優れた投能力をもつ小学生の投動作の特徴とその標準動作

小林 育斗¹⁾ 阿江 通良²⁾ 宮崎 明世²⁾ 藤井 範久²⁾

Yasuto Kobayashi¹, Michiyoshi Ae², Akiyo Miyazaki² and Norihisa Fujii²: Biomechanical characteristics of the overarm throwing motion of skilled elementary school children in comparison with standard motion models. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 57: 613-629, December, 2012

Abstract : This study compared the overarm throwing motion of skilled elementary school children with standard motion models in order to obtain suggestions for teaching overarm throwing. The subjects were 93 children from the second, fourth, and sixth grades of elementary school who were asked to throw a softball with maximal effort. Their throwing motions were videotaped with three high-speed cameras for 3-D motion analysis. Seven boys and seven girls were selected from each grade as good throwers based on their throwing distance. The standard motion model proposed by Ae et al. (2007) was established from the coordinate data for the good throwers of each grade. The primary variables computed were the release height, velocity, and angle of the ball, the joint angles of the upper and lower limb joints, and the segment angles of the trunk.

The findings obtained were as follows.

1) For skilled boys, the throwing distance and ball velocity increased significantly with increasing school grade, and the throwing distance and ball velocity were significantly related in all grades.

2) Skilled fourth and sixth grade boys greatly extended the flexed right knee joint in the striding phase and the right hip joint in the throwing phase. The range of motion of the rotation, forward-backward leaning of the trunk, and extension angle of the right elbow joint at ball release for sixth graders exceeded those of participants of other grades.

3) For skilled girls, the throwing distance and ball velocity increased significantly with increasing school grade, and there were significant relationships between the throwing distance and the ball velocity in fourth and sixth graders, and between the throwing distance and the release angle in fourth graders.

4) Skilled fourth and sixth grade girls significantly abducted the right hip joint and leaned the trunk rightward. The horizontal abduction angle and external-internal rotation angle of the right shoulder of sixth graders in the throwing phase exceeded those of the students in other grades.

These results indicate that the range of motion of the legs and trunk increased with increasing school grade and was a dominant factor in skilled boys, and that fast external-internal rotation of the shoulder and large right hip abduction were characteristic of skilled girls.

Key words : physical education class, children, motion model, fundamental movements, long throw

キーワード : 体育授業, 子ども, 動作モデル, 基礎的動き, 遠投

I 緒 言

ヒトの神経系は児童期が終わるまでに成人の約

90%まで発達するとされており、特に児童期後半は子どもの発達のなかで運動の学習に最適な時期であり、多様な運動遊びやスポーツと出会うことで基礎的な運動を幅広く習得することができる

- 1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 2) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 連絡先 小林育斗

1. Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. Faculty of Health and Sport Sciences, University of
Tsukuba
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
- Corresponding author kobayashi@lasbim.taiiku.tsukuba.ac.jp

とされている（マイネル，1981）．しかし，近年，子どもの体力水準の低下傾向が続く，積極的に運動する子どもとそうでない子どもとの二極化が問題の一つとなっている（中央教育審議会答申，2008）．このような現状を反映して，「健やかな体の育成」をねらいの1つとして平成20年3月に小学校学習指導要領が改訂され，各学年の目標には「基礎的・基本的な動きや技能」を身につけることが加わり，学校教育法施行規則の一部改正によって体育科の総時数は主要教科以外で唯一増加した．これらのことは，子どもの健康や体力の増進へ向けた体育授業に対する期待を示すものと捉えられるが，そのためには学習目標の基礎となる身に付けるべき動きのパターンや習熟度を発達段階に応じて示す必要がある．

基礎的動きの1つである投動作は，走動作や跳動作に比べて技術構造が複雑であるため，適切な時期にある程度の経験や練習を積まないと上達がみられないとされる（桜井ほか，1997）．我が国では，投動作を習得したり，利用したりする機会ともなっている野球あるいはソフトボールが長く子どもに親しまれてきた．しかし，先述した子どもの運動参加頻度の二極化などがみられ，体力・運動能力の調査項目の一つであるソフトボール投げの記録は低下あるいは停滞している（中央教育審議会答申，2002）．尾縣ほか（2001）は子どもの体力・運動能力低下の著しい10年間（昭和62年から平成9年）における投能力の低下は顕著であり，バランスの取れた運動能力の発達という観点から投能力を高めることが必要であるとし，桜井（2003）は人間のみに与えられた投能力は危機的な状況にあるとしている．さらに，家庭よりも学校などの公共の場における身体運動が投動作の発達とより強く結びついているという指摘もある（海老原ほか，1989）．これらのことを考えると，小学校の体育授業において投動作を適切に指導することは，投能力の発達に大きな影響をおよぼすと考えられる．

授業では教師が子どもの動きを質的に観察し評価することが多いが，その場合には教師はどのような動作パターンが望ましいのか，どのような観

点から評価すればよいのかなどを熟知していなければならない．しかし，小学校は教科担任制ではないため，必ずしも教師に十分な運動の評価能力があるとは限らず，教師が指導すべき動作の明確なイメージをもっていない場合には，子どもの動作を適切に評価し，指導することは難しいと考えられる．特に投動作は，動作自由度の大きな上肢を素早く動かす3次元動作であるため，その評価は容易ではなく，小学校の体育科の指導書ではよい投動作のパターンや評価観点を具体的，かつ明確に記述したものは少ないようである．

子どもの投動作を評価する際に役立つ基礎的資料としては，運動発達の様相を動作様式の質的な変化の過程としてとらえる Developmental Kinesiology 的研究（Wild，1938；Wickstrom，1975；Robertson，1977；宮丸・平木場，1982）がある．これらは，主に身体部分の動作に着目して分類した動作パターンを基準に子どもの動作の発達や達成度を評価しようとするものである．宮丸・平木場（1982）は，幼児の投動作の発達をこの手法により調べ，成人に近い動作パターンを示すものが6歳の男子で多くみられたとしている．しかし，これらは主に目視による観察に基づいており，幼児よりも動作が速く，複雑になる小学生の投動作をこの方法のみで評価することは難しくなると考えられる．さらに，この方法による評価は教師や指導者の運動経験や主観に大きく影響をうけ，基準として提示されている動作パターンは典型的な子どものものであることが多く，明確な評価基準が示しにくいなどの問題があると考えられる．また，競技スポーツにおける技術の指導では，一流選手の動きをモデルとする評価法が用いられているが，同様に，モデル選手の特性に大きく影響をうけるという問題がある（Ae et al.，2007；Hay，1993）．

このような質的分析のほか，子どもの投動作に関して画像解析による詳細な量的分析を行った研究（深代，1982；桜井・宮下，1982；関根ほか，1999）がある．これらは発達による関節角度の変化などを詳細に記述し，身体各部ごとにみた投動作の変化を明らかにするには適している．

しかし、賀川（2006）が指摘するように、体育教師は運動のイメージや技術的ポイントを学習者にどの様にして把握させるかに最も関心が高いことを考えると、このような量的分析法は教師へ指導のモデルとなる具体的な動作パターンを示すには適していないといえるであろう。

Ae et al. (2007), Murata et al. (2008) は熟練者の平均動作を標準動作モデルとして用い、これに動作のばらつき（動作変動度）や標準動作からの逸脱度を考慮して、動作やスポーツ技術をバイオメカニクスの的に評価する方法を提案している。この手法は、熟練者や上手な子どもの平均動作を具体的な動作パターンとして示すことができ、さらに角度などを定量的に詳しく示すことも可能であるので、質的にも量的にも動作を評価できるものである。そして、この手法により小学校の異なる学年あるいは異なる能力水準ごとに子どもの標準的な動作パターンなどを教師に提示することによって、子どもの動作の評価を適切に行え、動作の改善法を工夫する手がかりも提供できると考えられるので、発育発達や技能水準を考慮した指導も可能になるであろう。

標準動作モデルの作成では、幅広い能力あるいは技能水準の被験者からデータを収集する場合と熟練者あるいは能力水準の高い被験者を対象とする場合が考えられる。本研究では、投動作を効果的に指導するのに役立つ知見を得ることをねらいの一つとしているので、優れた投能力をもつ子どもの動作を基準とすることが適切と考えられる。そこで、本研究では、優れた投能力をもつ小学校2, 4, 6年生男女の投動作の標準動作モデルを作成するとともに、その投動作の特徴を明らかにし、小学校における投動作の指導のための基礎的資料を得ることを目的とした。

Ⅱ 方 法

1. データ収集

被験者は小学校の2年生男子13人（身長： 1.23 ± 0.04 m, 体重： 24.4 ± 3.6 kg, 以下同様）、2年生女子15人（ 1.21 ± 0.04 m, 23.5 ± 3.1 kg）、

4年生男子13人（ 1.34 ± 0.05 m, 30.0 ± 6.1 kg）、4年生女子20人（ 1.31 ± 0.07 m, 27.6 ± 4.7 kg）、6年生男子16人（ 1.45 ± 0.07 m, 37.9 ± 6.9 kg）、6年生女子16人（ 1.46 ± 0.07 m, 35.9 ± 6.9 kg）の計93人（男子42人、女子51人）であった。本研究は、筑波大学人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施され、事前に研究の目的、実験方法、データ処理などの概要を示した文書を学校長に提出し許可を得た。そして、担任教諭から児童へ説明し、実験直前にも児童へ試技などについて説明した。

試技はソフトボール遠投であり、新体力テスト実施要綱に従ってソフトボール1号球（直径8.5 cm, 周囲26.7 cm, 質量141 g）を半径1 mのサークル内から投球するものとした。児童に「できるだけ遠くにボールを投げる」よう指示し、一人あたり2回の試技を行わせ、投距離の大きかった試技を採用した。有効角度 30° から外れた場合には、有効試技が2回になるまで試技を繰り返した。

撮影には3台の高速度デジタルカメラ(CASIO社製, EXILIM EX-F1)を用い、撮影スピード毎秒300コマ、シャッタースピード $1/1000$ 秒で撮影した。3台のカメラの同期は、各カメラの画面内に同期装置の発光ダイオードのパルス光を写し込むことによって行った。投球方向をY軸、鉛直方向をZ軸、投球方向に直交する水平軸をX軸とする静止座標系を定義し、撮影範囲はX軸方向2 m, Y軸方向3 m, Z軸方向2 mとした。撮影した画像からDLT法により3次元座標値を得るため、撮影範囲内の12箇所にキャリブレーションポールを順に立てて、実験に先立って撮影した。

2. データ処理

本研究では優れた投動作の標準動作モデルを作成するために、各学年の投距離の上位者男女各7名を動作分析の対象者（以下、上位者）とした（身長、体重：2年生男子、 1.23 ± 0.04 m, 24.1 ± 3.1 kg；2年生女子、 1.21 ± 0.04 m, 23.7 ± 3.1 kg；4年生男子、 1.36 ± 0.05 m, 33.4 ± 7.3 kg；

4年生女子, 1.35 ± 0.05 m, 29.0 ± 3.8 kg ; 6年生男子, 1.47 ± 0.05 m, 40.4 ± 6.7 kg ; 6年生女子, 1.45 ± 0.05 m, 35.9 ± 5.9 kg).

撮影した画像から, 身体各部位23点およびボール中心の計24点を1コマおき(毎秒150コマ相当)にFrame-DIAS II (DKH社製)を用いてデジタイズして2次元座標値を得て, DLT法により各点の3次元座標値を算出した. 得られた3次元座標値は, 分析点ごとにWinter (2009)の方法により決定した最適遮断周波数(7.5—12.5 Hz)でButterworth digital filterにより平滑化した. なお, コントロールポイント位置の実測値と計算値との平均誤差は, X軸方向が0.5 cm, Y軸方向が0.4 cm, Z軸方向が0.5 cmであった.

分析区間はバックスイング時にボールが最も下がった時点(LB)からボールリリース時(REL)までとし, LBから踏み出し脚の接地時(LF-ON)までを踏み出し局面(Striding phase), LF-ONからRELまでを投げ出し局面(Throwing phase)とし, 各動作局面の時間を100%としてデータを規格化した. なお, 左投げの被験者については, 座標を反転して右投げとして扱った.

3. 標準動作モデルの作成

標準動作モデルはAe et al. (2007)の方法を用いて各学年の男女について投距離上位者7名のデータから作成した. 以下の式に示したように, 各動作局面の時間で規格化した身体各部分の3次元座標値から, Yokoi et al. (1986)の身体部分慣性係数を用いて算出した身体重心に対する身体各部位の相対座標を求め, それを被験者の身長で除したものを平均した.

$$\begin{aligned} r_{ij} &= R_{ij} - R'_i \\ \bar{r}_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{r_{ij}}{H_i} \quad (n=7) \\ \bar{R}' &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R'_i}{H_i} \\ \bar{R}_j &= \bar{r}_j + \bar{R}' \end{aligned}$$

ここで*i*は被験者, R_{ij} は動作局面の時間で規格化された身体各部位*j*の座標, R'_i は時間で規格

化された基準点(身体重心)の座標, r_{ij} は身体重心に対する身体各部位*j*の相対座標, H_i は被験者*i*の身長, n は被験者数, $\bar{r}_j$ は規格化された身体各部位*j*の平均相対座標, $\bar{R}'$ は規格化された身体重心の平均座標, $\bar{R}_j$ は規格化された身体各部位*j*の平均座標である.

4. 測定項目と算出法

1) リリースパラメータ

ボール中心の変位を数値微分して算出した合成速度のうち, リリース直後のものをボール初速度とし, ボール初速度のベクトルが水平面となす角度を投射角度とした. リリース直後のボール中心の高さを投射高とし, 被験者の身長で投射高を除すことによって身長比投射高を求めた. また, 踏み出し脚接地時における右足のつま先から左足のつま先へのY軸方向の距離をストライドとし, これを身長で除して身長比ストライドを算出した.

2) 身体部分角度と関節角度

Fig. 1は本研究で測定した関節角度の定義を示したものである.

体幹の前後傾角度, 側屈角度および回転角度を算出するために, 静止座標系Z軸と左股関節から右股関節へ向かう腰ベクトル S_{hip} との外積により y_{tr} 軸を求め, y_{tr} 軸とZ軸との外積により x_{tr} 軸を決定した. そして, 体幹の前後傾角度(Fig. 1a)は, 両股関節の中心から両肩関節の中心に向かう体幹ベクトル S_{tr} を y_{tr} Z平面に投影したベクトルがZ軸となす角度とし, 直立姿勢から前傾を正, 後傾を負とした. 体幹の側屈角度(Fig. 1b)は, 体幹ベクトル S_{tr} を x_{tr} Z平面に投影したベクトルがZ軸となす角度とし, 直立姿勢から左側屈を正, 右側屈を負とした. 体幹の回転角度については, 左肩関節から右肩関節へ向かう肩ベクトル S_{sh} を水平面に投影したベクトルが静止座標系-Y軸となす角度とし, 前方回転を正, 後方回転を負とした.

下肢の角度として, 右膝関節の屈曲伸展角度, 右股関節の内外転角度および屈曲伸展角度を算出した. 右膝関節の屈曲伸展角度は右大腿と右下腿とのなす角とした. 体幹ベクトル S_{tr} と腰ベクトル

Fig. 1 Definition of joint angles and segment angles.

ル S_{hip} との外積により y_{hip} 軸を求め、 S_{hip} と y_{hip} 軸の外積により z_{hip} 軸を決定した。右股関節の内転角度 (Fig. 1c) は、右股関節から右膝関節に向かう右大腿ベクトル S_{th} を S_{hip} z_{hip} 平面に投影したベクトルと $-z_{hip}$ 軸とのなす角度とし、直立姿勢から外転を正、内転を負とした。右股関節の屈曲伸展角度 (Fig. 1d) は、右大腿ベクトル S_{th} を y_{hip} z_{hip} 平面に投影したベクトルと y_{hip} 軸とのなす角度とし、 90° より大きい場合を伸展、小さい場合を屈曲とした。

上肢の角度として、右肘関節の屈曲伸展角度、右肩関節の内外転角度、水平内外転角度および内外旋角度を算出した。右肘関節の屈曲伸展角度は、右上腕と右前腕とのなす角とした。体幹ベクトル S_{tr} と肩ベクトル S_{sh} との外積により y_{sh} 軸を求め、 S_{sh} と y_{sh} の外積により z_{sh} 軸を決定した。右肩関節の内外転角度 (Fig. 1e) は、右肩関節から右肘関節へ向かう右上腕ベクトル S_{ua} を S_{sh} z_{sh} 平面に投影したベクトルと $-z_{sh}$ 軸とのなす角度とし、上腕を体側に下垂した姿勢から外転を正、内転を負とした。右肩関節の水平内外転角度 (Fig. 1f) は、右上腕ベクトル S_{ua} を S_{sh} y_{sh} 平面に投影したベクトルと y_{sh} 軸とのなす角度とし、 90° より大きい場合を水平外転、小さい場合を水平内転とした。 z_{sh} 軸と上腕ベクトル S_{ua} の外積により y_{ua} 軸を求め、 S_{ua} と y_{ua} 軸の外積により z_{ua} 軸を決定した。右肩関節の内外旋角度

(Fig. 1g) は、右肘関節から右手関節に向かう右前腕ベクトル S_{fa} を y_{ua} z_{ua} 平面に投影したベクトルと y_{ua} 軸とのなす角度とし、肩 90° 外転位で手掌が下方を向いた姿勢から外旋を正、内旋を負とした。

3) 動作変動度

動作の共通性を示す指標として、以下の式 (阿江・小林, 2011) を用いて、それぞれの動作局面における動作変動度 (rmsCV) の平均値を算出した。

$$\overline{\text{rmsCV}}_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{SD_j}{\text{rms}_j} \times 100$$

$$k=1 \text{ (踏み出し局面)}, 2 \text{ (投げ出し局面)}$$

$$N=101, n=7$$

ここで、 j は各動作局面の規格化時間、 i は被験者、 SD_j は、

$$SD_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$$

で規格化時間 j における標準偏差、 $\bar{x}_j$ は規格化時間 j における被験者平均、 x_{ij} は規格化時間 j における被験者 i の関節角度である。そして rms_j は、

$$\text{rms}_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}^2}$$

で規格化時間 j における二乗平均平方根である。

5. 統計処理

規格化時間1%ごとに一元配置分散分析および Scheffé's post hoc test を用いて各測定項目の学年間の有意差を検定した。また、投距離に対するボール初速度と投射角度の相関係数を算出した。すべての検定において有意水準は5%未満とした。なお、投動作の性差の検討は本研究の目的ではないので、男女間の検定を行わなかった。

Ⅲ 結 果

1. 男子上位者

1.1 リリースパラメータ

男子上位者の投距離は、2年生が 16.30 ± 3.54 m, 4年生が 25.58 ± 4.50 m, 6年生が 35.34 ± 4.35 m であり、各学年間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。ボール初速度については、2年生が 14.05 ± 1.62 m/s, 4年生が 17.77 ± 1.92 m/s, 6年生が 21.76 ± 1.30 m/s であり、各学年間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。投射角度に有意差はみられなかった (2年生: $32.0 \pm 11.7^\circ$, 4年生: $30.5 \pm 6.9^\circ$, 6年生: $29.0 \pm 4.6^\circ$)。投射高は、2年生が 1.38 ± 0.05 m, 4年生が 1.52 ± 0.09 m, 6年生が 1.58 ± 0.12 m であり、2年生と6年生の間に有意差がみられたが ($p < 0.05$)、身長比投射高に有意差はみられなかった (2年生: 1.12 ± 0.07 , 4年生: 1.12 ± 0.04 , 6年生: 1.07 ± 0.06)。

全ての学年において投距離とボール初速度との間に有意な正の相関がみられた (2年生: $r = 0.79$, 4年生: $r = 0.97$, 6年生: $r = 0.86$, $p < 0.05$)。

身長比ストライドは、2年生が 0.50 ± 0.10 , 4年生が 0.63 ± 0.10 , 6年生が 0.67 ± 0.06 であり、2年生と6年生の間に有意差がみられた。

1.2 男子上位者の投動作の標準動作モデル

Fig. 2 は 2, 4, 6 年生の男子上位者の投動作の標準動作モデル (側方および後方) を示したものである。側方からみると、学年が進むと足の踏み出しが大きくなり、身体の前方への移動が大きくなっていることがわかる。また、2年生は投げ出し局面では体幹の後傾が小さいが、4, 6 年生では

体幹の後傾が大きくなっている。後方から見ると、学年とともに投げ出し局面において体幹の捻りが大きくなっていることがわかる。

上肢をみると、いずれの学年もリリース前に大きく右肩を外旋しており、学年が進むとともに肩の外転が 90° に近づく傾向がみられる。さらに、2年生はリリース時に右肘がより屈曲して体幹よりも前方に位置していたが、学年が進むと右肘がより伸展するようになっている。

動作変動度に学年間で顕著な相違がみられた角度は、投げ出し局面における右肩の内外転角度 (2年生: $18.7 \pm 6.8\%$, 4年生: $16.1 \pm 3.6\%$, 6年生: $11.8 \pm 4.9\%$)、踏み出し局面における体幹の回転角度 (2年生: $89.5 \pm 15.5\%$, 4年生: $95.9 \pm 14.5\%$, 6年生: $50.6 \pm 8.7\%$) など、いずれも学年間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。

1.3 男子上位者の身体部分および関節の角度変化

本研究では、体幹および下肢については各3箇所、上肢については4箇所の角度を算出したが、ここでは学年間に有意差がみられたものを中心に述べることにする。

Fig. 3 は、男子上位者の体幹の前後傾角度と回転角度、右膝関節および右股関節の屈曲伸展角度の変化を示したものである。横軸は踏み出し局面、投げ出し局面をそれぞれ0%—100%, 100%—200%とした規格化時間であり、中央の縦線 (100%時) が LF-ON 時を示す。また、学年間に有意差がみられた区間を記号 (+, ○, △) で図の上部に示した。

体幹の前後傾角度 (Fig. 3a) では、全学年とも LB 時 (0%時) に前傾位にあるが、踏み出し局面の中盤から4, 6年生は体幹の前傾が小さくなり、4, 6年生は150%時付近で、2年生は170%時で最も後傾し、その後急激に前傾してボールをリリースしていた。なお、120%—150%時に2年生と6年生の間に有意差がみられ、6年生の後傾が大きかった。

体幹の回転角度 (Fig. 3b) をみると、LB 時に2, 4年生が約 0° であったのに対し、6年生は後方回転位 (後ろ捻り、約 -20°) にあった。踏み

2nd grade boys

4th grade boys

6th grade boys

Fig. 2 Standard motion of the overarm throwing for the skilled boys (N=7).

出し局面では、各学年とも90%時付近まで徐々に後方回転し、投げ出し局面になると急激に前方回転してボールをリリースしていた。20%—120%時で4年生と6年生、60%—110%時で2年生と6年生との間に有意差がみられ、いずれも6年生の後方回転が大きかった。

右膝関節の屈曲伸展角度 (Fig. 3c) は、踏み出し局面前半において4、6年生が2年生よりも小さく、2年生は踏み出し局面後半から屈曲が増した。LF-ON直前になると2年生の角度変化は停滞するが、4、6年生は80%時から膝を伸展する傾向にあった。LB—60%時で2年生と6年生との間に有意差があり、6年生の屈曲が大きかった。

た。

右股関節の屈曲伸展角度 (Fig. 3d) では、LB時に4、6年生は2年生よりも屈曲していたが、有意差はなかった。70%時あたりからいずれの学年も伸展し、150%—170%時で2年生と6年生との間に有意差がみられ、6年生の伸展が大きかった。

Fig. 4は、男子上位者の右肩関節の内外転角度、内外旋角度および右肘関節の屈曲伸展角度の変化をFig. 3と同様にして示したものである。

右肩関節の内外転角度 (Fig. 4a) をみると、いずれの学年もLB時の約40°からリリースへ向けて外転し、2、4年生では90°以上の外転位でリ

Fig. 3 Averaged patterns of changes in the joint and segment angles of the torso and lower limb for the skilled boys. The cross, circle and triangle marks shown in the top of each figure indicate significant differences, (+) between second and fourth grade, (○) between second and sixth grade, (△) between fourth and sixth grade.

Fig. 4 Averaged patterns of changes in the joint angles of the throwing arm for the skilled boys.

リリースしていたが、6年生ではやや内転してリリースしていた。170%—REL時で4年生と6年生、190%—REL時で2年生と6年生の間に有意差があり、いずれも6年生の外転が小さかった。

投球動作において重要とされている右肩関節の内外旋角度 (Fig. 4b) には学年間に有意差はな

かった。しかし、いずれの学年も踏み出し局面から投げ出し局面の終盤まで右肩関節を外旋し、180%時付近で最大外旋位となり、内旋しながらリリースしたが、6年生は急激に内旋する傾向を示した。

右肘関節の屈曲伸展角度 (Fig. 4c) をみると、いずれの学年も踏み出し局面から投げ出し局面の

170%時付近まで屈曲し、その後急激に伸展したが、REL 時では6年生が最も大きく伸展しており、次いで4年生、2年生の順であった。REL 時付近に2年生と6年生との間に有意差がみられ、6年生の伸展が大きかった。

2. 女子上位者

2.1 リリースパラメータ

女子上位者の投距離は、2年生が 8.21 ± 1.79 m、4年生が 14.70 ± 2.18 m、6年生が 21.24 ± 4.14 mであり、各学年間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。ボール初速度については、2年生が 10.19 ± 1.69 m/s、4年生が 13.50 ± 0.64 m/s、6年生が 15.91 ± 1.54 m/sであり、各学年に有意差がみられた ($p < 0.05$)。投射角度に有意差はみられなかった (2年生: $22.0 \pm 12.9^\circ$ 、4年生: $26.9 \pm 9.4^\circ$ 、6年生: $31.7 \pm 6.9^\circ$)。投射高は、2年生が 1.35 ± 0.06 m、4年生が 1.54 ± 0.10 m、6年生が 1.60 ± 0.09 mであり、2年生と4年生、2年生と6年生の間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。身長比投射高に有意差はみられなかった (2年生: 1.11 ± 0.05 、4年生: 1.14 ± 0.07 、6年生: 1.10 ± 0.03)。

投距離とボール初速度の間には4年生と6年生で有意な正の相関がみられ (4年生: $r = 0.81$ 、6年生: $r = 0.96$, $p < 0.05$)、投距離と投射角度の間には4年生で有意な正の相関がみられた ($r = 0.93$, $p < 0.05$)。

身長比ストライドに有意差はみられなかった (2年生: 0.50 ± 0.09 、4年生: 0.55 ± 0.08 、6年生: 0.61 ± 0.05)。

2.2 女子上位者の投動作の標準動作モデル

Fig. 5は2, 4, 6年生の女子上位者の投動作の標準動作モデルをFig. 2と同様にして示したものである。側方からみると、学年が進むと、男子と同様に身体の前方への移動が大きくなっていることがわかる。また、2年生は踏み出し局面において体幹が垂直に近く、後方への捻りはみられないが、学年が進むと体幹の投球方向とは逆方向への傾き (側屈) が大きくなり、捻りもわずかにみられるようになっている。

上肢をみると、2年生は踏み出し局面において右肩の外転が小さく、右肘が低い位置にあるが、4年生以上は踏み出し局面後半では右肘が両肩のラインまで上がっている。しかし、後方からみると、6年生では投げ出し局面における外転は小さく、肩の外旋は180%時で最も大きくなっていることがわかる。

動作変動度に学年間で顕著な相違がみられた角度は、踏み出し局面における右肩の内外転角度 (2年生: $48.4 \pm 5.2\%$ 、4年生: $22.9 \pm 7.4\%$ 、6年生: $27.1 \pm 8.2\%$ 、学年間に有意差, $p < 0.05$)、投げ出し局面における右股関節の内外転角度 (2年生: $75.3 \pm 21.0\%$ 、4年生: $55.8 \pm 22.0\%$ 、6年生: $49.4 \pm 27.5\%$ 、2年生と4年生、2年生と6年生の間に有意差, $p < 0.05$) などであった。

2.3 女子上位者の身体部分および関節の角度変化

Fig. 6は、女子上位者の体幹の側屈角度、右膝関節の屈曲伸展角度および右股関節の内外転角度の変化を男子上位者と同様に示したものである。

体幹の側屈角度 (Fig. 6a) をみると、踏み出し局面では6年生の右側屈が最も大きく、次いで4年生、2年生の順であった。投げ出し局面の2年生では130%時から、4, 6年生では150%時付近で右側屈位から左側屈位へ変化した。また、50%—135%時において2年生と6年生の間に有意差があり、6年生の右側屈が大きかった。

右膝関節の屈曲伸展角度 (Fig. 6b) をみると、踏み出し局面では2年生は膝関節をあまり大きく屈曲伸展していないが、4, 6年生ではLF-ON時までには膝関節をより大きく屈曲していた。学年が進むと、投げ出し局面において膝伸展は大きくなる傾向にあるが、右膝関節角度は130%—180%時で2年生と6年生の間に有意差がみられ、6年生の方がより屈曲していた。

右股関節の内外転角度 (Fig. 6c) をみると、踏み出し局面では、2年生の外転は小さいが、4, 6年生では投げ出し局面中盤まで外転を続け、その後140%時付近から急激に内転した。100%—150%時で2年生と6年生の間に有意差があり、

Fig. 5 Standard motion of the overarm throwing for the skilled girls (N = 7).

Fig. 6 Averaged patterns of changes in the joint and segment angles of the torso and lower limb for the skilled girls.

Fig. 7 Averaged patterns of changes in the joint angles of the throwing arm for the skilled girls.

2年生の外転が小さかった。

Fig. 7は、女子上位者の右肩関節の内外転角度、水平内外転角度、内外旋角度および右肘関節の屈曲伸展位の変化を示したものである。

右肩関節の内外転角度 (Fig. 7a) をみると、いずれの学年も踏み出し局面の最初からリリース時まで外転した。50%—80%時で2年生と6年生、50%—LF—ON時で2年生と4年生の間に有意差がみられ、いずれも2年生の外転が小さく、190%—REL時で4年生と6年生の間に有意差があり、4年生の外転が大きかった。

右肩関節の水平内外転角度 (Fig. 7b) をみると、リリース時にはいずれの学年も水平内転していたが、その変化パターンには学年間に大きな相違がみられた。2年生は全局面を通じて水平内転位であり、4年生は水平外転と水平内転をくり返し、6年生は踏み出し局面で水平外転してLF—ON前に最大となり、その後リリースに向かって水平内転した。80%—110%時で2年生と6年生の間に有意差があり、6年生の水平外転が大きかった。

右肩関節の内外旋角度 (Fig. 7c) をみると、踏み出し局面前半から全学年とも外旋し、リリース前に内旋していたが、6年生と2、4年生の変化パターンに相違がみられた。40%—160%時で4年生と6年生、50%—150%時で2年生と6年生の間に有意差がみられ、6年生の外旋角度が小さかった。しかし、6年生は130%時付近から急激に外旋し、180%時付近で最大外旋位に達した後、急激に内旋してリリースした。170%—REL時で2年生と4年生、180%—190%時で2年生と6年生の間に有意差があり、2年生の外旋が小さかった。

右肘関節の屈曲伸展位 (Fig. 7d) をみると、いずれの学年も踏み出し局面から投げ出し局面後半まで屈曲し、その後急激に約130°まで伸展してリリースしたが、リリース時の肘関節角度には有意差はなかった。LB—30%時に4年生と6年生、LB—50%時に2年生と4年生の間に有意差があり、いずれも4年生の伸展が大きく、140%—160%時で2年生と6年生の間に有意差がみられ、2年生の屈曲が大きかった。

Ⅳ 考 察

本研究は、小学生に投動作を効果的に指導するのに役立つ知見を得ることをねらいの一つとしている。Ae et al. (2007) は、標準動作の作成に関する今後の課題の一つとして適切なサンプル数を検討することをあげている。本研究においては、上位者の標準動作を作成するのに用いた被験者は7名であり、Ae et al. (2007) の指摘を考慮しても少ないと考えられ、ここに本研究の限界があるといえる。今後、被験者数を増し、より適切な標準動作モデルを構築する必要があるが、現時点では本研究が作成した標準動作モデルは上位者の平均動作モデルととらえておく必要があろう。しかし、研究例の少ない平均以上の投能力をもつ小学生の投動作を3次元分析し、具体的な動作パターンとして上位者の標準動作モデルを作成し、その特徴を明らかにしたことは意義があると考えられる。

1. 男子上位者の投能力について

男子上位者では投距離とボール初速度は高学年になるほど有意に大きくなり、また、全ての学年において投距離とボール初速度との間に正の相関がみられたことから、男子上位者はボール初速度が投距離を決定する主な要因であったといえる。投射高は2年生から6年生の間で有意に増大したが、身長比投射高に有意な差がみられなかった。このことから、2年生と6年生の間にみられた投射高の違いは、主に両学年の身長差によるものと考えられる。

投射角度は学年間に有意差がみられなかったが、幼児の投動作に関する研究（宮丸，1980）では、年齢とともに投射角度が増加し、より上方へ投げられるようになるとされている。また、関根ほか（1999）は小学校1, 3, 5年生の平均的な投距離の男子では、1年生の投射角度（ $22.5 \pm 10.7^\circ$ ）は他学年よりも有意に小さかったが、3年生以上の男子では同様の投射角度（3年生： $30.4 \pm 5.0^\circ$ ，5年生： $31.4 \pm 4.3^\circ$ ）で投球できるように

なったとしている。また、宮西ほか（1995）は大学生野球選手24名の遠投における投射角度が $30.3 \pm 3.2^\circ$ であったとしている。本研究では、投能力に優れた男子小学生であったこと、学年が関根らの場合よりも1学年ずつ高かったことから、多くのものが成人と類似した 30° 前後の角度でボールを投げ出す動作を獲得しており、学年間に差がみられなかったと推察される。

これらのことから、2年生以上の男子上位者では、投射角度が投距離に及ぼす影響は小さく、学年が進むほどボール初速度が増大し、遠くへ投げられるようになるといえる。

2. 男子上位者の投動作の特徴

ここでは、上述した制限のもとで、標準動作モデルからみた上位者の投動作の特徴についてまとめることにする。

2年生上位者の標準動作モデルでは、踏み出し局面において体幹が支持脚側に傾き、脚接地後に体幹が起きてリリース時には前傾位であった。また、踏み出し脚の膝関節は180%時よりも200%時で伸展しており、2年生であっても投能力に優れた男子では踏み出し脚が屈曲しすぎたりしないで身体を支えていたことを示すと考えられる。

宮丸・平木場（1982）は、身体の明確な前方移動のみられなかった幼児に6週間の投動作トレーニングを行うことにより、これらの動作が改善したと述べている。このことと本研究の結果を考え合わせると、2年生の上位者は通常の幼児よりも体幹の投球方向への移動がともなった投動作ができるようになっていていると考えられる。

4, 6年生上位者の標準動作モデルでは、踏み出し脚の接地前後（80%時—140%時）において、2年生より曲げた右膝を伸ばしていた。また、身長比ストライドは2, 6年生の間に有意差があったことから、上述した2年生上位者にみられた体幹の並進移動は、学年が進むとともに増大すると考えられる。

6年生上位者の標準動作モデルでは、踏み出し脚の接地まで体幹を後方回転し、脚接地後に体幹を大きく前方回転しており、リリース時の右肩の

外転は90°程度であった。踏み出し局面の体幹の回転角度と投げ出し局面の右肩の内外転角度の動作変動度が小さかったことから、これらの動作は6年生上位者で共通性の高い動作であったと考えられる。

成人の投動作に関する研究（宮西ほか，1995）では、リリース時に肩関節を外転90°程度にすることはボールを斜め上方へ加速するために有効であるとされていることから、6年生上位者では成人の遠投動作に類似した習熟度の高い投動作を行えると考えられる。

以上のことや関節角度などの結果から、男子上位者の投動作の特徴として、学年が進むと(1)踏み出し局面の右膝の屈曲が大きくなる、(2)身体が大きく前方へ移動する、(3)体幹の後方回転と後傾が大きくなる、(4)リリース時の右肩の外転が小さくなる、(5)リリース時に右肘の伸展が大きくなることがあげられる。

上肢の動作に着目すると、リリース直前の肘の伸展はボールを加速するのに大きく貢献するとされることから（宮西ほか，1996）、高学年では肘の大きな伸展がボール初速度の増大に働いたと考えられる。2年生はリリース時に肩が大きく外転して外旋していたが、その後の内旋は小さかった（2年生，7.2°；4年生，10.2°；6年生，29.3°）。このことから、2年生は右肩の外転によって不十分な内旋や右肘の伸展を補ってボールを投げていたと推察される。

宮西ほか（1995）は、大学生野球選手の遠投における右肩の最大外旋角度は $175.6 \pm 14.5^\circ$ であったとしている。これらと本研究の被験者の最大外旋角度（2年生， $168.5 \pm 10.9^\circ$ ；4年生， $179.7 \pm 9.7^\circ$ ；6年生， $175.3 \pm 7.0^\circ$ ）には著しい差がないことから、リリース前の肩の外旋は上手に投げするための必須な動作であると考えられる。

体幹の動作では、上位者であるため2年生でも体幹の捻りがわずかにみられたが、6年生では80%時に下肢が屈曲した状態で体幹が後方へ捻られ、LF-ON後は体幹が前方回転し、投げ出し局面では他学年よりも大きく体幹が後傾していた。そして、リリース時には他学年と変わらない

角度まで体幹を前方回転して捻り戻していた。このことから、6年生では体幹の前方回転によって右肘に作用する求心力が肘の伸展を助長するモーメントを生じたため（Feltner, 1989）、リリース時に右肘を大きく伸展できたと考えられる。

下肢の動作をみると、踏み出し局面において、2年生に比べて6年生の右膝関節の屈曲、4、6年生の右股関節の屈曲が大きく、投げ出し局面では6年生の右股関節の伸展が大きかった。これらのことは、4年生以上では下肢を屈曲した姿勢から伸展し、大きく踏み出して身体を前方へ移動させるという動作がみられるようになったことを示している。

これらをふまえると、6年生では踏み出し局面で屈曲していた右脚の伸展によって腰が前方へ押されたため、上述した体幹の大きな前方回転が生じたと考えられる。一方、2年生はLF-ON直前に右脚の伸展動作が小さいために右腰の前方への押し出しが小さく、体幹があまり後傾しなかったと考えられる。また、関根ほか（1999）は、平均的な投距離の3、5年生では動作前半に右膝を屈曲し、踏み出し脚の接地に向けて右膝を伸展する傾向があったとしている。したがって、男子では上位者のみでなく3年生以上になると、踏み出し局面では右脚の膝関節と股関節を大きく屈曲したのち、それらを伸展して左脚を大きく投球方向へ踏み出すようになると考えられる。

以上のことから、2年生以上の男子上位者では、成人と類似したリリース前の右肩の外旋と30°上方への投げ出しができると考えられる。また、学年が進むと男子上位者では、踏み出しに先立って右膝関節を屈曲して準備し、ついで右膝と右股関節の伸展によって大きく踏み出し、腰が前方へ押し出され、体幹の後傾や前方への回転の動作範囲が大きくなるとともに、肩の内旋や右肘の伸展が高速で行えるようになり、投距離やボール初速度が増加していくといえる。

したがって、一般の男子小学生に対する投動作の指導では、低学年は標準動作モデルのように体幹を横向きにして踏み出すこと、投げ出しでは肘を高くすることなどに留意する必要がある。中

学年ではさらに踏み出し時に右膝や右股関節を伸展すること、高学年では肩の内旋に加えて、体幹の後傾からの起こしや前方回転を利用してリリース時に大きく肘を伸展することなどを指導することが望ましいと考えられる。

3. 女子上位者の投能力について

女子上位者では、投距離とボール初速度は高学年になるほど有意に大きく、投射高は4, 6年生が2年生よりも有意に大きかった。しかし、身長比投射高は有意な差がみられなかったことから、女子上位者においても男子と同様に身長の影響が投射高に影響したと考えられる。

尾縣ほか(1995)は、投動作学習経験のある成人女性22名の遠投では投射角度が $30.3 \pm 5.4^\circ$ であったとしている。これをもとにすると、2, 4年生の女子では上位者であっても投射角度が小さく、個人間のばらつきも大きい、6年生上位者になると 30° 以上の適切な投射角度を得るようになったと考えられる。

4年生と6年生は投距離とボール初速度の間に有意な正の相関がみられ、4年生には投距離と投射角度の間にも有意な正の相関がみられた。これらは、6年生では投射角度のばらつきが小さくなるため、投射角度よりもボール初速度が投距離を決定する要因になるが、4年生ではボール初速度に加えて適切な角度で投げ出すことも要因になることを示唆している。また、2年生は4年生よりもさらに投射角度が小さかったが、投距離との有意な相関はみられなかった。これは、Fig. 5からわかるように、2年生の女子では体幹の後傾が小さいため(Fig. 5)、相対的に大きく重いボールを上方へ投げ出すことが難しく、個人間のばらつきが大きくなったことが影響したと考えられる。

これらのことから、女子上位者では学年が進むと、ボール初速度が増加するだけでなく、投射角度も増加し、6年生になって成人と類似した適切な角度で投球できるようになると考えられる。

4. 女子上位者の投動作の特徴

2年生上位者の標準動作モデルでは、踏み出し

局面において投球腕と反対側の脚を投球方向へ踏み出し、投げ出し局面では体幹を前方回転していた。宮丸・平木場(1982)は、幼児の女子では脚の踏み出しや体幹の回転があまりみられないと述べている。また、豊島ほか(1984)は小学生1年生から4年生までの女子74名の投動作を分析し、2年生では投球腕と反対側の脚を身体前方に置いたまま動かないものは40%以上、体幹を投球方向に向けたまま投球するものは半数以上の割合であったとしている。

これらのことから、2年生上位者では幼児や同学年の通常の子と比較して、より体幹の並進運動と回転運動を利用した投動作ができるようになっていると考えられる。

4, 6年生上位者の標準動作モデルでは、踏み出し脚接地までに右肩を大きく外転しており、また踏み出し局面における右肩内外転の動作変動度は高学年ほど小さかった。

このことは、上位者では4年生以上になると多くのものが、踏み出し局面から右肩の外転角度を 90° に保持し、上述した体幹の回転運動によって効果的にボールを加速していたことを示すと考えられる。

6年生上位者の標準動作モデルでは、他学年よりも右股関節を大きく外転して左脚を投球方向へ踏み出していた。投げ出し局面における右股関節の内外転角度の動作変動度が小さかったことから、この右股関節の外転は6年生上位者に共通した動作であると考えられる。尾縣ほか(1995)は、特別な投動作の学習経験のない成人女性27名の遠投における身長比ストライドが 0.61 ± 0.09 であったとしている。これらと本研究の6年生上位者の身長比ストライド(0.61 ± 0.05)には差がないことから、6年生上位者は右股関節の外転をつかって、成人女性に近い踏み出し距離を獲得していたと考えられる。

以上のことや関節角度などの結果から、女子上位者の投動作の特徴として、学年が進むと(1)踏み出し時の体幹の右側屈が大きくなる、(2)投げ出し局面の右股関節の外転が大きくなる、(3)踏み出し脚接地までに右肩が外転するようになる、(4)右肩

を外旋するタイミングが遅れて接地前の外旋は小さくなるが、リリース前の最大外旋は大きくなることがあげられる。

上肢の動作についてみると、2年生は投げ出し局面で右肘をより屈曲位から伸展していたが、6年生に比べて伸展が緩やかであったため、踏み出し局面の序盤から肩の外転を利用してボールを加速していたと考えられる。また、普通の子小学生の投動作では投げ手側の上肢を後方へ引いた準備姿勢があまりとれないとされるが（豊島ほか，1984），4年生の上位者であれば上肢の準備動作は可能になるといえる。

2，4年生はLF-ON時で右肘を屈曲し，すでに外旋していたが，肩の水平外転が小さいか（4年生），水平外転がみられず（2年生），投げ出し局面で生じる水平内転による肩の外旋の効果を十分に使えなかったと考えられる。一方，6年生はLF-ON前後で右肘の角度がほぼ直角であり，肩の水平内転によって肩の外旋に作用するモーメントを大きくできたと考えられる。そのため，6年生では肩の外旋につづく急激な内転によって他学年よりも大きなボール初速度を得ていたと考えられる。

下肢の動作についてみると，2年生は踏み出し局面において下肢の動作は小さかったが，4，6年生ではより大きな右膝関節の屈曲と伸展がみられ，さらにLF-ON後には右股関節が大きく外転した。これらのことは，4年生以上の女子上位者では右膝の伸展，右股関節の外転が使えるようになり，このことが体幹の大きな右側屈を生じたことを示している。

以上のことから，女子上位者は，2年生では肩の外転を主体とした投動作であるが，学年が進むと股関節の外転によって体幹の側屈が大きくなり，肩の水平外転および素早い外内旋を利用した投動作へ変化し，ボール初速度と投距離が増加していくといえる。

したがって，一般の女子小学生に投動作を指導する際は，低学年では踏み出し局面から肩を外転させて，斜め30°上方を目安として投げさせるように，中学年では股関節を外転しながら体幹を右

側屈して踏み出し，高学年ではさらに下肢と体幹の動作範囲を大きくすることによって，リリース直前の肩の水平内転および素早い外内旋が引き出せるように留意する必要がある。

先述したように，今後は被験者数を増やすことによって，各学年の上位者だけでなく，平均的な投能力（投距離）の小学生の標準動作モデルを構築する必要がある。そうすれば，上手く投げられない小学生の動作を上位者あるいは平均的な小学生の標準動作モデルと比較し，その相違を分類できるので，様々な動作パターンに応じた指導法を考えることができ，発育発達段階や運動能力を考慮した効果的な指導が行えるようになると考えられる。

V 結 論

本研究では，優れた投能力をもつ小学生2，4，6年生男女の投動作の標準動作モデルを作成するとともに，各学年上位者の投動作の特徴を明らかにして，小学校における投動作の指導のための基礎的資料を得ることを目的とした。

本研究で明らかになったことをまとめると，以下のとおりである。

- ① 男子上位者では，投距離と初速度は学年が進むほど有意に増大し，全学年で投距離と初速度との間に有意な正の相関があった。
- ② 4年生以上の男子上位者では，踏み出し局面の右膝関節の屈曲および接地後の右股関節の伸展が大きく，さらに6年生では体幹の回転と前後傾が大きく，リリース直前の肘関節の伸展が大きかった。
- ③ 女子上位者では，投距離と初速度は高学年ほど有意に大きく，4，6年生は投距離と初速度，4年生は投距離と投射角度との間に有意な正の相関があった。
- ④ 4年生以上の女子上位者では，投げ出し局面における右股関節の外転および右膝関節の伸展や体幹の側屈も大きくなり，6年生では踏み出し脚接地時の肩の水平外転とリリース直前の肩の外内旋が大きかった。

以上のことから、男子上位者では学年が進むにつれて、右脚の蹴り出しによって大きく踏み出し、体幹の後傾や前方への回転が大きくなり、肩の内旋や右肘の伸展を大きく使えるように変化していくと考えられる。したがって、一般の小学生男子に対しては高学年になるほど動作中盤での下肢と体幹の動作を大きくできるように指導することが投動作の改善に役立つと考えられる。

また、女子上位者は高学年になると初速度の増加とともに適切な投射角度で投げられるようになるが、右股関節の外転とともに体幹の側屈が大きくなり、6年生になると肩の内外旋を主とした上肢の動きに変化していくと考えられる。したがって、一般の小学生女子に投動作を指導する際は、低学年では肩を外転させて上方へ投げ出せるように、中学年以降では下肢と体幹を大きく動かすことによってリリース直前の肩の水平内外転や素早い内外旋が引き出せるように指導することが役立つと考えられる。

文 献

- 阿江通良・小林育斗 (2011) 動作分析から動作の共通性と個性を考える. バイオメカニクス研究, 15: 88-95.
- Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H., and Fujii, N. (2007) A biomechanical method to establish a standard motion and identify critical motion by motion variability: With examples of high jump and sprint running. Bulletin of institute of health and sport sciences, University of Tsukuba, 30: 5-12.
- 中央教育審議会 (2002) 子どもの体力向上のための総合的な方策について.
- 中央教育審議会 (2008) 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について.
- 海老原 修・宮下充正 (1989) 異なる社会的環境下におけるスポーツ参加が基本的運動動作の発達に及ぼす影響について. 渡部和彦編 スポーツパフォーマンスの環境. 杏林書院: 東京, pp. 155-162.
- Feltner, M.E. (1989) Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part II: Application to the throwing arm in baseball pitching. International journal of sport biomechanics, 5: 420-450.
- 深代千之 (1982) 幼児にみられる投能力の発達. J. J. Sports sci., 1: 231-236.
- Hay, J.G. (1993) Biomechanics of sports techniques (4th ed.). Prentice Hall: New Jersey, pp. 1-7.
- 賀川昌明 (2006) 体育学習におけるパーソナルコンピュータ利用の展望と課題. 体育学研究, 51: 409-419.
- マイネル: 金子明友訳 (1981) スポーツ運動学. 大修館書店: 東京, pp. 274-360.
- 宮丸凱史 (1980) 投げの発達. 体育の科学, 30: 464-471.
- 宮丸凱史・平木場浩二 (1982) 幼児のボールハンドリング技能における協応性の発達(3)—投動作様式の発達とトレーニング効果—. 体育科学, 10: 111-124.
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1995) 大学野球選手における速投および遠投動作の3次元比較研究. 体育学研究, 40: 89-103.
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究. 体育学研究, 41: 23-37.
- Murata, K., Ae, M., Uchiyama, H., and Fujii, N. (2008) A biomechanical method to quantify motion deviation in the evaluation of sports techniques using the example of a basketball set shot. Bulletin of institute of health and sport sciences, University of Tsukuba, 31: 91-99.
- 尾縣 貢・関岡康雄 (1995) 特別な投運動学習経験のない成人女性のオーバーハンドスロー動作の特徴. 体育学研究, 39: 350-362.
- 尾縣 貢・高橋健夫・高本恵美・細越淳二・関岡康雄 (2001) オーバーハンドスロー能力改善のための学習プログラムの作成: 小学校2・3年生を対象として. 体育学研究, 46: 281-294.
- Robertson, M.A. (1977) Stability of stage categorization across trials: Implications for the 'STAGE THEORY' of overarm throw development. Journal of human movement studies, 3: 49-59.
- 桜井伸二・池上康男・八木規夫・岡本 敦・寺島徹・布目寛幸・矢部京之助 (1997) 投動作の発達. 岡田守彦編 身体運動のバイオメカニクス. 杏林書院: 東京, pp. 45-48.
- 桜井伸二 (2003) 「どうしたらしょうずに投げられるようになるか」. バイオメカニクス研究, 7: 353-354.
- 桜井伸二・宮下充正 (1982) 子供にみられるオーバーハンド投げの発達. J. J. Sports sci., 1: 152-156.
- 関根克浩・豊川 琢・阿江通良・藤井範久・島田一志 (1999) 小学生男子における投動作の発達に関するキネマティクス的研究. バイオメカニクス研究, 3: 2-

11.
豊島進太郎・星川 保・松井秀治 (1984) 女子の投運動から“よい投動作”の基準を探る. 星川保・豊島進太郎編 走・跳・投・打・泳運動における“よい動き”とは. 杏林書院: 東京, pp. 102-108.
- Wickstrom, R.L. (1975) Developmental kinesiology: Maturation of basic motor patterns. In: Wilmore, J.H., and Keogh, J.F. (Eds.) Exercise and sport sciences reviews (Vol. 3). Academic Press: New York, pp. 163-192.
- Wild, M.R. (1938) The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children. *Research Quarterly*, 9: 20-24.
- Winter, D.A. (2009) Biomechanics and motor control of human movement (4th ed.). John Wiley & Sons: New Jersey, pp. 70-73.
- Yokoi, T., Shibukawa, K., and Ae, M. (1986) Body segment parameters of Japanese children. *J. J. Phys. Educ.*, 31: 53-66.

(平成24年4月16日受付)
(平成24年9月3日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2012/9/21