

発育発達期の身体組成・筋形態・下肢筋力の分析

— 体格を基準としたパフォーマンスレベルによる違い —

福永 裕子¹⁾, 高井 洋平²⁾, 藤田 英二²⁾, 山本 正嘉²⁾

¹⁾鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

²⁾鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

I. はじめに

子どもの体格・体力・運動能力の測定値は、時間的経過を表す暦年齢で区別して比較されることが一般的である¹⁾²⁾。しかし、実際は同じ暦年齢であっても身体の発育に個人差が大きく、この時期の体力・運動能力測定値は、身体がより成熟しているものほど物理的に良好となる³⁾⁴⁾⁵⁾。そのため、発育発達期の体力・運動能力は、身体発育の遅速を考慮した指標である生理学的年齢を用いて評価することが重要である⁶⁾。

生理学的年齢に対して身体各部位や体力・運動能力がどのようにあるかを相対的に捉えようとする分析手法に、簡便で有用な直線的尺度（長育の尺度）として、身長値が用いられる⁷⁾。この手法は、身長値を横軸、身体組成や体力・運動能力の測定値を縦軸としたプロットにより容易に表され、これらによる回帰式を用いて分析するものであり、単に暦年齢や絶対値だけで見るのとは違い、身体発育の遅速を考慮して測定値（発育発達の量的な尺度）を判別することが可能となる。

また、Suwaraによると、日本人の成人身長に至るまでの身長成長には、身長成長速度（cm/year）がピーク（Peak Height Velocity: PHV）となる時期が個々に存在し、標準的に男子は 153.4 ± 5.5 cm、女子は 141.3 ± 5.5 cmであると報告している⁸⁾。これらの身長値を用いると、個々の身長がPHVを迎える前か後かを判別することができ、それによって対象者を思春期前、思春期⁹⁾といった発育度に区別できると考える。

発育発達期のパフォーマンスを生理学的年齢によって分類し、さらに発育度別に体格、身体組成、

筋形態および筋力の違いを検証した報告はこれまでに無い。これら进行分析することは、単なる暦年齢の違いによるものだけではない発育発達の「個人差」を追究するものであり、発育発達期のパフォーマンス向上の適切な手段を探る上で重要である。

そこで今回、パフォーマンスの指標として垂直跳び（腕振りなCMJ, 以下, ジャンプ）に着目し、①ジャンプレベルおよび暦年齢水準の2つの要因、②ジャンプレベルおよびPHV時身長で分けた発育度の2つの要因により、それぞれの分類によって体格、身体組成、下肢筋形態および下肢筋力がどのように異なるかを明らかにすることを目的とし、発育発達期の男女について検証を行った。

II. 方法

2010年度から2012年度に当センターの体力・運動能力測定に参加した、鹿児島県内の小中学校9校の男子425名（6.3-15.0歳）、女子489名（6.2-15.1歳）を対象とした（表1）。測定にあたり、各校の教員、保護者および対象者へは事前のインフォームドコンセントを実施し、測定参加への同意のもと測定を行った。体格の指標として、身長（cm）、体重（kg）を測定し、身長、体重、暦年齢を用いた生体

表 1. 対象者の暦年齢および身体特性

	男子 n=425	女子 n=489
暦年齢(歳)	11.9 ± 2.3	11.7 ± 2.2
身長 (cm)	148.3 ± 15.6	145.1 ± 12.9
体重 (kg)	42.7 ± 13.1	40.1 ± 11.0
BMI (kg/m ²)	19.0 ± 3.2	18.2 ± 3.2

インピーダンス法 (DC-320, TANITA社製) により, 体脂肪率 (%) を測定した. さらに体脂肪率の値を用いて除脂肪体重 (kg) を算出した. また, 超音波 B モード法による大腿前筋厚 (cm) を測定した. 筋厚測定時の姿勢は立位とし, 全て右側の大腿長 (cm, 大転子-膝皺間距離) の近位60%を測定部位として, 男女別に同一の検者が測定を実施した¹⁰⁾. 筋厚の相対的な指標として, 除脂肪体重 1 / 3 あたりの大腿前筋厚についても比較を行った. さらに筋量の指標として, 大腿前筋厚と大腿長を用いた推定式 [大腿前筋量 = (筋厚 / 2)² * 大腿長 * π] にて, 筋量を算出した. 筋力の指標としては, 椅子座位・膝関節90度屈曲位での等尺性膝関節伸展筋力を等尺性筋力測定装置 (TAKEI社製) にて測定し, 下腿長 (cm, 膝皺-外果間距離) および重力加速度 (9.8m/s²) との積から膝関節伸展トルク (以下, 膝関節伸展筋力) を求めた. 測定は等尺性最大随意収縮による膝関節伸展筋力を2回測定し, 最大の値を採用した. 相対的な指標として, 除脂肪体重あたりおよび大腿前筋量あたりの膝関節伸展筋力についてもそれぞれ比較を行った. パフォーマンスは垂直跳び (腕振りなしCMJ) をマルチジャンプテスト (DKH社製) を用いて測定し¹¹⁾, 実施した3回のうち, ジャンプ高が最大のものを採用した.

男女ごとに垂直跳び高と身長との関係から得られた回帰式から, 個人値が± 1 SD以上離れている群 (High群, Low群) および± 1 SD内の群 (Mid群) に分類した (図1). まず, 暦年齢によって6~10歳, 11~12歳および13~15歳の3グループに分けて2元配置分散分析を実施し (表2), 次にSuwaraらのPHV時身長によって分けた, 思春期前および思春期の発育度にて同様の統計処理を行った (図3, 4). いずれの検定も発育度とジャンプレベル間における交互作用を確認した後, 単純主効果の検定を行い, 多重比較はBonferroni法を実施した (有意水準は5%以下).

Ⅲ. 結果および考察

1. 体重あたり膝関節伸展筋力は性別, 暦年齢および発育度に関係なくジャンプレベルに差がある

男女とも, 暦年齢グループで分けた場合においても, 発育度で分けた場合においても, 体重あたり膝関節伸展筋力のジャンプレベル間の差が顕著であった. 体重と膝関節伸展筋力それぞれをみても, 体重は暦年齢グループと発育度のいずれで分けた場合も男女ともLow群で有意に高くなっているため, 体重が大きいほど体重あたり膝関節伸展筋力は低くなり, ジャンプ能力が抑制されていると考えられる. このことから, 体重あたり膝関節伸展筋力は, 性別, 暦年齢および発育度に関係なくジャンプレベルに反映しており, ジャンプ能力判定に有用な指標の一つであるといえる.

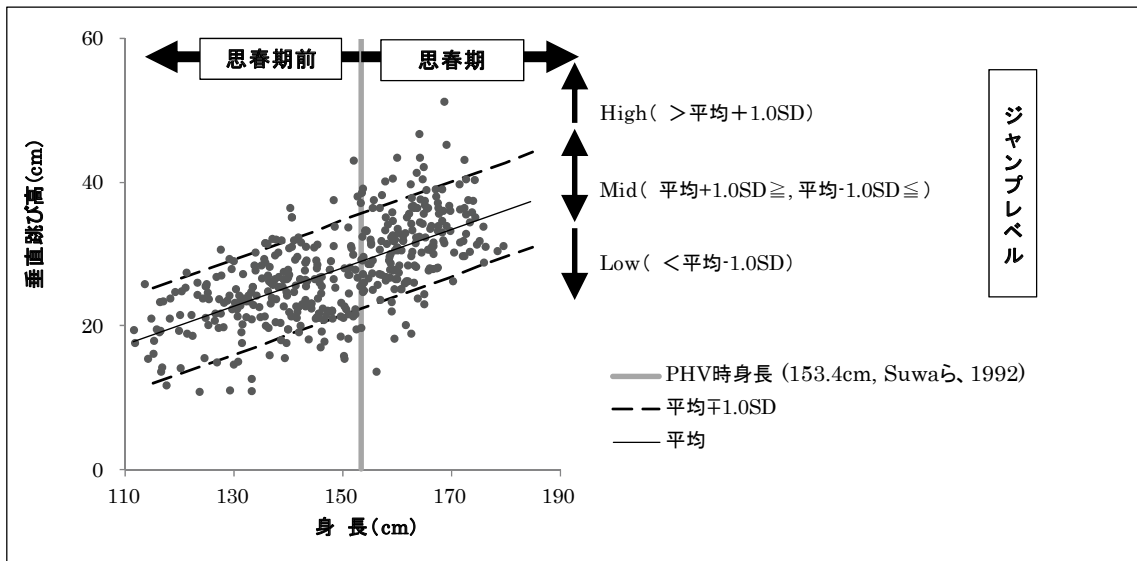
2. ジャンプレベルが高い男子は, 思春期前の除脂肪体重あたりの膝関節伸展筋力が優れている

男子のHigh群に着目すると, 全ての暦年齢グループにおいて除脂肪体重あたり膝関節伸展筋力がLow群およびMid群より有意に高かった (表2). 除脂肪体重および膝関節伸展筋力をそれぞれ個別に見ると, 除脂肪体重は全ての暦年齢グループにおいてジャンプレベル間の有意な差を示すが, 暦年齢水準の推移に一致しておらず, ある時期に特異的に増大することが示唆された. また, 男子の膝関節伸展筋力には全ての暦年齢グループにおけるジャンプレベル間の有意差は得られなかった. 一方, 発育度で分けた場合, 除脂肪体重にはいずれの発育度もジャンプレベル間の有意な差が無く, 膝関節伸展筋力が思春期前のHigh群で有意に高くなっていた (図2). このことは, 除脂肪体重あたり膝関節伸展筋力が思春期前のHigh群で有意に高くなることを裏付ける. つまり, 男子が体格の割に高いジャンプレベルを獲得するためには, 思春期前において膝関節伸展筋力が高めることが重要と考えた.

3. ジャンプレベルが高い女子は, 思春期の除脂肪体重あたりの膝関節伸展筋力が優れている

女子のHigh群に着目すると, 除脂肪体重では全

A. 男子



B. 女子

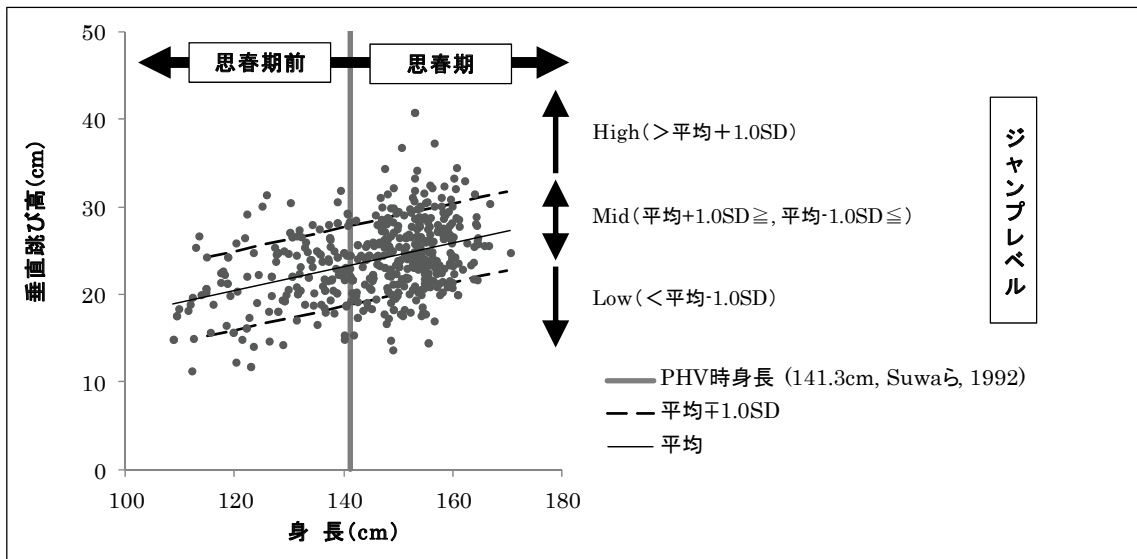


図1. 身長を基準としたパフォーマンスの分布と発育度・パフォーマンスレベルによる分類方法

での暦年齢グループおよび発育度において、Low群およびMid群との有意な差を認めず、膝関節伸展筋力が全ての暦年齢グループ、および思春期においてのみ他の2群より有意に高くなっていた(表2, 図3)。つまり、女子の高いジャンプレベル獲得のためには、膝関節伸展筋力および除脂肪体重あたり膝関節伸展筋力が重要であり、これらは時間的な経過に一致して発達するが、特に思春期において膝関節伸展筋力を高めることが有効であると示唆された。

4. ジャンプレベルが低いものは男女とも発育度に関係なく体脂肪率が高く、思春期前のみ大腿前筋量あたり膝関節伸展筋力が低い

Low群の体脂肪率は男女とも有意に高く、これは暦年齢および発育度のいずれで分けた場合でも共通していた。また、大腿前筋量あたり膝関節伸展筋力は、年齢で分けた場合、男子ではいずれのグループでもLow群が最も低かったが、女子ではいずれのグループでもジャンプレベル間の顕著な差を示さなかった。発育度で分けた場合、男女とも思春期前においてのみLow群の大腿前筋量あたり膝関節伸展筋

表 2. 暦年齢とパフォーマンスレベル別の体格, 身体組成, 筋形態および下肢筋力の違い

	分散分析のF値										多重比較					
	6~10歳					11~12歳						13~15歳				
	Low	Mid	High	Low	Mid	High	Low	Mid	High	Low		Mid	High	9~10歳	11~12歳	13~15歳
男子																
n	13	113	5	15	74	12	9	164	20							
身長(cm)	133.2 ± 8.6	131.0 ± 9.4	124.9 ± 7.9	151.9 ± 6.7	146.5 ± 8.0	141.6 ± 7.1	158.1 ± 8.4	161.0 ± 9.3	160.8 ± 5.9	2.0	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
体重(kg)	39.4 ± 11.3	30.2 ± 7.9	25.9 ± 5.0	54.2 ± 15.0	40.7 ± 9.2	33.3 ± 5.3	56.4 ± 13.3	50.8 ± 9.7	52.2 ± 7.7	2.8*	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low, Mid<High	
BMI(kg/m ³)	21.9 ± 4.5	17.3 ± 2.8	16.4 ± 1.4	23.2 ± 5.2	18.8 ± 3.1	16.5 ± 1.4	22.4 ± 4.6	19.4 ± 2.4	20.1 ± 2.2	2.5	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	
体脂肪率(%)	33.2 ± 15.7	16.7 ± 9.3	12.9 ± 3.6	33.4 ± 15.3	17.9 ± 8.7	11.0 ± 4.4	29.1 ± 14.6	16.6 ± 6.4	16.5 ± 5.4	1.4	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	
除脂肪体重(kg)	25.1 ± 4.8	24.6 ± 4.3	22.5 ± 4.0	34.1 ± 4.3	32.8 ± 5.0	29.6 ± 4.3	38.6 ± 6.2	41.9 ± 6.0	43.3 ± 4.8	2.8*	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	
大腿前筋厚(cm)	3.8 ± 0.7	3.5 ± 0.5	3.5 ± 0.4	4.4 ± 0.7	4.1 ± 0.6	3.8 ± 0.5	4.5 ± 0.8	4.6 ± 0.6	4.8 ± 0.4	1.8	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
大腿前筋厚除脂肪体重(cm/kg)	1.32 ± 0.23	1.18 ± 0.15	1.24 ± 0.09	1.34 ± 0.23	1.27 ± 0.16	1.26 ± 0.12	1.36 ± 0.21	1.31 ± 0.13	1.36 ± 0.10	0.8	Low>Mid	Low>Mid	Low>Mid	Low>Mid	Low>Mid	
大腿前筋量(cm ³)	357.2 ± 163.7	288.7 ± 115.2	283.5 ± 78.8	554.7 ± 204.4	457.8 ± 156.5	389.1 ± 99.3	631.3 ± 217.7	636.6 ± 177.7	682.2 ± 125.2	1.6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
膝伸筋力(Nm)	58.1 ± 25.0	65.1 ± 24.0	66.8 ± 21.6	117.6 ± 46.5	100.3 ± 28.4	107.6 ± 17.1	136.2 ± 49.6	158.4 ± 43.9	180.6 ± 40.1	2.3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
膝伸筋力/体重(Nm/kg)	1.4 ± 0.3	2.1 ± 0.5	2.5 ± 0.5	2.1 ± 0.5	2.5 ± 0.5	3.2 ± 0.4	2.4 ± 0.6	3.1 ± 0.5	3.5 ± 0.6	1.9	Low>Mid<High	Low>Mid<High	Low>Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	
膝伸筋力/除脂肪体重(Nm/kg)	2.3 ± 0.8	2.6 ± 0.6	2.9 ± 0.6	3.5 ± 1.3	3.0 ± 0.6	3.7 ± 0.3	3.5 ± 0.9	3.7 ± 0.7	4.2 ± 0.7	2.0	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	
膝伸筋力/大腿前筋量(Nm/cm ³)	0.16 ± 0.05	0.24 ± 0.06	0.24 ± 0.05	0.23 ± 0.08	0.23 ± 0.06	0.28 ± 0.05	0.22 ± 0.07	0.26 ± 0.06	0.28 ± 0.06	2.3	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	
垂直跳び高(cm)	14.5 ± 2.9	23.2 ± 3.7	28.8 ± 2.0	19.0 ± 2.5	26.0 ± 3.3	34.3 ± 2.8	21.7 ± 3.2	31.3 ± 4.0	41.3 ± 3.7	2.2	Low<Mid, High	Low<Mid, High	Low<Mid, High	Low<Mid, High	Low<Mid, High	
女子																
n	24	132	23	17	75	23	20	152	23							
身長(cm)	131.5 ± 11.1	132.4 ± 11.0	131.3 ± 10.5	151.9 ± 6.2	148.2 ± 6.4	147.3 ± 9.0	153.4 ± 5.4	155.0 ± 5.1	154.8 ± 4.7	1.1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
体重(kg)	35.0 ± 13.2	30.7 ± 8.6	28.3 ± 6.9	53.9 ± 16.5	42.3 ± 8.0	39.9 ± 9.2	47.0 ± 7.8	46.1 ± 5.7	47.9 ± 5.8	4.7*	Low>Mid	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	n.s.	
BMI(kg/m ³)	19.6 ± 4.5	17.2 ± 2.7	16.2 ± 1.6	23.1 ± 5.9	19.1 ± 2.8	18.2 ± 2.8	19.9 ± 2.7	19.1 ± 1.9	20.0 ± 2.3	4.7*	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	n.s.	
体脂肪率(%)	26.4 ± 10.5	18.4 ± 7.0	15.5 ± 4.1	34.5 ± 11.8	23.0 ± 7.2	19.7 ± 6.7	28.0 ± 7.7	25.0 ± 5.7	25.3 ± 4.8	4.3*	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	Low>Mid, High	n.s.	
除脂肪体重(kg)	24.6 ± 5.6	24.6 ± 5.1	23.7 ± 4.9	33.6 ± 4.1	32.1 ± 3.8	31.5 ± 5.0	33.4 ± 3.6	34.3 ± 3.0	35.6 ± 3.1	1.6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
大腿前筋厚(cm)	3.9 ± 1.0	3.6 ± 0.6	3.5 ± 0.5	4.3 ± 1.0	4.2 ± 0.6	4.0 ± 0.6	4.4 ± 0.5	4.4 ± 0.5	4.7 ± 0.6	2.6*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	Mid<High	
大腿前筋厚除脂肪体重(cm/kg)	1.33 ± 0.24	1.24 ± 0.16	1.23 ± 0.14	1.31 ± 0.27	1.30 ± 0.15	1.27 ± 0.14	1.36 ± 0.14	1.36 ± 0.15	1.43 ± 0.16	2.2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
大腿前筋量(cm ³)	388.3 ± 221.5	334.4 ± 149.4	314.7 ± 123.3	562.6 ± 292.3	493.8 ± 153.9	472.6 ± 163.4	554.6 ± 122.5	581.4 ± 139.4	670.2 ± 200.5	2.8*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	Mid<High	
膝伸筋力(Nm)	58.7 ± 30.9	63.0 ± 22.5	63.2 ± 23.4	99.3 ± 28.2	94.4 ± 27.0	105.3 ± 36.2	107.9 ± 20.7	117.9 ± 26.9	133.4 ± 31.3	1.6	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	
膝伸筋力/体重(Nm/kg)	1.6 ± 0.3	2.0 ± 0.5	2.2 ± 0.5	1.9 ± 0.4	2.2 ± 0.5	2.6 ± 0.5	2.3 ± 0.3	2.6 ± 0.5	2.8 ± 0.4	0.8	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	
膝伸筋力/除脂肪体重(Nm/kg)	2.3 ± 0.7	2.5 ± 0.6	2.6 ± 0.6	2.9 ± 0.7	2.9 ± 0.7	3.3 ± 0.7	3.2 ± 0.5	3.4 ± 0.7	3.7 ± 0.7	0.7	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	Low, Mid<High	
膝伸筋力/大腿前筋量(Nm/cm ³)	0.17 ± 0.06	0.20 ± 0.07	0.21 ± 0.06	0.18 ± 0.07	0.20 ± 0.06	0.23 ± 0.04	0.22 ± 0.04	0.21 ± 0.05	0.21 ± 0.04	1.5	Low>High	Low>High	Low>High	Low>High	Low>High	
垂直跳び高(cm)	15.5 ± 2.3	21.8 ± 2.7	28.2 ± 2.0	18.4 ± 1.8	24.3 ± 2.4	31.1 ± 3.8	18.9 ± 1.9	25.0 ± 2.5	31.6 ± 2.1	0.1	Low>Mid<High	Low>Mid<High	Low>Mid<High	Low>Mid<High	Low>Mid<High	

平均±SD, Low: 垂直跳び高(cm) ≤ 平均-SD(cm), Mid: 平均-SD(cm) < 垂直跳び高(cm) < 平均+SD(cm), High: 垂直跳び高(cm) ≥ 平均+SD(cm); *: 暦年齢グループとジャンプレベル間に有意な相互作用あり(p<0.05).

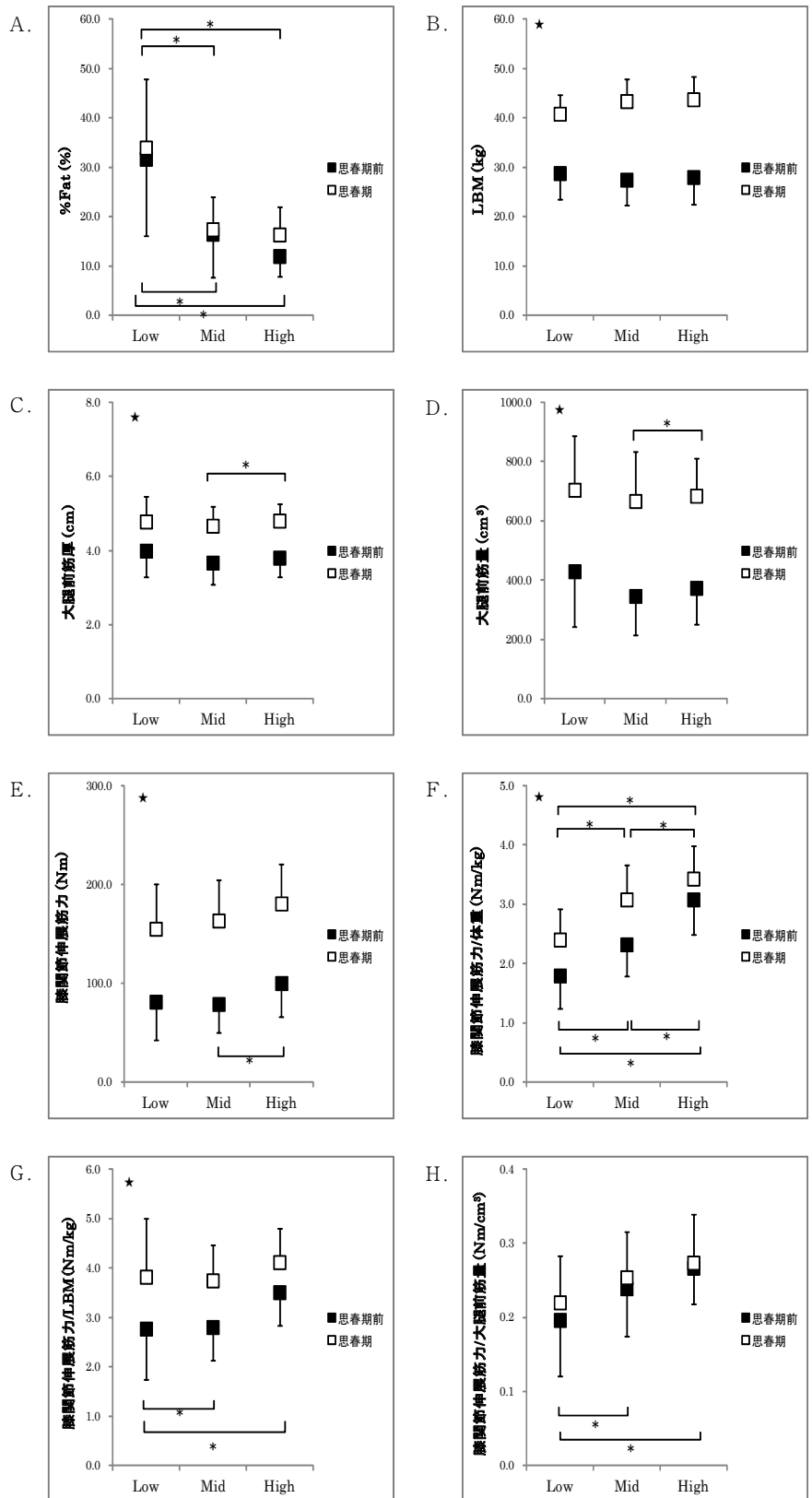


図2. 男子の発育度とパフォーマンスレベルによる身体組成, 筋形態, 下肢筋力の違い

★: 発育度間の有意差あり (p < 0.05), *: ジャンプレベル間の有意差あり (p < 0.05), Low: 垂直跳び高 (cm) ≤ 平均 - SD (cm), Mid: 平均 - SD (cm) < 垂直跳び高 (cm) < 平均 + SD (cm), High: 垂直跳び高 (cm) ≥ 平均 + SD (cm), 思春期前: 身長153.4cm以下 (Low, n = 27, Mid, n = 197, High, n = 18), 思春期: 身長153.4cm以上 (Low, n = 10, Mid, n = 154, High, n = 19).

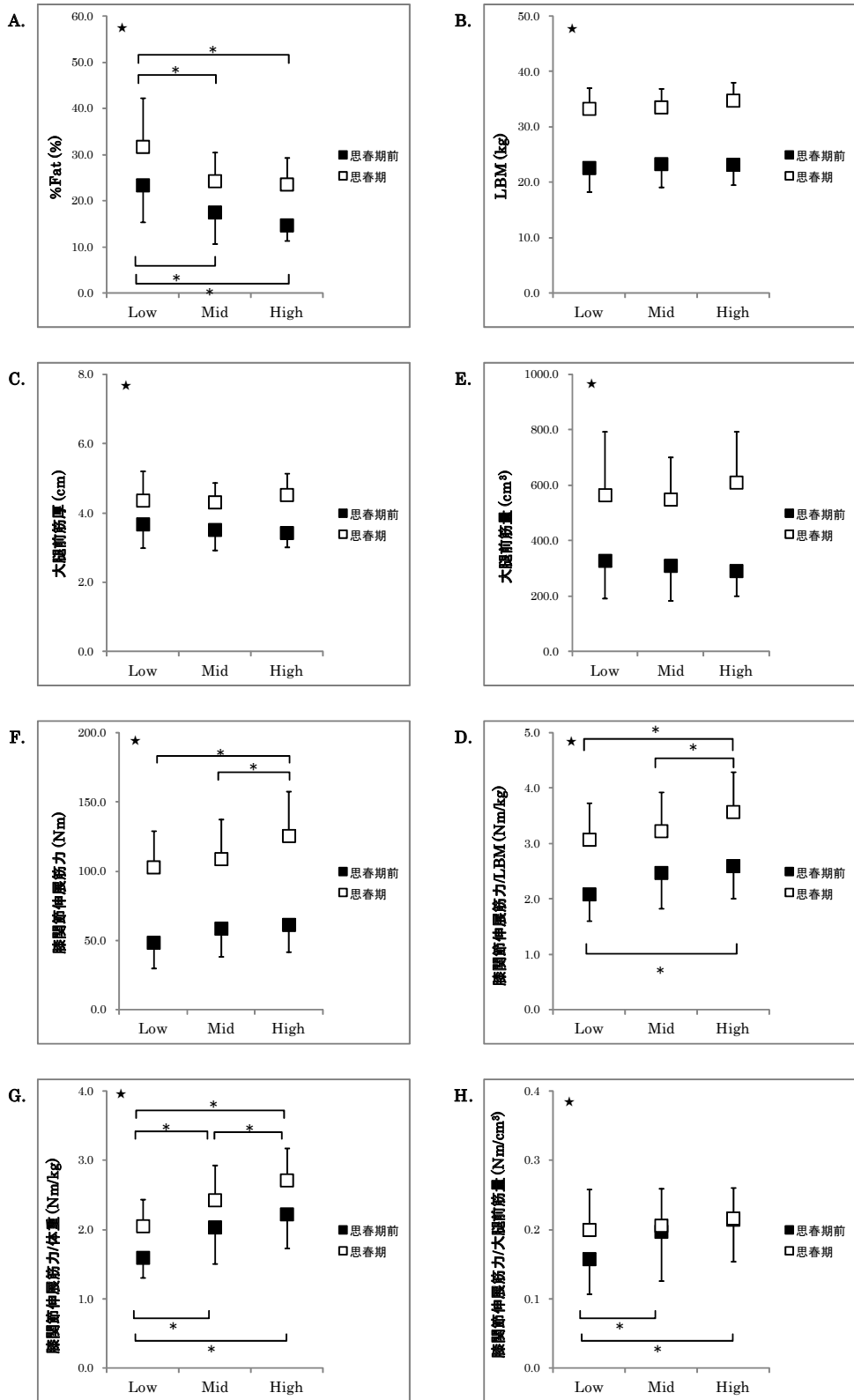


図3. 女子の発育度とパフォーマンスレベルによる身体組成, 筋形態, 下肢筋力の違い

★: 発育度間の有意差あり, *: ジャンプレベル間の有意差あり, Low: 垂直跳び高 (cm) \leq 平均 - SD (cm), Mid: 平均 - SD (cm) $<$ 垂直跳び高 (cm) $<$ 平均 + SD (cm), High: 垂直跳び高 (cm) \geq 平均 + SD (cm), 思春期前: 身長141.3cm以下 (Low, n = 19, Mid, n = 116, High, n = 27), 思春期: 身長141.3cm以上 (Low, n = 42, Mid, n = 243, High, n = 42).

力が最も低かった。このことは、低年齢層における筋量の増加が、筋の機能的発達を伴わないとする金久ら¹²⁾の結果に従う。

IV. 結論

発育発達期の男子425名、女子489名について、暦年齢水準、および発育度によってそれぞれ分類し、体格を基準としたジャンプレベルに違いがあるかを検証した。体格の割にジャンプレベルが高いものは、体重あたり膝関節伸展筋力が高く、思春期前の男子および思春期の女子では除脂肪体重あたり膝関節伸展筋力が高かった。体格の割にジャンプ能力が低いものは、性別、暦年齢および発育度に関係なく体重あたり膝関節伸展筋力が低く、体脂肪率が高かった。また、性別に関係なくジャンプ能力が低いものは、思春期前で大腿前筋量あたり膝関節伸展筋力が低かった。

発育発達期のパフォーマンスは身体発育の遅速による影響を含むため、暦年齢や絶対値だけで判定することは個人差を考慮しているとはいえず、性別、発育度、体格を基準とした評価方法は、タレント発掘や適切なトレーニング処方のための、新たな手段として活用できると考える。

引用文献

- 1) 文部科学省スポーツ・青少年局：体力・運動能力調査報告書 2008.
- 2) Gall F, Carling C., Williams M., Reilly T. Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport*, 13(1): 90-95, 2010.
- 3) Moore SA., Moore M., Klentrou P., Sullivan P., Falk B. Maturity status in male child and adolescent athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 50: 486-493, 2010.
- 4) Armstrong N., Welsman JR., Williams CA., Kirby BJ. Longitudinal changes in young people's short-term power output. *Med Sci Sports Exerc*, 32(6): 1140-1145, 1999.
- 5) Tonson A., Ratel S., Le Fur Y., Cozzone P., Bendahan D. Effect of Maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med Sci Sports Exerc*, 40(5): 918-925, 2008.
- 6) 高石昌弘, 樋口満, 小島武次. からだの発達－身体発達学へのアプローチ－. 大修館書店. 28-50, 1985.
- 7) 森下はるみ. 日本人青少年の形態発育と機能発育の解析的研究. *体育学研究*, 11, 47-58, 1966.
- 8) Suwa S, Tachibana K, Maesaka H, Tanaka T, Yokoya S. Longitudinal standards for height and height velocity for Japanese children from birth to maturity. *Clin Pediatr Endocrinol*, 1(1): 5-13, 1992.
- 9) Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity. 307-336, 2004.
- 10) 安部孝, 福永哲夫. 日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院. 97-100, 1995.
- 11) 岩竹淳, 山本正嘉, 西園秀嗣, 川原繁樹, 北田耕司, 関子浩二. 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) 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筋断面積当たりの筋力. *体力科学*, 34 : 71-78, 1985.