



幼児の跳躍動作における「巧みさ」の獲得過程 に関する三年間の縦断的研究（第2報） —二次元映像解析より求めた下肢関節の屈伸の順次性—

山田 洋（東海大学体育学部）

加藤達郎（東海大学体育学部） 西ヶ谷達則（秦野市スポーツ振興財団）

植村隆志（東海大学総合経営学部） 知念嘉史（東海大学体育学部）

山下泰裕（東海大学体育学部） 長堂益丈（株式会社クリアサイト）

Longitudinal Study for 3 Years about an Acquisition Process of “Skill” in Jump Movement of Infant

—The Order of Extension and Flexion Characteristics of a Lower Leg Joint Calculated Using
by Two-Dimensional Picture Analysis—

Hiroshi YAMADA, Tatsuro KATO, Tatsunori NISHIGAYA, Takashi UEMURA, Yoshifumi CHINEN,
Yasuhiro YAMASHITA and Masutomo NAGADOU



Abstract

The purpose of this study was to evaluate an acquisition process of vertical jump movement of infant. Using two-dimensional picture analysis, the order of flexion / extensions of a lower leg joint was examined. 11 kindergarteners in Yokohama-shi, Kanagawa participated in this study. The measurement was carried out for the same subject in March, 2007 in February, 2006 in February, 2005. Similar measurement was performed for ten healthy university students as a control group. Phases of “squatted down” and “stand up” were analyzed in jump movement. For a hip joint / a knee / an ankle, a timing of flexure was compared with an extension between 4 years old, 5 years old, 6 years old. As a result, we began to “squat down” with a growth development, and the difference was not seen in a timing of flexion. A timing of an extension in a knee and an ankle became late in the phases of “stand up”, indicating that a change in acquisition of movement will occur. These results suggested that “skill” of jump movement acquired with a growth development of infant was able to be evaluated using two-dimensional picture analysis.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 21, 51-58, 2009)

I. はじめに

スキヤモンの発育発達曲線にみられるように、幼児期には神経系の発達が著しく¹⁾、動作の「巧みさ」が獲得される時期であると考えられる。しかしながら、これまで幼児期における動作の「巧みさ」を評価する研究はほとんど行われていない。この「巧みさ」の評価に関して、マイネル²⁾は「巧みな運動では、それぞれの四肢や関節に明らかな順次性が認められる」と述べ、これを「運動伝導」と定義している。

我々はこの運動伝導の考えに基づいて、ヒトの基本的な動作のひとつである「跳躍」をとりあげ、幼児における動作の「巧みさ」の獲得過程を縦断的に評価することを試みた。すなわち、幼児に跳躍動作を行わせた際に矢状面からの二次元映像解析を行い、しゃがみ始めから踏み切りまでの下肢関節が動く順序（順次性）を、同一幼児における時間経過の中で比較した。ここでは、垂直跳び動作の中で、幼児が能動的に下肢関節の屈伸を行う「しゃがみ始め」と「伸び上がり」に着目し、その際に、成人における下肢関節が動く順次性を「巧みさ」の指標として変化の程度を判断した。その結果、1年間の時間経過に伴い、同一幼児において跳躍動作の変容が生じていることを既に報告している³⁾。今回はさらに、同一被験者を対象として3年間の動作の変容を横断的観点および縦断的観点から検討した。

II. 方 法

1. 被験者

被験者は幼稚園児11名（男児6名、女児5名）とした。1回目の測定は2005年1月に行い、年齢3歳10ヶ月～4歳8ヶ月であった（以下、4歳とする）。2回目の測定は2006年2月に行い、年齢4歳11ヶ月～5歳9ヶ月であった（以下、5歳とする）。3回目の測定は2007年2月に行い、年齢

は5歳11ヶ月～6歳9ヶ月であった（以下、6歳とする）。幼稚園及び保護者には、予め実験の趣旨を十分に説明し、文書にて同意を得た。

動作の発達の一般的な傾向を把握するために、成人の垂直跳び動作における下肢関節屈伸の順次性を知る必要があると考えた。そこで、成人においても同様の垂直跳び動作の測定を行った。成人被験者は男性10名（23±1.2歳）であった。なお、被験者には、予め実験の趣旨を十分に説明して同意を得た。

2. 形態および跳躍高の測定

幼児の形態の経年変化を検討するために、生年月日、身長、および体重を聴取した。また、運動能力の発達の指標として跳躍高を算出した。跳躍高は、跳躍時の耳珠点の最高値と立位時の値との差で求めた。

3. 跳躍動作の測定および分析方法

測定に先立ち、被験児に対して幼稚園教諭から測定についての説明がなされた。その後、各被験児にデジタイズ用の標点を貼付した。標点に用いるマーカーは発泡スチロールの半円で、直径は3 cmと1.5 cmであった。マーカーの色は黒および黄色とし、それぞれの被験者の各部位の背景の色を考慮し、最も目立つ色を選択した。これらのマーカーは、被験者の頭頂と胸骨上縁、左右の耳珠点、肩、肋骨下端、肘、大転子、手首、手先、膝、外果、母指球、踵、爪先に貼付した。測定時には、被験児に対しできるだけ高くジャンプするように丁寧に説明をして、練習を数回行わせた。跳躍の際、被験者には上肢の動作を制限せず、最大跳躍高に達するように指示した。本番の試技は3回行わせた。同様に、成人被験者にも跳躍動作の測定を行った。

1台のカラービデオカメラ（SSC-DC690、SONY）を用いて、垂直跳び動作を側方から每秒30コマで撮影し、ビデオデッキ（SR-DVM70、Victor）に収録した（図1）。得られた映像データをオフラインで処理・解析した。每秒30コマで

画像取り込みシステム（Ultra EDIT、Canopus）を用いてコンピュータ（Dimension 3000、Dell）に取り込んだ。3回の跳躍で一番高かった記録を検討資料とし、しゃがみ込み開始から離地までの時期を分析対象とした。二次元映像解析システム（Frame DIAS II、DKH社）を用いて解析を行い、股関節・膝関節・足関節の角速度を算出した。なお、Filterは残差解析により、Bryant: 6Hzとした。

「しゃがみ始め」局面は、股関節・膝関節・足関節のいずれかが屈曲を始める瞬間から、3つの関節すべてが屈曲を始めるまでとした。「伸び上がり」局面は、それら3つの関節のうちのいずれかが伸展を始める瞬間から、3つの関節すべてが伸展を始めるまでとした。

下肢関節屈伸の順次性については、「しゃがみ始め」局面において、3つの関節のうち最初に屈曲を始めた瞬間を基準に時機の相違を検討した。

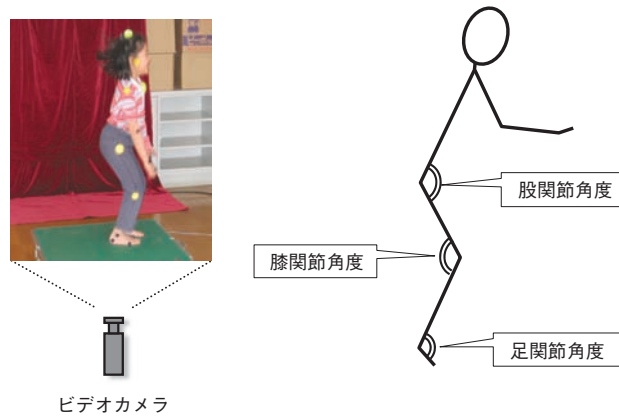


図1 測定概略図および関節角度定義

Fig. 1 Measurement schematic representation and a definition of joint angle

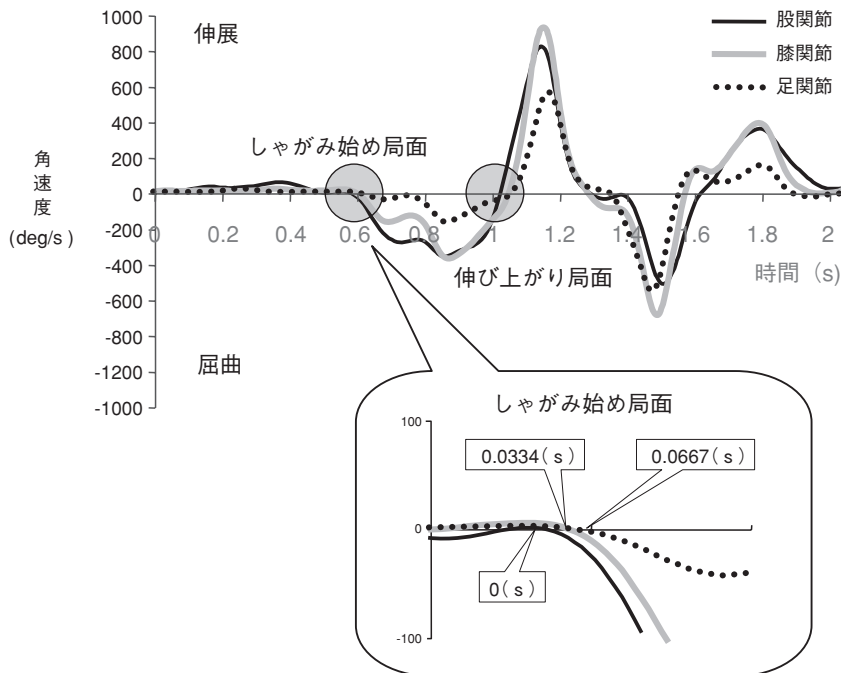


図2 動作局面の区分と下肢関節が動く順序の定義

Fig. 2 A definition of the order that a lower leg joint moves

「伸び上がり」局面においても同様の方法で伸展を始める時機の相違を検討した。なお、屈伸を始める時機及び相違については、関節角速度から算出した。その際、角速度の正值を伸展、負値を屈曲とした（図2）。

順次性の検討については、これまで宮丸⁴⁾が幼児期では動作様式の発達に性差がないと報告していることから、幼児11名の平均値を代表値とした。成人については10名の平均値を代表値とした。

4. 統計処理

身長・体重及び跳躍高の全国平均値との比較では、母平均と標本の平均との差に対するt検定を用いた。各関節の屈伸順次性の検討は、統計処理ソフト（SPSS 11.5、エス・ピー・エス・エス社）を用いて、有意水準は5%未満で検討した。

Ⅲ. 結果および考察

1. 形態および跳躍高

表1上段に男児の形態（身長・体重）および跳躍高を、下段に女児の値を示す。身長・体重は男女ともに全国平均値⁵⁾との間に有意な差は見ら

れなかった。したがって本研究の被験児は、年齢相応の発育をしていたといえる。

一方、跳躍高は、男児の4歳児において全国平均値より有意に小さかったが、5歳・6歳では全国平均値との間に有意差は認められなかった（ $p < .05$ ）。よって、男児は4歳では年齢相応の運動能力より劣っていたが、5歳・6歳で年齢相応の運動能力を獲得していた。また、女児における跳躍高は、4歳・5歳で全国平均値との間に有意な差が認められなかったが、6歳では全国平均値より有意に大きい値であった（ $p < .01$ ）。よって、女児は4歳・5歳では年齢相応の運動能力を獲得していたが、6歳では年齢の相応より運動能力が優れていたと言える。

これらの結果から、本研究に参加した幼児は全国的にみてもほぼ平均的な形態を持ち、順調な発育発達をしているといえる。宮丸⁶⁾は、幼児の運動能力の評価に関して「成人と異なり、いかに上手に、安定した状態で安全に成就できるかであり、力強さや素早さではない」と述べている。これらの考えをふまえ、本研究では跳躍高（パフォーマンス）を全国平均値と比較することによって本被験児の発育発達の程度を確認した上で、「力強さ」や「素早さ」という観点ではなく、「巧みさ」に焦点をあてて詳細に跳躍動作の検討を行った。

表1 幼児の形態および運動能力の経年変化
Table 1 Height, weight and exercise capacity in infant

男児	身長(cm)	身長の 全国平均値	体重(kg)	体重の 全国平均値	跳躍高(cm)	跳躍高の 全国平均値
4歳	104.6 ± 1.31	104.6 ± 4.36	18.3 ± 1.60	16.7 ± 2.15	10.5 ± 4.37*	16.2 ± 4.8
5歳	112.0 ± 2.79	111.0 ± 4.61	19.4 ± 1.51	18.8 ± 2.50	16.7 ± 5.08	18.7 ± 4.3
6歳	117.5 ± 2.88	116.4 ± 4.96	21.8 ± 2.05	21.2 ± 2.94	20.3 ± 4.71	21.6 ± 4.3

* $p < .05$, vs 跳躍高の全国平均値

女児	身長(cm)	身長の 全国平均値	体重(kg)	体重の 全国平均値	跳躍高(cm)	跳躍高の 全国平均値
4歳	101.8 ± 5.15	103.1 ± 4.75	17.0 ± 1.87	16.3 ± 1.87	14.4 ± 3.78	15.0 ± 4.00
5歳	109.2 ± 5.93	109.6 ± 4.94	18.9 ± 2.45	18.4 ± 2.30	20.6 ± 3.20	17.9 ± 3.80
6歳	115.4 ± 5.52	115.6 ± 5.12	21.2 ± 3.35	20.4 ± 2.90	26.0 ± 2.55**	19.6 ± 3.70

** $p < .01$, vs 跳躍高の全国平均値

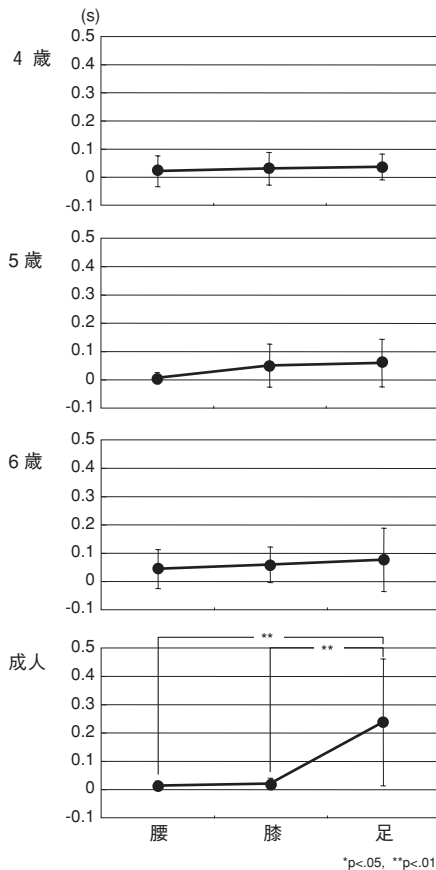


図3 「しゃがみ始め」における下肢関節が動く順次性
(幼児 n=11, 成人 n=10)
Fig. 3 The order that a lower leg joint in "squat down" moves

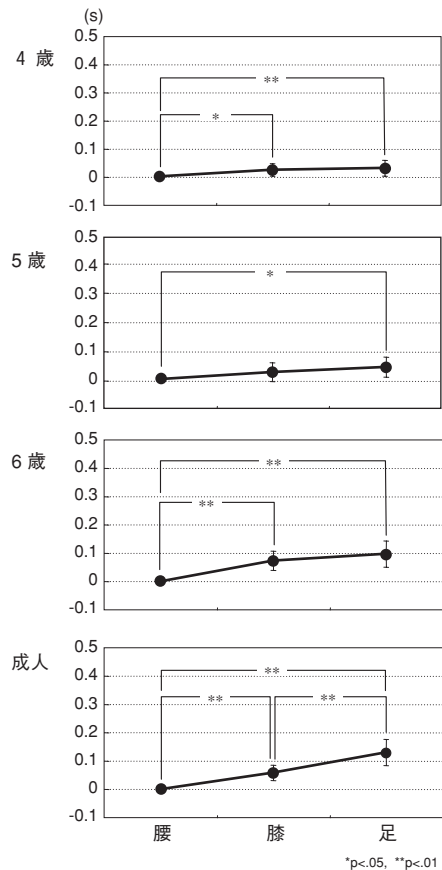


図4 「伸び上がり」における下肢関節が動く順次性
(幼児 n=11, 成人 n=10)
Fig. 4 The order that a lower leg joint in "growth rise" moves

2. 年齢毎の順次性の検討

横断的な観点から4歳から6歳の幼児を年齢毎の群として捉え、順次性を検討した。その際、3つの関節の屈伸時機を要因とした対応のない一要因の分散分析を行った。統計学的に有意差がない場合は順次性がないと判断し、有意差が生じた場合には、順次性があると判断した。

1) 「しゃがみ始め」局面について

図3は、「しゃがみ始め」局面における下肢関節が動く順次性を示している。4歳の幼児における下肢関節屈曲の順次性は、股関節が0.021秒に屈曲し、膝関節が0.030秒に屈曲し、足関節が0.036秒後に屈曲していた。しかし、屈曲時機に有意な差が認められなかった(図3)。よって、4歳の幼児には順次性が見られなかった。5歳・

6歳においても同様に有意な差が認められず、順次性は見られなかった。

一方、成人について同様の方法を用いて検討したところ、下肢関節屈曲の順次性は「股・膝→足」であった($p < .01$)。これらの結果から、4歳から6歳の幼児において「しゃがみ始め」局面に順次性は見られなかった。しかし、成人には「股・膝→足」という順次性が見られたことから、「しゃがみ始め」局面の順次性は、6歳以降に獲得されると示唆される。

2) 「伸び上がり」局面について

図4は、「伸び上がり」局面における下肢関節が動く順次性を示している。4歳の幼児における下肢関節伸展の順次性は、股関節が0.002秒に伸展し、膝関節が0.026秒に伸展し、足関節が0.032

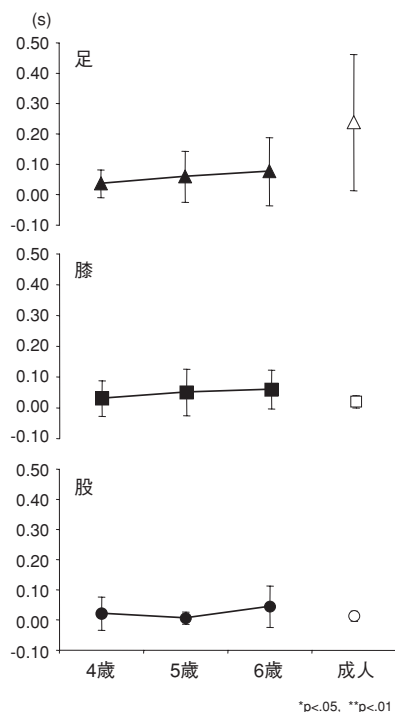


図5 「しゃがみ始め」における屈曲時機の経年変化
(幼児 n=11, 成人 n=10)

Fig. 5 Changes of a timing of a flexion in "squat down" with a development

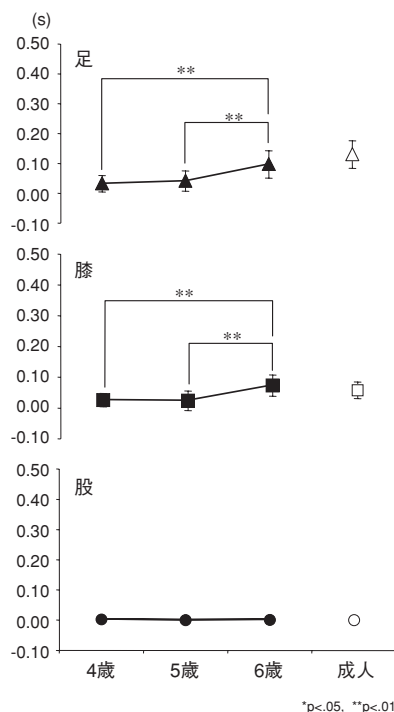


図6 「伸び上がり」における伸展時機の経年変化
(幼児 n=11, 成人 n=10)

Fig. 6 Changes of a timing of an extension in "growth rise" with a development

秒に伸展していた ($p < .05$)。6歳も同様に伸展していた ($p < .01$)。5歳では、股関節が伸展した後足関節が伸展していた ($p < .05$)。よって、4歳と6歳の幼児の「伸び上がり」局面の順次性は「股→膝・足」であったが、5歳においては、「股→足」であった。

一方、成人について同様の方法を用いて検討したところ、順次性は「股→膝→足」であった ($p < .01$, 図10)。これらの結果から、4歳から6歳の幼児における「伸び上がり」局面の順次性は、股関節が始めに伸展するという点で成人の順次性と共通していた。また、膝関節と足関節の順次性は6歳以降に獲得されると示唆される。なお、年齢毎の群において下肢関節の伸展時機に有意な相違が認められた(4歳:主効果、 $F(2, 30) = 6.558$, $p < .01$, 5歳: $F(2, 30) = 6.491$, $p < .01$, 6歳: $F(2, 30) = 25.170$, $p < .01$)。

3. 関節毎の屈伸時機の経年変化

縦断的な観点から同一幼児が年齢を重ねるにしたがって、関節毎の屈伸時機に変化がみられるか否かを検討した。その際、年齢と3つの関節の屈伸時機を要因とした二要因の分散分析を反復測定で行った。その後の検定として、年齢を要因とした対応のある一要因の分散分析を行った。

図5に「しゃがみ始め」局面における関節毎の屈曲時機の経年変化を示す。股関節の屈曲時機は、4歳では0.021秒、5歳では0.006秒、6歳では0.044秒に屈曲を始めていた。しかし、年齢を重ねても屈曲時機に有意な相違はみられず、成人との間にも差はみられなかった。膝関節・足関節においても同様に有意な屈曲時機の相違はみられなかった。これらの結果から、「しゃがみ始め」局面において、年齢を重ねることによる関節毎の動作の変容はみられないと思われる。

図6に「伸び上がり」局面における関節毎の伸展時機の経年変化を示す。股関節の伸展時機は、

4歳では0.002秒、5歳では0秒、6歳では0秒であった。したがって、年齢を重ねても伸展時機に有意な差はみられず、年齢に関係なく必ず股関節が一番始めに伸展することを示していた。膝関節の伸展時機は、4歳では0.026秒、6歳では0.073秒であり、両者に有意な差がみられた ($p < .01$)。また、5歳と6歳の間にも有意な差がみられ ($p < .01$)、4歳、5歳と比較して6歳における伸展時機が有意に遅いことを意味していた。足関節も同様に、4歳と6歳の間、5歳と6歳の間に有意差がみられ ($p < .01$)、いずれも6歳において伸展時機が遅くなったことを意味していた。このように、年齢を重ねることにより、膝関節、足関節の伸展時機が遅くなり、成人の値に近づいた。なお、各関節の伸展時機に有意な相違が認められた（交互作用、 $F(1, 30) = 13.386$, $p < .01$)。伸展時機の相違については、膝関節及び足関節において有意な相違が見られた（主効果、膝関節： $F(2, 20) = 9.428$, $p < .01$ 、足関節： $F(2, 20) = 10.946$, $p < .01$)。

これらの結果から、5歳から6歳になる過程で、膝関節と足関節において、成人の動作様式により近づいたであろうことが推察される。辻野ら⁶⁾は、垂直跳びの動作パターンは、4歳から8歳が成人動作様式への移行期であると述べている。本研究は、幼児の4歳から6歳までを縦断的に観察したものである。そのため、辻野らが述べる成人動作様式への移行期間だったと言える。その成人動作様式への変容が、「伸び上がり」局面における下肢関節伸展の順次性の観点から伸展時機が遅くなるという点で明らかになった。

4歳から6歳の幼児を年齢毎の群として捉え、同一幼児の経年変化を縦断的な観点から検討した結果、5歳から6歳の間で「伸び上がり」局面において膝関節と足関節の伸展時機の遅れが大きくなり、成人と同様の順次性になることが明らかになった。これらの順次性は、マイネル²⁾の唱えた「運動伝導」の考え方に合致しており、「巧みさ」のひとつの指標に成り得るのではないかと考えられる。さらに、本研究の結果は、二次元映像

解析を用いて、幼児の発育発達にともなって獲得される跳躍動作の「巧みさ」を定量化できたことを示唆していた。

4. 結 論

4歳から6歳の幼児を年齢毎の群として捉え、横断的な観点から検討した結果、成人との相違がみられた。また、同一幼児の経年変化を縦断的な観点から検討した結果、5歳から6歳の間で「伸び上がり」局面において膝関節と足関節の伸展時機の遅れが大きくなった。これらのことから、幼児の動作の発達過程を検討するにあたり、群間での比較ではなく、個体内の変容を検討する必要性が示唆された。

IV. まとめ

本研究は、幼児が垂直跳びをする際の下肢関節屈伸の順次性について、3年間の始め・中・終わりにおける経年変化を同一幼児について追跡して観察した。その際、垂直跳び動作の「しゃがみ始め」局面と「伸び上がり」局面に着目し、変化の度合いを成人のそれと比較した。下肢関節屈伸の順次性については、「しゃがみ始め」局面において、3つの関節のうち最初に屈曲を始めた瞬間を基準に時機の相違を検討した。「伸び上がり」局面においても同様の方法で伸展を始める時機の相違を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 4歳から6歳の幼児において「しゃがみ始め」局面の順次性を年齢毎に検討した結果、順次性は見られなかった。しかし、成人には「股・膝→足」という順次性が見られたことから、「しゃがみ始め」局面の順次性は、6歳以降に獲得されると考えられる。
- 2) 4歳から6歳の幼児において「伸び上がり」局面の順次性を年齢毎に検討した結果、股関節が始めに伸展するという点で成人の順次性と共通していた。

3) 「しゃがみ始め」局面の関節毎の経年変化を検討した結果、年齢を重ねることによる関節の屈曲時機の変化はみられなかった。

4) 「伸び上がり」局面の関節毎の経年変化を検討した結果、5歳から6歳になる過程で、膝関節と足関節の伸展時機が遅くなることで動作の変容が起きているであろうことが示唆された。

これらの結果から、幼児の動作の発達過程を検討するにあたり、横断的な群間での比較ではなく、縦断的な個体内の変容を検討する必要性が示唆された。

引用・参考文献

- 1) 高石昌弘：発育発達と子どものからだ，子どもと発育発達，1，9-12，2003.
- 2) クルト・マイネル：スポーツ運動学，第13版，190-212，大修館，2002.
- 3) 山田 洋，加藤達郎，知念嘉史，相澤慎太，三上恭史，植村隆志，塩崎知美，長堂益丈：幼児の跳躍動作における「巧みさ」の獲得過程に関する縦断的研究—二次元映像解析より求めた下肢関節の屈伸の順序性—，東海大学スポーツ医科学雑誌，20，55-62，2008.
- 4) 宮丸凱史：幼児の跳動作の発達と評価に関する研究，体育科学，17，66-76，1989.
- 5) 東京都立大学 体育研究室編：日本人の体力標準値 第四版，21-23，55-57，160-163，不昧堂，1989.
- 6) 宮丸凱史：幼児の垂直跳動作の発達に関する運動形態学的考察，体育科学，25，89-96，1997.
- 7) 辻野 昭ら：発育にともなう動作とパワーの変遷について —跳躍動作（垂直跳，立幅跳）—，身体運動の科学Ⅱ，203-243，杏林書院，1974.