

野球投球におけるボールリリース時の爪ひずみと 接触力の計測

齋 藤 健 治¹, 井 上 一 彦², 渡 辺 正 和³
井 上 伸 一⁴, 酒 井 淳 一¹, 竹 田 忠 紘⁵

要 旨

野球投球におけるボールリリース時のボールと指先との接触状態を分析するために、人差し指と中指の爪にひずみゲージを貼付する方法を用いた。それぞれの指の爪に四枚ずつ貼付し、実際の投球（ストリート、シュート、スライダー）だけでなく、ボールを握ったときや弾き出し（リリース模擬）たときの爪ひずみも計測した。実際の投球とボールの弾き出し試技での爪ひずみは、それぞれの被験者内で概ね同様の傾向であった。被験者間では爪ひずみの傾向に違いが認められた。それは、ひずみが大きい部位が異なること、そして球種が変わることによってその部位が変化するかどうかに違いがあること、という点であった。また、圧縮ひずみが大きかった部位のひずみとボール把持圧および投球スピードとの間に、相関関係が認められた。

キーワード：野球投球，ボールリリース，爪ひずみ，ひずみゲージ

はじめに

野球の投球動作に関する研究は、三次元画像分析手法の発展にともない数多く報告されてきた一方で [2, 7]，センサを用いた計測も種々行われてきた [3, 4, 6]。それらの成果は、下肢、体幹および上肢の運動学・力学分析であるが、それら関節運動のうち対象とされた末梢運動は、前腕の回内外や手首の掌背屈、橈尺屈で

ある。さらに末梢の指の運動を対象としたものは、高橋らの報告 [9] のみである。高橋らは、超高速カメラ（1,000fps）を用いて、投球時の指の動きを $0.6 \times 0.6 \times 0.4\text{m}$ の撮影範囲で追跡している。被験者毎にリリース位置が異なり、高速度運動する指を分析対象とすることは、容易でないことは明らかである。さらに、ボールリリース近辺の指とボールの接触、離球の状況を追跡することは、さらに困難がともなうこと

1 名古屋学院大学スポーツ健康学部

2 岩手県立大学共通教育センター

3 福岡大学スポーツ科学部

4 佐賀大学文化教育学部

5 慶応義塾大学名誉教授

Correspondence to: Kenji Saitou

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

Received 31 July, 2012

Accepted 7 September, 2012

は想像に難くない。

ボールリリースの状態は、それに至るまでの下肢、体幹および上肢の関節運動の集大成である。ボールリリースという局面は投球に熟練した野球選手にとって、ときとして必要以上と思えるほどそのときの感覚に敏感になるだけでなく、「これが投球のすべてである」と錯覚する選手がいるほど繊細で重要視される局面である。しかし、現段階では、ボールリリースのみで投球動作の善し悪しを決定することの妥当性も知見も見当たらない。これは、前述の理由に加え、投射されたボールの回転速度や回転軸の同定すら容易ではないという理由による。

著者らは、爪にひずみゲージを貼付することで、そのひずみからボールリリースを検出する方法を開発したが [5]、本研究では、さらに貼付ゲージ数を増やすとともに圧力センサも併用し、ボールリリース時の人差し指と中指の爪ひずみの状態から、ボールリリースの特徴抽出あるいは状態推定の可能性を検討した。

方 法

被験者

野球経験が10年以上の、大学野球部に所属する投手3名であった。

ひずみゲージ貼付

図1 (a) に、人差し指 (2nd finger) と中指 (3rd finger) の爪へのひずみゲージ (共和電業, KFG-1N-120-C1-11) の貼付の仕方について図示する。それぞれの爪に、図1 (b) に示すように十字状にゲージを貼付し、本研究では便宜上、東西南北を指すゲージをそれぞれE, W, S, Nと表した (爪の先がN, 爪の根がS)。

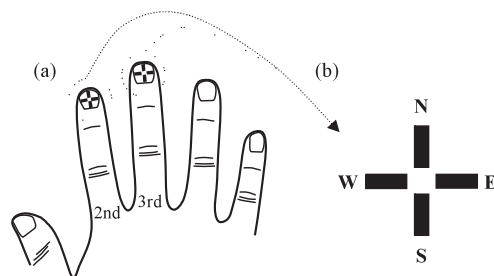


Fig. 1 Eight strain gauges were affixed on the nails of 2nd and 3rd fingers (a). Four strain gauges on each nail were expressed by north, west, east and south for distinguishing the location on each nail (b).

試技および計測

1) ボールはじき出し試技

被験者に、手に持った硬球をはじき出す試技を行わせた。つまり、実際の投球をイメージして、非投球側の指で支えた硬球を投球側の人差し指と中指でボールをはじき出し (回転させる, cut), 投球時のボールリリースをシミュレートさせた。このとき、いわゆるストレート straight 系の回転 (図2A), シュート shoot (screwball) 系の回転 (図2B), およびスライダー slider 系の回転 (図2C) の3種をそれぞれ

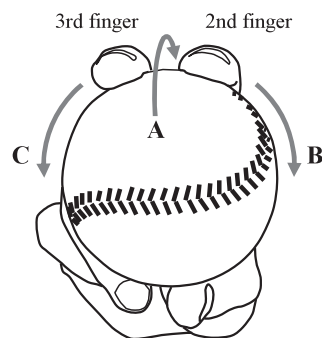


Fig. 2 Schematic depiction explains the trials of cutting ball in three directions indicated by three arrows A (straight), B (shoot) and C (slider) as the simulation of pitch. This is the case of right-handed pitcher.

5回ずつ行わせた（図は右投げの場合）。被験者にはできるだけ同じ強度で行うように指示した。

2) 投球試技

被験者に室内に設置している前方5mのネットに向かって、スピードを変えて10球投球させた。そして、その試技中の爪ひずみを計測した。投球の際には、スピードガンにより投球スピードを計測した。

3) ひずみと力の計測試技

ボールを握ったときに人差し指と中指の指先が当たる位置に圧力センサ（共和電業、PS-5KC）を貼付し、ボールを握ったときの圧力と爪ひずみの関係を調べた。チャンネル数の不足のため、ひずみゲージは両指のN、W、Eとなった。被験者には、ボールリリースに近い把持状態で、できるだけ素早くボールを握る試技を様々な力発揮で行わせた。試技回数は約10回であった。

2-3-4. 計測信号処理

ひずみゲージと圧力センサからの信号は、シグナルコンディショナを介して、サンプリング周波数1,000Hz、精度16bitでA/D変換しコンピュータに取り込んだ。

結 果

以下では、爪に貼付したひずみゲージの出力から、ボールリリースと考えられる波形ピーク時刻を1,000msとしたひずみ波形を1,500ms間示す（単位はマイクロひずみ $\mu\epsilon$ ）。5回の試技を破線で、その平均を太い実線で示している（被験者Aについてはデータの欠落あり）。すべての波形の基線レベルがひずみゼロの状態に相当し、それより下方の波形、すなわち負の値が爪表面の圧縮ひずみ compressive strain、正の値

が爪表面の引張りひずみ tensile strain である。

ボールのはじき出しと爪ひずみ

1) ストレート系のはじき出し

ストレート系においては、3被験者とも、両指Nにおいて圧縮ひずみを示したが（大きい指側でA：1,280 $\mu\epsilon$ 、B：2,900 $\mu\epsilon$ 、C：3,830 $\mu\epsilon$ ）、その他の部位では明確な共通点は見られなかった。人差し指Nより中指Nのひずみが大きい二人（被験者A、C）が中指Wにおいても大きな圧縮ひずみが見られた。被験者Bは両指W、Eにおいて、小さいながら引張りひずみが認められた（図3）。

2) シュート系のはじき出し

シュート系においては、ストレート系に比べ3被験者とも両指Nの圧縮ひずみが小さくなったが、ストレート系との大きな違いは認められなかった（図4）。

3) スライダー系のはじき出し

スライダー系においては、ストレート系に比べ両指Nの圧縮ひずみが減少し、Wにおける圧縮ひずみが増加した。被験者Cにおいては、とくに中指への依存度が大きくなった（N：2,950 $\mu\epsilon$ 、W：3,580 $\mu\epsilon$ ）（図5）。

投球時の爪ひずみ

1) ストレート投球

ストレート系のはじき出し（図3）と比較すると、被験者A、Cは中指優先の使い方、被験者Bは人差し指優先の使い方であるという点で類似していた（図6）。一方被験者AのNにおいて圧縮ひずみが見られなくなったことと被験者CのEにおいて大きな圧縮ひずみが認められた点で異なっていた。

2) シュート投球

シュート系のはじき出し（図4）と比較して、

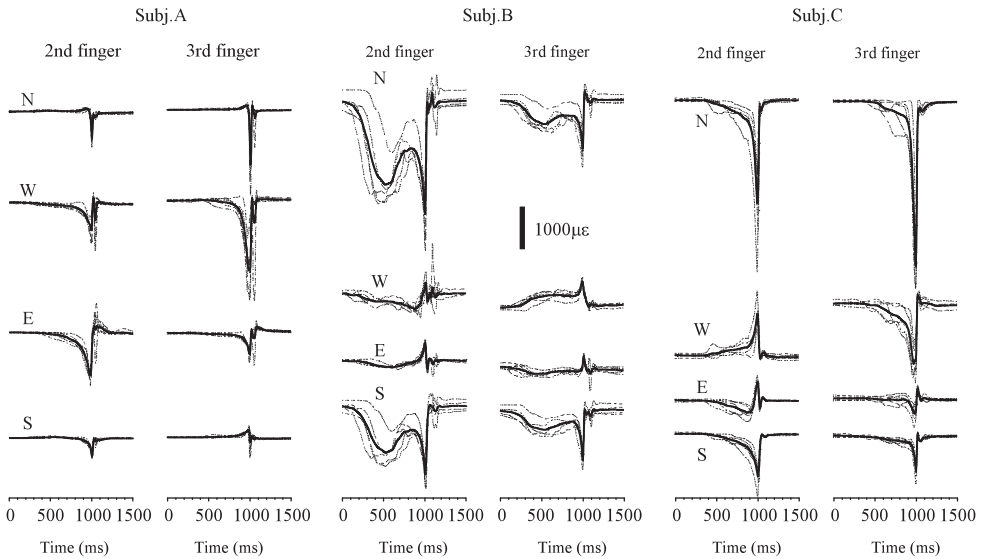


Fig. 3 The strains of nails during trials in which three subjects cut the ball by simulating straight ball pitch. The waveforms under the baseline indicate the compression strain and over the baseline indicate the tensile strain.

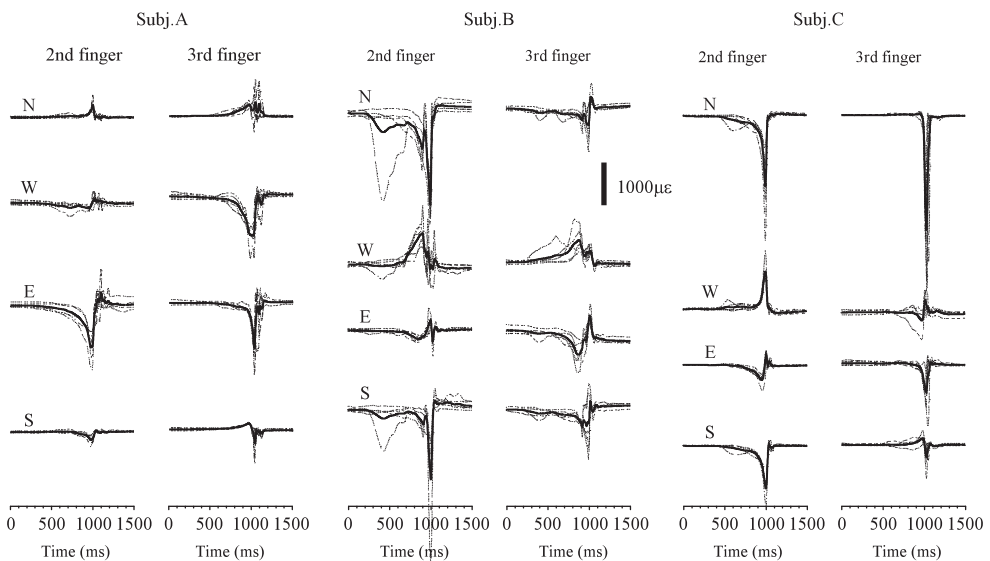


Fig. 4 The strains of nails during trials in which three subjects cut the ball by simulating shoot ball pitch. The waveforms under the baseline indicate the compression strain and over the baseline indicate the tensile strain.

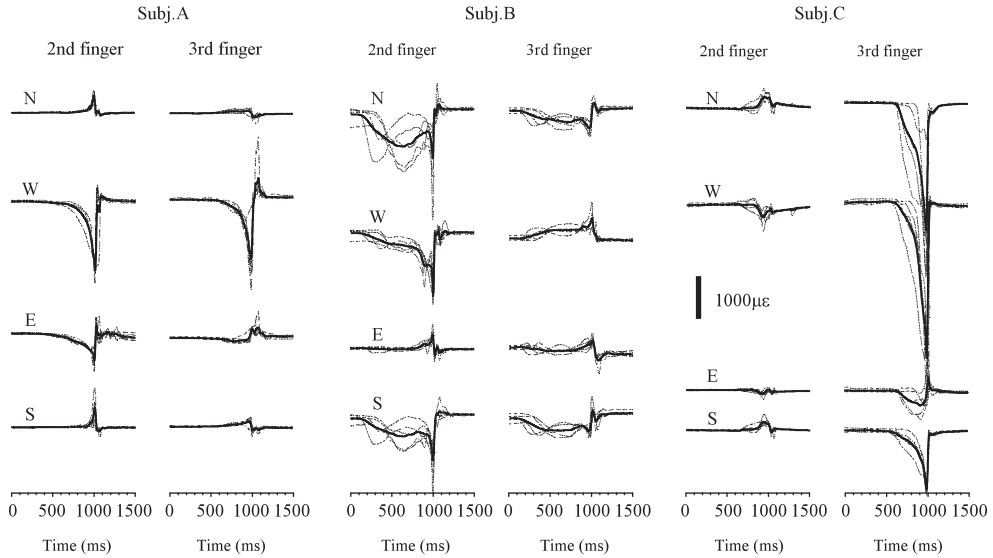


Fig. 5 The strains of nails during trials in which three subjects cut the ball by simulating slider ball pitch. The waveforms under the baseline indicate the compression strain and over the baseline indicate the tensile strain.

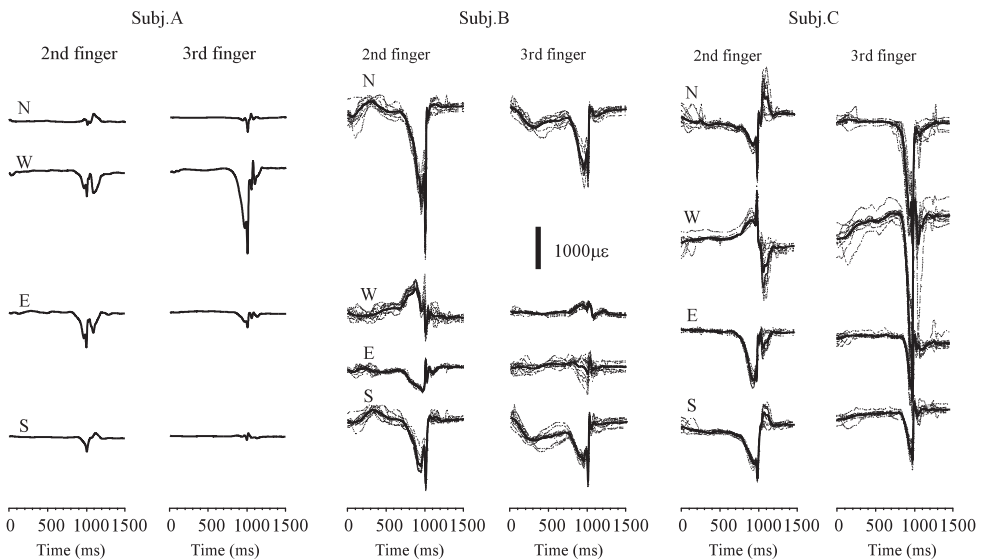


Fig. 6 The strains of nails when three subjects pitched straight ball. The waveforms under the baseline indicate the compression strain and over the baseline indicate the tensile strain.

概ね類似した傾向であった。ただし、その中で被験者CのW, E, Sにおいて圧縮ひずみが大きくなった(図7)。

3) スライダー投球

スライダー系のはじき出し(図5)と比較して、概ね類似した傾向であった。その中で、被験者Bにおいては人差し指、被験者Cにおいては中指がボールリリースに優先的に使われている点で顕著であった。また、シュート投球と比較して、被験者Bでは人差し指の使い方に差異があるのに対し、被験者Cでは、両指においてほとんど差異が認められなかった。

4) 投球時爪ひずみのまとめ

以上のような爪ひずみの強弱を、1) 強い圧縮ひずみ、2) 中程度圧縮ひずみ、3) 弱い圧縮ひずみあるいはひずみ無し、4) 引張ひずみの4段階に分け、図化したものを図9に示す。被験者Aでは、ストレート投球において中指Wに強い圧縮ひずみが認められるだけで、全体的に明確なひずみが認められないことが分かる。被験者Bでは、球種の違いによるひずみの傾向の差が出た。すなわち、ストレート投球では両指Nにおいて、シュート投球では人差し指Nにおいて、スライダー投球では人差し指N, W, Sにおいて強い圧縮ひずみが認められた。一方、被験者Cにおいては、球種の違いによる差異が認められなかった。

ボールの把持圧と爪ひずみの関係

ボールに貼付した圧力センサに対して加えた負荷と爪ひずみの関係は、相関関係が認められる部位とそうでない部位に分かれた。それは、ストレート投球時の圧縮ひずみ強弱の傾向と類似していた。すなわち、被験者Aの中指W($r^2 = 0.856$)、被験者Bの両指N($r^2 = 0.841$, 0.712)、被験者CのN($r^2 = 0.663$)、W($r^2 =$

0.711)に、ボールを押す力と爪ひずみの間に直線関係が認められた(図中破線楕円)(図10)。

投球スピードと爪ひずみの関係

投球スピードは、被験者Aが70~103km/h、被験者Bが97~113km/h、被験者Cが95~116km/hであった。投球スピードと爪ひずみの関係も、ストレート投球時の圧縮ひずみ強弱の傾向と類似していた。すなわち、被験者Bの両指N($r^2 = 0.696$, 0.537)、被験者CのW($r^2 = 0.914$)にボールスピードと爪ひずみの間に直線関係が認められた(図中破線楕円)(図11)。

考 察

ボールリリース時の爪圧縮ひずみと引張ひずみ

ボールのはじき出し試技においても投球試技においても、爪ひずみの様相には個人差があったが、大きな圧縮ひずみと部位によっては小さな引張ひずみが検出されたという点では共通していた。ボールを押すことによる反作用として、押し返される指先の爪には応力が発生し、爪の表面に張ったひずみゲージでそれを計測すると、圧縮ひずみとしてその応力が検出されることは概ね自明といえる。

それでは引張ひずみが検出されるメカニズムはどのようなものであるか。これには、爪の湾曲した形状が原因していると考えられる。ここでは図12に示すように、爪の一般的な形状として円筒表面の一部のようなモデルを考える。この湾曲した形状のものが下から外力を受けたとき、受けた近接部位は上に反り返り、その部位表面のひずみは圧縮を示す(爪裏側は引張ひずみ)。同時に、力を直接受けた部位の周囲部分では、圧縮部分と対照的に引張ひずみが生じ

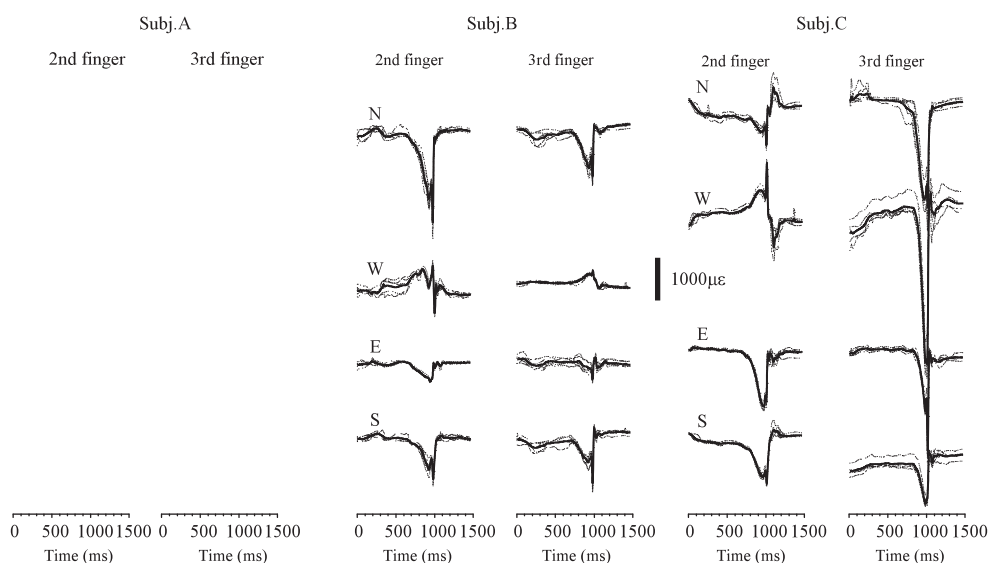


Fig. 7 The strains of nails when three subjects pitched shoot ball. The waveforms under the baseline indicate the compression strain and over the baseline indicate the tensile strain. No data about subject A.

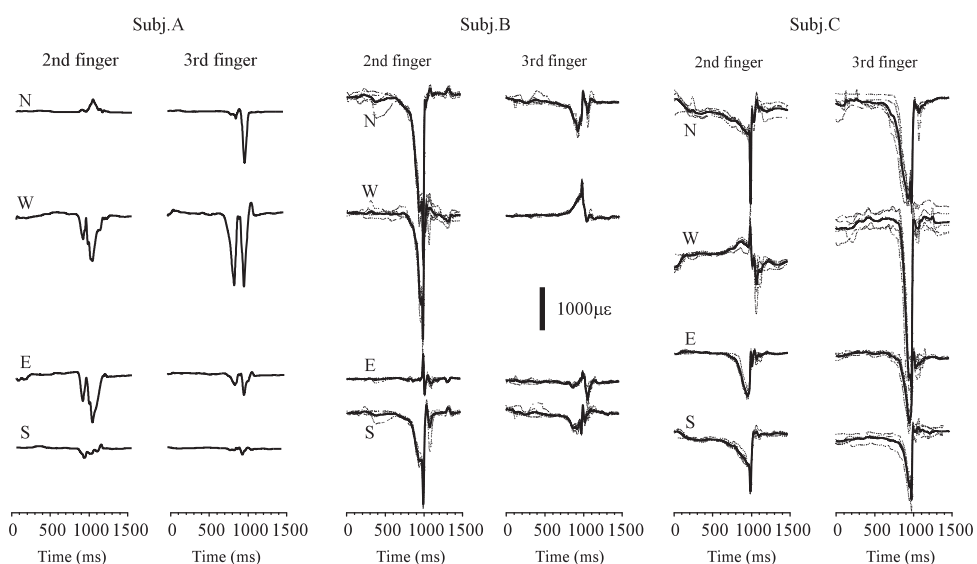


Fig. 8 The strains of nails when three subjects pitched slider ball. The waveforms under the baseline indicate the compression strain and over the baseline indicate the tensile strain.

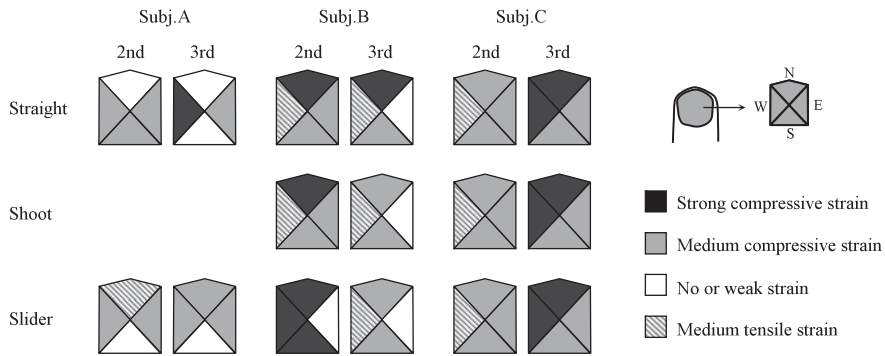


Fig. 9 Schematic depiction indicates the assessment on a scale of four levels which means rough difference from strong compressive strain to medium tensile strain for ease of understanding.

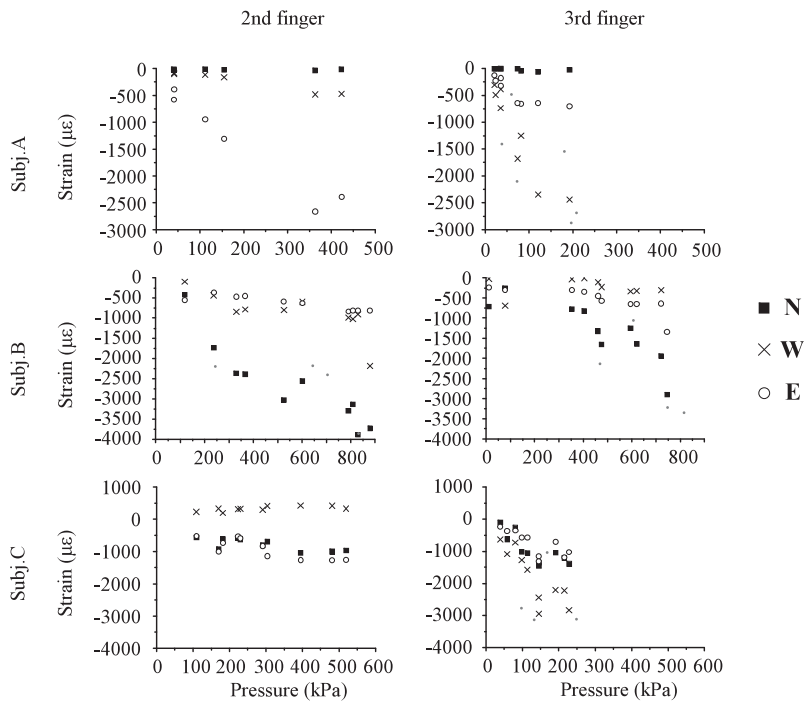


Fig. 10 The relationships between pressures and strains of nails when three subjects pinched a ball acutely by 2nd, 3rd fingers and thumb.

る。投球のボールリリースの瞬間にはこのような現象が生じていると考えられ、このような応力が野球選手、とくに投手に見られる「爪の割れ」の大きな原因であるとも考えられる。

ただし、このような現象の力を正確に定量す

る問題は、爪の材質特性としてのポアソン比やヤング率を知る必要があるだけでなく、形状や指軟部組織の影響も含めて非線形な材料力学的分析になり容易ではない。有限要素法などの数値計算法等を利用する必要がある。

野球投球におけるボールリリース時の爪ひずみと接触力の計測

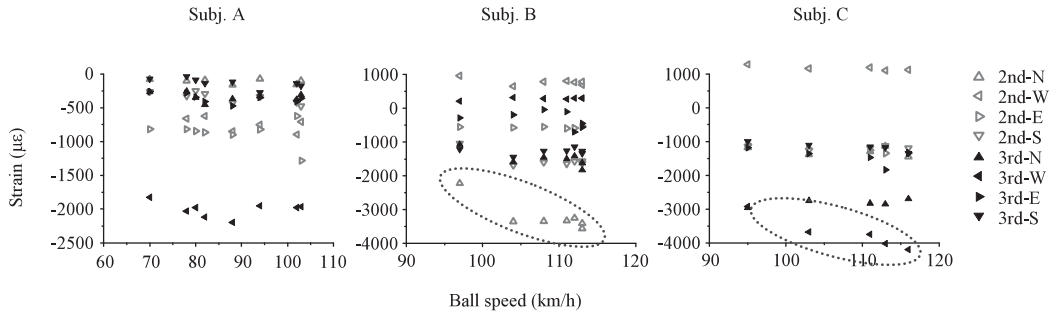


Fig. 11 The relationships between ball speed and strains of nails when three subjects pitched straight ball.

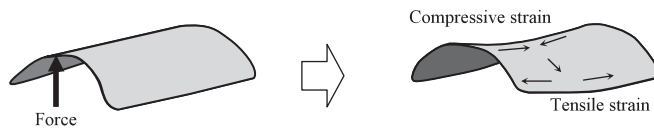


Fig. 12 An explanation of compressive and tensile strains which are caused at pushing the ball by fingertips.

投球種別と爪ひずみ

球種別に見たときの爪ひずみの特徴からは、球種を投げ分けるために必要なボールリリースの特徴が垣間見えた一方で、個人差も判明した。ボールに回転を与えるために必要なボールリリースを原理的に考えると、ストレート投球ではN側、シュート投球ではE側、スライダー投球ではW側に力がかかり、その部位に圧縮ひずみが検出されると予想された。

本研究ではサンプル数が少ないという欠点はあるものの、この予想に最も近かったのは被験者Bであった。ストレート投球では両指N、シュート投球では中指の影響を抑えた人差し指依存のボールリリース、スライダー投球では人差し指Wを中心とした人差し指依存のボールリリースであった。原理的に考えられた予想ほど明瞭ではないが、球種の投げ分けが爪ひずみにはっきり現れた。これに対し、被験者Cはすべての球種で中指N、Wの圧縮ひずみが大きく、球種間で差異が認められなかった。また、被験者Aについてはさらにサンプル数が少ないもの

の、概してNの圧縮ひずみが弱かった。

これらのような定量的な結果と、被験者の主観的な質的コメントの間には関連が認められた。被験者Cは、中指主体のボールリリースであり、「球種投げ分けにやや苦労している」ことが差異のない爪ひずみに現れたといえる。被験者Aでは、投球全般において「ボールリリース時の指の引っかかりが悪い」ことが爪ひずみに現れていた。この二人に比べ被験者Bは、球種の投げ分けに自信を持っており、ボールリリースにおける指の引っかかりが十分行われていることが爪ひずみにも現れていた。このようなことから、球種投げ分けのコーチングにおいて、爪ひずみのデータを補助的に利用する可能性については、さらにサンプル数を増やすなど検討の余地があるといえる。

ボールを押す力、投球スピードと爪ひずみ

圧力センサで計測したボールを押す力や投球スピードと爪ひずみの関係は、結果で述べたように直線関係が認められる部位とそうでない部

位に分かれた。これらは、投球時の圧縮ひずみの現れ方とも関連性があり、ボールリリースにおいてその部位が優先的・選択的に使われていることの現れである。

ボールを押す力は、原理的には三次元動作解析法と逆動力学解析法により求めることができるが、接触部位が指軟部組織であることと局所的・瞬間的であることから、簡単には求められない。そこで、本研究における手法や知見が、それら解析法の補助的手段になると期待できる。今後、接触力と爪ひずみとの関係をより正確に捉える試みや新たな計測手法の検討が必要になる [1, 8]。

投球スピードとの関係においても、さらに計測手段の拡張が望まれる。投球スピードは、投射された空中において時々刻々スピードを減じており、それにはボールの回転も影響している。とくに、「指先の引っかかり」とボールとの回転については、現場においても非常に興味のある問題であり、この点を含めて新たな計測手段が確立されれば、コーチング現場にも新たな知見として歓迎されるかも知れない。

謝 辞

本研究は、2009年度名古屋学院大学人間健康学部研究奨励金を受けて行った研究の一部である。

文 献

- [1] 前野隆司, 佐藤武彦. (2000) 爪のひずみを

利用した触覚センサ. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '00 講演論文集, 1A1-69-097

- [2] 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
- [3] 斎藤健治, 仰木裕嗣, 井上伸一, 市川 浩, 山岸正克, 宮地 力, 高井省三. (2002) 手首で計測した加速度による投球スピードの推定. 体育学研究, 47: 41-51
- [4] 斎藤健治, 松尾知之, 宮崎光次. (2006) 野球オーバーハンド投球における上肢・上肢帯筋活動の表面筋電図分析. 体育学研究, 51: 351-365
- [5] 齋藤健治, 渡辺正和, 井上一彦, 井上伸一, 酒井淳一, 竹田忠紘. (2011) 野球投球における上肢・体幹運動の慣性センサ計測. 名古屋学院大学論集 人文・自然科学篇, 48: 33-48
- [6] 齋藤健治, 井上一彦, 井上伸一. (2012) 加速度センサにより計測した野球投球時の体幹および前腕の運動と投球スピードとの関係. 人間工学, 48: 40-47
- [7] 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本 敦, 豊島進太郎. (1990) 野球の投手の投動作の3次元動作解析. 体育学研究, 35: 143-156
- [8] 白井雅憲, 多田充徳, 高野太刀雄, 梅田和昇. (2005) 爪のひずみ情報を用いた指先接触力推定. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '05 講演論文集, 1P2-N-093
- [9] 高橋圭三, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志, 尾崎哲郎. (2000) 野球のピッチングにおける手および指の動きとボール速度増加の関係. バイオメカニクス研究, 4: 116-124

Strain of Nails and Contact Force Between Fingers and Ball at Ball-Release During Baseball Pitch

Kenji Saitou¹, Kazuhiko Inoue², Masakazu Watanabe³,
Shin-ichi Inoue⁴, Jun-ichi Sakai¹ and Tadahiro Takeda⁵

Abstract

In order to analyze the state of contact between fingertips and ball before and after ball-release of baseball pitch, strains of nails were measured with strain gauges affixed on nails of 2nd and 3rd fingers. The measurements of strains were executed during the simulation of the ball-release of straight ball, shoot ball and slider ball pitches, the pinch of ball, and the actual pitches. The characteristics of strain of nails before and after ball-release were clarified as the following. The strains of nails during the actual pitches and the simulation of ball-release had basically similar tendency in each subject. The portions of nails with large strain were different, and the tendency that the portions changed by changing the type of pitches were also different between the subjects. The strains of the portion at which compressive strains during actual pitches were larger correlated with the pressures of pinch and the ball-speeds.

Keywords : baseball pitch, ball-release, strain of nail, strain gauge

1 Faculty of Health and Sports, Nagoya Gakuin University

2 Center for Liberal Arts Education and Research, Iwate Prefectural University

3 Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

4 Faculty of Culture and Education, Saga University

5 Professor emeritus, Keio University