

平成 22 年 5 月 17 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500493

研究課題名 (和文) 幼児および小学生児童における身体活動量と筋の量的および機能的発達との関係

研究課題名 (英文) Relationship between the amount of daily activities and muscular development in preschool and school children

研究代表者

金久 博昭 (KANEHISA HIROAKI)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：50161188

研究成果の概要 (和文)：本研究は、幼児および小学生児童における筋の量および機能、ならびに運動能力における性・年齢の影響を捉えると同時に、それらに日常生活の身体活動の量および強度 (水準) の要因がどのように関連するのかを明らかにすることを目的とした。研究の結果、1) 幼児期から小学校期における筋量および筋力、並びにそれらの年齢変化に顕著な性差は認められないが、運動能力は、幼児期の段階において、すでに男児が女児より優れていること、2) 運動能力の予測因子には男女児間で違いがみられ、それが運動能力に性差を生む要因の1つになっていること、3) 筋量は、日常生活の身体活動の量および水準よりも身体自然発育の影響を強く受けているが、皮下脂肪量は、身体活動水準の影響を受け、幼児期から小学校期においては、身体活動水準の確保が肥満予防として重要であること、および4) 運動能力は身体活動量よりも身体活動水準の影響を強く受け、日常生活の身体活動として、通常歩行より強度の高い活発な動きの積極的な実施は、筋の機能的発達を促進することが示唆された。

研究成果の概要 (英文) : The present study aimed to investigate the influences of age and sex on the muscle size and function and motor fitness in preschool and school children, and to clarify how the amount and intensity of daily activities become factors explaining the individual differences in muscular development and motor fitness. As one of the major findings of the present study, there were no significant differences between boys and girls in muscle thickness, muscle strength and their age-related changes in preschool and school ages, but boys showed better motor performances than girls even in preschool age. A regression analysis showed that factors selected for predicting motor performances differed between boys and girls, which might be assumed to be involved as a reason for the sex-related differences in motor performances. Muscle size was more closely related to the natural growth of the whole body rather than the amount and intensity of daily activities. On the other hand, fat mass for preschool children was negatively related to the mean intensity of daily activities, suggesting that the intensity of daily activities will be a determinant factor for the magnitude of fatness in preschool age. In addition, motor performances were related to the intensity but not to the amount of daily activities, and so frequent participation in physical activities with moderate to high intensity beyond the level of normal walking may be assumed to be a factor promoting development in muscle function in preschool and school children.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：幼児、小学生児童、身体活動量、身体活動水準、筋量、筋機能、運動能力、性差

1. 研究開始当初の背景

幼児期においては、身体の成長過程からみて、前半の体重、胸囲などの幅育が比較的盛んな時期と、後半の身長、下肢長などの長育が比較的盛んになる時期に大別される（高石ほか1981）。この時期にある子どもの骨格筋の量的変化については、従来のレントゲン撮影による分析結果（Maresh 1961, 1963, 1966; Tanner et al. 1981）に加え、近年では超音波法の活用による性差あるいは年齢差に関する知見が数を増しつつある（Binzoni et al. 2001; Hechmatt et al. 1988; Koskelo et al. 1991; Schmidt and Voit 1993; Scholton et al. 2003）。しかし、それらは、限定された年齢層を対象としており、また、各年齢の被験者の数が比較的少数であることに加え、下肢あるいは上肢に位置する特定の筋群を分析の対象にしているにすぎない。さらに、骨格筋の量および機能の発育変化について、幼児期から小学生児童までを包括的に捉えた例もない。それゆえ、幼児期から小学生児童における骨格筋の量的および機能的な発育変化における部位差あるいは筋間差ならびに性差に関しては、不明な点が多く残されている。

10歳以下の男女児を含む被験者群を対象

にした研究（Abott and Davies 2004; Boot et al 1997; Ellis et al. 2000; Mast et al. 1998; Nagy et al. 1997; Taylor et al. 1997）の結果によれば、幼児期においてさえ体脂肪量あるいは体脂肪率は女子が男子より高い。また、除脂肪組織量に関しても、男児が女児より有意に高値であるとする報告（Abott and Davies 2004; Ellis et al. 2000; Nagy et al. 1997; Taylor et al. 1997）もみられる。一方、X線法（Maresh 1961, 1963, 1966）により、前腕、大腿、下腿の組織厚を測定した結果によると、10歳以下の年齢において、皮下脂肪は女児が男児より厚いものの、筋の厚みには有意な性差は観察されていない。しかし、3歳から18歳の男女を対象に、下腿と上腕の筋厚を縦断的に測定した Tanner et al. (1981)の結果によると、下腿では11歳前後まで男女児間で殆ど差がないものの、上腕では5、6歳以前の年齢においてさえ男児が女児より高い。これら一連の研究結果を考慮すると、幼児期の段階においても身体組成には性差が存在し、しかも骨格筋量における性差の有無は、部位によって異なることが予想される。

一方、発育期における適度な身体活動量の

確保は、身体を構成する諸器官・組織の形状および機能の正常な発育・発達を促進するうえで極めて重要であると考えられている。これまでのところ、幼児から小学生児童を対象に、日常生活での身体活動量と身体組成や体力水準との関係を検討した例は多い。しかし、先行研究では、主に体脂肪量および体脂肪率との関係を検証しており、骨格筋量への影響については、ほとんど明らかにされていない。また、体脂肪量に関しても、身体全体の量として評価したものが大半であり、身体における脂肪分布の部位差に着目した研究は少ない。同様に、骨格筋の量的発育における部位差について、身体活動量との関連で検証した例は皆無である。また、4～6歳の男女を対象に運動能力の年齢推移を検討した先行研究の結果によると、すでにその年齢において運動能力には性差が存在し、女兒は男児より劣ることが指摘されている。しかし、その要因について、骨格筋量および身体活動量における性差との関連で包括的に検証した例はない。そこで本研究では、幼児期から小学校期における筋の量的、機能的発達における年齢推移、性差、ならびにそれらに対する日常生活での身体活動量の影響について検証するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、幼児および小学生児童における筋の量および機能、ならびに運動能力における性・年齢の影響を捉えると同時に、それらに日常生活での身体活動の量および強度（水準）の要因がどのように関連するのかを明らかにすることを目的として、以下の6項目について検討した。各項目の概要は次に示す通りである。

1) 研究1. 生後36ヶ月から79ヶ月の子どもの形態および組織厚の発育変化における性の影響

幼児期における形態の発育変化を捉えた研究は多い。しかし、筋の量的な発育に関しては、測定部位が下腿あるいは上腕といった部分的な箇所に限られており、その発育変化における部位差については不明な点が多い。そこで本研究では、生後36ヶ月以降の男女児を対象に、形態に加え身体各部位の皮下脂肪厚および筋厚を測定し、それらの年齢変化について性差との関連で検討した。

2) 研究2. 幼児期における筋力および運動能力の性差

思春期以降の筋量の発達における男女間の差異は、筋力や運動能力に性差を生む。一方、就学年齢以前の男女児を対象にした先行研究の結果によると、6歳以前の段階においてさえ、身体組成には性差が存在し(Butte et al. 2000; Ellis et al. 2000; Taylor et al. 1997)、走・跳・投の各成績は男児が女児を上回る(Benefice and Malia 1996; Benefice et al. 1996ab; Dusenbery 1952; Moris et al. 1982; Nelson et al. 1986, 1991; Toriola and Igbokwe 1986; Robertson et al. 1979; Yoshizawa et al. 1977)。仮に幼児期においても、筋量、筋力または単位筋量当たりの筋力に有意な性差が認められるならば、それらは運動能力における性差を説明する要因になると考えられる。本研究では、月齢51ヶ月から79ヶ月の男女児を対象に、上腕前および大腿前の筋厚、肘関節屈曲力、膝関節伸展力、握力、並びに立幅跳び、テニスボール投げ、10m走の成績を測定し、それらにおける性差について検討した。また、歩行数の測定を実施し、日常生活での身体活動量が各測定変数に及ぼす影響を検討した。

3) 研究3. 幼児期における組織厚および運動能力の縦断変化

幼児の場合に、縦断的な観察結果として、身長および体重といった形態上の変化を捉

えた報告は多い。しかし、筋厚も含めた身体の組織厚ならびに運動能力における縦断変化を捉えた研究はなく、その実態は不明である。そこで、本研究では、幼児期の男女児を対象に、組織厚および運動能力の1年間の変化を検討した。また、日常生活での身体活動量の指標として歩行数を計測し、それにおける変化と他の測定項目の変化との関係についても検討した。

4) 研究4. 幼児期における身体活動量と身体組成および運動能力との関係

幼児期において、日常の身体活動量が身体組成および運動能力に、どのような影響を及ぼすのかは不明な点が多い。また、研究1・2の結果において、幼児の段階で、女兒は男児に比べ特定の部位において皮下脂肪が厚く、運動能力も劣ることが示された。本研究は、幼児期における皮下脂肪厚、筋厚ならびに走・跳・投の運動能力に、日常の身体活動量が与える影響について、性差との関連で検討した。

5) 研究5. 小学生児童における四肢の筋断面積と筋力の性差および年齢差

先行研究の結果によると、単位筋量当たりの筋力は、思春期以後、年齢の影響をほとんど受けない。しかし、研究2において、幼児の体重^{2/3}当たりの筋力は、月齢が進むにつれ高くなる傾向が観察された。この結果は、幼児期も含む思春期前の段階においては、単位筋量当たりの筋力は年齢が進むにつれ増加する可能性のあることを意味している。しかし、研究2では、測定筋力に関連する筋群の筋断面積あるいは筋体積を定量していない。そこで、本研究では、小学生を対象に、四肢の筋断面積と筋力を測定し、単位筋断面積当たりの筋力の年齢変化を性差との関連で検討した。

6) 研究6. 小学生期におけるスポーツ活動

が筋量および筋力に及ぼす影響：小学生野球選手を対象にした1年間の縦断研究

小学生の段階になると、児童の中には、特定のスポーツ活動を定期的実施し、選手として競技スポーツに参加するようになる。そのような低年齢層におけるスポーツ活動の習慣化は、生来の発育発達に加え、参加するスポーツの特性を反映した筋の発達を促すと考えられる。しかし、小学生の段階において、そのような競技スポーツへの参加が、筋の量および機能にどのような影響を及ぼすのかは明らかでない。そこで本研究では、日常の身体活動の状態が小学生児童の筋の量的、機能的発達に及ぼす影響を知る1つの例として、野球を定期的実施している男子小学生を対象に、1年間の間隔を開け、筋厚、筋量指標、筋力、ボール投球スピードを縦断的に測定し、各項目における変化を検討した。

3. 研究の方法

1) 研究1. 生後36ヶ月から79ヶ月の子どもの形態および組織厚の発育変化における性の影響

(1) 被験者

月齢が36ヶ月から79ヶ月までの健常な男児332名および女児346名を被験者とした。被験者の年齢の平均値±標準偏差値は、男児が61.0±10.2ヶ月、女児が61.4±10.3ヶ月であった。測定の実施に先立ち、被験者の保護者および保育園、幼稚園関係者には、研究の目的および測定の安全性を説明し、測定参加の同意を得た。

(2) 測定項目

身長および体重に加え、周径囲として上腕および大腿（組織厚測定点における周径囲）の他に胸囲、腰囲、およびヒップを測定した。Bモード超音波診断装置（型番、ALOKA）を用いて、上腕前、上腕後、腹部、大腿前、大腿

後、下腿後の6カ所における皮下脂肪厚と筋厚を測定した。測定時の超音波発振周波数は5MHzであり、被験者の姿勢は立位とした。測定箇所は、いずれの部位も身体の右側とし、各部位の測定点は、安部と福永(1995)の方法に倣い以下の通りとした。

上腕前部および後部：肩峰点より上腕長の遠位 60%

大腿前部および後部：大転子点より大腿長の遠位 50%

下腿後部：脛骨点より下腿長の遠位 30%

腹部：臍横

得られた超音波画像に基づき、皮膚から皮下脂肪と筋との境界を示す反射波までの距離を皮下脂肪厚として測定した。また、皮下脂肪と筋との境界から、前腕では橈骨まで、上腕では上腕骨まで、大腿では大腿骨まで、下腿では脛骨まで、腹部では腹直筋と腹腔の境界までを、それぞれ筋厚として測定した。なお、本研究で用いた超音波装置の測定精度および測定値の再現性については、先行研究(福永と金久 1990)において確認した。なお、男女児間の平均値の差については、対応のない t-test により検定し、ボンフェローニ補正により $p \leq 0.0016$ でもって有意とした。

2) 研究2. 幼児期における筋力および運動能力の性差

(1) 被験者

月齢 51 ヶ月から 79 ヶ月までの男児 96 名および女児 107 名を被験者とした。被験者の月齢、身長および体重の平均値と標準偏差値は、男児では 67.9 ± 7.5 ヶ月、 117.7 ± 6.2 cm、 19.3 ± 3.5 kg、女児では 68.2 ± 7.3 ヶ月、 110.9 ± 6.4 cm、 18.3 ± 2.5 kg であり、各値に有意な性差は認められなかった。測定の実施に先立ち、被験者の保護者および保育園、幼稚園関係者には、研究の目的および測定の

安全性について説明し、測定参加の同意を得た。

(2) 測定項目

形態に加え、B-モード超音波診断装置(型番、ALOKA)を用いて、右肢の前腕前、上腕前、上腕後、大腿前、大腿後の筋厚を測定した。超音波画像の撮像条件および分析条件は研究1と同一であった。筋力の測定は特別に作成した測定装置を用いて実施した。等尺性の肘関節屈曲・伸展および膝関節屈曲・伸展時の発揮筋力を測定した。測定時の被験者の姿勢は椅座位であり、肘関節および膝関節ともに90度において力発揮を行わせた。記録された筋力曲線のなかで極大値を採用した。両動作とも試行は2回とし、2回目に初回を上回る値が記録された場合には、3試行目を実施した。各試行に発揮された最大値を個人の代表値として採用した。運動能力として、立幅跳の距離および10m走のタイムを測定した。10m走の成績は、距離をタイムで除することにより、平均走速度として表した。簡易加速度計(ライフコーダ)を用いて、歩行数を1週間記録し、1日当たりの平均値を代表値として採用した。筋厚および筋力のデータ処理に際しては、ディメンション論を考慮して、筋力を体重の2/3乗に対する比として、筋厚を体重の1/3乗に対する比として、それぞれ規格化した。男女児間の平均値の差の有意性は、対応のない t-test により26項目について検討した。有意水準はボンフェローニ補正に基づき、 $p \leq 0.0019$ でもって有意とした。

3) 研究3. 幼児期における組織厚および運動能力の縦断変化

(1) 被験者

月齢 48~59 ヶ月の女児 23 名 (55.2 ± 2.9 ヶ月) および男児 17 名 (55.2 ± 3.0 ヶ月) を

被験者とした。測定の実施に先立ち、被験者の保護者および保育園、幼稚園関係者には、研究の目的および測定の安全性を説明し、測定参加の同意を得た。

(2) 測定項目

1 年間の間隔をおき、身長、体重、周径囲に加え、身体 7 カ所（前腕前、上腕前、上腕後、腹、大腿前、大腿後、下腿後）の筋厚と皮下脂肪厚を超音波法により測定した。超音波画像の取得条件および分析条件は研究 1 と同一であった。また、運動能力として、立ち幅跳び、長座体前屈、テニスボール投げ、10m 走タイム、握力の測定を実施した。さらに、簡易加速度計（ライフコーダ）を用いて、歩行数を 1 週間記録し、1 日当たりの平均値を代表値として採用した。平均値の差の検定は対の t-test により行い、有意水準はボンフェローニ補正に基づき、 $p \leq 0.0014$ をもって有意とした。

4) 研究 4. 幼児期における身体活動量と身体組成および運動能力との関係

(1) 被験者

月齢 54~76 ヶ月の男児 100 名 (66.3 ± 0.6 ヶ月) および女児 114 名 (65.6 ± 0.6 ヶ月) を被験者とした。測定の実施に先立ち、被験者の保護者および保育園、幼稚園関係者には、研究の目的および測定の安全性を説明し、測定参加の同意を得た。

(2) 測定項目

簡易加速度計（ライフコーダ）による 1 週間の記録から、1 日当りの総エネルギー消費量を算出した。さらに、総エネルギー消費量に基づいて、活動量指標（総エネルギー消費量 - 基礎代謝量）と活動水準指標（活動量指標 / 基礎代謝基準値 / 体重）を求めた。また、身体活動水準を①強度レベル 0：座位か横・仰臥位など殆ど動きを伴わない、②強度レベ

ル 1、2、3：移動を殆ど伴わない動作かゆっくりとした歩行程度、③強度レベル 4、5、6：速歩程度、④強度レベル 7、8、9：強歩・走程度の 10 段階に分類し、それぞれの強度が 24 時間中に占める割合を求めた。形態・身体組成の測定として、身長、体重、周径囲に加え、身体 7 カ所（前腕前、上腕前、上腕後、腹、大腿前、大腿後、下腿後）の筋厚と皮下脂肪厚を超音波法により計測した。超音波画像の取得条件および分析条件は研究 1 と同一であった。運動能力については、立ち幅跳び、10m 走、テニスボール投げの各成績を計測した。統計処理として、組織厚および運動能力を従属変数とする重回帰分析（ステップワイズ法）を実施し、それぞれの説明変数を抽出した。

5) 研究 5. 小学生児童における四肢の筋断面積と筋力の性差および年齢差

(1) 被験者

6 歳から 12 歳の男子 60 名、女子 60 名を被験者とした。被験者の年齢、身長、体重の各平均値 ± 標準偏差値は、男子が 9.2 ± 1.7 歳、 130.9 ± 10.0 cm、 28.9 ± 6.6 kg、女子が 9.3 ± 1.8 歳、 131.0 ± 11.2 cm、 28.6 ± 6.9 kg であり、それぞれの値に有意な性差は認められなかった。測定の実施に先立ち、被験者本人および被験者の保護者並びに学校関係者には、研究の目的および測定の安全性を説明し、測定参加の同意を得た。

(2) 測定項目

四肢の周径囲に加え、手関節屈筋群、肘関節屈筋群、膝関節伸筋群、足関節底屈筋群の各断面積、並びに握力、等尺性での肘屈曲力、膝伸展力、足底屈力を測定した。筋断面積の測定は超音波法により行い、データ取得の条件および分析の手順は、先行研究（福永と金久 1990）と同一であった。肘屈曲力、膝伸展

力、および足底屈力の測定時の関節角度は、それぞれ肘関節 110 度(完全伸展位 180 度)、膝関節 110 度、および足関節 90 度とした。各測定値における性差については、対応のない t-test により検討し、ボンフェローニ補正に基づき、 $p \leq 0.0026$ でもって有意とした。また、筋断面積と筋力との相関係数については、 $p \leq 0.0031$ でもって有意とした。

6) 研究 6. 小学生期におけるスポーツ活動が筋量および筋力に及ぼす影響：小学生野球選手の 1 年間の縦断研究

(1) 被験者

野球を定期的に実施し、小学校間あるいは地区の公式試合にも出場している 8.9 歳から 11.5 歳の男子 25 名を被験者とした。測定は 1 年間の間隔を空けて 2 回実施した。第 1 回目の測定時の年齢は 10.7 ± 0.7 歳であった。測定の実施に先立ち、被験者本人および被験者の保護者並びに被験者の所属する野球チームの関係者には、研究の目的および測定の安全性について説明し、測定参加の同意を得た。

(2) 測定項目

形態に加え、超音波法により上腕前、上腕後、大腿前、大腿後、腹部の筋厚を測定した。超音波画像の取得条件および分析条件は研究 1 と同一であった。また、インピーダンス法により、左右大腿および左右上腕のインピーダンスインデックス (BI) を測定し、筋量指標とした。さらに筋力として、等尺性の肘関節および膝関節の屈曲・伸展トルクを測定した。これら体力要素の測定に加え、本研究では、ピッチング動作でのボール初速度を測定した。第 1 回目の測定を Pre、第 2 回目の測定を Post とし、 $(\text{Post} - \text{Pre}) / \text{Pre} * 100 (\%)$ により変化率を算出した。各測定項目の変化量の統計的有意性は、対の t 検定により検討

した。検討した項目は 34 項目であり、有意水準はボンフェローニ補正に基づき $p \leq 0.0015$ とした。また、BI とトルク (4 項目 \times 2 (Pre と Post))、身長の変化率と BI およびトルクの各変化率 (6 項目) との相関係数を求め、それぞれ $p \leq 0.006$ および $p \leq 0.008$ でもって有意とした。

4. 研究成果

1) 研究 1. 生後 36 ヶ月から 79 ヶ月の子どもの形態および組織厚の発育変化における性の影響

形態の測定項目において有意な性差が認められたのは、胸囲および大腿囲のみであり、前者は男児が、後者は女児がそれぞれ有意に大きな値を示した (表 1)。皮下脂肪厚は、上腕後および腹部、大腿前、大腿後において、女児が男児より有意に高い値を示した (表 2)。しかし、筋厚には、すべての部位において有意な性差は観察されなかった (表 3)。

これまでに、形態に性差がない 10 歳以下の男女児の身体組成を測定した先行研究の結果によると、体脂肪率は女児が男児より高いにもかかわらず、体脂肪量に性差は認められていない (Abott and Davies 2004; Nagy et al. 1997; 乙木ほか 1999)。しかし、3~6 歳の日本人男女児を対象にした乙木ほか (1999) の報告によると、総体脂肪量に性差は認められないものの、皮下脂肪量は女児が男児より多い。本研究では身体全体の皮下脂肪量を測定していないため、乙木ほか (1999) の結果と本研究のそれとの整合性を議論することはできない。しかし、本研究の結果において、皮下脂肪厚に性差が観察された部位は、他の部位に比較して皮下脂肪が厚く、また、腹部および大腿と周径囲が大きな部位を含む。それゆえ、形態に差はなくとも皮下脂肪量は男女児間で異なるという乙木ら (1999) の報告は、本研究の結果を間接的に支

持するものと考えられる。

一方、超音波法のように生体画像から 10～12 歳以下の子どもの皮下脂肪を定量した研究例としては、X 線法 (Maresh 1961, 1963, 1966; Tanner et al. 1981)、超音波法 (Heckmatt et al. 1988; Scholten et al. 2003) あるいは computerized tomography (CT) 法 (Nagy et al. 1997) を用いたものが挙げられる。それらのなかで、超音波法により大腿前部の皮下脂肪厚を測定した Heckmatt et al. (1988) は、本研究の結果と同様に、皮下脂肪は女兒が男児より厚いことを報告している。それに対し、4～10 歳の男女児に CT 法を適用し、臍位置での横断画像から腹部の脂肪断面積を定量した Nagy et al. (1997) の報告によると、本研究とは異なり、腹部の皮下脂肪断面積に性差は観察されていない。その原因が厚みと断面積といった測定変数間の違いによるものであるかどうかは不明であるが、被験者の人種による違いという点を考慮する必要があると思われる。Nagy et al. (1997) は、African-American および Caucasian を被験者として採用しており、その結果に人種による影響は観察されていない。しかし、先行研究 (Ishida et al. 1994) の結果によると、成人女性の場合に、皮下脂肪厚の分布状態は日本人と Caucasian で異なり、体脂肪量の差を考慮に入れた比較であっても、日本人は Caucasian に比べ体幹部の皮下脂肪が厚い。そのような皮下脂肪分布における人種差は思春期前児童においても観察されており、5 歳～12 歳男女児を対象にした He et al. (2002) の報告では、女子の場合に、Asian は Caucasian に比較して、体幹部の脂肪が相対的に多いといわれている。これらの知見を考慮に入れると、腹部の皮下脂肪に関する Nagy et al. (1997) と本研究の結果の違いを説明する要因として、皮下脂肪分布にお

ける人種差という点も含まれると予想される。

皮下脂肪厚と異なり、筋厚に性差の認められる部位はなかった。先にあげた乙木ほか (1999) の結果では、除脂肪組織量に性差は観察されていない。しかし、Abbott et al. (2004)、Nagy et al. (1997) および Taylor et al. (1997) の報告によると、たとえ形態計測値に性差がなくとも、除脂肪組織量は男児が女児より大きい。また、先行研究の結果において、10 歳以下の場合に、大腿あるいは下腿に位置する筋群の厚みに性差は認められない (Heckmatt et al. 1988; Tanner et al. 1981) が、上腕部では男子が女子より厚い (Tanner et al. 1981)。さらに成人における四肢筋断面積の男女差は、下肢筋よりも上肢筋において顕著に表れる (福永と金久 1990)。それゆえ、本研究を実施するに当たり、当初、身体各部位の筋厚は男児が女児より厚く、さらに性差の程度は下肢よりも上肢において大きいと考えられた。しかし、本研究の結果は、それを否定するものであり、少なくとも生後約 40 ヶ月から 80 ヶ月においては、皮下脂肪厚と異なり、筋厚には性に関連した差がないことを示唆している。一方、2 歳から 12 歳の男女児を対象に、本研究と同様に超音波法を用いて、上肢および下肢に位置する特定の筋群の厚みについて分析した Scholten et al. (2003) の結果によると、いずれの筋群も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た場合に、年齢、身長および性は筋厚に対し有意な影響を持たないといわれている。本研究では形態計測値に有意な性差が存在しない男女児を被験者として採用しており、それが筋厚に性差が生じなかった一因になっていると推察される。

次に、形態の年齢推移を男女児間で比較するために、49 ヶ月未満の被験者の平均値を

100 とした相対値により表し、月齢との相関関係を検討した。その結果、まず体重および周径囲は男女児とも有意な相関関係 ($r=0.233-0.569$, $p<0.0001$) を示し、その関係における回帰式の傾きに性差は認められなかった。この結果は、胸囲および大腿囲に性差が観察されたものの、測定対象となった月齢区間においては、周径囲の年齢推移に性差がないことを意味する。換言すれば、胸囲および大腿囲における性差は、生後 49 ヶ月以前の段階において、すでに形成されているといえる。

組織厚についても同様に処理し、月齢との相関関係を検討した。その結果、まず皮下脂肪厚の場合に、女児の腹部で月齢が進むにつれ増加する傾向 ($r=0.131$, $p=0.0172$) が観察されたが、男女児ともに、いずれの部位においても両変数間に有意な相関関係は認められなかった。一方、筋厚は上腕前を除き、他の全てにおいて男女児とも月齢と有意な相関関係 ($r=218-0.490$, $p<0.0001$) を示した。すなわち、測定対象者の月齢区間においては、年齢に伴う変化として、男女児とも皮下脂肪厚より筋厚の増加が著しいといえる。また月齢と筋厚との関係において、回帰式の傾きに有意な性差は認められなかった。このような結果は、月齢が進むにつれ筋厚が増加する部位では、その増加率に性差はないことを意味する。それに対し、上腕前の筋厚には、男女児とも月齢と有意な相関関係を示さず、年齢に伴う増加の傾向は観察されなかった。その原因について、本研究の結果から明らかにすることはできない。四肢筋断面積の相対発育に関する先行研究(金久ほか 1989)の結果によると、アローメトリー式 $y=ax^b$ の係数 b は、思春期前および思春期後では上腕より下肢の筋群において高く、思春期では上腕が他の部位の筋群よりも高くなる。このような知見

と本研究との結果を考え合わせると、幼児期も含めた思春期前においては、上腕前の筋組織の発育は他の部位に比較して緩やかなものであることが予想される。

上記の筋厚の年齢変化における部位差を確認するために、身長についても 49 ヶ月未満の平均値を基準に相対値で表し、筋厚のそれとの関係を検討してみた。その結果、両者の間には相関係数 $r=0.117-0.607$ ($p=0.0289-p<0.0001$) の関係が認められ、回帰式の傾きは、上腕前が男子 0.450、女子 0.291 であり、他の部位における値 (男児 0.885-1.155、女児 0.683-1.063) に比べ低値であった。また、下腿筋厚の傾きは男児 (0.885) が女児 (0.683) より有意に高い値であったが、他の部位においては、上腕前も含め有意な性差は認められなかった。したがって、身長を発育の尺度とした場合においても、筋厚の発育変化およびその部位差に、性による影響はないといえる。

表1 形態に関する測定結果

項目	女児	男児	性差 p値
身長、cm	106.5 ± 7.3	107.5 ± 7.1	0.0654
体重、kg	17.4 ± 2.6	17.8 ± 2.9	0.0283
BMI	15.3 ± 1.2	15.3 ± 1.3	0.3536
上腕囲、cm	16.3 ± 1.2	16.2 ± 1.3	0.8344
大腿囲、cm	30.3 ± 2.4	29.6 ± 2.8	0.0009
胸囲、cm	54.0 ± 2.9	55.2 ± 3.0	<0.0001
ウエスト、cm	48.9 ± 3.2	49.5 ± 3.5	0.0248
ヒップ、cm	56.0 ± 4.1	55.5 ± 4.0	0.1141
平均値±SD			
p ≤ 0.0019で有意			

表2 皮下脂肪厚に関する測定結果: mm

部位	女児	男児	性差 p値
上腕前	3.5 ± 1.2	3.3 ± 1.1	0.0136
上腕後	7.9 ± 2.0	6.8 ± 1.9	<0.0001
腹	7.1 ± 3.2	6.0 ± 3.0	<0.0001
大腿前	8.0 ± 1.8	6.9 ± 2.0	<0.0001
大腿後	7.2 ± 2.1	6.5 ± 2.0	<0.0001
下腿後	5.1 ± 1.2	4.8 ± 1.1	0.0034
平均値±SD			
p ≤ 0.0019で有意			

表3 筋厚に関する測定結果: mm

部位	女児	男児	性差 p値
上腕前	11.5 ± 2.1	11.7 ± 2.2	0.2328
上腕後	11.6 ± 2.7	12.2 ± 2.7	0.0035
腹	5.1 ± 0.8	5.1 ± 1.0	0.4843
大腿前	25.9 ± 3.7	25.1 ± 3.8	0.0070
大腿後	31.2 ± 3.8	31.5 ± 4.0	0.4439
下腿後	37.4 ± 3.3	37.6 ± 3.6	0.4730
平均値±SD			
p ≤ 0.0019で有意			

2) 研究2. 幼児期における筋力および運動能力の性差

すべての部位において、筋厚および筋厚/体重^{1/3}に有意な性差は観察されなかった(表1)。同様に、筋力および筋力/体重^{2/3}においても、性差の認められる項目はなかった(表2)。それに対し、運動能力は、すべての項目において、男児が女児より有意に高い値を示した(表3)。これらの結果は、運動能力における性差を説明するものとして、筋量および筋力における差が含まれる可能性を否定するものである。

表1 筋厚に関する測定結果

	女児	男児	性差 p値
筋厚、mm			
前腕前	11.4 ± 1.9	11.6 ± 2.1	0.3839
上腕前	11.2 ± 2.0	11.3 ± 2.4	0.9967
上腕後	11.8 ± 2.6	12.8 ± 2.8	0.0081
大腿前	26.3 ± 3.5	26.0 ± 3.4	0.4706
大腿後	32.1 ± 3.9	32.9 ± 7.4	0.1779
筋厚/体重 ^{1/3} 、mm/kg ^{1/3}			
前腕前	4.32 ± 0.66	4.35 ± 0.72	0.7823
上腕前	4.28 ± 0.72	4.20 ± 0.79	0.4594
上腕後	4.47 ± 0.94	4.77 ± 0.98	0.0257
大腿前	9.99 ± 1.13	9.71 ± 1.17	0.0867
大腿後	12.18 ± 1.24	12.29 ± 1.43	0.5691

平均値±SD
p≤0.0019で有意

表2 筋力に関する測定結果

	女児	男児	性差 p値
筋力、kg			
握力	5.9 ± 1.7	6.6 ± 1.7	0.0049
肘屈曲力	4.5 ± 1.4	5.0 ± 1.4	0.0075
肘伸展力	4.7 ± 1.5	5.2 ± 1.6	0.0104
膝屈曲力	5.4 ± 1.7	5.9 ± 1.9	0.0442
膝伸展力	10.4 ± 3.2	11.2 ± 3.8	0.0919
筋力/体重 ^{2/3} 、kg/kg ^{2/3}			
握力	0.85 ± 0.22	0.92 ± 0.21	0.0217
肘屈曲力	0.65 ± 0.18	0.70 ± 0.16	0.0337
肘伸展力	0.67 ± 0.19	0.73 ± 0.20	0.0489
膝屈曲力	0.78 ± 0.22	0.82 ± 0.23	0.1608
膝伸展力	1.49 ± 0.41	1.55 ± 0.45	0.3158

平均値±SD
p≤0.0019で有意

表3 運動能力に関する測定結果

	女児	男児	性差 p値
立ち幅跳び、cm	98.1 ± 15.8	105.9 ± 17.1	0.0008
ボール投げ、m	4.7 ± 1.7	6.6 ± 2.6	<0.0001
10m走、s	3.3 ± 0.3	3.1 ± 0.3	<0.0001

平均値±SD
p≤0.0019で有意

筋量および筋力に性差がないにもかかわらず、運動能力に性差が認められた要因の1つとして、各課題動作における筋の使い方に男女児間で差があることが考えられる。すなわち、本研究において測定対象となった手関節(握力)、肘関節、肘関節の各筋力は、走・跳・投の各動作を生み出すうえで重要な働きをなす。しかしながら、筋の量および出力に性差はなくとも、運動能力課題を遂行する際に使用する筋群が異なる、あるいはそれが同一であっても活動状態や収縮レベルに性差があれば、その差は運動能力における差となって表れると予想される。そこで、各運動能力の成績を従属変数、筋力および体重^{2/3}当たりの筋力を独立変数とする重回帰分析(ステップワイズ法)を実施し、選択される独立変数に男女児間で違いがあるかどうかを検討した。その結果、立幅跳びの成績の予測因子として、男子では握力/体重^{2/3}および膝伸展力/体重^{2/3}(R²=0.335)が、女子では握力および膝屈曲力/体重^{2/3}(R²=0.263)がそれぞれ選択された。また、テニスボール投げの成績に対しては、男子では肘屈曲力および握力/体重^{2/3}(R²=0.241)が、女子では握力および肘屈曲力(R²=0.227)がそれぞれ選択され、10走タイムに対しては、男子では握力のみが(R²=0.157)、女子では肘屈曲力のみが(R²=0.175)それぞれ選択された。このように立幅跳びおよび10m走では、予測変数として選択される項目に男女児間で違いがあり、またテニスボール投げでは選択される筋力の項目は共通するが、握力および肘屈曲力の標準回帰係数には男女児間で違いみられた。したがって、筋力の発揮能力が同一レベルであったとしても、課題動作の遂行に貢献する筋群あるいは動作遂行中の発揮筋力に男女児間で違いがあり、その結果として、運動能力に性差が生じている可能性が考えられる。

一方、歩行数は、女児11341±2233歩、男児12883±2893歩であり、男児が女児より有意(p<0.0001)に高い値を示した。しかし、歩行数と筋厚、筋力、運動能力との相関係数は、男児でr=-0.111~0.280、女児でr=0.009

～0.213 と低く、また運動能力の予測因子として選択されなかった。歩行数は日常生活での身体活動の量的指標の1つとしてみなすことができる。しかし、歩行数と他の測定変数との相関係数の低さは、身体活動量が幼児期の筋厚、筋力、運動能力の個人差および運動能力における性差を説明する要因とはならないことを示唆するものといえる。

3) 研究3. 幼児期における組織厚および運動能力の縦断変化

(1) 年齢変化

歩行数は、男児が12488±3021歩から14543±2959歩へ、女児が11726±1804歩から12717±991歩へとそれぞれ増加傾向にあったが、その変化は有意なものではなかった。表1に形態の1年間の変化をまとめた。男子の場合に、身長、体重、上腕長、大腿長、下腿長、下腿囲に有意な増加が観察された。また、女子においては、身長、体重に加え、四肢長並びに胸囲、ヒップ、大腿囲に有意な増加が生じ、特に周径囲の変化が男児とは異なった。このような結果から、月齢55ヶ月前後においては、男児では幅育よりも長育が優先され、女児では長育および体幹を中心とする部位の幅育の両方が生じていると推察される。皮下脂肪厚は、すべての測定部位において、男女児ともに有意な変化を示さなかった(表2)。また、男児の場合に、すべての部位において筋厚に有意な変化は観察されなかったが、女児は上腕前、腹部、下腿後の筋厚に有意な増加を示した(表3)。したがって、月齢50～60ヶ月の範囲においては、男女児とも皮下脂肪厚に変化を示さず、また、この時期、女児は筋の発育が顕著であると考えられた。しかし、形態および組織厚の変化率に有意な性差は認められなかった。そこで、全員のデータを対象に、身長、体重および歩

行数の各変化率と組織厚の変化率との関係を検討してみた。その結果、歩行数の増加率の高い幼児ほど、大腿前筋厚に高い増加率を示す傾向がみられたが、その関係は統計的に有意なものではなかった($r=0.289, p=0.074$)。また、皮下脂肪厚および筋厚ともに、身長の変化率と有意な相関関係を示さず、体重の変化率との関係において、前腕前、上腕後、腹部、大腿前、下腿後の皮下脂肪厚の各変化率が有意な相関関係($r=0.330-0.437, p<0.05$)を示した。したがって、したがって、月齢55ヶ月前後の幼児の皮下脂肪厚および筋厚における変化は、身体活動量の指標である歩行や自然な発育の指標である身長の各変化の影響を受けず、唯一、体重の変化が皮下脂肪厚の変化として反映されると推察される。

運動能力は、長座体前屈を除くすべての項目において、男女児とも有意な増加を示した(表4)。運動能力の変化率について、形態、組織厚、歩行数の各変化率を独立変数とする重回帰分析(ステップワイズ法)を適用し、影響因子の有無を確認した。その結果、有意な予測変数として、立ち幅跳びの成績には大腿後筋厚($R^2=0.183$)が、テニスボール投げの成績には前腕長およびマイナス要因として下腿後皮下脂肪厚($R^2=0.399$)が、10m走タイムには上腕前と腹部の筋厚およびマイナス要因として上腕後筋厚($R^2=0.393$)が選択された。これらのなかでプラスの要因として選択された項目は、それぞれが該当する運動課題の遂行に寄与する筋群あるいは部位と関連を持つ。例えば、立幅跳びでは股関節伸展が重要な働きをなすが、大腿後の筋群はその動きを遂行するうえで協働筋として機能する。また、ボール投げでは、前腕長の長さはボールに与える運動エネルギーの決定要因の一つであり、さらに走動作においては、腕振りおよび体幹のバランスの保持とい

う点で、上腕前および腹部の筋群が重要な役割を果たす。したがって、立幅跳びおよび10m走タイムにおいては、動作遂行に關与する筋群の厚みが、また、ボール投げにおいては前腕長が、それぞれパフォーマンススコアの変化率を予測するプラスの因子として選択されたと考えられる。一方、運動能力のいずれの項目に対しても、歩行数の変化率は有意な相関関係を示さなかった。この結果は、先の横断的研究結果（研究2）と共通するものであり、日常生活での身体活動量の変化は、組織厚および運動能力に変化をもたらす要因とはならないことを示唆するものといえる。

表1 形態に関する測定結果

項目	女児			男児		
	Pre	Post	%Δ	Pre	Post	%Δ
身長, cm	102.4 ± 6.3	110.0 ± 6.2	7.5 ± 2.6*	103.0 ± 4.1	109.7 ± 4.5	6.5 ± 1.2*
体重, kg	16.4 ± 2.7	18.6 ± 3.0	13.7 ± 8.7*	16.3 ± 1.9	18.0 ± 2.4	10.5 ± 3.8*
BMI	15.6 ± 1.6	15.3 ± 1.7	-1.9 ± 3.0	15.3 ± 1.0	14.9 ± 1.2	-2.5 ± 4.1
前腕長, cm	14.0 ± 1.0	15.1 ± 0.8	7.9 ± 7.3*	14.2 ± 1.1	15.1 ± 0.8	6.7 ± 5.3*
上腕長, cm	17.9 ± 1.4	19.6 ± 1.3	9.9 ± 5.4*	18.1 ± 1.0	19.1 ± 1.2	6.0 ± 6.7
大腿長, cm	22.9 ± 1.9	25.6 ± 1.9	12.1 ± 7.8*	22.4 ± 1.1	24.3 ± 1.3	8.7 ± 6.5*
下腿長, cm	21.6 ± 1.8	23.5 ± 1.7	8.9 ± 3.7*	21.3 ± 1.3	23.2 ± 1.2	9.1 ± 4.7*
前腕囲, cm	16.3 ± 2.5	16.1 ± 1.0	-0.1 ± 8.7	15.7 ± 0.9	16.1 ± 1.2	0.4 ± 0.6
上腕囲, cm	16.5 ± 2.8	16.5 ± 1.4	0.0 ± 2.3	15.7 ± 1.1	16.0 ± 1.4	1.4 ± 4.3
大腿囲, cm	30.0 ± 3.0	31.3 ± 2.9	4.6 ± 5.6*	28.6 ± 2.0	29.5 ± 2.9	2.8 ± 5.2
下腿囲, cm	21.9 ± 1.6	23.0 ± 2.2	5.4 ± 8.7	21.3 ± 1.2	22.1 ± 1.8	3.9 ± 3.5*
胸囲, cm	52.5 ± 3.5	54.6 ± 3.5	4.0 ± 4.1*	53.8 ± 2.0	55.1 ± 2.6	2.3 ± 3.2
ウエスト, cm	48.7 ± 3.9	49.8 ± 4.3	2.3 ± 4.1	47.8 ± 2.9	48.8 ± 3.1	2.1 ± 2.9
ヒップ, cm	54.2 ± 4.0	56.7 ± 4.2	4.7 ± 4.3*	52.4 ± 2.8	54.7 ± 4.4	4.1 ± 4.6
平均値 ± SD						

*は $p \leq 0.0014$ で有意であることを示す。

表2 皮下脂肪厚に関する測定結果, mm

部位	女児			男児		
	Pre	Post	%Δ	Pre	Post	%Δ
前腕前	4.5 ± 1.2	4.3 ± 1.1	-2.3 ± 25.0	4.1 ± 0.7	4.2 ± 1.1	6.8 ± 35.0
上腕前	3.6 ± 1.2	3.4 ± 0.7	-1.5 ± 28.7	3.2 ± 0.9	3.0 ± 0.9	-0.6 ± 36.4
上腕後	8.1 ± 2.1	7.9 ± 2.3	-1.2 ± 19.6	6.5 ± 2.0	6.8 ± 2.1	12.6 ± 47.2
腹	7.8 ± 4.0	8.1 ± 5.1	4.5 ± 27.7	6.1 ± 2.4	6.1 ± 1.9	18.2 ± 59.0
大腿前	8.0 ± 2.0	7.9 ± 2.3	0.0 ± 20.2	6.2 ± 1.4	6.7 ± 2.4	12.1 ± 44.5
大腿後	7.5 ± 1.8	7.4 ± 2.2	-0.3 ± 21.5	6.3 ± 1.9	6.4 ± 2.2	6.8 ± 38.2
下腿後	5.1 ± 1.1	5.0 ± 1.0	0.6 ± 28.3	4.6 ± 1.1	4.9 ± 1.7	8.6 ± 37.7
平均値 ± SD						

表3 筋厚に関する測定結果, mm

部位	女児			男児		
	Pre	Post	%Δ	Pre	Post	%Δ
前腕前	9.9 ± 2.3	10.7 ± 1.4	12.6 ± 24.0	10.1 ± 1.8	10.2 ± 1.9	5.0 ± 28.1
上腕前	11.0 ± 2.5	12.7 ± 1.5	18.7 ± 19.7*	11.4 ± 2.6	11.6 ± 1.7	7.6 ± 30.1
上腕後	11.4 ± 3.2	12.83 ± 3.0	14.9 ± 23.7	12.1 ± 2.7	12.2 ± 2.7	3.9 ± 27.7
腹	4.5 ± 0.7	5.3 ± 0.9	17.8 ± 22.3*	4.8 ± 0.8	5.1 ± 0.7	7.9 ± 18.4
大腿前	26.0 ± 3.6	27.7 ± 2.8	7.7 ± 13.7	24.9 ± 3.5	25.4 ± 2.6	4.3 ± 19.8
大腿後	31.2 ± 5.4	33.3 ± 3.6	8.6 ± 14.7	31.8 ± 4.2	31.6 ± 2.2	1.3 ± 16.6
下腿後	36.3 ± 2.4	38.6 ± 3.0	6.6 ± 8.7*	36.2 ± 4.1	37.5 ± 2.5	4.6 ± 11.9
平均値 ± SD						

*は $p \leq 0.0014$ で有意であることを示す。

表4 運動能力および握力に関する測定結果

項目	女児			男児		
	Pre	Post	%Δ	Pre	Post	%Δ
長座体前屈, cm	26.8 ± 6.9	28.5 ± 7.0	8.2 ± 20.3	25.6 ± 5.0	29.5 ± 6.3	16.8 ± 24.2
立ち幅跳び, cm	83.6 ± 17.1	105.3 ± 12.2	29.6 ± 22.7*	96.0 ± 16.0	109.6 ± 11.3	17.3 ± 23.7*
テニスボール投げ, m	3.2 ± 1.1	4.8 ± 1.4	56.0 ± 37.9*	6.7 ± 2.9	8.7 ± 2.9	39.9 ± 38.5*
10m走タイム, s	3.6 ± 0.4	3.1 ± 0.3	-11.3 ± 10.1*	3.4 ± 0.4	2.9 ± 0.2	-12.4 ± 7.9*
右握力, kg	3.8 ± 1.5	5.5 ± 1.5	58.5 ± 54.4*	4.5 ± 1.4	5.7 ± 1.7	31.5 ± 30.0*
左握力, kg	3.9 ± 1.3	5.0 ± 1.6	33.5 ± 44.3	4.5 ± 1.4	6.0 ± 1.8	40.0 ± 37.9*
平均値 ± SD						

*は $p \leq 0.0014$ で有意であることを示す。

4) 研究4. 幼児における身体活動量と身体組成および運動能力との関係

(1) 基本統計量における性差

身長、体重、BMI および周径囲に有意な性差は認められなかった。このなかで周径囲に関する結果は、研究1のそれと異なる。本研究の被験者の平均月齢は研究1のそれと比較して高く、しかも月齢幅が狭い。このような被験者の月齢における違いが、周径囲における性差に関し、研究1と異なる結果をもたらしたと考えられる。しかし、皮下脂肪厚は、研究1と同様に女児が男児より厚い傾向にあり、前腕前、上腕後、腹、大腿前における差は有意なものであった。一方、すべての測定部位において、筋厚に有意な性差は認められなかった。皮下脂肪厚および筋厚は、体重の $1/3$ 乗(体重 $^{1/3}$)と有意な相関関係を示した(男児: 皮下脂肪厚 $r=0.350 \sim 0.663$, $p=0.0003 \sim p<0.0001$ 、筋厚 $r=0.368 \sim 0.657$, $p=0.0001 \sim p<0.0001$ 、女児: 皮下脂肪厚

$r=0.0324\sim0.565$, $p=0.0004\sim p<0.0001$ 、筋厚 $r=0.343\sim0.629$, $p=0.0001\sim p<0.0001$)。そこで(体重)^{1/3}当たりの組織厚を算出し、それにおける性差を検討したところ、筋厚に性差は認められなかったが、皮下脂肪厚では、絶対値において有意な性差が観察された部位に加え、大腿後で女兒が男児より有意に高い値を示した。皮下脂肪厚において最も顕著な性差がみられたのは腹部であった。立ち幅跳び、テニスボール投げ、10m 走の全項目において、男児が女兒より有意に良い成績であった。運動能力においても最も顕著な性差が観察されたのは、テニスボール投げであった。この結果は、先の研究2のそれと一致する。歩行数、総エネルギー消費量、および活動量指標は、男児が女兒より有意に高い値を示したが、活動水準指標には性差が認められなかった。

(2) 身体活動量と組織厚および運動能力との関係

(2-1) 身体活動量と組織厚との関係

身体各部位の組織厚を従属変数に、身体活動量の各指標を独立変数としてステップワイズ重回帰分析を実施した。なお、組織厚の絶対値に対する分析の結果、すべての部位の皮下脂肪厚および筋厚の予測変数として体重^{1/3}が選択されたことから、形態の発育の影響を消去したうえで身体活動量との関係を見るために、従属変数としての組織厚は体重^{1/3}に対する比を採用した。その結果、筋厚については、男女児とも、ほとんどの部位において、有意な説明変数として選択される項目はなかった。筋厚の絶対値に対する説明変数として体重^{1/3}が選択されたことを考慮に入れると、筋厚/体重^{1/3}に関する結果は、幼児期における筋の量的発育に、日常生活での身体活動の量および水準が及ぼす影響は少なく、この時期における筋の量的発育の程度は、

身体全体の自然な成長に依存したものであることが推察される。

一方、皮下脂肪厚については、男女児とも腹、大腿前、大腿後において、活動水準指標がマイナスの要因として選択された。それに対して歩行数および活動量指標は、予測因子として選択されなかった。腹部および大腿は、他の部位に比較して皮下脂肪厚が厚い。本研究の結果は、活動水準が高い幼児ほど、それらの部位における皮下脂肪厚は薄いということ意味するものであり、幼児期における身体活動の水準が身体内の脂肪分布に影響を持つことを示すものといえる。また、女兒の場合に、体重と活動水準指標との間には負の相関関係が認められた。このような結果は、日常生活において、強度の高い運動を実施している女兒ほど体重の増加が抑制され、かつ皮下脂肪厚が薄いことを意味する。言い換えれば、本研究の結果は、幼児期における肥満を防止するうえで、日常生活における身体活動の水準が重要な要素になることを示唆するものといえる。

(2-2) 身体活動量および組織厚と運動能力との関係

運動能力に対しても、組織厚と同様に、各運動能力の成績を従属変数とする重回帰ステップワイズを適用した。ただし、独立変数としての組織厚は、絶対値および体重^{1/3}の両方を採用した。その結果、立幅跳の成績に対しては、男女児に共通の因子(大腿前筋厚および強度5の時間比率がプラス因子、上腕皮脂肪厚がマイナス因子)が抽出された。一方、ボール投げの成績に対しては、男児の場合に、大腿筋厚、前腕筋厚および強度5の時間比率がプラスの因子として選択されたが、女兒においては大腿筋厚および強度5の時間比率のみであった。また、10m 走タイムに対しては、男児では大腿筋厚および強度9の時間比

率が、女兒では下腿筋厚および活動量指標が、それぞれプラスの因子として抽出された。これらの結果から、走・跳・投の各運動能力の影響因子は項目間で異なると同時に男女児間でも違いがあり、それが運動能力における性差を生む要因の1つになっていると推察される。また、ボール投げおよび10m走の成績に対し、強度5および強度9の時間比率がプラスの要因として選択されたことから、比較的強度の高い動作の実施時間が、運動能力に個人差を生む要因になっていると考えられる。

また、組織厚および運動能力のいずれに対しても、歩行数は有意な予測変数として選択されなかった。この結果は、先の縦断的な測定結果における歩行数と組織厚、運動能力、筋力の各変化率との間に有意な相関関係が認められなかったことと共通する。本研究の結果において、歩行数と活動量指標は、男児が $r=0.234$ ($p=0.0187$)、女児が $r=0.209$ ($p=0.0257$) と弱いながらも有意な相関関係が認められた。しかし、歩行数と活動水準指標との間には、男女児とも有意な相関関係を示さなかった (男児、 $r=0.063$; 女児、 $r=0.099$)。このような結果は、幼児の場合に、歩行数は活動水準の強度を示す指標にはならないことを意味すると同時に、先の縦断測定における測定変数の変化率が、歩行数のそれと有意な相関関係を示さなかったことを説明する要因の1つになると考えられる。

5) 研究5. 小学生児童における四肢の筋断面積と筋力の性差および年齢差

表1に周径囲と筋断面積の測定結果を示した。いずれの項目においても有意な性差は観察されなかった。したがって、研究1および4の筋厚に関する結果と考え合わせると、幼児期から小学校期の段階では、四肢筋量に

有意な性差は生じないと考えられた。また、各筋群の断面積は、それぞれが位置する四肢の周径囲と強い相関関係 (男子: $r=0.741\sim 0.917$, $p<0.0001$; 女子: $r=0.858\sim 0.924$, $p<0.0001$) にあり、小学生の段階では、四肢周径囲は該当部位における筋断面積の評価指標になることが示唆される。

表2に筋力および単位筋断面積当たりの筋力に関する結果を示した。関連する筋断面積と筋力との間には、男子 $r=0.748\sim 0.883$ ($p<0.0001$)、女子 $r=0.712\sim 0.889$ ($p<0.0001$) の有意な相関関係が認められた。表2に示されるように、いずれの項目においても、筋力および単位筋断面積当たりの筋力の両方に有意な性差は認められなかった。研究2において、筋厚、筋力および筋力/体重^{2/3}に有意な性差は観察されなかった。このような結果と本研究の結果とを考え合わせると、幼児期から小学生期にかけては、筋力の絶対値のみならず筋量に見合う筋力の発揮能力という点においても、男女ともに同一の水準にあると考えられる。

一方、男女とも年齢が進むにつれ単位筋断面積当たりの筋力は増加する傾向にあり、年齢との間に有意な相関関係が認められた (男子 $r=0.367\sim 0.752$, $p=0.0082\sim p<0.0001$; 女子 $r=0.408\sim 0.744$, $p<0.0001$)。先行研究の結果によると、思春期以降における単位筋断面積当たりの筋力に年齢差は認められない (福永 1978; Kanehisa et al. 1994)。先の幼児期における体重^{2/3}当たりの筋力の年齢変化 (研究2) と考え合わせると、本研究の結果は、思春期前までの年齢層においては、筋の発育に伴い単位筋量当たりの筋力も増加することを示唆するものといえる。しかし、本研究において求められた筋断面積は、四肢一断面における解剖学的断面積であること、また、筋張力ではなく測定筋力であり、形態

の変化に伴いモーメントアームも変化する可能性もある。さらに単位筋断面積当たりの筋力レベルは、筋力発揮時の神経系の興奮水準の影響を強く受けるため、筋力測定時の神経・筋系の活動水準が年齢に関係なく一定レベルであるかどうかということも問題となる、したがって、本研究における単位筋断面積当たりの筋力の年齢変化については、今後、それらの要因の発育変化に関する追試が必要である。

表1 周径囲と筋断面積の測定結果

項目	男子	女子
周径囲、cm		
前腕	18.3 ± 1.5	18.1 ± 2.0
上腕	19.0 ± 2.1	18.8 ± 2.0
下腿	26.8 ± 2.7	26.7 ± 2.5
大腿	36.5 ± 3.8	36.6 ± 3.9
筋断面積、cm ²		
手関節屈筋	9.6 ± 1.6	9.1 ± 1.7
肘関節屈筋	6.5 ± 1.3	6.3 ± 1.4
足底屈筋	26.2 ± 5.4	25.9 ± 5.4
膝伸展筋	38.3 ± 7.6	37.1 ± 8.4
平均値±SD		

表2 筋力および単位筋断面積当たりの筋力

項目	男子	女子
筋力、kg		
握力	14.4 ± 4.7	14.3 ± 5.1
肘屈曲力	6.8 ± 1.9	6.8 ± 2.2
膝伸展力	19.4 ± 5.4	19.2 ± 6.3
足底屈力	51.7 ± 16.0	50.3 ± 15.8
筋力/CSA、kg/cm ²		
握力	1.50 ± 0.29	1.56 ± 0.34
肘屈曲力	1.06 ± 0.19	1.08 ± 0.25
膝伸展力	0.50 ± 0.07	0.51 ± 0.10
足底屈力	1.95 ± 0.39	1.93 ± 0.35
平均値±SD		

6) 研究 6. 小学校期におけるスポーツ活動が筋量および筋力に及ぼす影響：小学生野球選手を対象にした1年間の縦断研究

表1に形態に関する測定結果を示した。ウエストを除くすべての項目が有意な増加を示した。筋厚は上腕前および大腿前において有意な増加が観察された(表2)。一方、皮下脂肪厚は減少傾向にあるものの、その変化は有意なものではなかった(表2)。BIは左右の大腿および上腕のいずれにおいても有意に増加し、その増加率に左右差は観察され

なかった。本研究の被験者は野球選手であったことから、その競技特性上、BI値の変化には左右差があると考えられた。しかし、本研究の結果はそれを否定するものであり、筋量は左右肢間のバランスを保ちつつ発達を遂げていることが示唆される。

表4にトルクに関する測定結果を示した。膝屈曲トルクを除くすべての項目に有意な増加が観察された。各関節トルクは関連する部位のBIと有意な相関関係を示した(Pre: $r=0.559 - 0.789$, $p=0.003 - p<0.0001$, Post: $r=0.566 - 0.874$, $p=0.0002 - p<0.0001$)。単位BI値当たりの関節トルクに有意な変化は認められず、トルクの増加は筋量の増加に依存したものであると推察された。しかし、この結果は、先の小学生の筋断面積と筋力に関する結果と異なる。その原因として、筋量の指標として、本研究ではBI値を採用したことが挙げられる。先行研究において、本研究で採用したBI値は、インピーダンス測定部位の骨格筋体積と密接な関係にあることが報告されている(Miyatani et al. 2001)。しかし、BI値には伸筋群および屈筋群の両方の筋量が反映されるため、個々の関節トルクに関連する筋群の量を正確に評価しているとはいえない。したがって、単位BI当たりのトルクには、筋量指標としてのBIの推定誤差の影響が含まれ、それが単位筋量当たりのトルクの年齢変化に関する結果を研究5のそれと異なるのにした可能性がある。さらに、観察期間が1年間であり、筋量当たりのトルクの増加を観察するには年齢幅が狭かったことも、BI値当たりのトルクに有意な変化を観察するには至らなかった原因として考えられる。

本研究では、コントロール群を設定しておらず、また野球を実施している時以外の日常生活活動の状態についての調査を実施して

いない。そこで、野球という特定のスポーツ活動への参加が、筋量や関節トルクの増加に、どの程度の影響を及ぼしているのか考察するために、身長の変化率を自然な発育の程度を示す尺度とし、それと BI およびトルクの各変化率との相関関係を検討した（表 5）。表 5 に示されるように、BI の変化率および肘関節トルクの各変化率は、身長の変化率と $r=0.444 \sim 0.786$ ($p=0.0250 \sim p<0.0001$) の相関関係にあり、身長伸び率が高い被験者ほど、それらの伸び率も高い傾向にあった。一方、膝関節トルクの変化率と身長の変化率との相関係数は、伸展トルクが $r=0.052$ ($p=0.8080$)、屈曲トルクが $r=0.151$ ($p=0.4739$) であり、両者の相関関係は極めて弱いものであった。このような結果と BI の変化率に左右肢間で差がないことを考え合わせると、上肢および下肢の筋量の発達は、野球というスポーツ活動の実施よりも、身体発育の影響を強く反映していると考えられる。この点は、研究 4 おいて、男女児とも身体活動量の各測定変数が筋厚の説明因子として選択されなかったという結果と一致する。一方、筋力の発達という点で上肢と下肢で違いがあり、前者は筋量と同様に自然発育の影響が強いと考えられる。しかし、後者には自然発育以外の要因が関与していると推察され、先の幼児に関する結果（研究 4）において、男児の場合に、立ち幅跳びおよび 10m 走の成績には、比較的高強度の身体活動の時間比率が説明因子として選択されたことを考え合わせると、膝関節トルクの発達は、野球の練習も含めた日常生活の身体活動の状態が反映されていると予想される。

また、本研究では、ピッチング動作におけるボール初速度についても測定した。ボール初速度は、Pre が 74.7 ± 14.6 km/h、Post が 82.5 ± 7.6 km/h であり、その変化(13.6

± 19.1 %)は有意($p<0.0001$)なものであった。その増加について、他の測定変数の変化によって説明しうるかどうかを検討するために、身長、体重、筋厚、BI およびトルクの各変化率を独立変数とする重回帰分析（ステップワイズ法）を行った。しかし、ボール初速度の変化率の予測因子として選択される項目はなかった。したがって、ボール初速度の増加は、形態、筋量、筋力といった体力要素の向上ではなく、投動作そのものにおける技術的要因の改善によるものであると考えられる。

表1 形態における変化

項目	Pre	Post	%Δ
身長, cm	141.7 ± 7.7	146.8 ± 8.9	4.1 ± 1.1*
体重, kg	35.4 ± 8.6	39.6 ± 8.8	12.1 ± 4.4*
右前腕長, cm	19.2 ± 1.0	20.2 ± 1.4	4.7 ± 3.0*
右上腕長, cm	26.2 ± 1.6	27.4 ± 1.7	4.6 ± 2.8*
右大腿長, cm	32.6 ± 2.2	34.1 ± 2.5	4.6 ± 3.0*
右大腿長, cm	32.5 ± 2.2	34.2 ± 2.3	5.3 ± 2.6*
右前腕囲, cm	19.8 ± 2.0	20.5 ± 1.9	3.8 ± 2.7*
右上腕囲, cm	20.9 ± 3.0	21.7 ± 2.9	4.3 ± 3.8*
右大腿囲, cm	39.9 ± 1.9	41.5 ± 5.0	4.1 ± 2.8*
右大腿囲, cm	29.3 ± 3.1	30.5 ± 3.1	3.9 ± 1.8*
ウエスト, cm	60.2 ± 8.2	62.4 ± 7.4	3.9 ± 4.5
ヒップ, cm	74.2 ± 6.5	78.3 ± 6.8	5.4 ± 2.1*

平均値±SD

*, $p \leq 0.0015$ で有意

表2 筋厚および皮下脂肪厚における変化

項目	Pre	Post	%Δ
筋厚, mm			
上腕前	20.8 ± 3.4	22.2 ± 3.6	6.7 ± 8.4*
上腕後	19.9 ± 2.5	20.2 ± 2.8	2.4 ± 13.5
大腿前	36.4 ± 4.5	39.2 ± 5.8	7.7 ± 8.3*
大腿後	48.8 ± 4.8	49.2 ± 5.5	0.8 ± 4.1
腹	8.2 ± 1.4	9.4 ± 1.4	16.0 ± 14.8*
皮下脂肪厚, mm			
上腕前	7.4 ± 3.9	6.6 ± 3.8	-8.2 ± 38.1
上腕後	7.4 ± 3.9	6.6 ± 3.8	-8.7 ± 27.7
大腿前	7.5 ± 3.7	6.8 ± 2.9	-6.8 ± 17.3
大腿後	8.0 ± 4.1	7.0 ± 3.9	-12.3 ± 21.7
腹	11.1 ± 14.2	10.2 ± 11.7	-5.8 ± 51.5

平均値±SD

*, $p \leq 0.0015$ で有意

表3 BIに関する測定結果

項目	Pre	Post	%Δ
右上腕	4.3 ± 0.9	5.1 ± 1.2	18.4 ± 10.7*
左上腕	4.1 ± 0.8	4.8 ± 1.0	18.3 ± 11.3*
右大腿	13.6 ± 3.1	15.4 ± 3.9	12.9 ± 10.6*
左大腿	13.4 ± 3.0	15.6 ± 4.9	15.3 ± 13.5*

平均値±SD

*, $p \leq 0.0015$ で有意

表4 関節トルクおよびBI当り関節トルクの変化

項目	Pre	Post	%Δ
トルク, Nm			
肘屈曲	20.2 ± 5.6	24.9 ± 6.5	24.4 ± 13.5*
肘伸展	16.8 ± 4.2	19.9 ± 5.2	20.4 ± 18.9*
膝伸展	76.9 ± 23.8	91.1 ± 27.6	20.5 ± 9.5*
膝屈曲	25.2 ± 9.5	30.6 ± 10.6	26.3 ± 33.9
BI当りのトルク			
肘屈曲	4.77 ± 0.77	4.96 ± 0.62	4.8 ± 11.7
肘伸展	3.99 ± 0.74	3.97 ± 0.57	1.1 ± 13.4
膝伸展	5.79 ± 1.44	6.09 ± 1.51	6.9 ± 19.7
膝屈曲	1.88 ± 0.51	2.02 ± 0.51	11.7 ± 30.1

平均値±SD

*, p ≤ 0.0015で有意

7) 総括

本研究では、幼児および小学生児童における筋の量と機能、ならびに運動能力における性・年齢の影響を捉えると同時に、それらに日常生活の身体活動の量および強度（水準）の要因がどのように関連するのかを明らかにすることを目的に、

- 1) 研究1. 生後36ヶ月から79ヶ月の子どもの形態および組織厚の発育変化における性の影響
- 2) 研究2. 幼児期における筋力および運動能力の性差
- 3) 研究3. 幼児期における組織厚および運動能力の縦断変化
- 4) 研究4. 幼児期における身体活動量と身体組成および運動能力との関係
- 5) 研究5. 小学生児童における四肢の筋断面積と筋力の性差および年齢差
- 6) 研究6. 小学生期におけるスポーツ活動が筋量および筋力に及ぼす影響: 小学生野球選手を対象にした1年間の縦断研究

の6項目について検討した。その主な知見は以下の通りであった。

- 1) 研究1: 生後36ヶ月から79ヶ月の男女児を対象に、四肢および腹部の皮下脂肪厚と筋厚における性・年齢の影響を検討した結果、a. 皮下脂肪厚は女兒が男児より上腕後、腹部、大腿前において高値を示すが、筋厚には

全ての部位で性差は認められないこと、および b. 男女児ともに皮下脂肪厚は月齢の影響を受けないが、筋厚は月齢が進むにつれ増加することが明らかになった。したがって、幼児期における組織厚の特徴として、皮下脂肪の付着状態にはすでに性差が生じているが年齢に伴う変化はなく、一方、筋の厚みに性差はなく、男女児ともに月齢に伴い増加し、その月齢変化の様相は男女児で同一であると考えられた。

2) 研究2: 月齢51ヶ月から79ヶ月の男女児を対象に、筋厚、筋力、運動能力における性差を検討した結果、a. 筋厚および筋力に有意な性差は認められないこと、および b. 運動能力は男児が女兒より高く、筋量および筋力そのもの水準が、運動能力における性差の要因とはならないことが明らかになった。また、日常生活の歩行数は、男児が女兒より多かったが、筋厚、筋力、運動能力の相関性は極めて弱く、日常生活における身体活動量が幼児期の筋厚、筋力、運動能力に及ぼす影響は少ないと考えられた。

3) 研究3: 本研究では、幼児期の男女児を対象に、組織厚および運動能力における1年間の縦断変化を検討した結果、a. 周径囲および組織厚の変化は男女間で異なり、女兒は男児に比べ周径囲および四肢筋厚の増加が顕著であること、b. 体重の増加は皮下脂肪厚の増加と関連するが、筋厚の増加とは関係を示さないこと、および c. 運動能力は男女児とも有意に増加し、その背景として、それぞれの運動課題遂行に関与する筋群あるいは四肢長の発育の程度が関係していることが示された。また、筋厚および運動能力の変化は歩行数の変化と相関せず、それらに対する身体活動量の変化の影響は少ないと考えられた。

研究4: 幼児期における日常生活の身体活

動の量および水準が、皮下脂肪厚および筋厚、並びに運動能力とどのような関係にあるのかについて、性差との関連で検討した結果、a. 男女児とも身体活動の量および水準は、筋厚の説明因子とはならないこと、b. 活動水準指標は腹部および大腿の皮下脂肪厚に対してマイナスの影響因子となること、および c. 活動水準指標ならびに、速歩あるいは走程度の強度水準が1日に占める時間比率は、運動能力(立幅跳び、テニスボール投げ、10m走タイム)の予測因子になりうる事が明らかになった。また、運動能力の説明因子として選択される項目に男女児間で違いがみられ、そのことが運動能力における性差の一因になっていることが示唆された。

4) 研究5:小学生を対象に、四肢の筋断面積と筋力を測定し、単位筋断面積当たりの筋力の年齢変化について、性差との関連で検討した。その結果、1) 筋断面積、筋力および単位筋断面積当たりの筋力に性差はなく、筋量に見合う筋力の発揮という点において、幼児期と同様に、小学生期においても性差はないこと、および2) 単位筋断面積当たりの筋力は年齢が進むにつれ高くなる傾向にあり、思春期前児童の段階においては、筋力そのものだけではなく、筋量に見合う筋力の発揮能力という点においても年齢が進むにつれ向上することが示唆された。

6) 研究6:小学校期におけるスポーツ活動が筋量および筋力に及ぼす影響を検討することを目的として、小学生野球選手を対象に筋量および筋力の1年間の縦断測定を実施した結果、a. 四肢筋量指標に競技特性を反映した増加は観察されず、小学生期における筋量の増加は、特定のスポーツ活動の実践よりも自然発育の影響を強く受けること、およびb. 四肢関節トルクのなかで、肘関節トルクの増加はスポーツ活動の実践よりも自然発

育の影響を反映しているが、膝関節トルクの増加には特定のスポーツ活動を含む日常生活での身体活動の実施状況といった自然発育以外の要因が含まれることが考えられた。

以上の結果から、幼児期から小学校期における筋量および筋力には性差がなく、またそれらの発育・発達は、日常生活での身体活動の量および水準よりも身体発育の影響を強く受けていると考えられた。一方、皮下脂肪量は、すでに幼児期の段階で性差があり、また、皮下脂肪量には身体活動の水準が負の影響因子として作用すると考えられ、幼児期から小学校期においては、身体活動水準の確保が肥満予防として重要であることが示唆された。また、運動能力は身体活動量よりも身体活動水準の影響を受けることから、日常生活での身体活動として、通常歩行より強度の高い活発な動きを積極的に行わせることで、筋の機能的発達はより促進されると考えられた。

8) 謝辞

本研究は、女子美術大学石田良恵氏、神奈川県立保健福祉大学鈴木志保子氏、東海大学萩裕美子氏ならびに各氏の研究室に所属する大学院生の多大なる協力のもとに行われた。心より感謝いたします。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①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 Vol. 12: 99-103, 2007.

[学会発表] (計3件)

①鈴木志保子、石田良恵、萩裕美子、金久博昭。幼児における身体活動量と身体組成および運動能力との関係。第63回日本体力医学会大会、2008年

②石田良恵、鈴木志保子、萩裕美子、金久博昭。 幼児期における身体組成、運動能力および歩行数の年間変化量。 第 63 回日本体力医学会大会、2008 年

③石田良恵、鈴木志保子、萩裕美子、池川繁樹、金久博昭。 歩行数との関連でみた幼児の運動能力および筋力における性差。 第 64 回日本体力医学会大会、2009 年

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金久 博昭 (KANEHISA HIROAKI)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：50161188

(2) 研究分担者

久保 啓太郎 (KUBO KEITARO)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：70323459

(H18 のみ H19-20 は連携研究者)

(3) 連携研究者

()

研究者番号：