

幼児期における投球能力向上に関する練習方法の検証 —— 紙鉄砲を鳴らす動作に着目して ——

The Verification of Practice for the Improving Infants' Throwing Skills:
Focused on Motion of Swinging Down the Origami-popgun

木下 まどか (東京大学大学院総合文化研究科)
吉岡 伸輔 (東京大学大学院総合文化研究科)
深代 千之 (東京大学大学院総合文化研究科)

本研究は、紙鉄砲を鳴らす動作の練習前後の投動作の変容を比較し、紙鉄砲を鳴らす動作と練習前後の投動作の運動機序を明らかにすることで、幼児期における紙鉄砲を鳴らす動作が投運動の能力向上に効果的な練習方法であるかどうかを検討することを目的とした。5から6歳の女子幼児10名を対象に、紙鉄砲を鳴らす動作の練習を一定期間行わせ、練習前後(プレ条件、ポスト条件)の投動作の3次元座標値データを取得した。また、ポスト条件を測定の際には、紙鉄砲を鳴らす動作の測定も行った(紙鉄砲条件)。その結果、プレ条件とポスト条件を比較すると、最大手先スピードは有意に増加した。また、投動作が大きく変容した被験者もみられた。一方で、リリース時点の手先スピードには有意差が認められず、紙鉄砲を鳴らす動作の力学的な運動機序については、成人の投球動作で重要とされる手関節力パワーによる手部への力学的エネルギーの伝達(宮西ほか, 1997)が未成熟の投動作に比べ小さく、動作を通した投球腕全体の力学的エネルギー変化量も小さい。また、紙鉄砲を鳴らす動作ではリリースタイミングの練習ができないため、投動作のパフォーマンス向上に直接的に結びつくとは結論しがたい。しかしながら、紙鉄砲を鳴らす動作は音により動作の成否が判定しやすく、幼児が練習を続けやすいため、習熟した投動作の動き作りのきっかけにはなり得る。

1. 緒言

幼少期の子どもにとって運動は様々な身体の機能発達に大きな影響を及ぼす。基礎的な運動能力のうち、投運動の能力は、2歳から6歳ごろまでに急速に発達する(宮丸, 1980)と報告されている。また、Wild(1938)は、幼児期における投動作を以下の4段階に分類した。(1)上体の

前後方向の動きと手の屈曲と肘の伸展だけで投げる。(2) (1)の段階に肘と肩を後方に引く動作と体幹部の回転を加えて投げる。(3) (1)および(2)の段階に投球腕側の脚の投球方向へのステップを加え体重を移動させながら投げる。(4) (1)および(2)の段階に投球腕と逆側の脚の投球方向へのステップを加え体重を移動させながら投げる。また、(1)の段階は2から4歳で、(2)の段階は3.5から5歳で、(3)の段階は5から6歳で、(4)の段階は6.5歳でそれぞれ認められ、成長とともに投動作が変容することを示している。Sakurai et al., (1983)は、3-9歳の180人の子どもを対象に投動作の年齢と性別による発達過程を検討した。その結果、7歳から性別による投動作発達の違いが現れ、男児は7歳から成長過程に関係せず投動作のパフォーマンスが向上するのに対し、女児の投動作は、体力・筋力要素に依存することが述べられている。

このように、幼児および児童の投動作における運動様式の記述に関する研究は多い。一方で、成人の投動作では、宮西ほか(1996)が、上腕関節および右投球腕の運動に対して、ボールスピードに対する貢献を算出し、上腕関節の左回旋、屈曲運動や肩関節の水平屈曲、内旋運動、肘関節の伸展運動、手関節の掌屈運動がボールスピードの生成に貢献していることを報告している。また、宮西ほか(1997)は、ボールへ伝える力学的エネルギーの大部分が手関節の関節力パワーに起因していると報告している。Feltner(1989)は、リリース前の投球腕側肘関節の伸展は、下肢の動作と体幹の回旋により起きるため、肘関節伸展トルクによる作用ではない。また、投球腕側肘関節の過伸展を止めるために、肘関節屈曲トルクが発揮されると報告している。これらのように成人の投動作において、運動機序が詳細に述べられた研究は散見されるが、幼児の投動作の運動機序を詳細に記述した研究は十分でない。

文科省(2014)の平成25年度体力・運動能力調査報告書において、平成25年度の小学生(11歳)の体力テストにおける握力、50m走、反復横とびの記録は、体力テストを開始した昭和39年の記録に比べ、記録が高いが、ボール投げについては記録が低いと報告されている。このようなことから、近年、子どもの投能力が低下傾向にあると言われており、様々な投能力向上のための指導法が存在する。国土(2012)は、小学生の投動作における指導のための評価観点を検討した。また細井ほか(2004)は、めんこ投げ遊びや紙てっぽう遊びが投能力に必要なむち動作の獲得に効果的であり、児童の投動作における指先、ひじの最高速度向上および遠投能力向上に寄与すると述べている。しかしながら、紙鉄砲を鳴らす動作がどのように投能力の向上に寄与しているかは明らかになっていない。一方で、深代ほか(1982)は、5、6歳の幼稚園児を対象にテニスボール投げのトレーニングを6ヵ月間課し、トレーニングによって生じる投距離の変化およびトレーニングによる投動作の改善を検討している。その結果、トレーニングにより投動作は改善されても、投距離の増大に結びつかない可能性を示唆した。したがって、投動作の変容が、投能力にどのように影響を与えるかについて、力学的観点から明らかにし、幼児の投能力を向上させるための動作変容を示すことは重要である。そこで、本研究は、紙鉄砲を鳴らす動作の練習前後の投動作の変容を比較し、紙鉄砲を鳴らす動作と練習前後の投動作の運動機序を明らかにすることで、幼児期における紙鉄砲を鳴らす動作が投能力向上に効果的な練習方法であるかどうかを検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

5から6歳の女子幼児10名(身長 $1.09 \pm 0.04\text{m}$ 、身体質量 $18.0 \pm 1.6\text{kg}$)を被験者とした。被験者および被験者の保護者には事前の実験説明を行い、口頭および書面にて参加の同意を得た。

2.2 実験プロトコルおよび実験試技

実験試技は、実験室内に設置したネットに向かいカラーボール(直径:4cm、質量:40g程度、材料:発泡ウレタンスポンジ)を用いた利き手での全力投動作とした。試技は3回行わせ、後述する手先スピードが最も大きかった試技を分析対象とした。10名の被験者を月齢に偏りがないように練習群(n=4)と統制群(n=6)に分け、後述する練習期間の前後で2回(プレ条件およびポスト条件)の計測を行った。また練習群のみ2回目には紙鉄砲を鳴らす動作(紙鉄砲条件)の計測も行った。さらに統制群6名の

被験者のうち3名は実験終了後、新たに練習群として上述の実験を行い、最終的に、実験群を7名とした。

練習群には1回目(プレ条件)の計測後、紙鉄砲を鳴らす動作を指導し、約6週間自宅にて紙鉄砲を鳴らす練習を行わせた。紙鉄砲を鳴らす動作の指導の際には、(1)ボールを持っている手と反対側の脚を前に出す、(2)肘を肩より上げる、(3)背中に紙鉄砲をくっつける、(4)逆手は身体に引き付ける、(5)振り下ろした腕が伸び切るまでおろす、という5つの教示(研究協力者と共同で考案)を与えた。紙鉄砲の練習回数は1日おきに10回程度鳴らすまでとした。なお、統制群には、練習期間中には特別な練習を行わせなかった。

2.3 データ収集およびデータ処理

光学式自動動作分析装置(Motion Analysis Corp., 200Hz)により、被験者の身体各部およびボールに貼付した専用反射マーカ(30点)の三次元座標値を収集した(図1)。

収集した三次元座標値に対して、Wells and Winter(1980)の方法により最適遮断周波数(6.0Hz-30.0Hz)を決定し、Butterworth digital filterを用いて平滑化処理を行った。

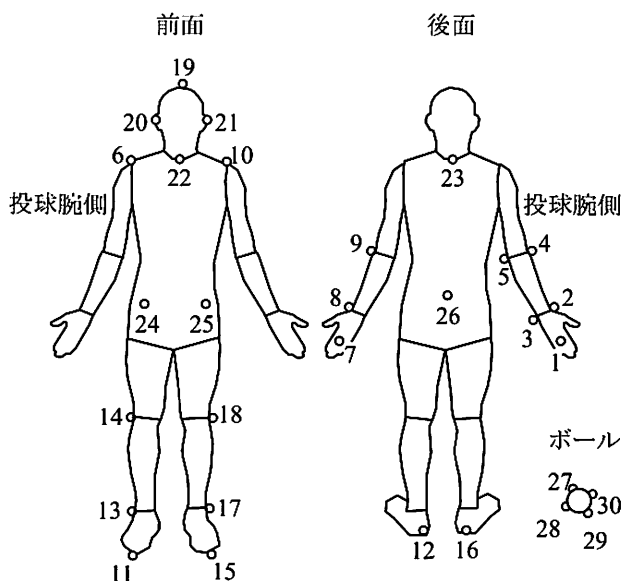


図1 マーカー配置

2.4 算出項目

本研究では、人体を手部、前腕、上腕、足部、下腿、大腿、頭部、体幹部の計14セグメントが13の関節で連結されている剛体リンクモデルとして扱った。測定した被験者の体重から、横井ら(1986)の身体部分慣性係数を用いて、投球腕側の手部、前腕、上腕の重心座標値および慣

性パラメータを算出した。

リリース時点は、ボールに貼付したマーカーから推定したボール中心と投球腕側手部に貼付したマーカーとの距離が0.1mを超えた地点とし、手先スピードは、投球腕手部に貼付したマーカーから求めた合成速度の最大値として算出した。

Winter and Robertson (1978) の方法をもとに、投球腕側の upper 各関節において身体セグメントに伝達される力学的エネルギーのうち、関節トルクによるものをセグメントトルクパワー（以下STP）、関節力によるものを関節力パワー（以下JFP）、さらに投球腕側の upper 各関節におけるパワー発揮を関節トルクパワー（以下JTP）とし、以下の式で算出した。

- (1) 関節トルクによりセグメントに伝達される力学的パワー (STP_s)

$$STP_s = T_j \cdot \omega_s$$

- (2) 関節力によりセグメントに伝達される力学的パワー (JFP_j)

$$JFP_j = F_j \cdot V_j$$

- (3) 関節トルクにより発揮される力学的パワー (JTP_j)

$$JTP_j = T_j \cdot \omega_j$$

ここで、 T_j , ω_j , ω_s , F_j , V_j は、静止座標系における関節トルク、関節角速度、身体セグメント角速度、関節力、関節並進速度をそれぞれ示す。

- (4) 力学的仕事と力学的エネルギー

力学的パワーとして算出したJTP, STP, JFPを後述する分析区間でそれぞれ時間積分した値を力学的仕事または力学的エネルギーとし、JTPによる力学的エネルギーの生成（正の力学的仕事）と吸収（負の力学的仕事）、STPとJFPによる力学的エネルギーの伝達を示すエナジェティクスパラメータとした。また、算出したデータを各被験者の体重でそれぞれ除すことによって規格化した。なお、投球腕の力学的エネルギー変化量は、投球腕側手関節および肘関節における力学的パワーの発生と吸収 (JTP) による力学的仕事、肩関節を通した力学的パワーの伝達 (JFP) による力学的仕事および上腕への力学的パワー (STP) による力学的エネルギーの流入出による力学的仕事の総和によって表すことができる。

2.5 分析区間

幼児の投動作は Wild (1938) の報告の通り、発達段階

により異なる定型的パターンを示すため、投球腕側手部、前腕および上腕の保持する並進および回転の総運動エネルギーの最小値を投球動作の開始、最大値を投球動作の終了と定義した。

2.6 統計処理

統制群および練習群内のプレ条件およびポスト条件を比較するために対応のあるt検定を行った。練習群のプレ条件、ポスト条件および紙鉄砲条件の比較については、一元配置の分散分析を行い、有意差が認められた場合には Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。なお、有意水準は5%未満とした。また、以降の結果で用いる ± 以降の値は平均値の標準偏差を示す。

3. 結果

図2は練習群、統制群のプレ条件およびポスト条件における最大手先スピードとリリース時点の手先スピードを示している。

練習群のプレ条件とポスト条件において最大手先スピード（プレ：6.88 ± 1.35m/s、ポスト：8.10 ± 1.48m/s）に有意差は認められたが、リリース時点の手先スピード（プレ：6.08 ± 1.24m/s、ポスト：6.74 ± 1.00m/s）に有意差は認められなかった。統制群のプレ条件とポスト条件において最大手先スピード（プレ：6.58 ± 1.16m/s、ポスト：6.47 ± 1.05m/s）、リリース時点の手先スピード（プレ：5.96 ± 1.12m/s、ポスト：5.53 ± 0.79m/s）に有意差は認められなかった。また、練習群、統制群のプレ条件およびポスト条件において最大手先スピードとリリース時点の手先スピードの出現タイミングは一致せず、概ねどの被験者もリリース後に手先スピードが最大となった（図2）。

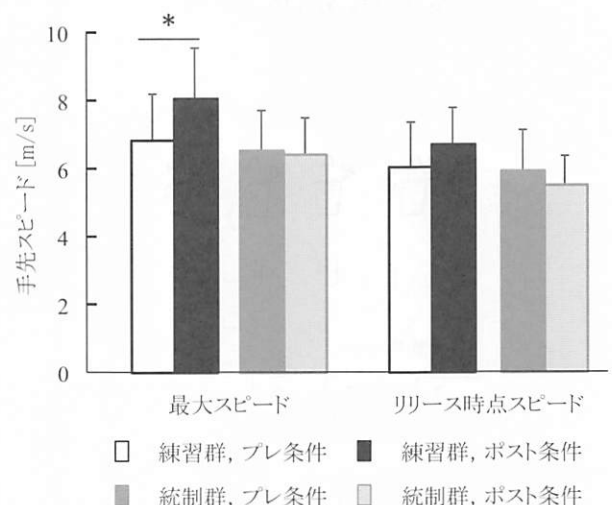


図2 各時点の手先スピード * : p<.05.

図3および4はWild (1938) の区分に従って4段階((1) 上体の前後方向の動きと手の屈曲と肘の伸展だけで投げる, (2) (1)の段階に肘と肩を後方に引く動作と体幹部の回転を加えて投げる, (3) (1)および(2)の段階に投球腕側の脚の投球方向へのステップを加え体重を移動させながら投げる, (4) (1)および(2)の段階に投球腕と逆側の脚の投球方向へのステップを加え体重を移動させながら投げる。)に分類した練習群, 統制群のプレ条件およびポスト条件, 練習群の紙鉄砲条件における動作の変容を示している。練習群のプレ条件では(1)段階が2名, (2)段階が2名, (3)段階が1名, (4)段階が2名であったが, そのうち(1)段階の2名, (3)段階の1名の動作がポスト条件では(4)段階へと動作が変容した。統制群のプレ条件では(1)段階が4名, (2)段階が2名であったが, そのうち(1)段階の2名の動作がポスト条件では(2)段階へと動作が変容した。一方で, 紙鉄砲条件では(2)段階が2名, (4)段階

が5名であり, 練習群のポスト条件と対応していた(図3, 図4)。図5は, 投球動作が大きく変容した被験者(a)と, しなかった被験者(b)の紙鉄砲条件のスティックピクチャを示している。大きく変容した被験者(a)の紙鉄砲条件は, (4)段階の動作で紙鉄砲を鳴らしており, 投動作は, プレ条件からポスト条件にかけて(1)段階から(4)段階に変容した。一方で, 変容しなかった被験者(b)の紙鉄砲条件は, (2)段階の動作で紙鉄砲を鳴らしており, 投動作は, プレ条件, ポスト条件ともに動作は(2)段階のままであった(図5)。また, 投球動作様式レベルの高い被験者の最大手先スピードが必ずしも高いものではなかった。

表1は練習群のプレ条件, ポスト条件および紙鉄砲条件, 成人の投動作における主要な投球腕側の最大関節角速度(肩関節水平内転, 内旋, 肘関節伸展, 手関節掌屈)および関節トルク(肩関節水平内転, 内旋, 肘関節伸展, 屈曲, 手関節掌屈, 背屈)を示している。成人の投動作

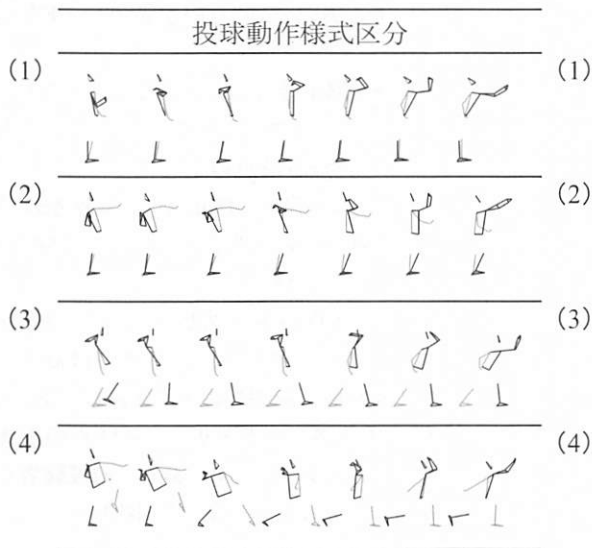
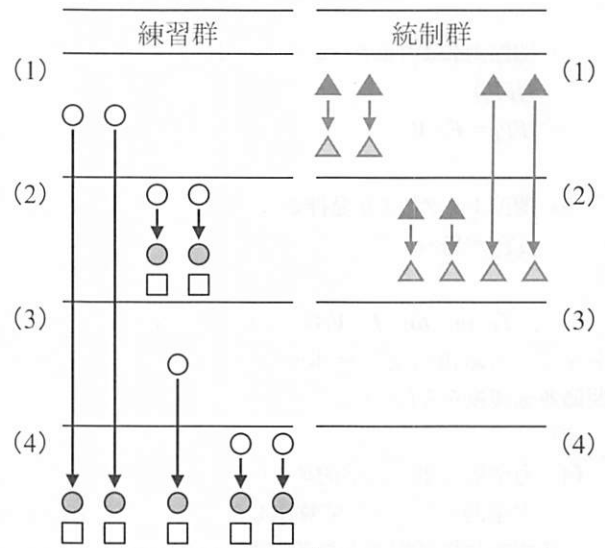


図3 投球動作様式の区分



○ 練習群, プレ条件 ● 練習群, ポスト条件 □ 練習群, 紙鉄砲条件
▲ 統制群, プレ条件 △ 統制群, ポスト条件

図4 練習前後の動作変容

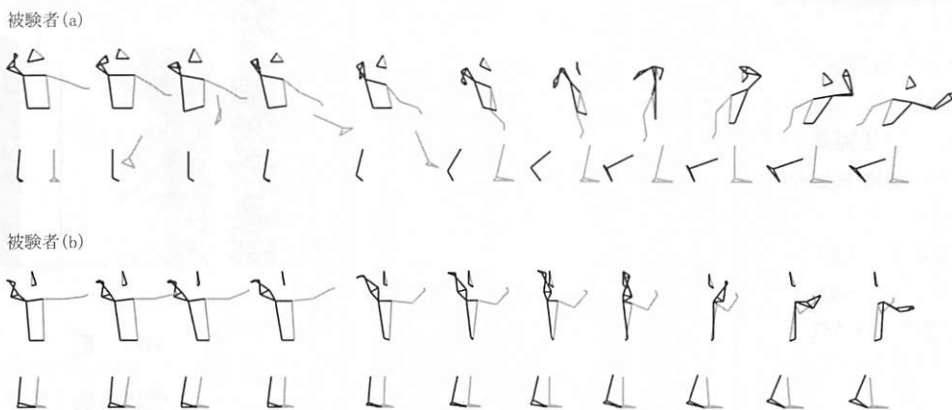


図5 紙鉄砲条件典型例

データについては木村(私信, 2017)を参考にした。最大関節角速度では、プレ条件、ポスト条件、紙鉄砲条件、成人ともに肩内旋角速度が最も大きかった。また、成人に比べ、プレ条件、ポスト条件、紙鉄砲条件では、条件間内の肘関節伸展角速度の大ききの割合が大きかった。最大関節トルクでは、プレ条件、ポスト条件、紙鉄砲条件、成人ともに肩関節水平内転トルクが最も大きかった。紙鉄砲条件の肩関節内旋トルクが群間で最も小さく、プレ条件、ポスト条件の肘関節伸展トルクは成人より大きかった。なお、肘関節屈曲トルクにおいて、プレ条件と紙鉄砲条件およびポスト条件と紙鉄砲条件に有意差が認めら

れたが、その他の最大関節角速度、最大関節トルクにプレ条件、ポスト条件および紙鉄砲条件の条件間で有意差は認められなかった(表1)。なお、図6および7は典型例として動作が大きく変容した被験者のプレ条件およびポスト条件、動作が変容しなかった被験者のプレ条件およびポスト条件の手先スピード、関節角速度、関節トルクの時系列データおよびスティックピクチャを示している。動作が変容した被験者および変容しなかった被験者のいずれもプレ条件に比べてポスト条件の方が動作時間が長い

表1 練習群におけるピーク関節角速度とピーク関節トルク

	ピーク関節角速度 (rad/s)				ピーク関節トルク (Nm/kg)					
	肩関節 水平内転	肩関節 内旋	肘関節 伸展	手関節 掌屈	肩関節 水平内転	肩関節 内旋	肘関節 伸展	肘関節 屈曲	手関節 掌屈	手関節 背屈
プレ	3.63±2.02	27.8±8.8	18.7±1.6	13.6±2.1	.22±.08	.12±.05	.050±.02	.05±.02	.01±.01	.01±.01
ポスト	3.68±2.03	28.7±10.6	19.1±6.8	13.5±3.8	.27±.11	.14±.06	.053±.03	.05±.02	.01±.01	.01±.01
紙鉄砲	5.42±3.15	18.0±13.5	16.7±9.2	9.7±2.9	.17±.08	.075±.02	.025±.02	.10±.06	.01±.00	.02±.02
成人 (n=12)	8.71±2.86	66.2±29.0	34.4±4.2	29.8±14.5	.89±.39	.54±.16	.03±.03	.54±.16	.03±.01	.08±.03

* : p<.05. 成人データは木村(2017)より作成

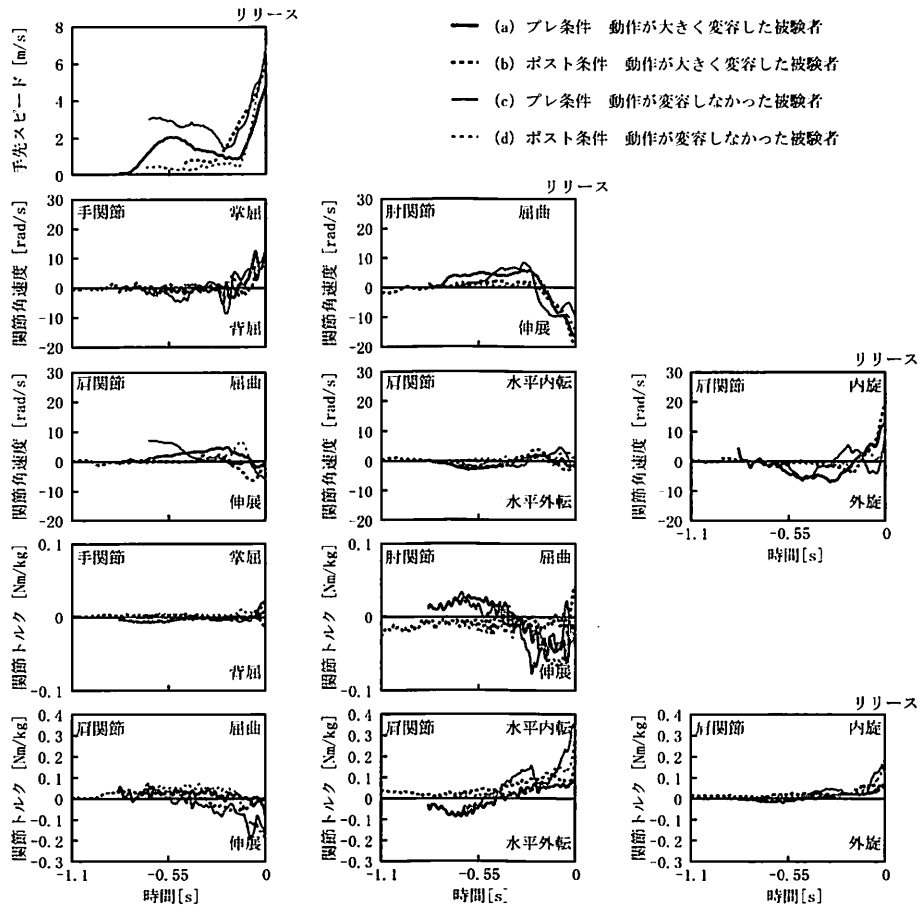


図6 典型例の手先スピード、関節角速度および関節トルク

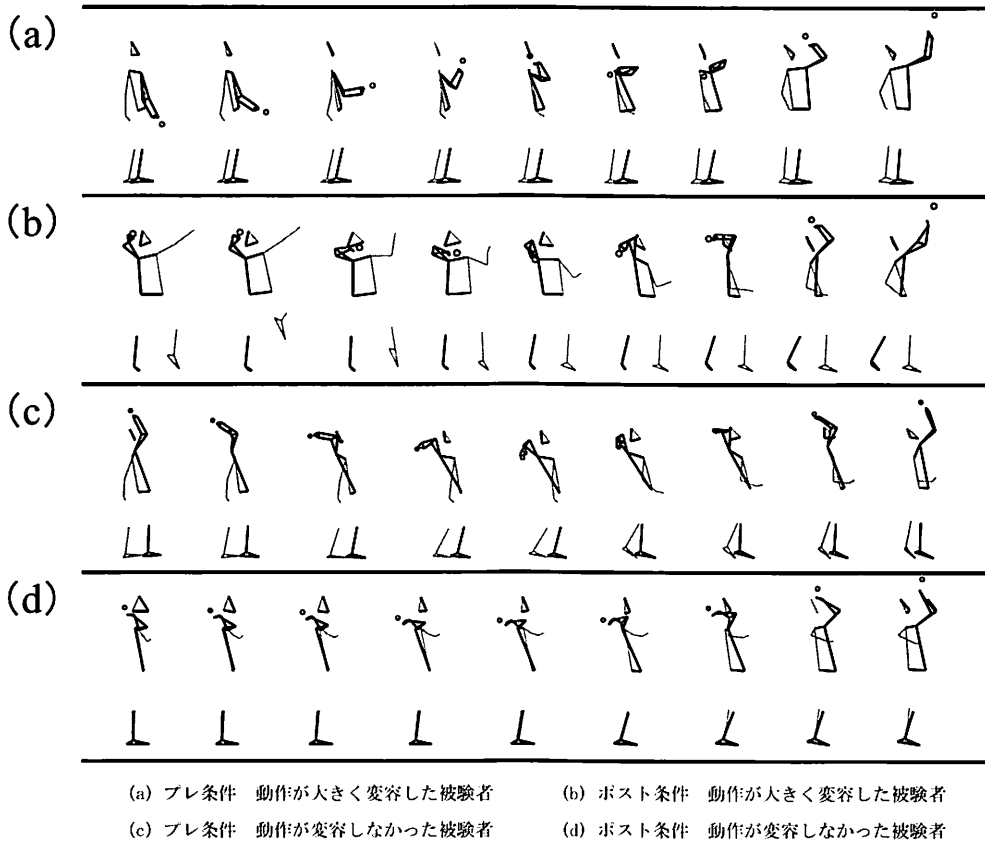


図7 典型例の投球動作

図8および表2は練習群におけるプレ条件、ポスト条件および紙鉄砲条件における力学的パワーに起因する力学的エネルギーフローを示している。プレ条件、ポスト条件、紙鉄砲条件において概ね同様の力学的エネルギーフローがみられた。紙鉄砲条件で、肘関節力パワーによる前腕への力学的エネルギーの伝達は大きかったが、一方で、成人の投動作で重要とされる手関節力パワーによる手部への力学的エネルギーの伝達が、プレ条件およびポスト条件に比べ小さく、動作を通した投球腕全体の力学的

エネルギー変化量も小さかった。なお、肘関節における力学的パワーによる力学的仕事の発生、吸収および上腕から前腕への力学的パワーによる力学的エネルギーの流入出において、プレ条件と紙鉄砲条件およびポスト条件と紙鉄砲条件に有意差が認められたが、その他の力学的エネルギーフローに関するパラメータについてプレ条件、ポスト条件および紙鉄砲条件の条件間で有意差は認められなかった(図8)(表2)。

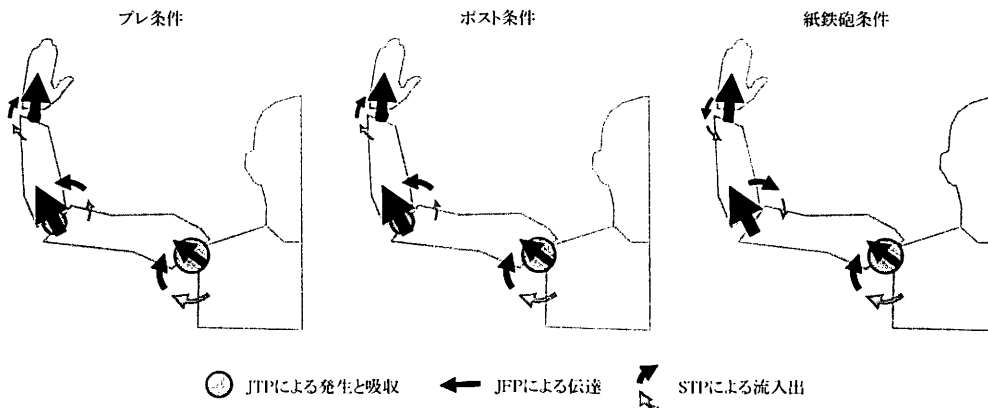


図8 力学的エネルギーフロー模式図

表2 練習群における力学的エネルギーフロー

	プレ条件			ポスト条件			紙鉄砲条件		
	JTP	STP	JFP	JTP	STP	JFP	JTP	STP	JFP
手部		.01±.02		.01±.02				-.02±.02	
手関節	.00±.01		.29±.10	.00±.01		.32±.12	.00±.01		.23±.09
前腕		.00±.01			-.01±.01			.01±.02	
前腕		.08±.06*			.06±.06**			-.09±.16*/**	
肘関節	.05±.02*		.36±.17	.03±.02**		.42±.15		-.05±.05*/**	.45±.24
上腕		-.03±.05			-.02±.05			.04±.11	
上腕		.26±.09			.31±.12			.30±.10	
肩関節	.12±.06		.16±.09	.15±.07		.17±.09	.11±.04		.14±.16
体幹		-.14±.08			-.16±.06			-.19±.09	
変化量		.47±.15			.52±.21			.39±.12	

*: p<.05. 単位 (J/kg)

4. 考察

本研究では、紙鉄砲を鳴らす動作の練習前後の投動作の変容を比較し、紙鉄砲を鳴らす動作と練習前後の投動作の運動機序を明らかにすることで、幼児期における紙鉄砲を鳴らす動作が投球能力向上に効果的な練習方法であるかどうかを検討した。図3より、練習群に属し、投動作が(4)段階に達していない5名の被験者のうち3名の被験者の投動作が紙鉄砲を鳴らす動作の練習後のポスト条件において(4)段階へと変容した。また図5より、投動作が変容した被験者の紙鉄砲を鳴らす動作は、(4)段階に類似した特徴であったのに対して、変容しなかった被験者の紙鉄砲を鳴らす動作は、(2)段階に類似した特徴であった。したがって、(1)ボールを持っている手と反対側の脚を前に出す、(2)肘を肩より上げる、(3)背中に紙鉄砲をくっつける、(4)逆手は身体に引き付ける、(5)振り下ろした腕が伸び切るまでおろす、といった投球動作を強く意識させるような教示をおこなった紙鉄砲を鳴らす動作を練習することで、(4)段階に類似した特徴をもつ紙鉄砲を鳴らす動作を習得した被験者は、プレ条件では、上体の前後方向の動きと手関節の屈曲と肘関節の伸展だけで投げていたが、ボールを持っている手と反対側の脚を前に出すという初期姿勢の変化に合わせ、ステップ動作の出現や体幹の捻りが前方にボールを投げるために必要となり、動作の変容が起こったと推察される。一方で、紙鉄砲を鳴らす動作を上手く練習することができなかった被験者は、プレ条件とポスト条件で動作の変容が起こらな

かった。また、図2より練習群のプレ条件とポスト条件における最大手先スピードに有意差は認められたが、リリース時点の手先スピードに有意差は認められなかった。この結果から、紙鉄砲を鳴らす動作を練習することで、腕を振るスピードを上昇させることはできるが、本研究で、投能力のパフォーマンス指標としていたリリース時の手先スピードを上昇させることはできなかった。また、最大手先スピードはリリース時点の後に出現していたことから、紙鉄砲を繰り返し鳴らす動作の練習においては、リリースタイミングを練習することができないため、紙鉄砲を鳴らす練習を行い、投球腕の最大スウィングスピードを向上させたとしても、投能力に大きな影響を与えないことが推察される。しかしながら、紙鉄砲を鳴らす動作の運動教示が動作を変容させる上で重要であり、成熟した投球動作のポイントを教えることができれば動作習得のきっかけとはなるだろう。本研究では実施していないが、紙鉄砲を用いなくても、成熟した投球動作のポイントを教える教示を行うことができれば、動作を変容させることができる可能性が示唆される。また、表1より紙鉄砲条件において大きなトルクや角速度の発揮はみられないため、紙鉄砲の練習効果は、力発揮を大きくし、投球スピードを向上させる練習ではないと推察される。Feltner (1989) が、投動作では、リリース前の肘伸展は、下肢の動作と体幹の回旋により起きるため、肘伸展トルクによる作用ではないと報告しており、プレ条件、ポスト条件ともに肘関節の伸展トルクの最大値が大きく、スウィング動作に特徴的な運動依存力を効果的に利用することができていない可能

性がある。さらに、図8および表2より紙鉄砲条件の力学的エネルギーフローは、プレ条件、ポスト条件と概ね同様であるが、成人の投球動作で重要とされる手関節力パワーによる手部への力学的エネルギーの伝達(宮西ほか, 1997)は小さく、動作を通した投球腕全体の力学的エネルギー変化量も小さい。これらの結果から、紙鉄砲はその質量が軽いから、力学的エネルギーフローや動作達成のために必要とされる関節トルク量を大きく変化させることができなかったことが推察される。したがって、紙鉄砲を鳴らす動作の運動機序は、未成熟の投動作と大きな違いはなく、その運動機序が、投動作向上に直接的に寄与している可能性は小さいことが示された。

また、本研究では、以下のような制約と課題があるが、紙鉄砲を鳴らす動作の練習前後の投動作の変容を比較し、紙鉄砲を鳴らす動作と練習前後の投動作の運動機序を明らかにしたことは、これまで明らかとなっていない幼児の投動作に対する詳細な運動機序を示し、児期における紙鉄砲を鳴らす動作が投運動の能力向上に効果的な練習方法であるかどうかを検討することで、幼児に対する投動作の指導を行う上で有用であると考えられる。(1)練習群における紙鉄砲を鳴らす動作練習期間中の練習内容が適当であったかどうかの確認は行っていない。(2)被験者の群わけは月齢に偏りが無いように行ったが、すでに獲得している固有の投球能力は考慮に入れていない。また、投動作の分析の際にピーク値を用いたが、被験者がすでに獲得している固有の投球能力の個人差が大きかったためであり、平均的な時系列データの比較は行っていない。(3)紙鉄砲自体が持つ物理特性を考慮せず、紙鉄砲試技のパラメータ算出を行った。被験者である未就学女子の質量は小さいため、手部に受ける空気抵抗の影響が大きい場合は、紙鉄砲のダイナミクスを考慮した計算が必要である。(4)投動作の評価には、遠投能力や正確性といった側面も考えられるが、本研究では、投動作の評価パラメータとして手先スピードのみを用いている。ボールに貼付したマーカーから、ボールの速度ベクトルおよび投射角度を用いれば飛距離の算出は可能であったが、本実験の実施環境として、室内に設置したネットに全力で投球することであったことから、飛距離を出すための投げ方とは異なるとして、評価パラメータとして遠投能力は考慮しなかった。

4. 結論

習熟した投球動作を強く意識させるように教示した紙鉄砲を繰り返し鳴らす動作を練習することで、投動作が変容し、最大手先スピードは向上した。しかし、リリース時点の手先スピードは練習前後で向上せず、紙鉄砲を

鳴らす動作の運動機序は、成人の投球動作で重要とされる手関節力パワーによる手部への力学的エネルギーの伝達(宮西ほか, 1997)は未成熟の投動作に比べ小さく、動作を通した投球腕全体の力学的エネルギー変化量も小さい。また、女子幼児の質量および慣性パラメータが小さいため、手部に持つ用具の違いにより、成人の投動作に類似する運動機序を模倣できる可能性が推察された。しかしながら、紙鉄砲を鳴らす動作は音により動作の成否が判定しやすく、幼児が練習を続けやすいため、習熟した投球動作を強く意識させるように教示することで習熟した投球動作の動き作りのきっかけにはなり得る。

謝辞

本研究は、株式会社拓人こども未来、櫻井貴史氏、植木五行氏と関係者の協力により遂行されました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- Feltner, M. (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・稲葉勝弘・小林規・宮下充正(1982) 幼児にみられる投能力の発達. *Jpn. J. Sports Science*, 1(3): 231-236.
- 細井誠・岡村泰斗・若吉浩二(2004) めんこ投げ遊びや紙てっぽう遊びが児童の投動作に及ぼす効果. *奈良教育大学紀要*, 53(2): 41-50.
- 木村新(2017) 野球の投球動作からみた手部速度生成に対する下肢・体幹の力学的役割. 平成28年度東京大学大学院総合文化研究科修士学位論文.
- 國土将平(2012) 動作の因果関係を考慮した児童のボール投げ動作の評価観点の検討. *発育発達研究*, 55: 1-10.
- 宮丸凱史(1980) 投げ動作の発達. *体育の科学*, 30: 464-472.
- 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(1): 23-37.
- 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体幹および投球腕の力学的エネルギー・フローに関する3次元解析. *体力科学*, 46: 55-68.
- 文部科学省(2014) 平成25年度体力・運動能力調査報告書.
- Sakurai, S. and Miyashita, M. (1983) Developmental aspects of overarm throwing related to age and sex. *Human Movement Science*, 2: 67-76.
- Wild, M., R. (1938) The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development

in children, *Research Quarterly*, 9: 20-24.

Wells, R., R. and Winter, D., A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological, and sporting gaits. *Human locomotion I*: 92-93.

Winter, D., A. and Robertson, D., G. (1978) Joint torque and energy patterns in normal gate. *Biological Cybernetics*, 29: 137-142.

横井弘孝志・渋川侃二・阿江通良(1986)日本人幼少年の身体部分係数. *体育学研究*, 31 (1): 53-66.

連絡責任者

住所：〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1
東京大学駒場キャンパス9号館

氏名：木下 まどか

電話番号：03-5454-6851

E-mail：m.kinoshita@idaten.c.u-tokyo.ac.jp