有意な関係は認められなかった．先行研究[71]によると，単位筋量あたりの筋力に関わる要因の改善が思春期前の子どもの疾走能力や跳躍能力の発達に貢献することが示唆されており，単位筋量あ

たりの筋力は，疾走能力の中でも特にストライドと密接な関係にあると考えられる．

ピッチの説明変数として男児はFT（滞空時間），FT/ST（滞空時間/接地時間）が選択された．FTとは負の，FT/STとは正の関係が認められ，滞空時間および1歩に要する時間に占める接地時間の割合が低いとピッチが高い結果となった．また，ωL-swb（接地寸前脚振り戻し速度）が選択され，負の関係が認められた．先行研究[42,44,87]から推察すると，疾走速度と脚振り戻し速度との関係は対象者の陸上競技の専門性により異なると考えられ，本研究の負の関係は疾走動作の発達段階にある子どもの特性と考えられる．さらに，RL-θH（離地時股関節角度）が選択され負の関係が認められたが，先行研究[5]ではピッチの増大により疾走速度が増大した小学生は離地時股関節角度が低減すると報告され，本研究の知見と一致する．

男児のピッチの説明変数の一つとしてFT/STが選択され，さらに，FT/STと下肢筋厚指標であるMTp，MTp/Ht，MTC，MTtot，MTtot/Htとの間に有意な正の単純相関が認められた．成人[46,75]やジュニア[40,41]のスプリンターを対象とした先行研究では疾走能力に対する大腿後部の筋群の重要性が指摘されており，疾走速度と膝関節屈曲筋力との有意な関係も報告されている[46]．大腿後部を含む股関節伸筋群は，接地期前半で身体を加速させる際に作用する[38]．特に大腿後部の筋群は立脚期における前方へのドライブの中心的役割を担い[39]，回復期後半では振り出された下腿を接地に先立って後方に降り戻すために大きなパワーを発揮し，大腿の動きの切り換えを促進し，ピッチの向上に役立つ[38]．また，疾走能力と下腿後部筋群（足底屈筋群）[38]，足関節底屈トルク[46,71]との密接な関係も指摘されている．熟練した成人スプリンターでは，足底屈筋群は支持期における最も大きなパワーの発生源であり，ストライドを大きくするのに貢献する[38]．しかし，身体や疾走動作が発育，発達段階にある8歳児においては，足底屈筋群はストライド（滞空時間）の増大をもたらすに足りる発育を遂げていないと考えられ，接地時間の短縮のみに貢献し，FT/STの増大をもたらすと考えられる．しかし，FT/STとピッチとの間に有意な関係が認められたが，ピ

ッチとスピードとの間に有意な関係は認められなかった．したがって，8 歳男児の大腿後部，下腿後部の筋群の量的発育は FT/ST に影響を与えピッチの向上に貢献するが，疾走速度には直接的な影響を及ぼさないと推察される．

一方女児は，ピッチの説明変数として CG-diff（疾走中の重心差）が選択され，負の関係が認められた．子どもを対象とした先行研究[7,9,17]では，女子の疾走中の重心の上下動は男子より大きいと指摘されている．鉛直変位の増大は滞空時間の増大をもたらし，ピッチの低下に繋がると考えられる．またωL（接地中最大脚スイング速度）が選択され正の関係が認められ，先行研究[42-44,87]と一致した．接地中最大脚スイング速度の増大は接地時間を短縮させ，ピッチの増大をもたらすと推察される．さらに，ピッチと L-θK（接地時膝関節角度）との間に負の関係が認められたが，ピッチの増大により疾走速度が向上した小学生は，接地時膝関節角度も低減する[5]と指摘されている．

女児のピッチの説明変数の一つとしてωL（接地中最大脚スイング速度）が選択され，さらに，ωL と下肢筋厚指標である MTp，MTp/Ht との間に有意な正の単純相関が認められた．接地中脚スイング速度は股関節の伸展により発揮され[46]，疾走速度との密接な関係が指摘されている[42-44,87]．前述のように，大腿後部の筋群は，立脚相における前方へのドライブの中心的役割を担う筋であり[39]，接地中の脚スイング速度にも強い影響を与え，その発育はピッチの向上に貢献すると思われる．船津ら[79]は，女児（3～8 歳）は男児と異なり，全ての年齢群において下肢筋厚（大腿後部，下腿後部）と疾走能力指標との間に何かしらの相関関係を認めており，生得的な下肢の筋量が疾走能力に影響を与えることを示唆した．さらに，本研究の女児の接地中最大脚スイング速度はピッチと正の関係にあり，大腿後部筋厚とも有意な正の関係にあった．これらのことから，8 歳女児においては大腿後部の筋群の量的な発育は接地中の脚全体のスイング速度と密接な関係にあり，疾走能力に影響を与えることが示唆された．また，男児は下腿後部筋厚もピッチの説明変数（FT/ST）に影響を及

ぼしていたが，女児は大腿後部筋厚のみであった．本研究の下腿後部筋厚は男児が有意に高い値を示したことから，8 歳児においては，女児は男児と比較して下腿後部の発育が遅く，ピッチの増大に反映されていないと考えられる．

男女児ともに下肢の筋群の量的発育はピッチに関連する疾走動作要因に影響を与えるが，疾走速度に直接的に影響を及ぼすのは女児のみであった．また，男女児ともにストライドに関連する疾走動作要因および床反力と下肢筋厚との間に有意な関係は認められなかった．本研究の結果と，船津ら[79]の指摘を考慮すると，男児は 8 歳頃からのストライドには筋量および疾走動作以外の要因が影響を及ぼすと考えられる．男児のスピードは，ストライドのみとの間に有意な関係が認められることから，疾走動作向上の為の意図的なトレーニングを行わない限り，単位筋量あたりの筋力がストライドに影響を及ぼし，疾走能力に直接的に反映されると考えられる．一方女児は，下肢の筋の量的発育はピッチの向上を促し，疾走能力の向上に貢献すると考えられるが，これらの男女差の理由は本研究からは明らかにできず，今後検証する必要があろう．

4.5　結論

本研究は思春期前にあたる 8 歳児における下肢筋厚が疾走動作に与える影響を検討した．その結果，男児においては大腿後部，下腿後部筋厚とピッチの説明変数の一つとして選択された FT/ST との間に有意な単純相関が認められた．しかし，ピッチはスピードとの間に有意な関係が認められなかった．一方，女児は大腿後部筋厚とピッチの説明変数の一つとして選択されたωL（接地中最大脚スイング速度）との間に有意な単純相関が認められ，そのピッチはスピードと有意な関係が認められた．これらのことから 8 歳児においては，男児は下肢の筋群の量的発育は疾走動作に影響を与えるが，疾走速度には直接的に影響を与えず，女児では男児と異なり下肢の

筋群の量的発育はピッチに影響を与え，疾走速度と密接な関係にあることが示唆された．

略語一覧

L-θH ：接地時股関節角度

L-θK ：接地時膝関節角度

L-θA ：接地時足関節角度

Sup-θKmin ：接地中最小膝関節角度

Sup-θAmin ：接地中最小足関節角度

RL-θH ：離地時股関節角度

RL-θK ：離地時膝関節角度

RL-θA：離地時足関節角度

Swg-θKmin ：最小膝引付角度（スイング脚）

Swg-θTh ：最大もも上げ角度（スイング脚）

Sup-ωH ：接地中最大股関節伸展角速度

Sup-ωK ：接地中最大膝関節伸展角速度

Sup-ωA ：接地中最大足関節伸展角速度

Swg-ωH ：最大股関節屈曲角速度（スイング脚）

Swg-ωK ：最大膝関節屈曲角速度（スイング脚）

ωL-swb ：接地寸前脚振り戻し速度

ωL ：接地中最大脚スイング速度

ST：接地時間

FT：滞空時間

TD：Touch down distance

RD：Release distance

SD：Support distance

CG-L：疾走中の重心の最低点（m）

CG-H：疾走中の重心の最高点（m）

CG-diff：重心差「疾走中の重心の最下点と最高点との差（m）」

Fz：床反力の鉛直成分

Fy：床反力の水平成分

謝辞

本研究は科学研究費補助金（NO.23650435, NO.24500687）の助成を受けたものである.

第五章

総括

本論文の第二章から第四章では，3～8 歳児を対象として，思春期前の子どもにおける下肢筋厚の発育と疾走能力および疾走動作との関係を検討した各研究の成果を述べた．以下に各研究の要点，一連の研究から示された点および今後の研究課題を述べる．

第二章で述べた研究は，3～8 歳児を対象として，下肢筋厚（大腿前部，大腿後部，下腿後部）を測定し，幼児期から思春期前の子どもの下肢筋厚の発育とその性差，部位差を検討した．その研究の結果，下肢筋厚は加齢と共に増加すること，児童期前半において男児は大腿後部で，女児は大腿前部で高い値を示し（第二章：図 2-4），下肢の筋の量的発育には性差が存在することが示唆された．また，女児は全ての部位において一定の速度で発育するのに対し，男児は児童期前半から大腿前部の発育速度が低下し，大腿後部の速度が上昇することが示され（第二章：図 2-5），男児の下肢筋群の間には発育の部位差が存在すると考えられた（第二章：図 2-4）．さらに，男児 5～6 歳，女児 4～5 歳にかけての発育量が他の隣接する年齢間のそれより大きかったことから，幼児期における筋の量的な発育に男女間に 1 年程度のずれが生じることが示唆された．

第三章で述べた研究は，3～8 歳児を対象として，幼児期から思春期前の子どもの下肢筋厚（大腿前部，大腿後部，下腿後部）の発育と，疾走能力との関係およびその性差，下肢筋群が及ぼす影響の部位差を検討した．この研究の結果，男女児ともほとんどの年齢群で大腿後部または下腿後部筋厚と，疾走能力の中でもストライドとの間に有意な正の相関が認められた（第三章：表 3-5，3-6）．特に女児は，全ての年齢群で大腿後部および下腿後部筋厚と疾走能力（記録，最高速度，最大ストライド，身長当たりの最大ストライド）との間に有意な関係が認められ，生得的な下肢の筋量がストライドに対し強い影響を及ぼし，疾走速度の向上に貢献することが示唆された．しかしながら，男児の 8 歳群では，疾走能力には形態（身長，体重）および下肢筋厚との間に有意な関係が認められず（第三章：表 3-5，

3-11)，他の年齢群と比較すると，体格や筋量などの形態的要素より下肢の筋の質やパワー，または疾走動作（フォーム）などの他の要素が疾走能力により影響を及ぼすと考えられた．

前述のように第三章の研究では，ほとんどの年齢群で大腿後部または下腿後部筋厚が疾走能力（ストライド）に影響を及ぼしていた（第三章：表 3-5，3-6）．しかし，8 歳男児は体格や筋量などの形態的要素より，下肢の筋の質やパワー，または疾走動作（フォーム）などの他の要素が疾走能力により影響を及ぼすことが示唆された．したがって，第四章の研究では，8 歳児を対象として同様に下肢筋厚の測定を行い，下肢筋厚が疾走動作および疾走能力に与える影響と，その性差，下肢筋群が及ぼす影響の部位差を検討した．その結果，男児においては大腿後部および下腿後部筋厚と，ピッチの説明変数の一つとして選択された疾走動作要因（滞空時間/接地時間）との間に有意な関係が認められた．しかし，ピッチはスピードとの間に有意な関係が認められなかった（第四章：図 4-3）．これらのことから，8 歳男児は下肢の筋の量的発育は疾走動作に影響を与えるが，疾走速度の向上には直接的に繋がらないことが示唆された．一方女児は，大腿後部筋厚とピッチの説明変数の一つとして選択された疾走動作要因（接地中最大脚スイング速度）との間に有意な関係が認められ，そのピッチはスピードとの間に有意な関係が認められた（第四章：図 4-3）．したがって，8 歳女児は男児と異なり，生得的な下肢の筋量がピッチに影響を及ぼし，疾走速度の向上に貢献することが示された．

第二章から第四章で述べた一連の研究を通して得られた成果を以下に述べる．まず，思春期前の子どもにおいては下肢の筋の量的発育には性差が存在することが示唆された．先行研究では [26,30,34,35,37] では，思春期前の子どもには下肢の筋厚に性差は認められていない．本研究では，先行研究より対象者数を増やし，年齢幅を広げてより詳細な検討を行った．その結果，児童期前半において大腿部筋厚には性差が認められた（第二章：図 2-4，2-5）．先行研究では，思春期前の子ども

の下肢の筋の量的発育には性差はみあたらず，本研究の結果は，下肢の筋の量的発育の特徴を示す新しい知見と思われる．この原因は，内在的に備わっている発育の性差の他に，日常生活での下肢の筋群に与える負荷量の差が考えられた．

次に，思春期前の発育過程の中で，下肢の筋の量的発育が疾走動作および疾走能力に及ぼす影響には，年齢差や性差が存在することが示唆された．第三章の研究結果から，8 歳男児を除き，男女児ともに大腿後部または下腿後部の筋の量的発育は，身長（下肢長）の発育に加えてストライドの増大に貢献することが示唆された．8 歳児における下肢筋厚と疾走動作との関係を検討した第四章の研究結果では，男児は，下肢筋厚と疾走能力に大きく関与するストライドに関連する疾走動作要因との間には有意な関係は認められず，ピッチに関連する疾走動作要因（男児：滞空時間/接地時間，女児：接地中最大脚スイング速度）との間に有意な関係が認められた（第四章：図 4-3）．これらのことから，下肢の筋の量的発育は，7 歳までとは異なり，8 歳からピッチに対する貢献度が大きくなることが示唆された．しかし，第四章の研究では，8 歳男児はスピードとストライドには有意な関係が認められたが，ピッチとの間には有意な関係は認められなかった（第四章：表 4-4）．したがって，男児は 8 歳から単位筋量あたりの筋力や脚パワーなどの，形態や下肢の筋量および疾走動作（フォーム）以外の要因がストライドに影響を及ぼし，疾走能力の発達に貢献することが示唆された．

これまで疾走能力に及ぼす諸要因の影響は主に思春期以降を対象に検討されてきた．本研究ではまだ未解明な点が多い 3〜8 歳男女児を対象とし，特に筋量が疾走能力に及ぼす影響に関して知見を得た．そこで思春期を対象とした先行研究の知見と本研究の知見を統合した図 5-1 をもとに，3〜8 歳の特徴をより明確にしながら，成年期前（3〜18 歳）における疾走速度とその筋量の影響の経年的変化を男女別に考察する．

男子の経年的な疾走速度の向上は，中学校期までは身長の発育に伴うストライ

ドの増大が主因[91]とされている．しかし本研究の結果から，下肢の筋の量的な発育もストライドの増大に貢献していることが示された．ただし，この関係が疾走速度の向上に直接関わるのは7歳までであった．8歳から下肢の筋の量的発育はピッチに関連する疾走動作要因に影響を及ぼすが，それは直接的に疾走速度の向上に貢献しない．吉本ら[92]は，疾走能力と下肢筋力との関係を検討した研究の一覧を通して，発育期の男子は成人に比べ，疾走能力に対する下肢の筋力の影響は小さく，他の要因が疾走能力に影響する可能性を示している．本研究では，下肢の筋力の決定因子[48]である下肢筋量は,8歳を境に直接的に疾走能力に関与しなくなることが示唆され，その見解を支持するものである．しかし，15～17 歳にかけての疾走速度の向上はピッチの増大によってもたらされる[19]．これは脚筋パワーの増大に起因する[19]が，その年代に観察される下肢筋量の増加[27]が脚筋パワーの増大をもたらす要因の一つと考えられ，下肢筋量の及ぼす影響が再び表出するものと思われる．

女児においては，児童期の経年的な疾走速度の向上は男児と同様に身長の発育に伴うストライドの増大が主因である[6]．さらに，本研究の結果から，下肢の筋の量的発育は，7歳まではストライドの向上に貢献し，8歳からピッチに関連する疾走動作要因に影響を及ぼすことも男児と同様であった．しかし，男児と異なり，8歳のピッチはスピードとの間には有意な関係が認められることから，下肢の筋の量的発育は8歳以降も疾走能力に直接的に影響を及ぼし続けることが示唆された．また，思春期以降（12～17 歳）の疾走速度，ストライド，ピッチには経年的増大がみられず，むしろ停滞から減少の傾向を示す[22]が，これは女子の疾走能力の経年的変化の特徴の一つと思われる．

一連の本研究から得られた知見から発展的見解を述べる．思春期前においては，日常的な身体的活動を通して下肢の筋の量的な発育を促し，疾走能力を向上させることが，現代の子どもの体力，運動能力低下の抑制に繋がると思われる．また，

下肢筋群の疾走能力に及ぼす影響には部位差が認められた．すなわち，大腿後部や下腿後部の筋群の発達を促すことが疾走能力の向上に対してきわめて重要と思われる．さらに，下肢の筋の量的な発育が疾走能力に与える影響には年齢差や性差が存在した．したがって，運動能力向上のための至適トレーニングプログラムや用器具を開発する際には，その年齢差や性差を考慮することが重要と思われる

本研究を通して得られた今後の課題を述べる．本研究においては，下肢筋厚の発育には性差が認められた．この原因には，内在的に備わっている発育の性差だけではなく，日常生活において下肢の筋群に付加される負荷量の差が考えられる．今後，生活習慣と筋の量的発育との関係などを検討する必要がある．また，下肢筋厚は，7 歳まではストライドの増大に，8 歳からピッチの増大に貢献し，下肢の筋の量的発育が疾走能力に及ぼす影響には年齢差が存在することが示唆された．さらに下肢筋厚は，男児においては疾走速度に影響を及ぼさないが，女児においては疾走速度の向上に直接的に貢献することが示され，性差も存在することが示唆された．これらの年齢差や性差の原因は本研究からは十分に明らかにできず，除脂肪量，体脂肪量，筋の組成などを分析の視点に加えて検討する必要があろう．

以上のことから本研究の知見をまとめると，思春期前の発育過程の中で，下肢の筋の量的発育には性差や下肢の筋群の部位差が認められた．また，下肢の筋の量的発育が疾走能力および疾走動作に及ぼす影響には年齢差や性差が認められ，その影響は 8 歳から変化することが示唆された．

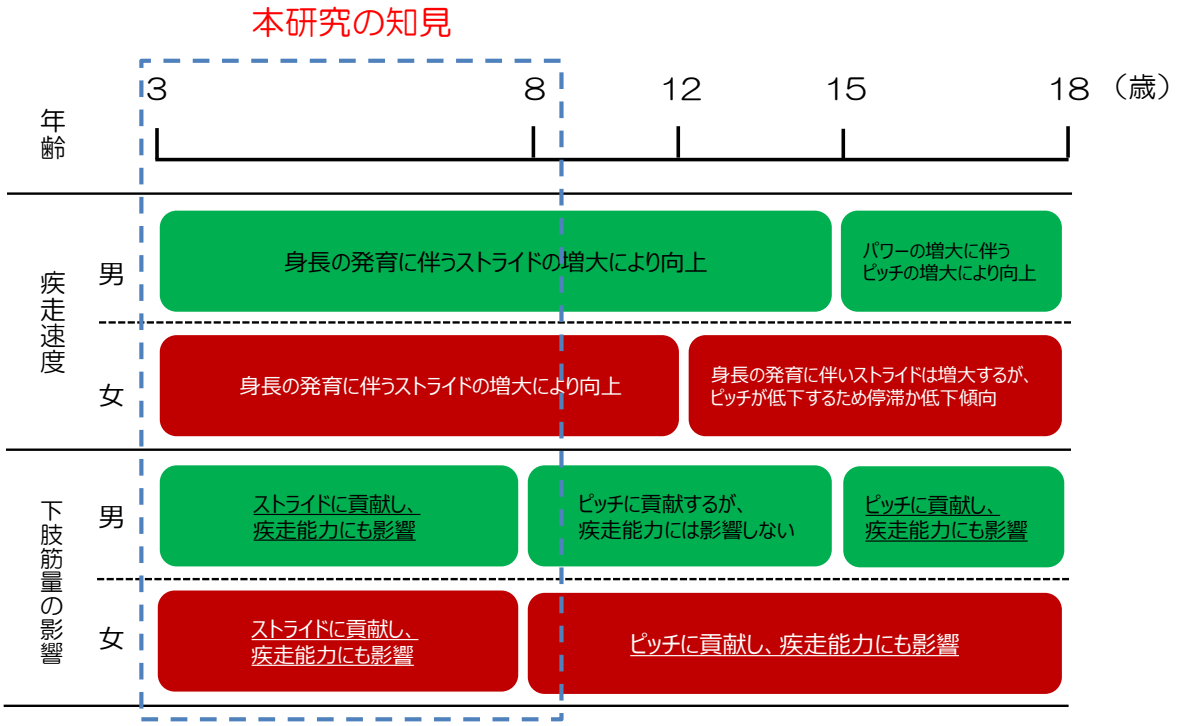


図 5-1　3～18 歳における疾走速度の向上に影響を及ぼす要因と下肢筋量が疾走能力に及ぼす影響

参考文献

1) 藤井勝紀，穐丸武臣，花井忠征，酒井俊郎：幼児の体格・運動能力の発育・発達における年次変化に関する検証，体力科学，55:489-502，2006.

2) 文部科学省スポーツ・青少年局：平成 22 年度体力・運動能力調査報告書，2011.

3) 文部科学省スポーツ・青少年局：平成 23 年度体力・運動能力調査報告書，2012.

4) 中野貴博，春日晃章，村瀬智彦：生活習慣および体力との関係を考慮した幼児における適切な身体活動量の検討，発育発達研究，46:49-58，2010.

5) 森智美，若吉浩二：スポーツ教室開催に伴う児童の疾走能力および動作の変化，奈良教育大学紀要，54：49-56，2005.

6) 宮丸凱史，加藤謙一，久野譜也，芹沢玖美：発育期の子どもの疾走能力の発達に関する研究（１）‐児童の疾走能力の縦断的発達‐，平成 2 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，第 2 報：128-137，1991.

7) 宮丸凱史，加藤謙一：成長にともなう疾走能力の発達，体育の科学，40：775-780，1990.

8) 宮丸凱史：成長にともなう走能力の発達，*J. J. Sports Sc.*, 14:427-434，1995.

9) 宮丸凱史：疾走能力の発達：走り始めから成人まで，体育学研究，47：607-614，2002.

10) 斉藤昌久，伊藤晃：2 歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化，体育学研究，40：104-111，1995.

11) 岩竹淳，山本正嘉，西薗秀嗣，河原繁樹，北田耕司，図子浩二：思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係，体育学研究，53：1-10，2008.

12) 加藤謙一，深川登志子，大鈴貴洋，宮丸凱史：幼児期における歩行から走運動への発達過程に関する追跡的研究，体育学研究，54：307-315，2009.

13) 宮丸凱史：走る動作の発達，体育の科学，28(5)：306-313，2013.

14) 宮丸凱史．疾走能力の発達，杏林書院，東京，1-7，2001.

15) 斉藤昌久，宮丸凱史，湯浅景元，三宅一郎，浅川正一：2～11 歳児の走運動における脚の動作様式，体育の科学，31(5)：357-361，1981.

16) 有川秀之，太田涼，駒崎弘匡，上園竜之介，河野裕一：小学校 1 年時と 6 年時における疾走能力の縦断的比較，埼玉大学紀要教育学部，58(1)：81-89，2009.

17) 宮丸凱史，横井孝志，阿江通良，加藤謙一，中村和彦，久野譜也：身体重心および脚の重心の軌跡からみた幼児の走動作の発達，筑波大学体育科学系紀要，10：299-310，1987.

18) 有川秀之，太田涼，石川泰成，椿智絵，八坂和典：男子中学生の疾走能力に関する縦断的分析，埼玉大学紀要教育学部，57(1)：51-61，2008.

19) 加藤謙一，山中任広，宮丸凱史，阿江通良：男子高校生の疾走能力および最大無酸素性パワーの発達，体育学研究，37：291-304，1992.

20) 加藤謙一，宮丸凱史，宮下憲，阿江通良，中村和彦，麻場一徳：一般学生の疾走能力の発達に関する研究，大学体育研究，9：59-70，1987.

21) 有川秀之，太田涼，石川泰成，椿智絵，八坂和典，柳田勇：女子中学生の疾走能力に関する縦断的分析，埼玉大学紀要教育学部，57(2)：27-36，2008.

22) 加藤謙一，宮丸凱史，阿江通良：女子高校生の疾走能力および最大無酸素性パワーの発達，体育学研究，39：13-24，1994.

23) Rajala GM, Neuman DA, Foster C, and Jensen RH. Quadriceps Muscle Performance in Male speed Skaters. *J Strength and Cond Res* 8(1):48-52, 1994.

24) Kanehisa H, Yata H, Ikegawa S, Fukunaga T. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscle during growth. *Eur J appl Physiol* 72:150-156, 1995.

25) 金久博昭，角田直也，池川繁樹，福永哲夫：相対発育から見た日本人青少年の筋断面積，人類誌，97(1):63-70，1989.

26) Scholten RR, Pillen S, Verrips A, and Zwarts MJ. Quantitative ultrasonography of skeletal muscle in children: normal values. *Muscle Nerve* 27:693-698, 2003.

27) Kanehisa H, Ikegawa S, Tsunoda T, Fukunaga T. Cross-sectional areas of fat and muscle in limbs during growth and middle age. Int. *J. Sports Med*15:420-425, 1994.

28) 福永哲夫，金久博昭，角田直也，池川繁樹：発育期青少年の体肢組成，人類誌，97(1)：51-62，1989.

29) Binzoni T, Bianchi S, Hanquinet S, Kaelin A, Sayegh Y, Dumont M, and Jequier S. Human gastrocnemius medialis Pennation Angle as a Function of Age : From Newborn to the Elderly. *J Physiol Anthrop Appl Human Sci* 20(5):293-298, 2001.

30) 石田良恵，萩裕美子，鈴木志保子，金久博昭：生後 50 ヶ月から 79 ヶ月の幼児の皮下脂肪厚と筋厚，日本生理人類学会誌，12(2):99-103，2007.

31) Ishida Y, Kanehisa H, Kondo M, Fukunaga T. Body Fat and Muscle Thickness in Japanese and Caucasian Females. *Am J human biol* 6:711-718, 1994.

32) 大渕修一，新井武志，小島基永，河合恒，小島成実：超音波測定による大腿前面筋厚と膝伸展筋力の関係，理学療法科学，24(2):185-190，2009.

33) Schmidt R, Voit Th. Ultrasound Measurement of quadriceps Muscle in the first Year of Life. Normal Values and Application to Spinal Muscular Atrophy. *Neuropediatrics* 24:36-42, 1993.

34) Miyatani M, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. The accuracy of volume estimating using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J appl Physiol* 91:264-272, 2004.

35) Heckmatt JZ, Pier N, Dubowitz V. Measurement of Quadriceps Muscle

Thickness and Subcutaneous Tissue Thickness in Normal Children by Real-Time Ultrasound Imaging. *J Clin Ultrasound* 16:171-176, 1988.

36) 金久博昭，福永哲夫，角田直也，池川繁樹：発育期青少年の単位面積当たりの筋力，体力科学，34：71-78，1985.

37) Tanner JM, Hughes PCR, and Whitehouse RH. Radiographically determined widths of bone muscle and fat in the upper arm and calf from age 3-18 years. *Ann Hum Biol* 8(6):495-517, 1981.

38) 阿江通良，宮下憲，横井孝志，大木昭一郎，渋川侃二：機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度，筑波大学体育科学系紀要，9：229-239，1986.

39) 吉岡利貢，中垣浩平，向井直樹，鍋倉賢治：筋の形態的特徴が長距離パフォーマンスに及ぼす影響，体育学研究，54：89-98，2009.

40) 勝田茂，稲木光晴，狩野豊，藤本浩一，久野譜也，高橋英幸，宮丸凱史，加藤謙一：トップジュニア選手における大腿部筋組成の経年的変化 - 1992 年から 1993 年まで - ，筑波大学体育科学系紀要，18：141-148，1995.

41) 加藤謙一，宮丸凱史，松元剛，秋間広：ジュニアスプリンターの疾走能力の発達に関する縦断的研究，体育学研究，44：360-371，1999.

42) 加藤謙一，宮丸凱史，松元剛：優れた小学生スプリンターにおける疾走動作の特徴，体育学研究，46：179-194，2001.

43) 伊藤章，斉藤昌久，佐川和則，加藤謙一：ルイス・バレルと日本トップ選手のキック・フォーム，J.J.SPORTS SCI.，11-10：604-608，1992.

44) 伊藤章，市川博啓，斉藤昌久，佐川和則，伊藤道郎，小林寛道：100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係，体育学研究，43：260-273，1998.

45) 山田敦志，村木里志，古達浩史，濱中伸介，平田靖幸：走行タイムの速い子どもに見られる疾走動作の特徴，バイオメカニズム学会誌，35：58-61，2011.

46) 渡邉信晃，榎本靖士，大山卞圭悟，宮下憲，尾懸貢，勝田茂：スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係, 体育学研究, 48:405-419, 2003.

47) Alexander MJL. The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinter. *Can J Sports Sci* 14:148-157, 1989.

48) Fukunaga T, Miyazaki M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, and Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in human. *Acta Physiol Scand*. 172:249-255, 2001.

49) 財団法人日本体育協会:公認スポーツ指導者養成テキスト「共通科目Ⅰ」, 138-144, 2009.

50) 鈴木宏哉，西嶋尚彦，鈴木和弘：小学生における体力の向上に関連する基本的生活習慣の改善：3 年間の追跡調査による検証，発育発達研究，46:27-36，2010.

51) 笹山健作，沖嶋今日太，水内秀次，足立稔：小学生の日常生活における身体活動量と体力との関連性，体力科学，58:295-304，2009.

52) 池袋敏博，久保啓太郎，小室輝明，矢田秀昭，金久博昭，角田直也：膝伸筋群および足底屈筋群の協働筋における発育に伴う筋厚変化，発育発達研究，44:8-15, 2009.

53) 福永哲夫，松尾彰文，石田良恵，角田直也，内野滋雄，大久保真人：超音波 B モード法による皮下脂肪厚および筋厚の測定法の検討，*Jpn J Med Ultasonics*, 16(2):170-177, 1989.

54) 厚生労働省:平成 21 年国民健康・栄養調査報告書，2010.

55) 文部科学省生涯学習政策局：平成 22 年度学校保健統計調査，2011.

56) 首都大学東京体力標準値研究会：新・日本人の体力標準値Ⅱ，2007.

57) Rolland-Cachera MF, Deheeger M, Bellisle F, Sempe M, Guilloud-Bataille M, and Patois E. Adiposity rebound in children: a simple indicator for predicting

obesity. *AM J Clin Nutrition* 39:129-135, 1984.

58) 増田隆，小宮秀一：日本人幼児における BMI rebound と身体組成の関係，肥満研究，9:284-289，2003.

59) 中尾武平，大柿哲朗，斎藤篤司，小宮秀一：日本人小児の(3-11 歳)の身体組成指数の検討，健康科学，30，19-25，2008.

60) Taylor RW, Gold E, Manning P, and Goulding A. Gender differences in body fat content are present well before puberty. *Int J Obes* 21:1082-1084, 1994.

61) 乙木幸道，小宮秀一，寺本圭輔，増田隆，宇部一：日本人 3～6 歳児の体脂肪分布に関する性差，体力科学，48:641-650，1999.

62) 熊川大介，角田直也：相対発育から見たスピードスケート選手の滑走速度と大腿部の筋厚及び無酸素性パワーの発達，体力科学，57:119-130，2008.

63) 藤井勝紀：身体発育現象としての mid-growth-spurt の検証，体育学研究，47:347-359，2002.

64) Berkey CS, Reed RB, and Valadian I. Midgrowth spurt in height of Boston children. *Ann Hum Biol* 10(1):25-30, 1983.

65) Bock RD, Thissen A. Statistical problem of fitting individual growth corve. *Human Physical Growth and Maturation* (Johnston FE, Roche AF, and Susanne C, eds.), Plenum Press, New York, 265-290, 1980.

66) Gasser T, Muller HG, Kohler W, Prader A, Largo R, Molinari L. An analysis of the mid-growth and adolescent spurts of height based on acceleration. Ann Hum Biol 12(2):129-148, 1985.

67) Molinari L, Largo RH, Prader A. Analysis of the growth spurt at age seven (mid-growth-spurt). *Helv paediat Acta* 35:325-334, 1980.

68) 手島貴範，角田直也：身長の相対発育からみた男子サッカー選手の大腿部筋厚発育とボールキック能力の発達，体力科学，60：195-205，2011.

69) 船津京太郎，村木里志，綱分憲明：3-8 才児における下肢筋厚の発育と性差，体力科学，61(5)：479-486，2012.

70) O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, and Maganaris CN. Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Exp Physiol.* 94:731-738, 2009.

71) 吉本隆哉，高井洋平，藤田英二，福永裕子，金高宏文，西薗秀嗣，金久博昭，山本正嘉：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(1)：79-88，2012.

72) 有川秀之，太田涼，駒崎弘匡，上園竜之介，河野裕一：児童の体格と疾走能力の年次変化，埼玉大学紀要，58(2)：35-42，2009.

73) 文部科学省生涯学習政策局：学校保健統計調査-平成 23 年度結果の概要-.

74) 宮崎彰吾，加藤達郎，山田洋，小河原慶太，植村隆志：幼児の走運動におけるピッチと歩幅の変化，バイオメカニズム学会誌，34(4)：312-316，2010.

75) 狩野豊，高橋英幸，森丘保典，秋間広，宮下憲，久野譜也，勝田茂：スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係，体育学研究，41：352-359，1997.

76) Ozmun JC, Mikesky AE, and Surburg R. Neuromuscular adaptation following prepubescent strength training. *Med. Sci. sports Exerc.* 26(4):510-514, 1994.

77) Diall O, Dore E, Duche P, Van Praagh E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J SPORTS MED PHYS FITNESS.* 41:342-348, 2001.

78) Kotzamanidis C. Effect of plyometric training of running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J. Strength Cond. Res.* 20:441-445, 2006.

79) 船津京太郎，村木里志，綱分憲明：3-8 歳児における下肢筋厚の発育と疾走能力と

の関係，体力科学，62：131-139，2013.

80) 小林寛道：ソウル五輪代表スプリンターおよびジュニア優秀スプリンターの脚力の特徴，競技力向上のスポーツ科学Ⅰ，朝倉書店，東京，19-37，1989.

81) 渡邉信晃，榎本好孝，狩野豊，安井年文，宮下憲，久野譜也，勝田茂：スプリンターの筋横断面積と疾走速度との関係における性差，陸上競技研究，39：12-19，1999.

82) 谷川聡，島田一志，岩井浩一，尾懸貢：競技者と一般人の走および歩動作の特徴，体育学研究，53：75-85，2008.

83) 尾県貢，関岡康雄，辻井義弘：男子スプリンターにおける下肢の動的筋力と疾走中の脚動作との関係，陸上競技研究，1：14-19，1990.

84) 厚生労働省:平成 21 年国民健康・栄養調査報告書，2012.

85) 文部科学省生涯学習政策局：平成 22 年度学校保健統計調査，2013

86) 安部孝，福永哲夫：日本人の体脂肪と筋肉分布，91-108，杏林書院，1995.

87) 加藤謙一，宮丸凱史：一般高校生の疾走動作の特徴，体育学研究，51：165-175，2006.

88) 江原義弘，山本澄子：ボディダイナミクス入門　立ち上がり動作の分析，11-15，医歯薬出版，2001.

89) 小塩真司：SPSS と Amos による心理・調査データ解析 - 因子分析・共分散分析まで - 第 2 版，東京書店，104-112，2011.

90) 松尾彰文，福永哲夫，浅見俊雄，金久博昭：発育期青少年の疾走速度，地面反力と脚筋力の関係について，東京大学教養学部体育研究室体育学紀要，19：21-30，1985.

91) 加藤謙一，川本和久，関岡康雄：中学生の疾走能力の発達に関する縦断的研究，体育の科学，35：858-862，1985.

92) 吉本隆哉，高井洋平，山本正嘉：男子における運動習慣および年齢との関連から

みた疾走能力と下肢筋力との関係に関する文献研究，スポーツトレーニング科学，13：15-17，2012.

謝辞

大学の教員としての職に就き，九州大学に入学するまでは陸上競技のコーチング一筋に邁進して参りました．その傍ら，子どもを対象とした総合型スポーツクラブを設立いたしました．それは，陸上競技を通しての社会貢献として，自らに課せられた義務であると感じてからのことです．しかし，子どもを指導するにあたり，発育に関する専門知識が不足していることに気づくまでには時間を要しませんでした．そして，綱分憲明元長崎県立大学教授のご指南もあり，九州大学大学院芸術工学研究院の村木里志准教授のご指導を仰ぎ始め，3 年の月日が経過しました．

まず，村木里志准教授おかれましては，20 年間コーチング一筋であった私に，誠実，真摯に熱意に満ちたご指導をしていただきました．ご多忙にもかかわらず，時間を惜しまずきめ細かなご指導を賜りました．そのご指導なくしてはここまで辿りつけなかったのは言うまでもありません．また，先生のお人柄から，研究者としてのみならず，人として大切にすべき事を学ばせていただきました．先生からご教授いただいた全てに対して，心より感謝の意を申し上げます．また，教え子として名前を連ねられることをこの上もなく誇りに思います．

大柿哲朗教授（九州大学大学院人間環境学研究院），綿貫茂喜教授（九州大学大学院芸術工学研究院）には，予備審査の折に貴重なご助言を賜りました．そのご助言が本研究をまとめるにあたり，大変重要なものとなりました．心より感謝の意を申し上げます．

村木研究室の西野綾さんをはじめとする皆さんにも大変お世話になりました．研究室を訪れた際には，私が学生という立場でありながらも，ご丁寧な対応をしていただいたことに感謝の意を申し上げます．

九州共立大学の関係者の皆様に感謝の意を申し上げます．研究に取り組む時間を与えてくださり，温かく見守っていただいたことに心より感謝の意を申し上げます．特に，陸上競技部の疋田晃久監督，山口恭平コーチには深くお礼を申し上げます．

特定非営利活動法人 LAC 副代表の野田耕氏，理事の得居雅人氏には，ご負担をおかけしたことをお詫びすると同時に，感謝の意を申し上げます．広尾（吉田）彩花さん，城戸康希くんには，仕事

後や休みの日にデータ処理の補助をしていただき，効率よく研究を進めることができました．誠にありがとうございました．

そして，3 年間にわたり，妻と二人の娘は何も言わずに私を支えてくれました．改めて家族の大切さ，ありがたさを認識することができました．今後は夫としての，父親としての役割を果たそうと考えています．本当にありがとうございました．

最後になりましたが，お世話になった全ての方々に深く感謝の意を申し上げます．この 3 年間を第 2 の人生のスタートとして捉え，ご教授していただいたことを子どもたちに還元し，日本のジュニアスポーツ界を牽引していくことをお約束し，お礼の言葉に代えさせていただきます．

2013 年 12 月

船津京太郎