

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17888

研究課題名（和文）力感やリズムの聴覚フィードバックによる投動作の学習支援プログラムの開発

研究課題名（英文）The development of learning support program for throwing by auditory kinesthetic feedbacks

研究代表者

小林 裕央（Kobayashi, Hirofumi）

東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員

研究者番号：50782778

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は投動作中の力感やリズムといった運動感覚を可聴化して聴覚フィードバックする投動作の学習支援プログラムの開発を目指し、投動作の力感や制球力に関する神経筋制御機構を明らかにすることを目的とした。投球の正確性が高い熟練投手の特徴を調べた結果、体幹部や下肢は筋活動の再現性が高く、一方で投球腕においては筋活動のパラつきが大きかったことから投球の正確性が高い投手は身体部位によって異なる制御方略が行われていることが分かった。また、中等度と高強度で投球した際の筋活動パターンは異なり、力感によって筋活動の特徴が変わることも明らかとなった。今後はこれらの成果を踏まえ学習支援プログラムの開発を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

投動作の正確性を高める要因として再現性を高めること、そしてパラつくことで誤差修正を行うことがこれまでの研究で明らかにされていたが、これらはダーツや下手投げといった投球腕のみを対象とした報告だった。本研究では全身を使う野球の投動作を対象に検証を行った結果、身体部位によって安定性を高めるのか誤差修正を行うのかについて一部明らかにすることができ、投動作の正確性を検証する上で学術的に重要な知見が得られた。また、子供たちの投能力が低下傾向にあり、ボールを投げるのが苦手だったり嫌いになってしまっている子供たちに対して効果的な学習支援プログラムの開発に繋がる点で社会的意義もあると言える。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to investigate a neural mechanism underlying throwing effort and accuracy in baseball pitching by pursuing the development of a learning program for throwing which made auditory kinesthetic feedback. A research on the characteristics of skilled pitchers with high pitching accuracy revealed that their muscle activities in the trunk and lower extremity had high repeatability while those in their pitching arm varied widely, finding that those pitchers with high pitching accuracy employed a different control strategy by body part. It was also found that a muscle activity pattern was different between high-intensity pitching and middle-intensity pitching and that the characteristics of muscle activities varied depending on the level of throwing effort. Based on these study outcomes, the development of the learning program will be pursued from now on.

研究分野：運動制御

キーワード：投動作 筋活動 学習プログラム 神経筋制御 聴覚フィードバック

1. 研究開始当初の背景

投動作は発育発達期に習得する基本的運動技能のひとつだが、その動作は多様な協調運動を伴うため他の基本動作と比べてスキルの獲得が困難である。加えて、近年のライフスタイルの変化に伴って日常での投動作の学習機会が減少していることもあり、子供たちの投能力は低下の一途を辿っている。実際、研究開始当初の段階ではあるが、児童を対象とした新体力テストの結果では体力合計点が横ばいかやや向上していた中で、投能力の指標となるソフトボール投げの投距離は減少傾向を示していた。子供たちの体力・運動能力を総合的に向上させて健全な発育発達を実現するためにも、投動作を苦手とする人でも積極的かつ効果的に学習に取り組むことのできるプログラムの提供は社会的に極めて重要であり、その果たす貢献は大きい。

その具体的対策として、力感やリズムといった運動感覚を可聴化し、それを聴覚フィードバックすることで投動作の学習を促進させることができるのではと考えた。スキーマ理論にあるように、熟練者は運動感覚と遂行結果が統合された運動プログラムを構築することで卓越したパフォーマンスを発揮していると考えられている。一方、投動作を苦手とする人は投動作における運動感覚の欠如、そしてその意味付けや結果との統合が出来ないが故に、習熟が阻害されている可能性がある。運動イメージの学習にはその運動に関連する運動表象を持っているか否かが重要であるという報告も踏まえ、**“投動作の習熟に必要な運動感覚を知覚させる”**、あるいは**“投動作中の自身の運動感覚を知覚させ誤差修正を行わせる”**ことは、未熟練者が投動作を遂行するための運動プログラムの生成を促し、投動作の学習効果を高められる可能性がある。

2. 研究の目的

そこで本研究は、投動作中の力感やリズムといった運動感覚を可聴化し、聴覚フィードバックする投動作の学習支援プログラムの開発を目指し、投動作の力感や制球力に関する神経筋制御機構を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

研究は大きく4つの課題に分け、(1)発育に伴う投球の正確性の違いとその正確性に及ぼす投動作の影響、(2)投球の正確性と投動作の制御方略との関係性、(3)投球位置とリリース制御との関係性、(4)投球強度と投動作中の筋活動パターンとの関係性についてそれぞれ検証した。

(1) 発育に伴う投球の正確性の違いとその正確性に及ぼす投動作の影響

被験者は小学生投手から大学生投手までの合計78名とし、それぞれ小学生25名、中学生20名、高校生15名、大学生18名だった。被験者は外角低めに構えたキャッチャーミットを狙って直球を20球投球し、その際の投球位置をビデオカメラ(60 fps)を用いて撮影した。ビデオカメラはキャッチャーとピッチャー間に設置し、キャッチャーミットの位置を正面から撮影できるようにした。投球位置はオフラインでデジタイズした後、等確率楕円を用いて投球のバラツキの大きさや特徴について調べた(図1)。また、投球フォームについてはキャッチャーの後方からビデオカメラ(300 fps)で撮影し、リリース直前からフォロースルーにかけての投球腕の手首の位置をデジタイズして投球腕の軌道角度を算出した。

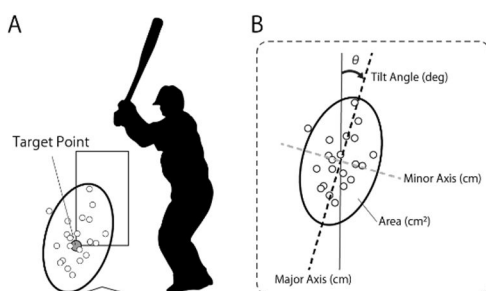


図1. 投球位置の分布から算出した等確率楕円

(2) 投球の正確性と投動作の制御方略との関係性

被験者は大学レベル以上の熟練投手11名とし、その中には元プロ野球投手2名も含まれていた。被験者には80%以上の投球強度で直球を20球、外角低めに構えられたキャッチャーミットめがけて投球してもらい、投球位置のバラつきは研究課題(1)と同様の方法で評価した。また、投球中の筋活動はワイヤレス筋電計を用いて計測した。被験筋は下肢、体幹部、投球腕の16筋とし、ボールリリース前190ミリ秒区間の筋活動を分析対象とし、その区間の筋活動のバラつきを変動係数(coefficient of variation: CV)を用いて評価した。ボールリリースの瞬間はハイスピードカメラを用いて投球腕を撮影し、球速はtrackmanを用いて計測した。

(3) 投球位置とリリース制御との関係性

被験者は元プロ野球投手を含む熟練投手7名とし、被験者には外角低めに構えたキャッチャーミットめがけて直球を20球、投球してもらった。球速や投球位置、そして各種リリース変数の測定はtrackmanを用いて計測し、投球位置のバラつきは研究課題(1)と同様の方法で評価

し、球速や各種リリース変数のうち、投球位置のバラつきを予測する因子を調べると共に、投球の正確性が高い投手とそうでない投手との間でリリース位置のバラつきにどのような違いがあるのかについて検証した。

(4) 投球強度と投動作中の筋活動パターンとの関係性

被験者は元プロ野球投手を含む大学以上の熟練投手 9 名とし、全力の 50 %、80 %、100 % で各 10 球、合計 30 球投球してもらった。投球は全て直球とした。投球中の筋活動は体幹部、肩、両上肢の 18 ヶ所から計測し、主成分分析やテンソル分析を用いて、投球強度間における筋活動協調パターンの共通性や個別性について検証した。

4. 研究成果

(1) 発育に伴う投球の正確性の違いとその正確性に及ぼす投動作の影響

図 2 は小学生、中学生、高校生、そして大学生投手の球速 (A)、等確率楕円の面積 (B)、等確率楕円の長軸長 (C)、短軸長 (D) を比較したものである。球速は年代が上がるにつれて有意に増加し、等確率楕円の面積および短軸長については小学生と中学生間および高校生と大学生間では有意な差はなかったが、高校生および大学生は小学生および中学生に比べて有意に面積が小さく、短軸長も短かった。一方、楕円の長軸長については群間で有意な差はなかった。

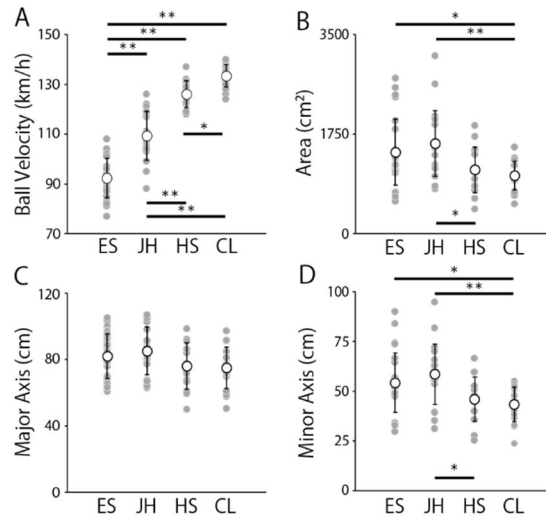


図 2. 球速および等確率楕円の面積、長軸長、短軸長の比較

また、投球腕の軌道角度のバラつきを標準偏差の値で比較した結果、小学生は他の群と比べて有意にバラつきが大きく、中学生も大学生と比べて有意に大きかった。中学生と高校生、高校生と大学生間では有意な差はなかった (図 3)。

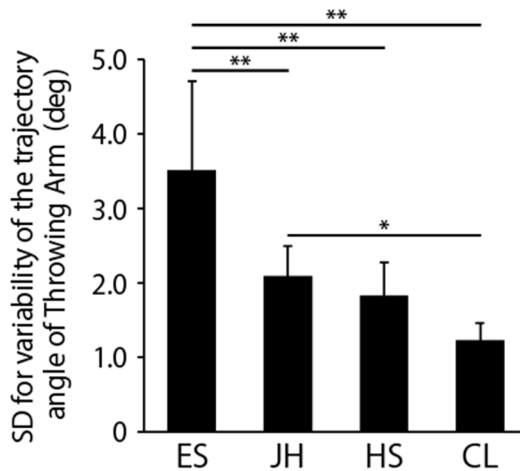


図 3. 各群における投球腕の軌道角度のバラつき

等確率楕円の面積は投球位置の分布から算出されたものであり、投球の正確性を示す指標として用いた。球速と同様に、投球の正確性も基本的には発育発達に伴い高まっていたが、中学生と高校生との間を境に有意な違いが見られた。また、等確率楕円の長軸長と短軸長では異なる傾向が見られ、短軸長でのみ有意な差が見られた。等確率楕円の長軸の傾きは投球腕の軌道と高い相関があることが報告されており、また、長軸の長さはボールリリースのタイミングのバラつきと関係性があると考えられている。本研究では長軸長に有意な差がなかったことから、年代間における投球の正確性の差は、ボールリリースのタイミングのバラつきの大きさが及ぼす影響は小さいことが示唆された。一方、短軸長においては面積と同様の傾向が示され、さらにそれに

連するように投球腕の軌道角度のバラつきにおいても年代が上がるにつれて小さくなった。等確率楕円の短軸長は投球フォームのバラつきが影響すると考えられており、投球腕の軌道角度のバラつきはその投球フォームのバラつきを間接的に示す結果から、発育発達に伴う投球の正確性の向上は投球フォームの安定性が高まることで実現されている可能性が示された結果となった。その一方で、被験者個々の比較をしてみると、小学生と中学生では等確率楕円の面積および短軸長において個人間での差が大きく、また、球速においては高校生以上の投手と肩を並べる小学生投手は存在しなかったが、投球の正確性においては高校生や大学生と遜色ない正確性の高さを示した小・中学生も存在した。このことは、投球の正確性に関与する神経系の発達が既に小学生や中学生の段階で高校生や大学生のトップレベルと同等となっている投手も存在することを示す結果であり、今後はその背後にある神経機序について明らかにしていきたい。

(2) 投球の正確性と投動作の制御方略との関係性

投球の正確性が高い投手はどのような制御方略を行っているのかについて迫るために、投球の正確性ならびに変動係数(CV)を用いた投球中の筋活動のバラつきとの関係性を相関分析を用いて検討した。その結果、投球の正確性(等確率楕円の面積)と非投球側(右投手の場合、左側)の外腹斜筋($r = 0.50$, $P = 0.12$)ならびに踏み込み脚(右投手の場合、左脚)の外側広筋($r = 0.48$, $P = 0.16$)のCVとの間には正の相関傾向が見られ、一方、投球の正確性と投球腕の尺側手根屈筋($r = -0.76$, $P < 0.01$)および上腕三頭筋($r = -0.74$, $P < 0.05$)のCVとの間には有意な負の相関が見られた(図4)。

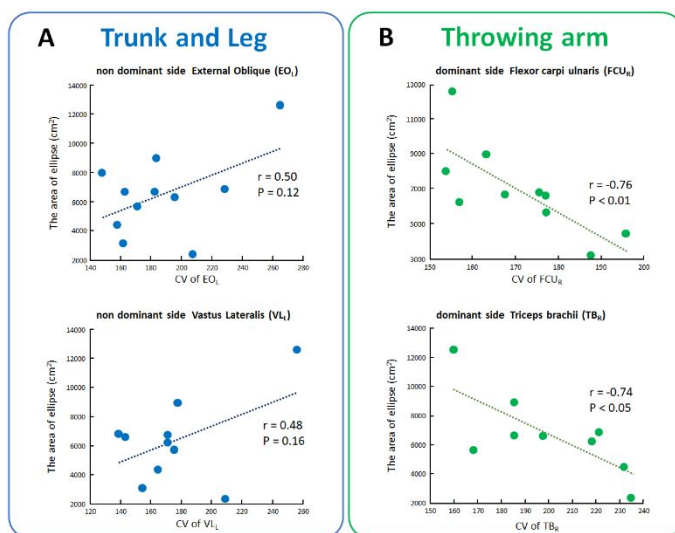


図4. 等確率楕円の面積と各筋の変動係数との関係性

有意差はなかったものの、投球の正確性が高い投手ほど体幹部の非投球側の外腹斜筋、および外側広筋のバラつきが小さかった。このことから、投球の正確性を高めるためには体幹部の回旋量や回旋のタイミング、および踏み込み脚の着地のタイミングを安定させることが重要であることが示唆される結果となった。一方、投球腕の肘関節の伸展および手関節の掌屈に関与する上腕三頭筋および尺側手根屈筋については投球の正確性が高い投手ほどむしろバラつきが大きかった。この結果は、熟練投手は投球の正確性を高めるために投球動作の開始からボールリリースまでに生じる誤差の修正を投球腕で行っている可能性を示唆するものであり、高い正確性を実現している投手は体幹部や下肢の動作を投球間で安定させ、一方それでも生じる誤差の微調整を投球腕で行うという制御方略があることが示唆される結果となった。

(3) 投球位置とリリース制御との関係性

上下方向における投球位置を決定するリリース変数を調べた結果、球速、投球軌道の投射角、水平角、回転数、回転軸角度、リリース位置上下、左右、前後のうち、球速および投射角が説明変数であることが明らかになった。この結果はダーツ投げを対象にリリース変数と到達位置との関係性を検証した先行研究と同様の結果であり、野球の投手においても投球位置の上下方向については球速および投射角が大きな決定要因であることが分かった。一方、リリース位置については投球位置との対応関係が弱いことが明らかとなり、研究課題1や2と関連する結果が得られた。実際、投球の正確性が高かった元プロ野球投手のリリース位置を調べた結果、他の投手と比べてリリース位置のバラつきが大きく、リリースの位置を一定にすることで狙ったところに正確に投げるというよりは、リリース位置を微調整することでボールリリースまでに生じた誤差を修正することで狙った位置に投球する方略を行っていたことが分かった。

(4) 投球強度と投動作中の筋活動パターンとの関係性

異なる投球強度間で共通する筋活動が見られるのかどうかについて検証した結果、50%とそ

れ以上の強度（80%、100%）との間でボールリリース前300ms区間において投球腕の前腕筋群や上腕二頭筋、そして三角筋に異なる筋活動パターンが見られた。一方、80%と100%の間ではボールリリースから400msよりも前の区間で筋活動パターンに違いが見られた。50%とそれ以上の強度との間で生じた筋活動パターンの違いは、投球腕をより加速させるために関与する筋群で見られ、これまでに明らかにされている投球強度の違いによって生じるキネマティクスやキネティクスと対応するような結果が得られた。その一方で、ボールリリースから400ms前の区間ではそれぞれの強度間で異なる筋活動パターンであること、そして個人間でも強度間の筋活動パターンの共通性や相違が異なることが分かった。

研究成果のまとめ

本研究は投動作中の力感やリズムといった運動感覚を可聴化し、聴覚フィードバックする投動作の学習支援プログラムの開発を目指し、投動作の力感や制球力に関する神経筋制御機構を明らかにすることを目的とした。研究期間中に実施した4つの研究を総合すると、投球の正確性が高い熟練投手の制御方略の特徴としては、体幹部や下肢については投球間での筋活動の再現性が高いこと、一方で投球腕の筋群においては投球間で筋活動のバラつきが大きいことが明らかとなり、体幹部や下肢はフォームの再現性を高くし、投球腕では生じた誤差を微調整する制御方略が行われていることが明らかとなった。この結果と対応するように、投球位置を決定するリリース変数についてシミュレーションを用いて検証した結果、投球位置の説明変数として球速と投射角度が挙げられた一方、リリース位置については投球位置と確固たる関係性がないことが分かった。また、発育発達に伴う投球の正確性の違いを調べた結果、投球フォームのバラつきの指標として比較した投球腕の軌道角度のバラつきが大きかった小学生は高校生や大学生投手よりも投球位置のバラつきが大きいことが明らかとなり、投球の正確性を高めるための制御方略を一部明らかにすることができた。また、力感に伴う筋活動パターンの共通性や違いを検証した結果、投球腕や肩の筋群においては50%とそれ以上の強度との間で異なるパターンが見られ、一方で80%と100%では共通の筋活動パターンが見られることが分かり、中程度の投球強度と高強度では筋活動パターンが異なるということが分かった。

これらの結果を踏まえ、熟練投手の力感や投球動作のリズムを可聴化し、それをフィードバックした際の学習効果を調べることを目標としていたが、実験の実施には至らず、また、筋活動やリリース変数とは別に、当初の研究計画では床反力計を用いて体重移動時の方略や地面反力のベクトルの特徴などを明らかにすることも検討していたが、こちらも実施には至らなかった。今後は、今回得られた研究成果に加えて上記の課題を検証し、さらに本研究を押し進めていき未熟練者が効果的に投動作を学習できるシステムの構築を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ogawa T, Kobayashi H, Kuwata M, Obata H, Shinya M, Ijiri T, Miki T, Nakazawa K	4. 巻 online
2. 論文標題 Cross-sectional comparison of the probabilistic structure in the distribution of pitching location among baseball pitchers of different ages	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/14763141.2020.1822908	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kusafuka A, Kobayashi H, Miki T, Kuwata M, Kudo K, Nakazawa K, Wakao S	4. 巻 2
2. 論文標題 Influence of Release Parameters on Pitch Location in Skilled Baseball Pitching	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Sports and Active Living	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fspor.2020.00036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nakanishi T, Nakagawa K, Kobayashi H, Kudo K, Nakazawa K	4. 巻 35
2. 論文標題 Specific Brain Reorganization Underlying Superior Upper Limb Motor Function After Spinal Cord Injury: A Multimodal MRI Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neurorehabilitation and Neural Repair	6. 最初と最後の頁 220-232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1545968321989347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hashimoto T, Takiyama K, Miki T, Kobayashi H, Nasu D, Ijiri T, Kuwata M, Kashino M, Nakazawa K	4. 巻 11
2. 論文標題 Effort-dependent effects on uniform and diverse muscle activity features in skilled pitching	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-87614-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nakanishi T, Kobayashi H, Obata H, Nakagawa K, Nakazawa K	4. 巻 237(12)
2. 論文標題 Remarkable Hand Grip Steadiness in Individuals With Complete Spinal Cord Injury	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 3175-3183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-019-05656-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Masumi Kuwata, Takeshi Miki, Daiki Nasu, Tetsuya Ijiri, Hirofumi Kobayashi, Kimitaka Nakazawa
2. 発表標題 Relationship between pitching accuracy and muscle activities in skilled baseball pitchers
3. 学会等名 ECSS (European College of Sports Science) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------