

# 幼児の等速性脚伸展筋力と脚屈曲筋力の発達の特徴

— 等速性筋持久力テストの結果から —

八木 規夫\*・後藤 洋子\*  
杉田 正明\*\*・小林 寛道\*\*

**Development of isokinetic muscle strength of knee extensor  
and flexor in young boys and girls ages of 4 to 6 years;  
observed from isokinetic muscle endurance test**

**Norio YAGI\*, Yoko GOTO\*  
Masaaki SUGITA\*\* and Kando KOBAYASHI\*\***

## 概 要

日常的に活発な身体運動が実施指導されている三重県内のH保育園の4歳、5歳、6歳の男女児計208名を対象として、Cybex II + を用い、脚伸展筋群及び脚屈曲筋群における等速性（毎秒180度）筋持久力を測定し、幼児期における両脚筋力の発達の特徴を検討した。

幼児の等速性脚筋持久力における発揮筋力（ピークトルク）の推移は、対数表示による作業回数を用いて表す（片対数表示）と、筋力の低下傾向をよく示す直線に概ね近似することができた。近似式（ $y = a - b \log x$ ）から得られた各指標の年齢別平均値は、脚伸展筋力、脚屈曲筋力ともほぼ同様の傾向を示し、平均ピークトルク、初期値、終末値及び定数b（値が大きいほど低下率が大きい）はいずれも4歳群の値が最も小さく、5歳群、6歳群の順で大きくなる傾向を示した。

各個人の身長と初期値および定数bとの関係をみると、男子の初期値では脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも指数関数的に増大する傾向がみられるが、身長115cmを越えるあたりから脚伸展筋力の方の増大傾向が顕著となり、両筋力の増大傾向にはっきりとした差異がみられるようになった。定数bとの関係でも、脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも指数関数的に増大するが、身長115cmを越えるあたりから脚伸展筋力の定数bの方が顕著に増大する様子がみられた。女子では、男子のような指数関数的な傾向はみられないが、脚伸展筋力と脚屈曲筋力の初期値は身長の増大とともに徐々に差が大きくなる傾向がみられた。すなわち、成長とともに脚伸展筋力、脚屈曲筋力はともに増大するが、両筋力の増大傾向には異なるものがみられ、脚屈曲筋力より脚伸展筋力の増大の方が顕著であることが認められた。

## I. 目 的

幼児期における等速性筋力の発達について検討した報告は極めて少ない。これまでに、小林ら<sup>17,19,21)</sup>、八木ら<sup>32,33)</sup>は4歳から6歳の幼児を対象として等速性脚筋力や等速性脚筋持久力の測定を行い、等速性脚筋力の発達やそれらの発揮能

\* 三重大学教育学部  
\* Faculty of Education, Mie University  
\*\* 東京大学教養学部  
\*\* Department of Sports Sciences, College of Arts and Sciences, The University of Tokyo

力と基礎的な運動能力との関係を検討し報告している。

幼児期は様々な運動能力が著しく発達する時期であるが、幼児の基礎的な運動能力の発達は脚伸展筋力の発達と密接に関連しており<sup>19,32,33</sup>、脚屈曲筋力との関連は比較的少ないとされている。また、幼児の脚伸展筋力と脚屈曲筋力を比較してみると、4歳児と6歳児では両筋力の割合に異なった傾向がみられ、6歳児では脚伸展筋力が脚屈曲筋力に対して明らかに大きな値を示すようになるとされている<sup>21</sup>。

しかし、幼児期には著しい個人差がみられる場合が多く、両脚筋群の発揮能力が6歳児でも4歳児のように未発達のものもあればその逆のケースもしばしばみられている。従って、対象の人数を多くするとともに、各個人の身長など形態の発育を加味して両脚筋力発揮能力の発達を検討することも必要であろう。また、筋力発揮能力の特徴をより明確に捉えるためには筋持久力に関する資料のさらに詳しい検討が必要であると思われる。

本研究は、日常的に活発な身体運動が実施指導されている三重県内のH保育園の4歳、5歳、6歳の男女児計208名を対象として、Cybex II+を用い、脚伸展筋群及び脚屈曲筋群における等速性(毎秒180度)筋持久力を測定し、連続的に最大努力で繰り返し発揮する筋力の推移と年齢や身長との関連から、幼児期における両脚筋力の発達の特徴について検討することを目的とした。

## II. 方 法

### 1. 対象

日常的に活発な身体運動が実施指導されている三重県内のH幼稚園の男子108名(6歳児;35名, 5歳児;38名, 4歳児;35名), 女子100名(6歳児;36名, 5歳児;29名, 4歳児;34名)の計208名を対象とした。測定を実施するにあたっては、当保育園長を通じて、対象者の保護者から測定参加に対する同意を得た。

### 2. 測定方法

#### 1) 形態及び運動能力の測定

身長、体重及び25m走と垂直跳び能力を測定した。25m走は直走路での全力疾走とし、ストップウォッチを用いて所要タイムを計測した。垂直跳びはジャンプメーター(竹井機器)を用いて跳躍高を測定した。

#### 2) 等速性脚筋持久力の測定

等速性脚筋持久力の測定は、Cybex II+(Lumex社)をH保育園に運搬し、保育園の一室で実施した。作業様式は最大努力における椅座位姿勢での脚伸展及び屈曲の連続動作とし、1往復を約1秒間で繰り返すリズムを基本として50回の往復運動を行わせた。運動速度は毎秒180度の速度とした。

脚筋力測定用のアームは、幼児の下腿長にあわせて製作したものをを用い、主軸の部分が16cm、横軸が17cm、長さの調節が16~25cmの範囲で可能なものである<sup>17,32</sup>。

各回、各動作の力曲線をCybex II+のレコーダーに記録し(ダンピング2)、それぞれの極大値(ピークトルク)を各動作、各回の筋力値とした。

#### 3) 筋持久力の指標について

筋持久力テストにおける筋力値の推移は、対数表示による作業回数を用いて表示(片対数表示)すると、筋力値の低下傾向を示す直線( $y=a-b\log x$ ;  $y$ :筋力値,  $x$ :作業回数)に近似することができる。福永ら<sup>8)</sup>は、この近似式( $y=a-b\log x$ )における定数 $a$ は筋力の初期値、 $b$ は筋力の低下率を意味するものとし、これら定数 $a$ 、 $b$ を筋持久力の指標として用いている。この他にも、筋持久力テストの筋力値の推移を指数関数式で近似することによって指標を導き出している報告例がいくつかみられる<sup>2,4,9,26</sup>。

本研究では福永ら<sup>8)</sup>が用いたものと同様の方法で筋持久力の指標を算出することにした。ただし、今回の測定では、対象が幼児であったことも考えられるが、伸展・屈曲の両動作ともに初回の筋力値が2回目よりもかなり小さい値を示す傾向がみられた(図1, 3)。また、理論的な初期値として考えられた $a$ の値は、実際の初期値よりも大きな値を示す傾向がある。従って、本研究では、初回の値を切捨てて2回目以降49回分の筋力値を用いて統計処理を行うこととし、初期値は片対数表示で得られた $y=a-b\log x$ の式に $x=2$ を代入したときの $y$ の値とすることにした。

すなわち、本研究で用いた筋持久力の指標は、49回分の平均ピークトルク(Mean Peak Torque; M. P. T.)、先に得られた近似式に $x=2$ 及び $x=49$ を代入して求めた初期値(Initial Peak Torque; I. P. T.)と終末値(End Peak Torque; E. P. T.)及び定数 $b$ (Constant  $b$ )の4項目である。

4) 統計処理

各測定項目について平均値と標準偏差を求めた。平均値間の差の有意性は、t 検定を用いて検討した。

Ⅲ. 測定結果

1. 形態及び運動能力について

対象者の身長、体重及び 25 m 走と垂直跳びの測定結果を表 1 に示した。

身長、体重、25 m 走、垂直跳びの 4 項目とも加齢ともなって有意に向上する傾向が認められた。しかし、男女差についてはいずれの年齢群においても有意な差は認められなかった。

2. 等速性筋持久力テストについて

1) 脚伸展筋力の推移

脚伸展動作の各試行におけるピークトルクの推移を年齢別に平均値で示したものが図 1 である。上段の図は男子、下段は女子のものを示している。

男女、各年齢群とも初回の値が 2 回目よりも小さくなる傾向が認められるが、ピークトルクは男女とも全ての試行において 6 歳群が最も大きく、5 歳群、4 歳群の順で小さくなっている。作業の前半と後半によるピークトルクの低下は、男女とも 4 歳群が最も小さく、5 歳群、6 歳群の順で大きくなる傾向がみられた。

図 1 でみられたピークトルクの推移について、初回を除く 49 回分を作業回数 1~49 として片対数表示したものが図 2 である。それぞれの相関係数は男女とも 0.94~0.98 の高い値を示した。

ピークトルクの低下傾向の大小を意味する定数 b の値は、男子 4 歳群で 2.00、5 歳群で 4.34、6 歳群で 5.45、女子では 4 歳群 3.12、5 歳群 4.36、6 歳群 5.09 を示した。男女とも 4 歳群が最も小さ

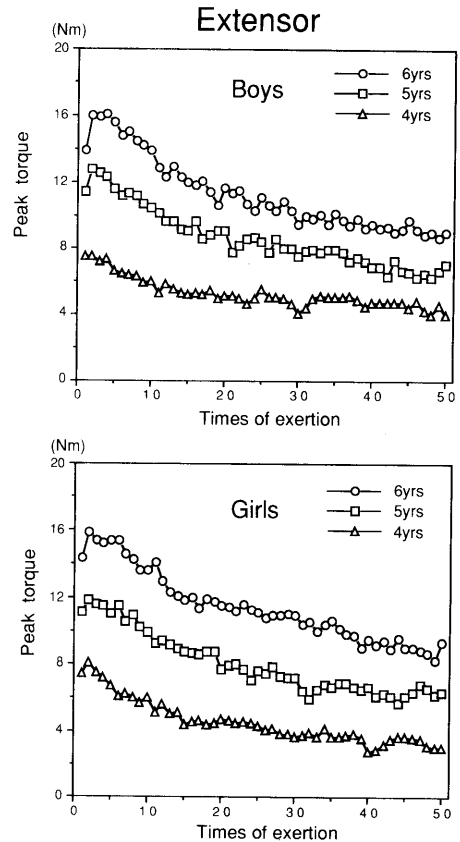


Fig. 1 Changes of perk torque of extensor for 50 times exertion.

く、5 歳群、6 歳群の順で大きくなる傾向がみられ、年齢が増すにつれてピークトルクの低下率が大きくなることわかる。

2) 脚屈曲筋力の推移

脚屈曲動作の各試行におけるピークトルクの推移を年齢別に平均値で示したものが図 3 である。

Tab. 1 Physical characteristics and motor performamance of subjects.

	Age (N) (yrs)	Boby height (cm)	Body weight (kg)	25m run (sec.)	Vertical jump (cm)
Boys	6 (35)	116. 2 (5. 3)	21. 7 (3. 0)	6. 15 (0. 51)	23. 5 (4. 3)
	5 (38)	111. 2 (5. 0)	19. 6 (2. 5)	6. 65 (0. 56)	19. 5 (4. 6)
	4 (35)	104. 7 (4. 2)	17. 9 (2. 0)	7. 58 (0. 78)	14. 6 (3. 5)
Girls	6 (36)	115. 6 (5. 4)	20. 8 (3. 0)	6. 27 (0. 43)	22. 4 (4. 0)
	5 (29)	108. 5 (4. 3)	18. 2 (1. 8)	6. 81 (0. 65)	18. 1 (4. 3)
	4 (35)	101. 9 (4. 6)	16. 3 (1. 6)	7. 86 (0. 83)	13. 2 (3. 8)

Mean. (S. D.)

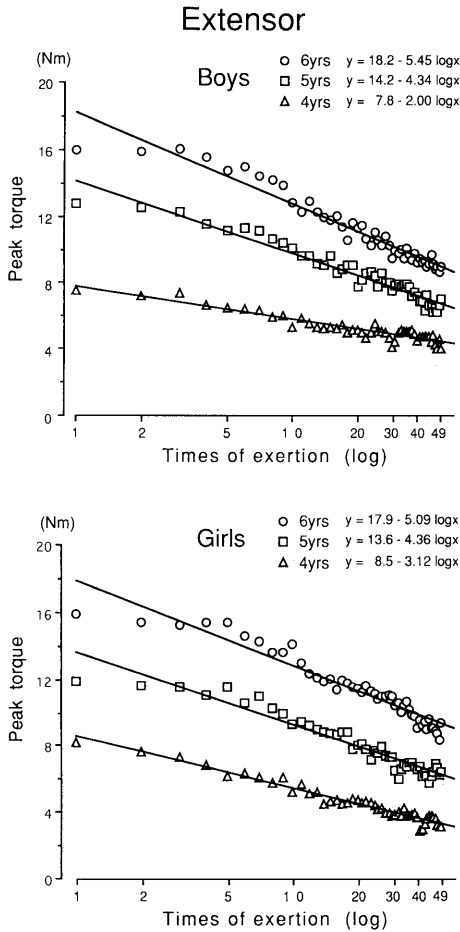


Fig. 2 Changes of peak torque of extensor for 49 times exertion. (semi-log)

上段の図は男子、下段は女子のものを示している。

伸展筋力と同様、男女、各年齢群とも初回の値が2回目よりも小さくなる傾向が認められるが、ピークトルクは男女とも全ての試行において6歳群が最も大きく、5歳群、4歳群の順で小さくなっている。作業の前半と後半によるピークトルクの低下は、男女とも4歳群が最も小さく、5歳群、6歳群の順で大きくなる傾向がみられた。

図4は、図2と同様、屈曲動作の初回の値を除いた49回分のピークトルクを片対数表示したものである。それぞれの相関係数は男女とも0.93~0.97の高い値を示した。

定数bの値は、それぞれ男子の4歳群で1.79、5歳群で3.08、6歳群で4.19、女子の4歳群で1.76、5歳群で2.92、6歳群で3.74であった。伸展筋力と同様、男女とも4歳群が最も小さく、5

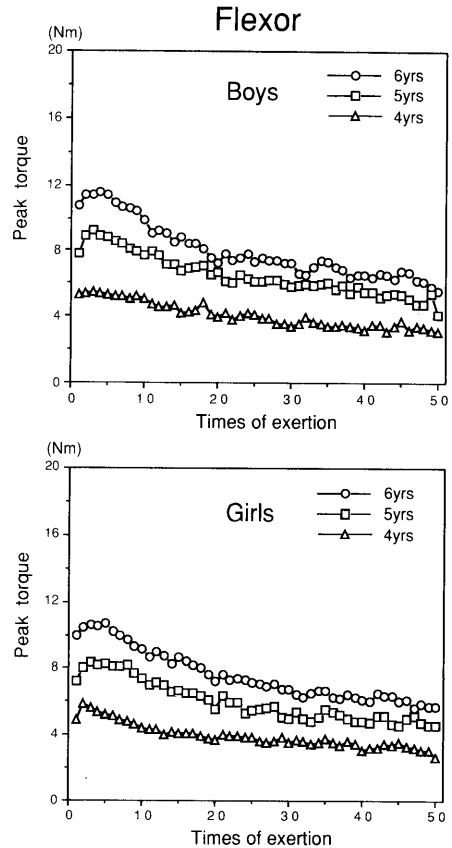


Fig. 3 Changes of peak torque of flexor for 50 times exertion.

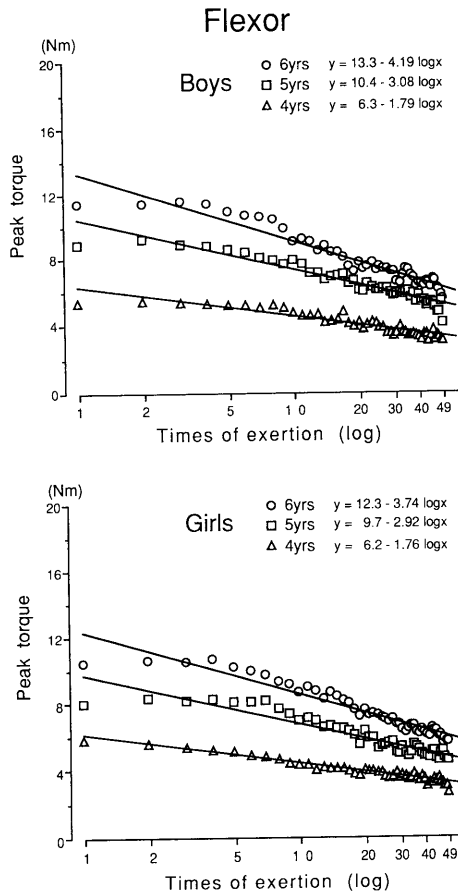
歳群、6歳群の順で大きくなる傾向がみられた。

### 3) 筋持久力の各指標の平均値

各個人の脚伸展及び屈曲動作における49回分の平均ピークトルク (M. P. T.) と片対数表示の近似式から得られる初期値 (I. P. T.)、終末値 (E. P. T.) 及び定数bの年齢別平均値と標準偏差を表2に示した。

#### ①脚伸展筋力

平均ピークトルク、初期値及び終末値はいずれも6歳群の値が最も大きく、5歳群、4歳群の順で小さくなる傾向を示した。各年齢群間にはそれぞれ0.1%水準で有意な差が認められた。ピークトルクの低下傾向を示す定数bについても6歳群が最も大きく、5歳群、4歳群の順で小さくなる傾向を示し、各年齢群間にはそれぞれ有意な差が認められた。女子についても男子と同様の傾向がみられたが、女子の場合定数bの6歳群と5



歳群の平均値には有意な差は認められなかった。男女差については、4歳群の平均ピークトルク、終末値及び定数 b を除いて他は有意性は認められなかった。

②脚屈曲筋力

伸展筋力とはほぼ同様の傾向がみられた。男子の平均ピークトルク、初期値、終末値及び定数 b は6歳群の値が最も大きく、各年齢群間にはそれぞれ0.1%水準で有意な差が認められた。女子についても男子と同様の傾向がみられた。男女差も統計的に有意なものはない。

③脚伸展筋力と脚屈曲筋力の比較

平均ピークトルク、初期値は、男女とも各年齢群とも、脚伸展筋力の方が脚屈曲筋力よりも大きな値を示しいずれも統計的に有意な差が認められた。終末値は、女子の4歳群にのみ脚伸展筋力と脚屈曲筋力に有意な差が認められなかった。定数 b については、男女、各年齢群とも脚伸展筋力の方が脚屈曲筋力よりも有意に大きな値を示した。

すなわち、脚伸展筋力は49回の試行を通じて脚屈曲筋力よりも大きな筋力を発揮する傾向にあるが、作業前半から後半にかけての筋力低下も脚伸

Fig. 4 Changes of peak torque of flexor for 49 times exertion. (semi-log)

Tab. 2 Indexes of muscle endurance test

Extensor		N.P.T. (Nm)	I.P.T. (Nm)	E.P.T. (Nm)	Constant b
Boys	6yrs	11.2 (4.1)	16.6 (6.4)	9.0 (3.2)	5.44 (2.83)
	5yrs	8.6 (2.3)	12.9 (3.5)	6.8 (2.2)	4.36 (1.87)
	4yrs	5.2 (1.4)	7.4 (2.0)	4.4 (1.4)	2.21 (2.23)
Girls	6yrs	11.3 (2.5)	16.2 (3.7)	9.2 (2.4)	5.15 (2.13)
	5yrs	8.0 (2.0)	12.3 (3.2)	6.2 (1.9)	4.36 (1.91)
	4yrs	4.5 (1.7)	7.6 (2.9)	3.4 (1.7)	3.03 (1.54)

Flexor		N.P.T. (Nm)	I.P.T. (Nm)	E.P.T. (Nm)	Constant b
Boys	6yrs	7.9 (2.5)	11.8 (3.9)	6.1 (2.2)	4.23 (2.04)
	5yrs	6.5 (1.8)	9.4 (3.0)	5.1 (1.6)	3.15 (1.81)
	4yrs	4.0 (1.0)	5.9 (1.6)	3.4 (1.2)	1.81 (0.98)
Girls	6yrs	7.5 (1.7)	11.2 (2.9)	5.9 (1.5)	3.69 (1.31)
	5yrs	6.0 (1.4)	8.8 (2.0)	4.8 (1.3)	2.92 (1.32)
	4yrs	3.9 (1.1)	5.7 (1.7)	3.2 (0.9)	1.79 (0.87)

Mean (S. D.)

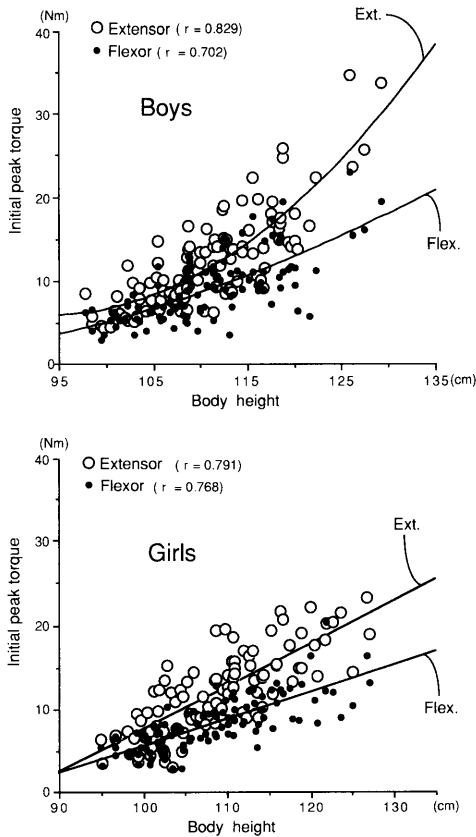


Fig. 5 Relationship between initial peak torque and body height.

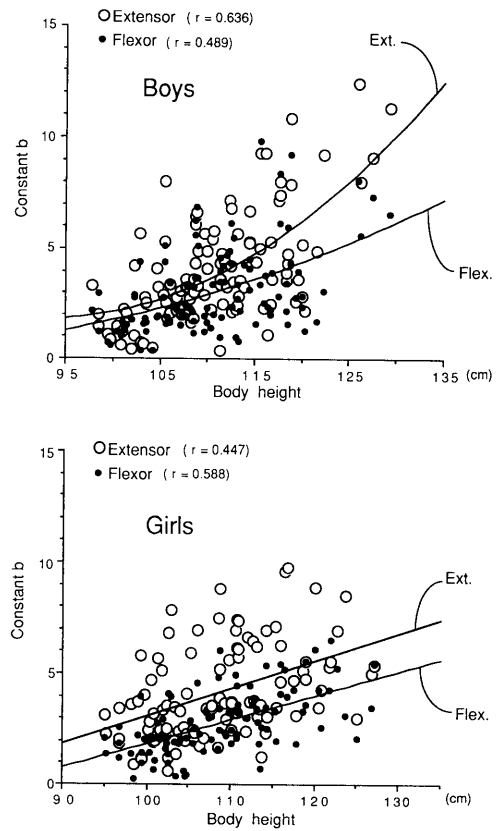


Fig. 6 Relationship between constant b and body height.

展筋力の方が大きいことがわかる。

脚屈曲筋力の脚伸展筋力に対する割合を初期値でみると、男子6歳群で71.1%、5歳群で73.0%、4歳群で79.7%、女子6歳群では69.1%、5歳群で71.5%、4歳群で75.0%であった。男女とも脚屈曲筋力の脚伸展筋力に対する割合は4歳群で最も高く6歳群で低くなる傾向にあった。初期値や終末値についても同様の傾向がみられている。

#### 4) 身長との関係からみた脚伸展筋力と脚屈曲筋力の発達の特徴

脚伸展筋力と脚屈曲筋力の発達の特徴をより詳しく捉えるために、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力の初期値と定数 b を身長との関係で対象者全員についてプロットしたものが図5（初期値）、図6（定数 b）である。図は上段が男子、下段は女子のものであり、○印は脚伸展筋力、●印は脚屈曲筋力を示している。

男子の初期値では脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも指数関数的に増大する傾向がみられた。しかし、身長 115 cm を越えるあたりから脚伸展筋力の方の増大傾向が顕著となり、両筋力の増大傾向にはっきりとした差がみられるようになる。女子では、男子のように指数関数的な増大傾向はみられず脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも身長が大きくなるにつれて少しずつ増大する傾向にあるが、脚伸展筋力の増大傾向は脚屈曲筋力よりも大きく両筋力の差は緩やかに広がってゆく様子を示している。

筋持久力の筋力低下率を意味する定数 b の値と身長との関係は、男子では初期値のときにみられた傾向とほぼ同様の傾向を示した。すなわち、定数 b は脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも指数関的に増大する傾向がみられるが、身長 115 cm を越えるあたりから脚伸展筋力の方の増大傾向が顕著となる様子がみられた。女子では、男子でみられたような傾向とは異なるが、脚伸展筋力及び脚

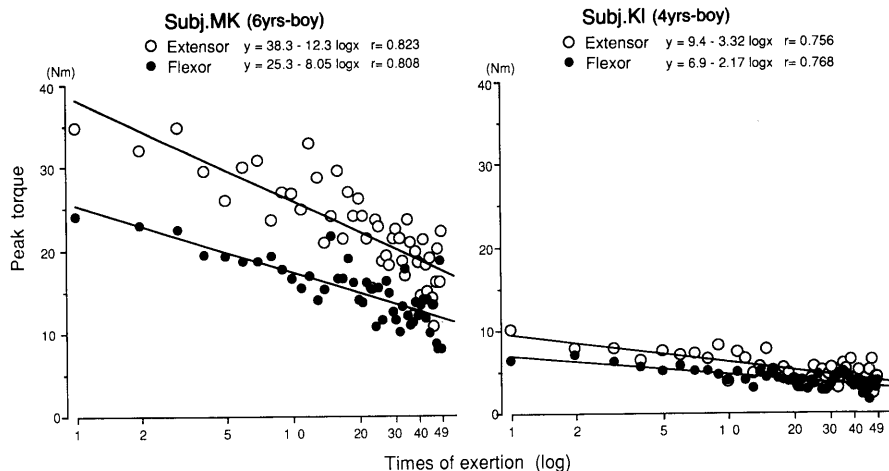


Fig. 7 Changes of peak torque of extensor and flexor for 49 times exertion. (sime-log)

屈曲筋力の定数  $b$  は身長が増大にともない僅かずつ差が開く様子を示しながら増大する傾向を示した。

#### IV. 論 議

最大努力での筋収縮を繰り返しておこなう筋持久力テストについては、スポーツ選手や児童、生徒を対象として比較的多くの報告例がみられる<sup>2,3,4,8,9,13,18,20,21,22,26,28,29,30,31</sup>。これらの報告例のなかに、筋力値の推移と作業回数との関係を片対数表示することによって得られた近似式より筋力の低下傾向を示す指標を導きだしているものがある<sup>2,4,8,9,26</sup>。片対数表示の利点は、作業初期から中盤における筋力の低下傾向をよく捉えられるところにある<sup>8</sup>。本研究では幼児が対象であったのでこの方法で指標を導き出すことが可能かどうか懸念されたが、各個人の筋力値（ピークトルク）の推移を片対数表示すると、図7のように筋力の低下傾向を示す直線に概ね近似することができた。従って、本研究も片対数表示によって得られた近似式で指標を導き出す方法を用いることにした。

ただし、5歳児群や6歳児群の平均値による筋力の推移では（図2、図4）、作業回数1～5回目あたりの筋力はほぼ一定の値で維持されており、近似された直線の筋力低下傾向とはやや異なった傾向もみられている。こうした初期段階の傾向と作業中盤における筋力低下傾向との差異は、片対数表示による特性であるかもしれないが、年齢が

進むにつれてさらに大きくなるのではないかと推測される。作業初期における数回の筋力の平均値を初期値としその後の筋力低下傾向を直線に近似して指標を導き出す方法も考えられるが、対象者個々における筋力の推移は千差万別であり、一定の基準を設定することは極めて困難であるように思われた。他の報告例では、作業初期及び終末段階の数回における筋力の平均値を初期値及び終末値としてその両者から低下率を求めているものも多いが<sup>13,18,20,21,22,30,31</sup>、この方法では、作業初期から中盤における急激な筋力低下傾向を示す指標を求めることはできない。また、小林ら<sup>20</sup>（一流やり投げ選手を対象）のように、発揮筋力の推移から前半20回目までの筋力低下傾向と20回目以降の筋力低下傾向とを分けて考え、2つの直線に近似する方法を用いているものもある。いずれにせよ対象の年齢層を増加してさらに検討する必要はあると思われる。

これまでに幼児の等速性脚筋力の発達について検討した報告例は極めて少ない。小林ら<sup>17,19,21</sup>、八木ら<sup>32,33</sup>は、4歳から6歳の幼児を対象として等速性脚筋力や等速性脚筋持久力の検討を行うとともに、それらの発揮能力と基礎的な運動能力との関係を報告している。

これらの報告によると、幼児の基礎的な運動能力は脚伸展筋力の発達と密接に関連しており、屈曲筋力との関連は比較的少ないとされている<sup>19,32,33</sup>。また、小林ら<sup>21</sup>は4歳から6歳の幼児を対象にして等速性脚筋力を1年間ずつ追跡的に測定した

結果、脚伸展筋力と脚屈曲筋力の発達のパターンについて3段階に分けられると述べている。第1段階は脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも未発達で筋力の差がほとんどみられない段階、第2段階は脚伸展筋力が屈曲筋力に対して相対的に優位となり脚屈曲筋力よりも常に大きな力を発揮できる段階、第3段階は脚伸展筋力が脚屈曲筋力に対して明らかに大きな値を示し両者の差が著しくなる段階としている。

本研究で測定した等速性の筋持久力は毎秒180度の運動速度で実施したが、これは小林ら<sup>17,21)</sup>の報告と同様の方法で行ったものである。本研究で求められた初期値（すなわち疲れていない状態での最大筋力）の年齢別の平均値は男女とも各年齢群とも脚伸展筋力が脚屈曲筋力を有意に上回る結果となった。しかし、脚伸展筋力と脚屈曲筋力との差は男女とも年齢が増すに連れて大きくなる傾向がみられ、脚屈曲筋力の脚伸展筋力に対する割合も4歳群79.7%、5歳群で73.0%、6歳群で71.1%と4歳群から5歳群、6歳群の順で小さくなる傾向がみられている。従って、本研究の初期値からも小林ら<sup>21)</sup>が述べるような脚伸展筋力と脚屈曲筋力の発達のパターンを概ね支持できる。そして、今回対象とした幼児全員の身長と初期値との関係から検討すると（図5）、幼児期の男子では身長105cm前後が第1段階、身長115cm前後で第2段階、身長120cm程度から第3段階になると考えられる。女子では、男子に較べると脚伸展筋力の急激な増大がみられず全体的にやや低値であり、おおよそ第1段階から第2段階の範囲に含まれるのではないかと推察された。

また、小林ら<sup>21)</sup>は筋筋持久力テストの結果から、1~10回目の平均値を初期値、41~50回目の平均値を終末値として低下率を求めており、その結果5歳から6歳にかけて脚伸展筋群の絶対的な最大筋力は増大するが、その一方で連続的な筋力発揮による筋力低下の割合はより大きくなると報告している。本研究では筋力低下の傾向を示す指標として近似式から得られる定数bを用いたが、各年齢群の脚伸展筋力及び脚屈曲筋力の定数bは男女とも有意な差が認められ、4歳群が最も小さく、次いで5歳群、6歳群の順で大きくなる傾向にあった。しかも、身長と脚伸展筋力及び脚屈曲筋力における定数bとの関係（図6）をみると、男子では身長の増大にともなって定数bが指数関数的に増大する傾向がみられ、身長115

cmを越えるあたりから脚屈曲筋力に較べて脚伸展筋力の定数bが急激に増大する様子がみられた。

筋持久力テストによる脚伸展筋群と脚屈曲筋群の筋力発揮の相違は、それぞれの筋群の筋量及び筋線維構成比の違いから考えられる。Nariciら<sup>24)</sup>は成人男子の脚伸展筋群と脚屈曲筋群について筋力（静的筋力）を測定するとともにNMR（Nuclear Magnetic Resonance; 核磁気共鳴装置）を用いてそれぞれの横断面積を求めているが、それによると脚伸展筋群が脚屈曲筋群よりも横断面積は93%大きく、脚伸展筋力は脚屈曲筋力よりも135%大きかったと報告している。また、筋線維構成比からみて脚伸展筋群と脚屈曲筋群を比較すると、脚伸展筋群には速筋線維の割合が高く脚屈曲筋群には遅筋線維の割合が高いことも報告されている<sup>12)</sup>。速筋線維の割合が高いほど大きな力が発揮できるが疲労しやすい特性があり、遅筋線維の割合が高いほどあまり力ではでないが疲労しにくいという特性がある。従って、脚屈曲筋群より筋量も多く速筋線維の割合が高い脚伸展筋群ではより大きな筋力発揮が可能であるが疲労しやすく、筋量も少なく遅筋線維の割合が高い脚屈曲筋群は力は小さいが疲労しにくいということになる。

また、年齢と等速性筋持久力との関係については、福永ら<sup>8)</sup>が8歳と14歳及び成人男子を対象に脚伸展筋群の等速性筋持久力および大腿四等筋の筋断面積を測定し、単位断面積当りの初期値と定数b（片対数表示の近似式による定数aとbを用いている）を求めた結果、8歳群と14歳及び成人群とは異なる傾向を示し、筋断面積当りの初期値及び定数bは8歳群が有意に小さかったと報告している。そして、8歳群では単位筋断面積当りの筋力に関与する神経系機能及び無酸素性のエネルギー発生能力が未発達であり、作業初期から高い筋力を発揮することができない。しかし、単位筋量あたりの有酸素性エネルギー発生能力は成人のレベルに近く達していることから、無酸素性出力と有酸素性出力との差が小さく、その結果、筋力の低下率は小さいものになると考察している。

本研究では筋断面積を測定していないので福永ら<sup>8)</sup>の報告と直接の比較はできない。そこで、本研究の4歳群、5歳群、6歳群の脚伸展筋力の初期値及び定数bを体重当り(Nm/kg)に換算して比較してみた。その結果、男子の脚伸展筋力の初期値は、4歳群(0.41±0.09)が最も小さく、次



いで5歳群 (0.65±0.15), 6歳群 (0.75±0.21) の順で大きくなり各年齢群間で有意な差が認められた。定数 b でも4歳群 (0.12±0.07) が最も小さく5歳群 (0.22±0.09) 及び6歳群 (0.25±0.10) と有意な差が認められた (5歳群と6歳群とは有意な差は認められなかった)。これは男女とも同様の傾向であり、各年齢群における男女の数値もほとんど類似したものであった。従って、体重当りの初期値には4歳群, 5歳群, 6歳群に、定数 b は4歳群と5歳及び6歳群に異なった傾向がみられるということになる。脚屈曲筋力についても同様の結果であった。

本研究における初期値の年齢差については、4歳児から6歳児に8歳群と14歳群との間にみられるような解糖系エネルギー発生能の差があるとは考えにくく、むしろ、幼児期は神経系の発達が著しい時期であるので単位筋断面積当りの筋力に關与する神経系に比較的大きな要因があるのではないかとと思われる。また、定数 b については、初期値の小さい4歳児群では疲労も少ないであろうし、最大努力による50回の連続動作を持続させること自体が難しい作業である場合も多くみられ集中力の意味から考えても4歳児群の筋力の低下傾向は小さいものとなるように思われる。

ところで、前述したように、本研究結果及び小林ら<sup>21)</sup>の報告では脚伸展筋群と脚屈曲筋群の筋力発揮の推移及びその割合が成長によって異なる傾向がみられている。Bell ら<sup>1)</sup>の報告によると、6歳の子供と成人との間に筋線維構成比に差異はないとされている。しかし、この報告に対して近年では異論が唱えられており<sup>7)</sup>、発育にともなう筋線維の面積の増加は遅筋線維より速筋線維の方が顕著であるという報告がみられている<sup>23,25)</sup>。幼児期においてもこのような傾向があるかどうかは明確でないが、速筋線維の割合が多い脚伸展筋群の方が脚屈曲筋群より成長にともなう筋断面積の増大が早く、筋持久力における初期値及び低下傾向が脚屈曲筋力の場合よりも顕著に増大するという可能性は考えられる。

先にも述べたように、幼児期の基礎的運動能力は脚伸展筋力の発達と密接に関連しており脚屈曲筋力との関連は少ないとされている<sup>19,32,33)</sup>。そして、幼児期では毎日の遊びの中での運動が身体形成のための重要な刺激であり、その運動刺激は筋力及び神経系の発達とともにより強く、スピーディなものとなるであろう。すなわち、成長に

よって発達した脚伸展筋力は神経系の発達とともに毎日の運動によってさらに刺激されることになる。こうした背景が、脚伸展筋力の増大をより顕著なものとし、脚屈曲筋力との差を増大させる結果となっているのではないかと推察される。

## V. 要 約

日常的に活発な身体運動が実施指導されている三重県内のH幼稚園の男子108名(6歳児;35名, 5歳児;38名, 4歳児;35名), 女子100名(6歳児;36名, 5歳児;29名, 4歳児;34名)の計208名を対象として、Cybex II + を用い、脚伸展筋群及び脚屈曲筋群における等速性(毎秒180度)筋持久力を測定し、発揮筋力の推移と年齢、身長との関連から、幼児期における両脚筋力の発達の特徴を検討した。得られた結果は以下のようであった。

- 1) 幼児の等速性脚筋持久力における発揮筋力(ピークトルク)の推移は、作業回数(x)を対数表示すると(片対数表示)、筋力の低下傾向を示す直線に概ね近似することができた。
- 2) 近似式( $y=a-b\log x$ )から得られた各指標の年齢別平均値は脚伸展筋力、脚屈曲筋力ともほぼ同様の傾向を示した。平均ピークトルク、初期値、終末値及び定数 b はいずれも6歳群の値が最も大きく、5歳群、4歳群の順で小さくなる傾向を示した。これらの傾向は、男女とも同様のものであり、各年齢群における男女差もほとんど認められなかった。
- 3) 脚伸展筋力と脚屈曲筋力を比較すると、平均ピークトルク、初期値、終末値及び定数 b は男女とも各年齢群とも、脚伸展筋力の方が脚屈曲筋力よりも大きな値を示した。

脚屈曲筋力の脚伸展筋力に対する割合を各指標についてみると、初期値では男子4歳群で79.7%, 5歳群で73.0%, 6歳群で71.1%, 女子4歳群では75.0%, 5歳群では71.5%, 6歳群では69.1%であった。男女とも脚屈曲筋力の脚伸展筋力に対する割合は4歳群で最も高く6歳群で低くなる傾向にあった。平均ピークトルクや終末値についても同様の傾向が認められた。

- 4) 各個人の身長と初期値および定数 b との関係を見ると、男子の初期値では脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも指数関数的に増大する傾向がみられたが、身長115 cmを越えるあたりから脚伸展

筋力の方の増大傾向が顕著となり、両脚筋力にはっきりとした差がみられるようになった。定数  $b$  との関係でも、脚伸展筋力、脚屈曲筋力とも指数関数的に増大する傾向がみられるが、身長 115 cm を越えるあたりから脚伸展筋力の方の増大傾向が顕著となる様子が見られた。女子では、男子のような指数関数的な傾向はみられなかったが、脚伸展筋力と脚屈曲筋力の初期値や定数  $b$  は、身長が増大にともない徐々に差が大きくなる傾向がみられた。すなわち、成長とともに脚伸展筋力、脚屈曲筋力とともに増大するが、両筋力の増大傾向には異なるものが見られ、脚屈曲筋力よりも脚伸展筋力の増大の方が顕著であることが認められた。

## 引用・参考文献

- 1) Bell, R. D. J. D. MacDougall, R. Billeter, and H. Howald, "Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six-year-old children.", *Med. Sci. Sports Exerc.*, 12: 28-31, 1980.
- 2) Clarke, D. H. and G. A. Stull, "Endurance training as a determinant of strength and fatigability.", *Res. Quart.* 41: 19-26, 1970.
- 3) Clarke, D. H. and Gentry, R. B., "Individual differences in hand-grip and elbow flexion fatigue.", *J. Motor Behavior* 3: 225-234, 1971.
- 4) Clarke, D. H. and J. M. Manning, "Properties of isokinetic fatigue at various movement in adult males.", *Res. Quart. Exerc. Sport.*, 55: 221-226, 1985.
- 5) Clarkson, P. M., J. Johnson, D. Dextrateur, E. Leszczynski, J. Wai and A. Melchionda., M. Manning., "Properties of isokinetic fatigue at various movement in adult males.", *Res. Quart. Exerc. Sport.*, 55: 221-226, 1985.
- 6) Erikson. B. O., P. D. Gollnick and B. Saltin, "Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old.", *Acta Physiol. Scand.*, 87: 485-497, 1973.
- 7) 藤本浩一・勝田茂「子どものスポーツトレーニングと筋組成」*体育の科学*, 43: 710-718, 1993.
- 8) 福永哲夫・浅見俊夫・金久博昭・奥山秀雄・池川繁樹「最大努力の筋収縮反復時における8歳および14歳男子の大腿四頭筋の疲労特性」*体育科学*, 16: 15-21, 1988.
- 9) Grose, J. E. "Depression of muscle fatigue curves by heat and cold.", *Res. Quart.* 29: 19-31, 1958.
- 10) 堀田朋基「筋線維タイプと疲労」, *Jpn. J. Sports. Sci.*, 3-(12), 939-945, 1984.
- 11) Ivy, J. L., W. M. Sherman, J. N. Miller, B. D. Maxwell and D. L. Costill, "Relationship between muscle  $Q_{O_2}$  and fatigue during repeated isokinetic contractions.", *J. Appl. Physiol.* 53: 470-474, 1982.
- 12) Jonson, M. a., J. Polgar, D. Weightman and Appleton., "Data on the distribution of fiber types in thirty-six human muscles, an autopsy study.", *J. Neurol. Sci.*, 18: 111-129, 1973.
- 13) 金久博昭・根本勇・宮下充正「年齢および性との関連でみたアイソキネティック・ピーク・トルクとその持久力」*Jpn. J. Sports. Sci.*, 3-(1), 91-98, 1984.
- 14) 金久博昭・福永哲夫・角田直也・池川繁樹「発育期青少年の単断面積当りの筋力」*体力科学*, 34: 71-78, 1985.
- 15) 勝田茂「筋線維の組成」*体育の科学*, 28: 467-472, 1978.
- 16) 勝田茂・久野譜也「MRIによる一流アスリートの大腿部組成」*筑波大学体育科学系紀要*, 16: 107-111, 1993.
- 17) 小林寛道・八木規夫・並木洋子「幼児の等速性筋力の特徴について」*体育科学*, 17: 57-65, 1989.
- 18) 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～伸展・屈曲筋力のバランスと持久力」*トレーニング科学研究会編, 競技力向上のスポーツ科学 I*, 19-37, 朝倉書店, 1989.
- 19) 小林寛道・八木規夫・並木洋子「6歳児の等速性筋力と基礎的運動能力との相関関係」*体育科学*, 18: 110-117, 1990.
- 20) 小林寛道, 八木規夫「一流やり投げ選手の筋力～ソウル五輪代表およびジュニア優秀選手の場合」*トレーニング科学研究会編, 競技力向上のスポーツ科学 II*, 2-29, 朝倉書店, 1990.
- 21) 小林寛道・八木規夫・杉田正明・並木洋子「幼児の等速性筋力測定法の検討と追跡的測定」*体育科学*, 19: 111-220, 1991.
- 22) 小林寛道・八木規夫「一流マラソン・長距離選手の筋力特性」*トレーニング科学研究会編, 競技力向上のスポーツ科学 III*, 12-33, 朝倉書店, 1991.
- 23) Lexell, J., "Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study whole vastus lateralis from childhood to adult age." *Muscle & Nerve.*, 15: 404-409, 1992.
- 24) Narici, M. V., G. S. Roi and L. Landoni, "Force of knee extensor and flexor muscles and cross-sectional area determined by nuc-

- lear magnetic resonance imaging. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57: 39-44, 1988.
- 25) Oertel, G., "Morphometric analysis of normal skeletal muscles infancy, childhood and adolescence." *J. Neurol. Sci.*, 88: 303-313, 1988.
- 26) Rich, G. Q., "Muscular fatigue curves of boys and girls." *Res. Quart.*, 31: 485-498, 1960.
- 27) 琉子友男・福永哲夫・近藤正勝・塩野潔・森本哲朗「Isokinetic 作業時の peak torque に及ぼす筋線維比率および筋断面積の影響」*体育学研究*, 27: 135-142, 1982.
- 28) 寺田光世・川村隆史・松岡泰史・多田毅・山岡誠一「長距離ランナーの等速性筋出力特性について」*京都教育大学紀要, Ser. B*, No. 63, 1983.
- 29) 寺田光世・蜂須賀弘久・原田明正・小野伸一郎・伏木久登「児童における下肢筋の伸展力および筋持久力とそれらの5分走に与える影響について」*体育科学*, 19: 30-35, 1991.
- 30) Tesch, P., B. Sjodin, A. Thorstensson and J. Karlsson, "Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man." *Acta Physiol. Scand.*,
- 31) Thorstensson, A. and J. Karlsson, "Fatiguability and fiber composition of human skeletal muscle." *Acta Physiol. Scand.*, 98: 318-322, 1976. 103: 413-420, 1978.
- 32) 八木規夫・小林寛道「幼児の等速性筋力の特徴と運動能力について」*東京大学教養学部体育学紀要*, 24: 73-86, 1990.
- 33) 八木規夫・並木洋子・小林寛道「幼児の動的脚筋力と疾走能力」*三重大学教育学部研究紀要 (自然科学)*, 42: 105-118, 1991.