

縫い目の高さが野球投球時のボールグリップ力に与える影響

那須大毅¹⁾, 小幡哲史²⁾, 門田浩二³⁾, 松尾知之³⁾, 木下博³⁾

1) 立命館大学共通教育推進機構

2) 電気通信大学大学院情報システム学研究科

3) 大阪大学大学院医学系研究科

1. はじめに

野球の投手は、指先でボールを巧みに操り、高速かつ正確な投球を実現している。この時の投手の指先感覚は極めて繊細であり、ボールの表面の質感や縫い目の高さ、ボールの大きさなどのわずかな差に違和感を覚え、時には大きく制球を乱すことすらある。特にボールの縫い目は、触覚が密集した指先がじかに触れる部分であり、通常とは異なる縫い目のボールを投じることは、パフォーマンスに何らかの影響を与える可能性がある。しかしながら、そのようなボールの縫い目の違いが実際の投球に与える影響についての科学的な知見は一切得られていない。

投球動作は、ダイナミックな全身運動と手指の細かな運動を時間的かつ空間的に一致させる高度な運動である。特に、最終的なボール軌道はボールのリリース動作によって決まってくるため、手指制御の精度は投球パフォーマンスに大きな影響を与える。高精度なボールリリースを実現するためには、上肢の加速によって指とボールの間に生じる慣性力を事前に予測し、それに基づいて指の力を適切に制御する必要がある (Hore, Brien, & Watts, 1999; Hore & Watts, 2001, 2011)。したがって、投球動作の制御メカニズムを正しく理解し、選手や指導者への技術的な示唆につなげるためには、投球時に指に加わる力（以下、グリップ力）の様相を明らかにする必要がある。

Hore et al. (1999) は、指先に力覚計を貼付することで、投球グリップ力を計測した。しかしこの方法では、予測的制御の重要な手がかりであるはずの、指先から得られる触覚情報を阻害してしまう。そこで我々の研究グループは、硬式野球ボールの内部に軽量小型3軸力覚センサを埋め込んだボール（以下、センサーボール）を開発した (Kinoshita, Obata, Nasu, et al., 2014)。このボールを用いることで、指先の触覚情報を阻害することなく、投球グリップ力を計測することができる。

ボールの縫い目の高さの違いは、指とボールの間の摩擦抵抗の違いを生む。この摩擦抵抗の違いは、投球時の「すべり」や「ひっかかり」の原因になる可能性が高い。そのため、縫い目の高さが異なるボールの投球が、グリップ力の様相をどのように変化させるのかを知ることは、「すべり」や「ひっかかり」のメカニズムを知る手がかりになる。そこで本研究では、縫い目の高さが異なるボールを投じた際の指の力発揮の違いを明らかにするために、通常の縫い目 (Normal seam)、高い縫い目 (High seam)、縫い目なし (No seam) のボールを投じた際の投球グリップ力を比較する。

2. 研究方法

2.1 実験概要

実験参加者は、硬式野球の投手経験者 5 名とした（年齢： 22.2 ± 1.0 歳，身長： 179.2 ± 5.0 cm，体重： 68.8 ± 4.3 kg，経験年数： 12.8 ± 2.3 年）。事前に口頭および書面で実験内容を説明し，書面による実験参加への同意を得た。本研究は，大阪大学大学院医学系研究科の倫理委員会の承認を得て実施された。

本実験では通常と同様のフォームでの投球を実施した。ただし，実験は実験室内で実施され，マウンドの傾斜およびスパイクの着用がない環境であった。参加者は，投球プレートから 4m 離れた位置に設置された投球ゲージに向かって投球した。投球ゲージの中間位，地面から 1.5m の高さに直径 10cm の円形の的を設置し，的の中央を狙って投じた。また，的の背後には，薄手の布を 3 枚吊るし，さらにその背後にはウレタン製のクッションを配置することで，衝突による力覚センサーの故障を防止した。

2.2 センサーボール（図 1）

投球グリップ力の計測には，硬式野球ボール（1BJBH11000，ミズノ社製）の内部に軽量小型の 3 軸力覚センサー（USL06-H5-500N-E，テック技販社製）を埋め込んだセンサーボールを使用した。一般的な直球の握りを想定し，ボール表面の示指が接触する箇所に直径 3 cm，深さ 3 cm の円柱状の穴を彫り，底面に配置したアルミプレート上に力覚センサーを固定した。ボールには 10 m の軽量ケーブルが配線されたが，ボールから 7 cm の部分がコネクタ構造になっており，ボールリリース直後，ボール側と投球碗に固定したケーブル側が簡単に分離できるようにした。専用アンプ（DSA-03A，テック技販社製）によって増幅した力データを，A/D 変換器を経由して，サンプリング周波数 2 kHz でコンピュータに取り込んだ。この際，アンプ内部に組み込まれた Butterworth デジタルフィルターを使用して，遮断周波数 200 Hz でデータを平滑化した。

グリップ力計測部位である示指が接触する表面部分（直径 3cm の円形）の条件を 3 種類用意した。1 つ目は通常の硬式野球ボールと同等の高さ 1mm の縫い目がある表面（Normal seam），2 つ目は高さ 2mm の縫い目がある表面（High seam），3 つ目は硬式野球ボール表面の縫い目のない革の部分（No seam）であった。



図 1 センサーボール

2.3 実験手順

参加者は、十分なウォーミングアップを行った後、3つの異なる表面を取り付けたセンサーボールを、正確かつ8割程度の力で投じるよう指示された。実験では、Normal, High, No seam 条件で各5球投じるセットを2セット、合計30球の投球を行った。セットごとの各条件の順番はランダムとし、被験者間でカウンターバランスをとった。また、ゲージ真横に設置したスピード計測器（SRA3000, スポーツレーダー社製）によって投球速度を計測した。被験者は、全ての条件の投球に対して、同じ力感で投げるように指示された。

2.4 データ解析

投球時のボールグリップ力の3軸方向の合力（Resultant force）は、通常、2峰性の波形になる（図2）。1つ目のピーク（P1）は、リリースの約45ms前に観測され、これは先行研究のデータを参考にすると、肩関節が最大外旋位に達する少し前の時間にあたる（Fleisig, Andrews, Diilman, et al., 1995; Fleisig, Barrentine, Zheng, et al., 1999）。2つ目のピーク（P2）は、リリースの約8ms前に観測される。また、グリップ力のボール表面接線方向への分力（Share force）は、リリースに向けて徐々に大きくなっていき、リリースの直前約5ms前にピークに達する（P3）。本研究では、これら3つのピークの大きさをグリップ力波形の特徴量として算出し、各条件間で比較した。

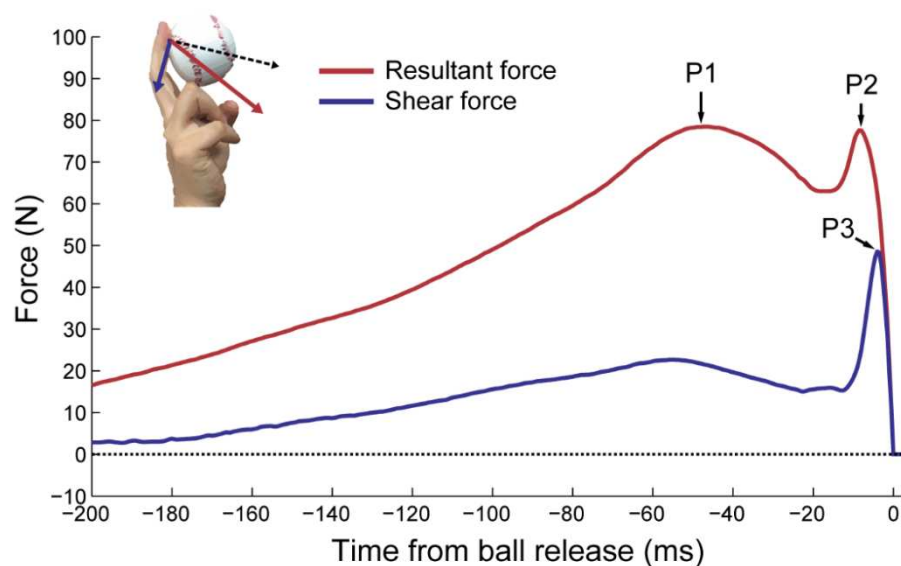


図 2 野球投球時のグリップ力波形 投球時に示指とボールの間に生じる力の典型例を示す（投球速度：87 km/h）。3軸方向の力の合力である Resultant force の第1（P1）、第2ピーク（P2）、およびボール接線2軸方向の力の合力である Share force のピーク（P3）の大きさを算出した。時間軸は、ボールリリース時点を0 msとした。

2.5 統計

投球速度およびグリップ力に表れる3つのピーク値（P1, P2, P3）を条件ごと（Normal, High, No seam 条件）に平均して個人の代表値とした。条件間の比較には Friedman 検定を用い、主効果が認められた要因について、事後検定として Tukey HSD 法を使用した。有意水準は5%未満とした。

3. 結果

3.1 投球速度

投球速度は、全体の平均 ± 標準偏差で 82.0 ± 8.7 km/h であった。3つの縫い目条件で比較した結果、投球速度に有意な差は認められなかった（図3）。被験者には、異なる条件であっても同じ力感で投じるように指示を与えており、条件間で差がないことが確認された。

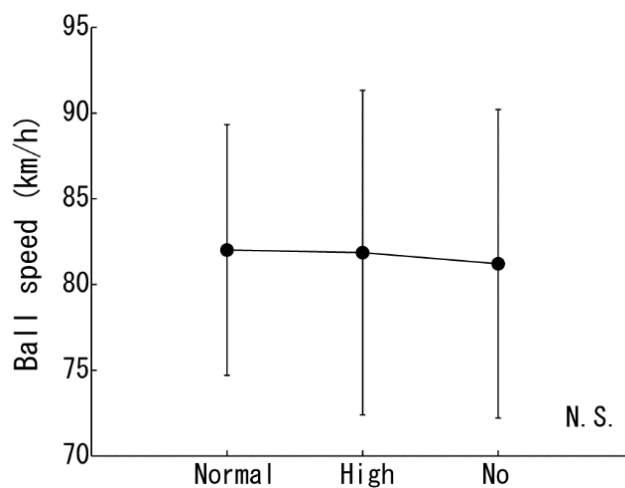


図3 投球速度の比較

3.2 グリップ力波形にみられるピークの大きさ

グリップ力波形に表れる3つのピーク値の全体平均は、P1, P2, P3それぞれ、 70.3 ± 10.4 N, 65.0 ± 9.6 N, 37.1 ± 8.4 Nであった。各値について、3つの縫い目条件で比較した結果、P1とP2では有意な差が認められなかった。しかし、P3では条件間で主効果が認められ、多重比較の結果、Normal seam条件とNo seam条件、High seam条件とNo seam条件でそれぞれ有意な差が認められた（図4）。

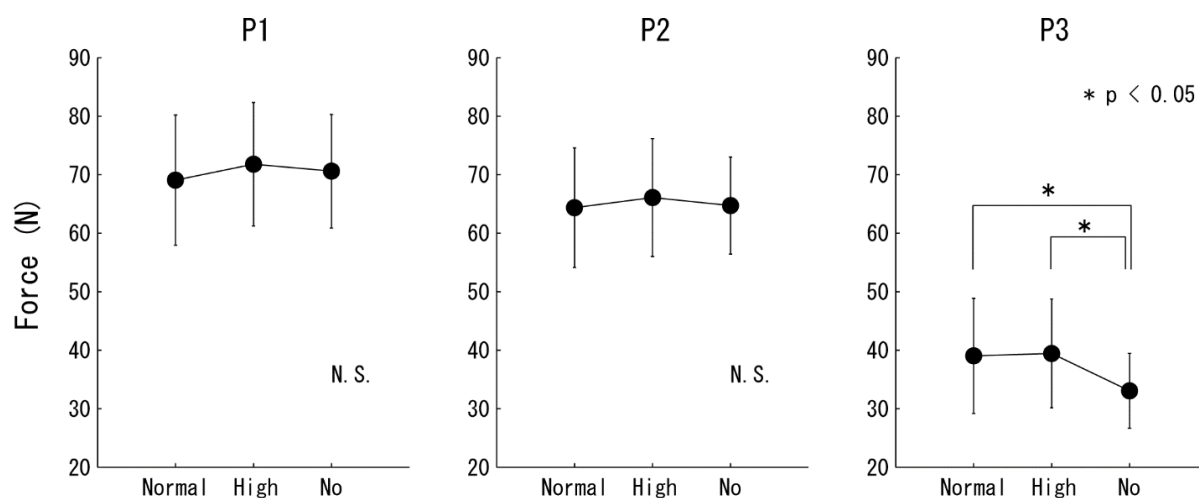


図4 グリップ力波形にみられるピーク値の比較

4. 考察

本研究の目的は、ボールの縫い目の高さの違いが野球投球時のボールグリップ力に与える影響を明らかにすることであった。そのために、投球時のグリップ力波形に表れる3つのピーク (P1, P2, P3) の大きさについて、縫い目の高さが異なるボールを投じた際の3つの条件 (Normal, High, No seam) で比較した。その結果、Shear force のピークである P3 の大きさにのみ有意な差が認められた。

Hore & Watts (2001) は、表面の材質 (摩擦抵抗) が異なるボールを投じた際に指に加わる一方の力 (Resultant force) を計測し、材質によってグリップ力に違いがみられないことを報告している。本研究でも、Resultant force の第1ピーク (P1) および第2ピーク (P2) では、条件間で差はないという結果であり、Hore らの結果を支持するものであった。しかし本研究では、Resultant force を分解した成分である Share force のピークに関して、No seam 条件が他の2つの条件と比べて値が小さいという結果が得られた。ボール表面の接線方向の力である Shear force は、リリースに向けてボールが指上を転がった後、最終局面でボールをひっかく時にピークに達すると考えられる。指をかける縫い目がない条件 (No seam 条件) では、縫い目のある他の2つの条件 (Normal, High seam 条件) と比べて、摩擦抵抗が極端に小さくなるため、ひっかく力の最大値 (P3) も小さくなっていったと考えられる。

この Share force の大きさが影響を与える投球のパフォーマンスは2つあると考えられる。1つ目は、ボールの回転数である。ボールの回転数が多いことは、初速と終速の差を小さくすることに繋がり、いわゆるキレのある球が投げられるため、野球の投球の重要な要素の1つである (Nagami, Higuchi, & Kanosue, 2013)。野球の投手は、リリースの局面でボールをひっかくことによってボールの回転を生み出すため、Share force が小さいことは、球の回転数の低下に直結する。2つ目は、コントロールへの影響である。もし仮に、通常のボールと同じように回転をかけようとして投球したにも関わらず、ひっかく力が小さかったとしたら、それは意図していたよりも早いタイミングでのリリースを生じさせてしまう。投球のコントロールに影響する最大の要因は、リリースのタイミングであると考えられている (Hore, Watts, Tweed, et al., 1996; Hore, Watts, & Tweed, 1996; Hore, Watts, Martin, et al., 1995)。特に野球の投球において、ストライクゾーンに正確に投球するためには、1-2ms もの精度でリリースタイミングを制御する必要があると言われており (Hore, Timmann, & Watts, 2002)、僅かなタイミングのずれがコントロールの乱れに直結する。Share force が通常と異なることは、リリースタイミングのずれを生じさせ、コントロールの低下を引き起こすかもしれない。

しかしながら、本研究で Share force に違いがみられたのは No seam 条件と他の2つの条件の間のみであり、縫い目の高さが異なる2つの条件 (Normal, High) 間には違いがみられなかった。通常、直球の投球において、投手が縫い目のないボールを投球することはないため、本研究の結果をそのまま投手の回転数やコントロールの低下に結びつけることは難しいかもしれない。ただし、雨でボールの摩擦抵抗が極端に低下した時や、野手が縫い目に指をかけられずに送球した際の「すっぽ抜け」を説明する1つの要因として考えることはできるだろう。

本研究の被験者の投球速度は、平均で約 82 km/h であり、8割程度の力感での投球であることを考慮したとしても、一般的な野球の投球速度としては小さな値である。これには、被験者の技術レベルがあまり高くなかった事に加えて、マウンドやスパイクの有無、実験室内での実施といった実験環境が影響した可能性が高い。また、グリップ力波形に表れる3つのピークの大きさに

関しても、Kinoshita et al. (2014) の研究（平均球速 117 km/h）で報告されている結果と比べると小さい値であった。各ピークが上肢の加速によって生じるボールからの反力を反映していることを考えると、ここにも投球速度の大きさが影響していた可能性が高い。技術レベルの高い投手は、縫い目の高さのようなボール条件の違いにも柔軟に対応する可能性がある。しかしその一方で、長年トレーニングを積んだ通常のボールに対して指の力制御が最適化されているために、僅かな違いがパフォーマンスの大きな低下を引き起こすかもしれない。これらの点について、今後さらに検証していきたい。

5. まとめ

本研究では、野球ボールの縫い目の高さが異なるボール（Normal, High, No seam 条件）を投球した際の、ボールグリップ力の違いを明らかにした。その結果、縫い目のない条件（No seam 条件）は、縫い目のある他の 2 つの条件（Normal, High seam 条件）と比べて、ボール接線方向への引っかく力（Share force）の最大値が小さいことが明らかとなった。このことは、投球におけるボール回転数やコントロールに影響する可能性があることが推察された。

参考文献

- Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Diilman, C. J., & Escamilla, R. F. (1995). Kinetics of Baseball Pitching with Implications About Injury Mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(2), 233–239.
- Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (1999). Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of Biomechanics*, 32(12), 1371–1375.
- Hore, J., Brien, M. O., & Watts, S. (1999). Prediction and Compensation by an Internal Model for Back Forces During Finger Opening in an Overarm Throw. *Journal of Neurophysiology*, 82, 1187–1197.
- Hore, J., Timmann, D., & Watts, S. (2002). Disorders in timing and force of finger opening in overarm throws made by cerebellar subjects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 978, 1–15.
- Hore, J., & Watts, S. (2001). Control of finger grip forces in overarm throws made by skilled throwers. *Journal of Neurophysiology*, 86(6), 2678–2689.
- Hore, J., & Watts, S. (2011). Skilled throwers use physics to time ball release to the nearest millisecond. *Journal of Neurophysiology*, 106(4), 2024–33.
- Hore, J., Watts, S., Martin, J., & Miller, B. (1995). Timing of finger opening and ball release in fast and accurate overarm throws. *Experimental Brain Research*, 103(2), 277–286.

- Hore, J., Watts, S., & Tweed, D. (1996). Errors in the control of joint rotations associated with inaccuracies in overarm throws. *Journal of Neurophysiology*, 75(3), 1013–1025.
- Hore, J., Watts, S., Tweed, D., & Miller, B. (1996). Overarm throws with the nondominant arm : kinematics of accuracy. *Journal of Neurophysiology*, 76(6), 3693–3704.
- Kinoshita, H., Obata, S., Nasu, D., Kadota, K., & Matsuo, T. (2014). Finger force during baseball pitching. *Proceedings of 32 International Conference of Biomechanics in Sports*, 126–129.
- Nagami, T., Higuchi, T., & Kanosue, K. (2013). How baseball spin influences the performance of a pitcher. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 2(1), 63–68.