

野球選手における肘関節障害に関する研究  
—少年野球選手のボールサイズおよび握り方に着目して—

帝京平成大学大学院  
健康科学研究科健康科学専攻  
理学療法学分野

119M13302

田中 直樹

# 目次

## 論文要旨

### 第1章 序論

1-1	投球動作の概要	1
1-2	投球動作の相区分	2
1-3	投球動作のバイオメカニクス	3
1-4	論文の構成	4

### 第2章 野球選手の肘関節障害（投球肘障害）

2-1	投球障害の疫学	5
2-2	野球肘の発生機序	6
2-3	野球肘の予防	8
2-4	圧痛検査と外反ストレス検査による投球肘障害の新規発生に関する研究（研究1）	8
2-4-1	背景と目的	8
2-4-2	対象と方法	9
2-4-3	結果	11
2-4-4	考察	12
2-5	小括	12

### 第3章 野球選手のボールの握り方

3-1	成人野球選手の握り方	13
3-2	学童野球選手のボールの握り方と野球肘の関係（研究2）	14
3-2-1	背景と目的	14
3-2-2	対象	14
3-2-3	方法	15

3-2-4	結果	17
3-2-5	考察	18
3-3	小括	18
 <b>第4章 ボールサイズの変更による投球動作の変化</b>		
4-1	野球で使用するボールの規格	20
4-2	ボールサイズの変更による投球動作の変化(研究3)	20
4-2-1	背景と目的	20
4-2-2	方法	21
4-2-2-1	対象	21
4-2-2-2	使用ボールの作製	22
4-2-2-3	実験環境	22
4-2-2-4	反射マーカー貼付位置	24
4-2-2-5	実験手順	25
4-2-2-6	解析方法	25
4-2-3	結果	31
4-2-4	考察	33
4-3	小括	34
 <b>第5章 総括</b>		35
 <b>参考・引用文献</b>		37
 <b>研究成果</b>		42
 <b>謝辞</b>		43

## 第1章 序論

### 1-1. 投球動作の概要

動作 (motion) とは、仕事や課題を遂行する身体行動のことと表現され、動作に対して、動作を構成する身体部分の位置変化を運動 (movement) と呼び区別されている<sup>1)</sup>。動作は多数の関節運動より起こるが、関節運動自体は運動であり目的や目標を持つ動作や行為ではない。ヒトが行なうあるいはスポーツにおける投動作は、「なるべく遠くへ投げる」「的をめがけて投げる」「相手に渡す手段として投げる」といった目的を伴う動作である。ヒトがものを投げることが出来るのは、二足歩行であること、肩関節の可動域が大きいこと、母指の対立運動が可能であることなどの条件によるものとされており、さらに物を投げる際に適切なタイミングで対立した手指を離す技術は、幼児期以降の繰り返しによる修得が必要とされている<sup>2)</sup>。Wild<sup>3)</sup>は、幼児期からの成長と投動作について、①肘関節伸展と手関節屈曲のみ、②肩関節屈曲と体幹回旋が加わる、③投球側下肢の投球方向へのステップが起こる、④ステップ足が非投球側に変化し重心移動を伴う、の順で発達するとしている。また、スポーツにおける投動作は競技種目によって目的が異なり、構成する関節運動も異なってくる。陸上競技のやり投げや砲丸投げの投擲種目に代表されるように距離を競うもの、バスケットボールのシュートやダーツのように正確性を競うもの、野球やソフトボールの投球のように速さとともに正確性を求められるものに区別することができる。陸上競技の投擲種目では、ある程度の制限範囲はあるものの、目的は「距離」であり、距離を出すための速度と投射角度が必要である<sup>4)</sup>。この動作では全身のパワーをいかに投擲物に伝達するかが動作としての目標である。ダーツでは目標とする対象物は約 2m 先の点であり、肘関節以遠の関節運動に限定することで正確性を高めている。ここでの速度は正確性をより発揮できるための至適速度が選ばれる。一方で野球の投手が行なう投球では、約 18m 先の縦横およそ 40~60cm 内にコントロールすることが求められるが、同時に打者に打たせまいとする最大速度も求められる。野手では、走者の進塁を阻止するために数メートルから最大で約 80 メートルの距離を最大速度かつ極力コントロールされた位置へ投げることを求められる。

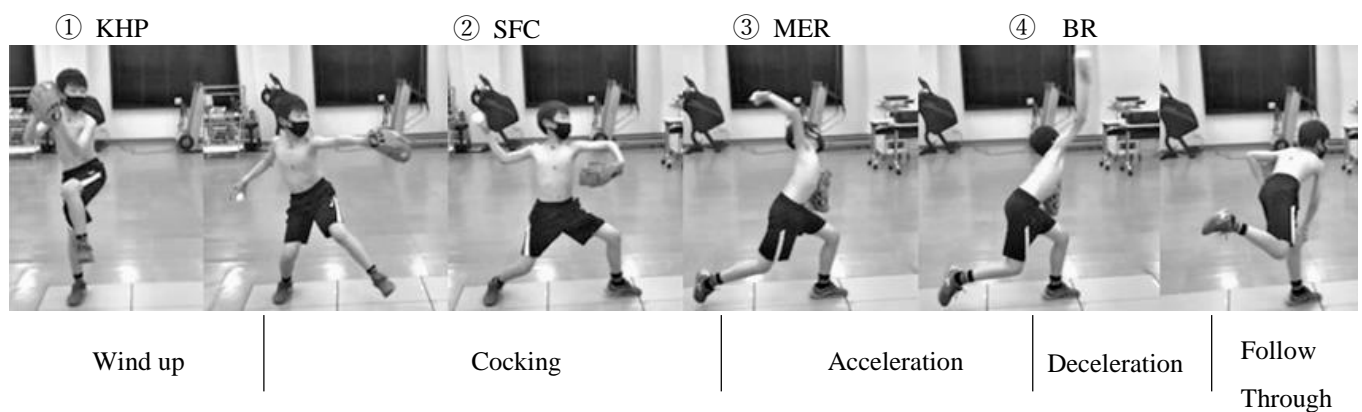
このように野球における投球動作は、全身を使い全力に近い努力度で更に正確性を要求される動作であり、相当の反復回数によって動作を習熟していく過程を経ることから、ボールへ力を伝達する最終効果器である投球側上肢の障害が多くなることは容易に予想される。また下肢・体幹から指先まで力を伝達するまでのいずれかの機能低下は、パフォーマンスの低下のみならず、障害発生の原因となり得る。

野球の投手における投球は、高さ 10 インチ (254mm) のピッチャーマウンドから行ない、投球距離は、リトルリーグで 14.02m、学童野球で 16m、中学生以上で 18.44m と規定されている。野手においては、捕球位置や送球する相手までの距離によって投射角度が毎球異なる。

本論文では、平坦な床面において、静止した立位の状態から動作を開始するピッチングやキャッチボールの動作を投球動作として扱い研究を進めた。なお、投球動作の相や各相の動作の特徴とバイオメカニクスを以下に説明する。

## 1-2. 投球動作の相区分

投球動作は、先行研究より①Wind up 期、②Cocking 期③Acceleration 期、④Deceleration 期、⑤Follow Through 期に分類される<sup>5)</sup>。また、各相において重要となるイベントについて、ステップ脚の膝が最も高く上がっている Knee Highest Position (KHP)、ステップ脚が床面に接した Stride Foot Contact (SFC)、投球側肩関節の最大外旋位を迎える Maximum Shoulder External Rotation (MER)、指尖からボールが離れる瞬間である Ball Release (BR) と定義されている<sup>6)</sup> (図 1)。



- ① KHP: Knee Highest Position: ステップ脚が最も高くなった位置
- ② SFC: Stride Foot Contact: ステップ脚が床面に接地した位置
- ③ MER: Maximum External Rotation: 投球側肩関節が最大外旋位を迎えた位置
- ④ BR: Ball Release: 指尖からボールが離れた位置

図 1: 投球動作の相区分

投球動作の相は、Wind up 期、Cocking 期、Acceleration 期、Deceleration 期、Follow Through 期に分けられる。また、動作中の重要なイベントには、①KHP ②SFC ③MER ④BR と名付けられている。

### 1-3. 投球動作のバイオメカニクス

投球動作における動作の特徴とバイオメカニクスについて各相について以下にまとめる。

Wind Up 期は、投球動作の最初の相で、軸脚（投球側）は股関節・膝関節が伸展位もしくは軽度屈曲位とした片脚立位をとり、ステップ脚の股関節・膝関節が屈曲することで投球動作中の位置エネルギーが最も高い相である。Wind Up 期の立位姿勢が安定していることが重要で、体幹機能や下肢筋の柔軟性が必要であると報告されている<sup>7)</sup>。

Cocking 期は、投球側上肢を Cock up（上に向ける）する相である。投球側上肢を上方に振り上げる一方で、投球側上肢が投球方向から最も離れる相である。下肢では、Wind up 期における高くなった位置エネルギーを、両股関節が投球方向に向けて外転することで身体重心を投球方向および下方へ移動させる。成長期野球選手におけるステップ幅は身長 $66-85\%$ とされている<sup>8)</sup>。Cocking 開始から SFC に至るまでは、軸脚股関節周囲の筋活動では中殿筋が  $45\%MVC$  と最も高く、Cocking の後半では徐々に骨盤が投球方向へ回転していくのと同時に投球方向への推進力を大腿二頭筋が股関節伸展作用として働き  $80\%MVC$  を越える高い筋活動となることが確認されている<sup>9)</sup>。SFC 直後は、ステップ足床反力が非投球方向へ約  $25^\circ$  傾斜し、床反力は投球速度と強い相関がある<sup>10)</sup>。股関節・膝関節・足関節の各筋が等尺性に高い筋活動を示し、大殿筋・内側広筋・腓腹筋が最も活動するタイミングである。投球側上肢は、SFC に至るまでに、肩関節の外転と水平外転を生じる。成長期野球選手では、SFC で肩関節外転角度が  $78-95^\circ$ 、水平外転が  $18-30^\circ$  と報告されている<sup>8)</sup>。

Acceleration 期は、BR に向けて上肢の角速度・関節間力・関節トルクが最大になる相である。身体重心は投球方向に向け並進運動が確認される<sup>11)</sup>。Acceleration 期の前半では、体幹は脊柱起立筋の遠心性収縮を生じながら軸脚股関節とともに伸展し、肩甲骨の後傾、肩関節の外旋が起こる。体幹・股関節の伸展と肩関節の外旋が最大を迎える MER が投球方向へ向けた力を発揮するための最終準備期間となる。MER における胸椎伸展角度は  $17.8^\circ$ 、肩甲骨後傾斜は  $39.4^\circ$ 、肩関節外旋角度は  $98.4^\circ$  とされている<sup>12)</sup>。Acceleration 期における肩関節内旋角速度は成長期で約  $6900\text{deg/s}$ 、プロ野球選手で約  $7200\text{deg/s}$ 、肘関節伸展角速度は成長期野球選手で約  $2200\text{deg/s}$ 、プロ野球選手で約  $2300\text{deg/s}$  である<sup>13)</sup>。また、肩関節前方剪断力は最大で  $436\text{N}$ 、肘関節屈曲トルクは最大  $72\text{N}^{14)}$ 、肘関節内反トルクは成人野球選手で約  $60-82\text{Nm}$  とされている<sup>15)16)</sup>。MER では、投球方向とは逆方向へ向かうエネルギーを溜めるために肩関節外旋・肩関節水平外転などの後方への運動が最大を迎え、そこから上肢の運動方向は急激に肩関節内旋に切り替わり BR にかけて負荷が最大となることから、この Acceleration 期における投球障害が最も高頻度である。

Deceleration 期では、BR 後より肩関節が最大内旋角度を迎え、上肢の筋群は遠心性収縮により減速をする。肩関節・肘関節にはいずれも牽引ストレスが生じ  $1000\text{N}$  を超える関節力が働く<sup>14)</sup>。また、肩関節伸展・内旋・水平内転運動を急激に減速することから棘下筋・小円筋・三角筋後部線維などの肩関節後方筋群の筋活動が高くなる<sup>17)</sup>。この相において遠心性の負荷が加わった肩関節後方筋群のタイトネスや機能低下が Cocking 期や Acceleration 期における動作不良を招くため、投球の目的である BR を迎えた後も重要視すべき相と考えられる。体幹・下肢では、上肢の振りとともに体幹が非投球側に回転するため、相対的にステップ脚股関節が内旋位をとる。

## 1-4. 論文の構成

本論文では、野球選手における肘関節障害に関する研究と題し、とくに少年野球選手の肘関節障害についてこれまでに検証されてこなかった使用するボールのサイズやボールの握り方について着目して論じる。

第1章では、投球動作について、まず本論文で扱う動作の定義と、投球動作の相区分を説明した。次いで投球動作のバイオメカニクスについて各相における関節運動と運動力学的観点から解説し、投球動作における各関節が生み出すエネルギーとボールをリリースするための要素を解説した。また、各相における運動学・運動力学データについて先行研究をもとに論じた。

第2章では、投球動作によって生じる障害について肘関節障害を中心にまとめ、投球肘障害の発生に関する疫学と投球肘障害発生のメカニズムを解説する。そして、研究1では、罹患率の高い成長期野球選手の投球時肘内側部痛の新規発生について圧痛検査と外反ストレス検査結果から潜在的な野球肘の罹患者数と簡便な検査の有用性についてまとめる。

第3章では、野球選手のボールの握り方と投球時肩・肘痛既往の関係について論じる。ボールの握り方については、これまで母指の位置のみでしか判断されてこなかったため、学童野球選手のボールの手長およびMP関節に焦点をあてた握り方の調査と投球時肩・肘痛既往について検討することでボールの握り方に影響する因子や投球肘障害との関係を明らかにする。

第4章では、同重量でサイズの異なるボールを投球した際の投球動作と肘関節トルクの結果から、成長期野球選手が使用するボールサイズについての提言を論ずる。

研究の新規性は、第2章の研究1においては、投球時肘内側部痛既往の無い少年期野球選手の肘関節の理学所見から翌年までの投球時肘内側部痛発生について、詳細な圧痛検査と定量負荷の外反ストレス検査の有用性と投球時肘内側部痛新規発生について検討したこと、研究2・研究3については、野球選手のボールの握り方について手長やMP関節の関与を考慮し検証したことと、手長とボールサイズの関係性を考慮し、通常より小さいボールを用いた投球動作による動作と関節負荷を検討したことである。

これらの研究によって、これまでに解明されてこなかったボールの握り方を構成する要素やボールサイズの変更によって成長期野球選手の肘関節障害予防となるかを明らかにすることを目的とした論文である。

## 第2章 成長期野球選手の肘関節障害（投球肘障害）について

### 2-1. 成長期野球選手における投球障害の疫学

野球選手における投球障害は、ボールを投げる過程において身体のいずれかの部位に疼痛もしくは不安定感、器質的変化を認めるものである。一般的には、「野球肩」「野球肘」と呼称されるが、本論文では、投球動作中に生じた肩関節および肘関節の障害を「投球肩障害」「投球肘障害」とする。また、公益財団法人全日本軟式野球連盟に加入する各都道府県軟式野球連盟の学童部（小学生）の選手を「学童野球選手」、リトルリーグ国際本部（米国）ならびに公益財団法人日本リトルリーグ野球協会に加盟し硬式野球ボールを使用している選手を「リトルリーグ野球選手」、成長期の8歳から14歳までの野球選手を「成長期野球選手」とする。

動作の特性上、上肢とくに肩関節と肘関節の障害が多く、成長期野球選手では、下肢・体幹から上肢へエネルギーを伝達することができず、肩関節や肘関節に依存した動作となっていることから障害の発生の高さが考察されている<sup>18)</sup>。Sakataは、学童野球選手の調査において、投球肩障害で0.6/1000 Athlete Exposures、投球肘障害で1.5/1000 Athlete Exposuresであったと報告している<sup>19)</sup>。また、中学野球選手における調査では、約50%に肩や肘の痛みの経験があると報告されている<sup>20)</sup>。

成長期の投球肩関節障害では、MERにおける上腕骨にかかる急激な回旋トルクと牽引力が上腕骨頭の成長軟骨板に加わることで生じる Little League Shoulder と呼ばれる上腕骨近位骨端線障害が多い<sup>21) 22)</sup>。

投球肘障害においては、10-11歳での発生が最も多く、内訳は肘関節内側障害が9割以上を占め、そのうち骨端線未閉鎖の上腕骨内側上顆下端障害が7割以上であると言われている<sup>23) 24)</sup>。成長期投球肘障害のリスクファクターとしては、環境面において、練習頻度が高いこと<sup>25)</sup>、投球量が多いこと<sup>26)</sup>、ポジション別で投手と捕手で肩関節・肘関節障害が多いことが多くの研究から明らかになっている<sup>27)</sup>。身体機能面では、肩関節外旋可動域低下・肩関節内旋可動域の左右差<sup>28)</sup>、ステップ脚関節内旋可動域低下などが挙げられる<sup>29)</sup>。

頻度が最も高い上腕骨内側上顆下端障害については、完治までに4-6か月を要し、十分な治療期間を経ずに骨癒合が得られずに全力投球を行なった場合は、再発や将来的な靱帯損傷のリスクが報告されている<sup>30)31)32)</sup>。また、骨癒合を目的とした固定を用いた場合は骨癒合率98.9%、非固定では66.4%にとどまる。外側型の野球肘と呼ばれる上腕骨小頭離断性骨軟骨炎では、発生頻度は全体の約2%と低いが<sup>33)</sup>、初期では自覚症状がほとんどなく、初診時に分離後期以降に進行している場合は保存療法の無効率が78%で自家骨軟骨移植などの手術適応と判断されるため、競技の長期離脱を余儀なくされる<sup>34) 35)</sup>。また、予後に関する先行研究では、川野<sup>36)</sup>や岩間<sup>37)</sup>が、疼痛の再発率についてそれぞれ55.8%、67%と高い再発率を報告している。

中野らは成人野球選手の肘障害群のうち、成長期に投球肘障害の既往があるのは47%とし<sup>38)</sup>、成長期の投球肘障害の発生は成人期以降にも影響することが報告されている。これらのことから成長期の投球肘障害の潜在的な罹患の解明と予防が重要であると考えられる。



## 2-2. 投球肘障害の発生機序

肘関節内側に付着する筋の影響について、Brogdon<sup>39)</sup>は、上腕骨内側上顆の障害について、手関節屈筋群・前腕回内筋群の牽引により内側上顆骨端核が裂離するとしている。Acceleration期では、BRに向けて肩関節内旋とともに急激な回内動作が生じ、BRでは下肢から体幹・上肢へと伝達されたエネルギーを指尖へ集束させることから橈側手根屈筋・尺側手根屈筋・深指屈筋・浅指屈筋などの手関節・手指屈筋群や円回内筋の収縮により上腕骨内側上顆への強い牽引ストレスが加わる。

Papas<sup>40)</sup>は、運動力学的観点より外力が持続的に加わることで局所的な血流障害が起こり、内側上顆下端の病変が生じるとしている。これらはいずれもAcceleration期におけるMERからBR直前にかけて最大となる肘関節外反方向のストレスによると考えられている。肘関節外反の強制により肘関節内側支持機構である尺側側副靭帯前斜走線維に張力が生じ、機能不全に至ると外反不安定性が増大する。理学療法をはじめとする保存療法において上腕骨内側上顆および尺側側副靭帯を補うために尺側手根屈筋や浅指屈筋のエクササイズが行なわれるが、尺側側副靭帯の不安定性が強い場合は疼痛改善の抵抗因子となる<sup>41)</sup>。

また、上腕骨小頭離断性骨軟骨炎は、骨端線閉鎖前の症例のほとんどに内側上顆の異常を認めることから内側障害が発生し、次に外側障害が発生すると考えられている<sup>42)</sup>。一方で上腕骨小頭の病変部位が中央部の場合は、肘関節外反弛緩性が増大せず、BR手前での急激な前腕回外運動による上腕骨小頭と橈骨頭との圧迫と摩擦によるとしている報告もある<sup>43)</sup>。これらの肘関節障害の原因として、肩関節内旋可動域低下や股関節回旋可動域低下が挙げられ、いずれも肘関節外反方向へのストレスを増大させる因子<sup>44) 45)</sup>として考えられているが、単一の関節可動域と肘関節障害の関係については否定的な報告もある<sup>46)</sup>。

投球動作の不良による肘関節への影響については、信原<sup>11)</sup>が提唱するThrowing planeの分類のSingle planeを軸に考えると、上肢加速方向と肘関節の伸展方向が一致することで肘関節外反方向へのストレスを軽減することができる(図2)。よってSingle planeをとるような脊柱・肩甲骨関節・肩関節・股関節の動きをチェックすることが望ましいと考えられる。具体的には、胸椎を中心とした体幹伸展、肩甲骨内転・上方回旋・後傾、肩関節外旋、股関節内旋の可動域制限が不良動作を招くと考えられる。しかし動作不良と投球肘障害発生の関係が明らかになりつつある一方で、動作自体の修正は容易ではない。肩関節・脊柱・股関節などの関節可動域制限が動作を阻害している場合は対象となる関節や短縮筋の改善にかかる期間や適切な改善方法の指導が求められる。また、関節可動性に問題がなく動作自体を修正する場合は、口頭指示や模倣の限界、さらに選手が全力投球する際でも反映することができるような自動化までの期間について考慮が必要である。

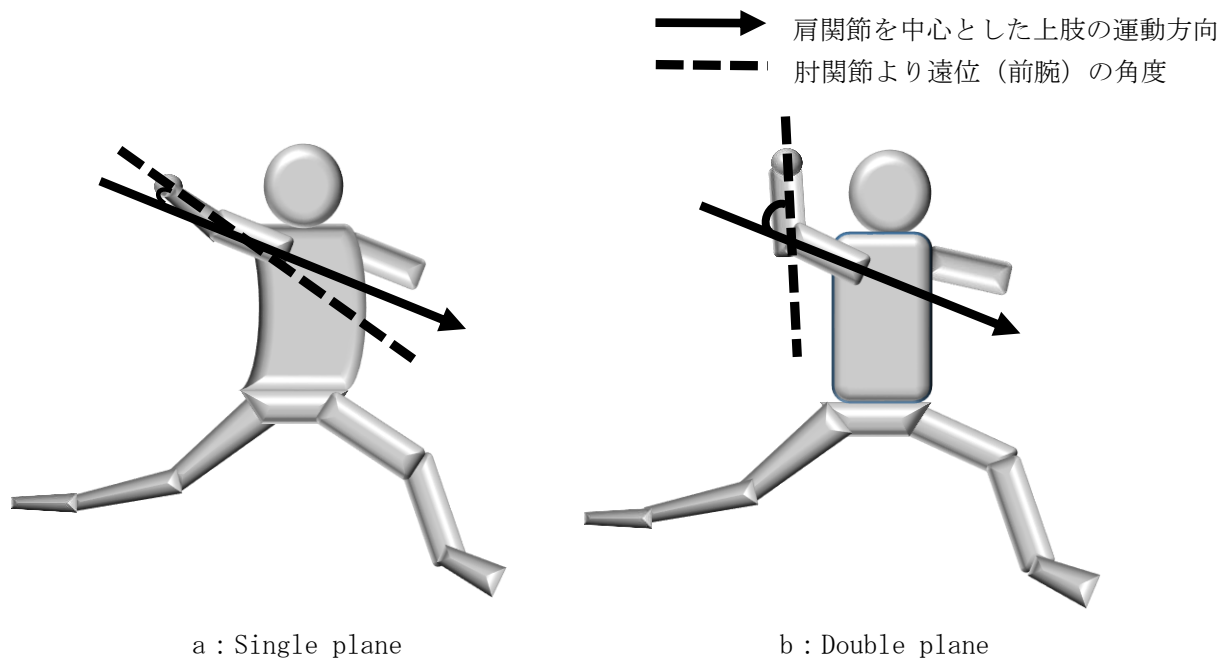


図 2 : Throwing Plane

- a : Single Plane では上肢の運動方向と前腕角度の差が小さく、肘関節内側へのストレスが少ない
- b : Double Plane では上肢の運動方向と前腕角度の差が大きく、肘関節内側へのストレスが大きい

## 2-3. 投球肘障害の予防

野球選手の投球障害予防の観点から、日本臨床スポーツ医学会は、高校生で全力投球数 100 球/日、500 球/週、中学生で 70 球/日、350 球/週を提言している。米国では、「Pitch Smart」と題して、8 歳以下から始まり 2-3 歳毎の年齢別の投球数について日・月・年の投球数や休暇に関するガイドラインを出している<sup>47)</sup>。吉本<sup>48)</sup>は、成長期野球選手の 75 球の投球数により肩関節内旋可動域が低下したとしている。平山<sup>49)</sup>は大学野球選手の 135 球の投球による変化で肩関節外旋角度・股関節伸展角度の減少など投球動作に重要な角度の減少を報告している。手固有のリスクファクターを抽出することは困難であるため、ルールとしての制限は有用であると考えられる。一方で、チーム練習以外での投球数の管理や遵守の割合については不明であり今後も検討が必要である。

Shitara ら<sup>50)</sup>は、高校野球選手が側臥位での肩関節内旋ストレッチ（スリーパーストレッチ）の効果を検証し、ストレッチを行なった群は投球障害発生率が減少した。成長期野球選手の投球障害予防として、Sakata<sup>19)</sup>は、Yokohama Baseball 9 (YKB-9) として 8-11 歳の学童野球選手に上下肢のストレッチングとエクササイズを各 9 種類行なうことで、障害発生率が減少したと報告している。これらの予防法については、指導者や保護者の認知度の拡大や継続率の向上について議論が必要であると考えられる。投球動作に限らずスポーツ活動中の傷害は、スポーツを行なう個人の筋力・柔軟性・形態・疲労・既往歴などで構成される内的要因と、スポーツを行なう器具・ルール・気温など選手を取り巻く環境による外的要因に分けられる<sup>51)</sup>。また、Meeuwisse<sup>52)</sup>が、スポーツ傷害の発生原因について、内的要因と外的要因は複雑に絡み合っているとしている一方で、野球選手における投球障害は内的要因について多く研究されてきたが、使用するボールなどの外的要因と投球障害についてはあまり研究されてきていない。

## 2-4. 圧痛検査と外反ストレス検査による投球肘障害の新規発生に関する研究(研究1)

### 2-4-1. 背景と目的

成長期野球選手において発生する投球肘障害は、ほとんどが内側に発生し<sup>23)</sup>、そのリスクファクターについて、肩関節・股関節機能、動作不良の影響が報告され<sup>44)</sup> <sup>45)</sup>、予防についても効果が検証されてきている<sup>19)</sup> <sup>49)</sup>。一方で、成長期野球選手の投球肘障害の発生件数は減少傾向にあるとは言えない<sup>53)</sup>。医療機関を受診した投球肘障害における内側障害の診断は、局所の圧痛・投球時痛・徒手による外反ストレス検査・画像診断により行われる<sup>54)</sup>。先行研究では、投球肘障害群と非障害群に分け、既往の有無から身体機能について検討されてきているが、投球肘障害の既往が無く、肘痛を有さない選手の肘関節の理学所見については報告されていない。潜在的な投球肘障害を早期発見することは予防的観点より重要と考えられるため、本研究では、投球肘障害の既往が無く投球時に肘痛を自覚していない選手の圧痛所見と外反ストレス検査の結果と翌年までの投球肘障害の新規発生について検証することを目的とした。また、愁訴を有さない選手が医療機関において医師の検査・診断を受けることは難しいため、医療機関外でも可能な、極力簡便な方法

を用い行なった。また、外反ストレス検査は徒手検査で行なわれきたため、ストレス強度の再現性に乏しく熟練が必要であるため、本研究では、簡便で再現性の高いと考えられる重錘による定量負荷とした。

## 2-4-2. 対象と方法

対象は、投球時の肘内側部痛の既往がなく、投球時に肘痛を自覚していない学童野球選手 104 名のうち 1 年後の検査にも参加した 61 名（男性 59 名、女性 2 名）であった。対象の内訳は、検査日の年齢は  $10.7 \pm 0.7$  歳、身長は初回検査日  $139.3 \pm 7.0$  cm、1 年後は  $147.1 \pm 7.3$  cm、体重は初回検査日  $34.9 \pm 5.8$  kg、1 年後は  $39.7 \pm 7.2$  kg であった（Mean  $\pm$  SD）（表 1）。対象者と保護者には、事前に研究の説明を行ない口頭および書面にて同意を得た（利益相反受付番号:2020-145, 江戸川病院研究倫理委員会承認番号:16-34）。

方法は、上腕骨内側上顆周囲 3 点の圧痛の有無、肘関節伸展位と肘関節  $90^\circ$  屈曲位での外反ストレス検査を実施した。圧痛は、上腕骨内側上顆最突出部・前腕屈筋回内筋群（Flexor Pronator Mass: FPM）付着部・上腕骨内側上顆下端（尺側側副靭帯前斜走線維付着部, Anterior Oblique Ligament: AOL）の 3 点とした（図 3）。検査者は 3 名で圧痛検査に必要な触診技術に習熟したものとした。圧痛検査は各部位 3 回行ない、1 回でも疼痛が生じたものを陽性とした。外反ストレス検査は、対象の前腕遠位部に 1kg の重錘バンドを巻き付け、AOL をターゲットとした肘関節伸展位、後斜走線維（Posterior Oblique Ligament: POL）をターゲットとした肘関節  $90^\circ$  屈曲位の 2 肢位とし、脱力した状態で 2 肢位いずれかに肘関節内側部痛が出現したものを陽性とした（図 4）。投球時の肘内側部痛新規発生件数は、検査日以後 1 年間のうちに投球時の肘痛が発生したものとした。統計学的手法は、初回検査日から 1 年後までの投球時肘内側部痛新規発生数と圧痛と外反ストレス検査のそれぞれ、もしくは両者の検査結果よりオッズ比(95%信頼区間)・リスク比・陽性的中率 (PPV: Positive Predictive Value) を算出した。また統計処理には統計ソフト R for windows version2.13.0 を使用し、統計学的有意水準は危険率 5%未満とした。

表1: 対象者の基本情報(2019年)ならびに1年後(2020年)のデータ

属性 (n = 61)	2019年	2020年(2019年との差)
年齢(歳)	10.7 $\pm$ 0.7	11.7 $\pm$ 0.7 (1.0)
性別(: n)	Male : 59      Female : 2	
身長 (cm)	139.3 $\pm$ 7.0	147.1 $\pm$ 7.3 (7.8)
体重 (kg)	34.9 $\pm$ 5.8	39.7 $\pm$ 7.2 (4.8)

Mean  $\pm$  Standard Deviation

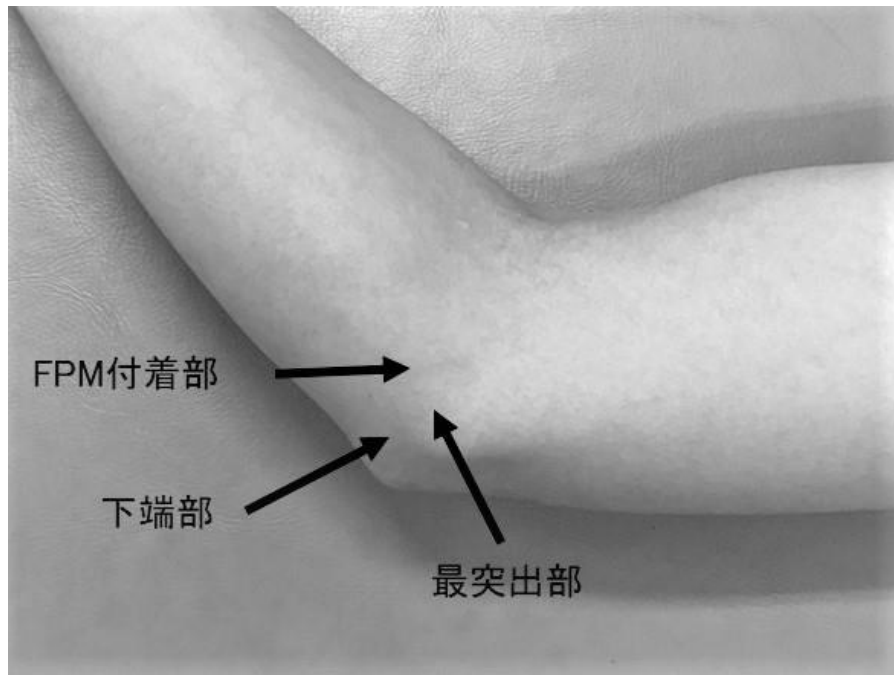


図 3： 圧痛検査の位置

圧痛検査は、上腕骨内側上顆最突出部、前腕屈筋回内筋群（FPM）付着部・上腕骨内側上顆下端（AOL 付着部）の 3 点とした



肘関節 90° 屈曲位



肘関節伸展位

図 4： 外反ストレス検査の肢位

前腕遠位部に 1kg の重錘バンドを巻き、A・B の 2 肢位で脱力させた

A: 肘関節 90° 屈曲位 B: 肘関節伸展位

### 2-4-3. 結果

投球時の肘内側部痛の新規発生は 61 名中 23 名（37.7%）であった。圧痛の結果は、オッズ比 0.87(95%CI: 0.27-2.78)、リスク比 0.91、陽性的中率 0.35、であった。外反ストレス検査の結果は、オッズ比 1.56(95%CI: 0.45-5.40)、リスク比 1.30、陽性的中率 0.46 であった。圧痛・外反ストレス検査ともに陽性であった場合は、オッズ比 4.24(95%CI: 1.25-14.37)、リスク比 2.16、陽性的中率 0.64 であり圧痛検査と外反ストレス検査結果両方で陽性であった場合のみ有意であった（表 2）。

表2：圧痛検査と外反ストレス検査結果

圧痛	発生あり	発生なし	合計	
陽性	6	11	17	Odds Ratio: 0.87 ( 95%CI:0.27-2.78 )
陰性	17	27	44	Risk Ratio : 0.91
合計	23	38	61	PPV : 0.35
外反ストレス	発生あり	発生なし	合計	
陽性	6	7	13	Odds Ratio: 1.56 ( 95%CI:0.45-5.40 )
陰性	17	31	48	Risk Ratio : 1.30
合計	23	38	61	PPV : 0.46
圧痛＋外反ストレス	発生あり	発生なし	合計	
陽性	9	5	14	Odds Ratio: 4.24 ( 95%CI:1.25-14.37 )
陰性	14	33	47	Risk Ratio : 2.16
合計	23	38	61	PPV : 0.64

PPV: Positive Predictive Value

新規発生件数(割合) 23名 / 61名 ( 37.7% )

#### 2-4-4. 考察

1 年間の投球時肘内側部痛の新規発生は 37.7%と高値であった。対象の身体組成は 1 年間で身長が平均 7.8 cm、体重が 4.8kg 増加していることから筋力や柔軟性などの身体機能や投球動作にも変化が生じたことが考えられる。田中<sup>55)</sup>は、10 歳以下と 11 歳以上の比較で、年齢が進むことによる変化を、投球数増加・上肢長形態増加・下肢柔軟性低下を報告している。また、対象者の平均年齢 10-11 歳は、投球肘障害が発生する頻度が最も高い年齢層であり<sup>23)</sup>、投球数制限の遵守や適切な休暇、ストレッチ等の予防策の徹底が重要である。

また、結果より投球時肘内側部痛の既往が無い学童野球選手に対して、圧痛と外反ストレス検査の両者が陽性的の場合、翌年までの投球時の肘内側部痛新規発生確率が高くなることが示唆された。また、本研究で使用した外反ストレス検査の方法は、1kg の重錘バンドを前腕遠位部に巻き付けるものであり、学童野球選手の前腕長が 20 cmと仮定すると、肘関節内側に生じる力は 1.96Nm ( $1\text{kgf} \times 0.2\text{m}$ ) と推定される。この負荷量は、成長期野球選手の投球時に加わる負荷である約 28Nm<sup>13)</sup> に比べ大幅に小さく、安全性のある検査であると考えられる。この方法では、負荷量が一定であり再現性が高いこと、解剖学的知識がなくても行えること、負荷量が小さく安全であることから集団での検診やチームごとの定期的なチェックに用いることができると考えられる。今後、投球時肘内側部痛の新規発生予防のスクリーニングとして有用であるか検証が必要である。圧痛検査については、投球肘障害の診断において感度の高い検査と言われているが<sup>9)</sup>、投球時肘内側部痛の既往がない選手に対しての圧痛検査単独での陽性的中率は低かった。圧痛検査と外反ストレス検査の両者を行なうことで陽性的中率が上がるが、圧痛検査は解剖学的知識に応じた触診が可能であることや検査の強度設定について課題があり、今後も検討が必要である。

#### 2-5. 小括

成長期野球選手の投球肘障害は、罹患率が高く、そのうち内側障害が多くを占める。また、復帰までの期間が平均で 4-6 か月と長いことに加え、再発率が高いことが先行研究より明らかにされている。発生の要因については、投球数・ポジションなどの環境面と身体機能面が指摘されているが、発生件数が減少していない現状にある。投球肘障害の発生予防に関しては、ストレッチやエクササイズにより一定の効果が示されたものがあるが、今後も検討が必要である。成長期は個体差も大きく、多くの因子があるなかで投球肘障害既往の有無によって肩関節・体幹・股関節機能について述べた報告はあるが、肘関節局所の所見からその後の新規発生について調査したものはない。今回、研究 1 として、新たに投球時肘内側部痛の新規発生件数調査と肘関節局所に直接負荷をかけその結果と投球肘障害の新規発生の関係を調査した。新規発生は 37.7%と高値であった。また、圧痛検査と低負荷で簡便な外反ストレス検査の結果から翌年までの新規発生をある程度予測できることが示唆された。投球数制限の遵守、予防エクササイズの周知に加え、定期的な検診による局所の検査によって新規発生件数が減少することが期待される。

### 第3章 野球選手のボールの握り方

#### 3-1. 成人野球選手のボールの握り方

野球選手はボールをより速く、かつバックスピンを多くするためにボールの縫い目に上面を示指と中指でそれぞれ縫い目に合わせて抑え、下面を母指で抑える（図5）。投球動作では、最終的に示指と中指の指尖でBRを行なうが、母指は指腹ではなく屈曲した母指の尺側でボールの下面を抑える選手が多い。母指が伸展した「母指指腹握り」は、不良な投球動作を招くと報告されている<sup>56)</sup>（図6）。一方、母指が屈曲した母指尺側握りでは、手の横アーチを形成することで小指球による豆状骨の安定化から尺側手根屈筋が機能しやすいと考察されている<sup>9)</sup>。しかし、いずれの研究も少ない対象者数での報告や症例報告であり、十分に検証されてきたとは言い難い。



正面（掌側）



正面内側（橈側）

図5： 高校生、成人選手に多い母指尺側握り

示指・中指は上面の縫い目にかかり、母指はボール下面を母指の尺側で把持する



正面（掌側）



内側（橈側）

図6： 少年期に多い母指指腹握り

母指がボールの側面に位置し、母指の指腹で把持する



### 3-2. 学童野球選手のボールの握り方と投球肘障害の関係（研究2）

#### 3-2-1. 背景と目的

投球動作は、下肢から体幹、上肢へとエネルギーを伝達する動作であるが、投球動作の最終効果器である手指について、ボールの握り方は、示指・中指の対側でボールの下面を母指の尺側で把持する「母指尺側握り」が推奨され、母指指腹握りでは肘下がりとなることから投球障害を招くとされている<sup>57)</sup>。しかし、手長の小さな少年野球選手や女子野球選手、ボールサイズの大きいソフトボール選手においては、ボールの縫い目を示指・中指・母指の3点で把持することが難しい。よってボールサイズに対し手長の小さい選手はボールの側面を母指の指腹で把持する「母指指腹握り」が強いられることが考えられる。単純な握り動作においては、母指の位置により前腕の屈筋・伸筋の筋活動に違いが生じる<sup>58)</sup>とされているが、野球ボールの握り方は母指の位置以外にも手長とボールサイズに大きく影響することが予想され、中手指節間関節（MP）角度にも影響することが考えられる。先行研究では、手長の因子やボールに対してゆとりを持たせた握り方の指標と考えられるMP関節の関与などは考慮されてこなかった。そこで本研究では、手長と握り方について従来の母指の位置に加え、MP関節角度に着目して投球時の肩・肘痛既往との関係を明らかにすることを目的とした。

#### 3-2-2. 対象

対象は学童野球選手 650 名（男性 629 名、女性 21 名、平均年齢  $10.4 \pm 0.9$  歳、平均身長  $142.9 \pm 7.7$  cm、平均体重  $37.0 \pm 7.7$  kg）であった。対象の男女における比較では、平均年齢と体重には2群に差はなく、平均身長と平均手長において有意差を認めた（表3）。対象者と保護者にはヘルシンキ宣言に則り、事前に本研究の趣旨を説明し口頭及び書面にて説明し署名にて同意を得た（利益相反受付番号:30-432, 江戸川病院研究倫理審査委員会承認番号:16-9）。

表3 対象者の基本情報ならびに性差

項目	全体(n=650)	男性(n=629)	女性(n=21)	p値
年齢(歳)	10.4 ± 0.9	10.4 ± 0.7	10.6 ± 0.9	N.S
身長(cm)	142.9 ± 7.7	141.1 ± 8.1	148.6 ± 7.2	<0.01
体重(kg)	37.0 ± 7.7	36.9 ± 5.8	37.2 ± 6.2	N.S
手長(cm)	15.7 ± 1.2	15.4 ± 1.1	16.4 ± 0.7	<0.01

Mean ± Standard Deviation  
N.S= Not Significant difference

### 3-2-3. 方法

調査項目は、①過去 1 年間の投球時の肩・肘痛の有無、②手長測定、③ボールの握り方のタイプ分け（母指尺側握り・母指指腹握り）、④示指 MP 角度とした。過去 1 年間の投球時の肩・肘痛の有無（以下、既往あり群:pain group・既往なし群:No pain group）については、配表による自記式アンケートにて調査した。手長測定は投球側を測定し、橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の midpoint から中指先端までの距離をメジャーで測定した（図 7）。ボールの握り方のタイプ分けは、普段の投球時の持ち方を再現するため、ボールを把持し数回投球動作の模倣をした状態を維持させ示指尺側のラインより母指が尺側に位置し母指の尺側で把持しているものを母指尺側握り群(Flexed thumb group)、母指が示指尺側のラインより橈側に位置し母指の指腹で把持しているものを母指指腹握り群(Extend thumb group)と規定した（図 8）。使用したボールは全日本軟式野球連盟公認球 C 号（直径平均 68mm、重量平均 128g）とした。示指 MP 角度測定はボールの握り方のタイプ分けでボールを把持した状態を維持したまま橈側より手指用ゴニオメータを用いて測定し、屈曲方向をプラス(+)表記、伸展方向をマイナス(-)表記とした。角度の最小単位は $2^{\circ}$ とした（図 9）。検討項目は、手長がボール把持方法に影響するか調べるために母指尺側握り群と母指指腹握り群の手長および示指 MP 角度の比較、握り方のタイプによる投球時肘肩・肘痛既往の有無の割合、示指 MP 角度と投球障害の関係を明らかにするために投球時肘肩・肘痛既往あり群と既往なし群における示指 MP 角度の比較とした。統計処理は、母指尺側握り群と母指指腹握り群の手長および示指 MP 角度の比較、投球時肩・肘痛の既往あり群となし群の示指 MP 角度の比較を対応のない t 検定で算出した。母指尺側握り群と母指指腹握り群における投球時肩・肘痛の既往の有無の分布の比較に  $\chi^2$  検定を用いた。統計処理には統計ソフト R for windows version2.13.0 を使用し、統計学的有意水準はいずれも危険率 5%未満とした。

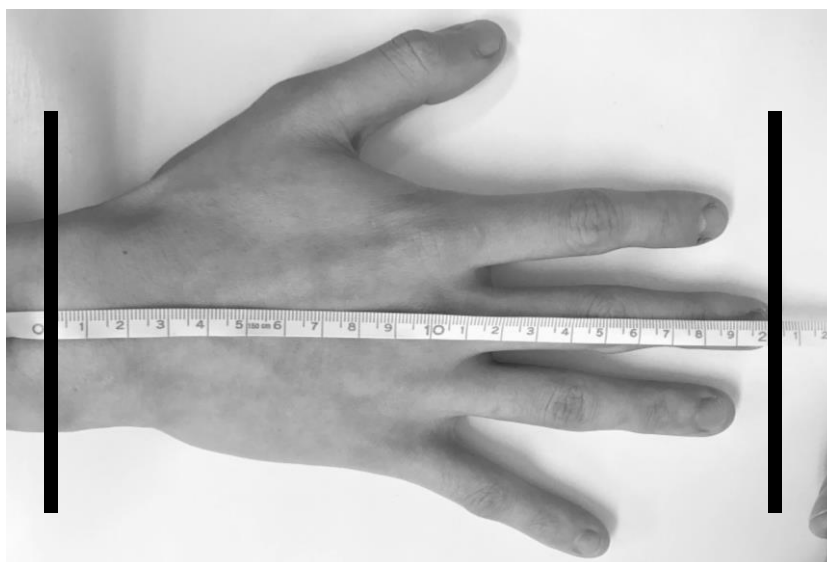
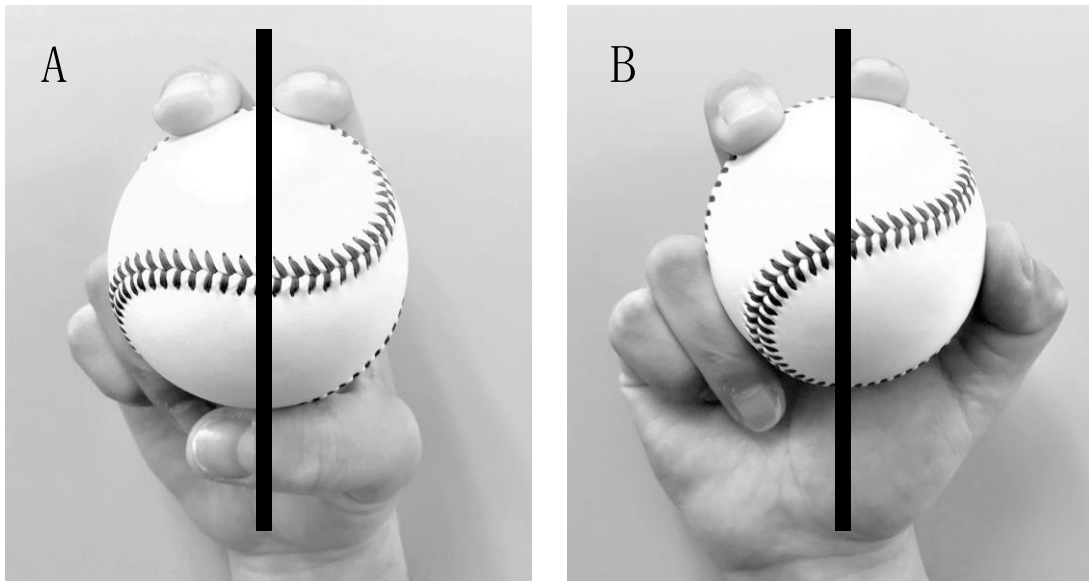


図 7： 手長測定方法

橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の midpoint から中指先端までをメジャーで測定

(単位：0.1cm)



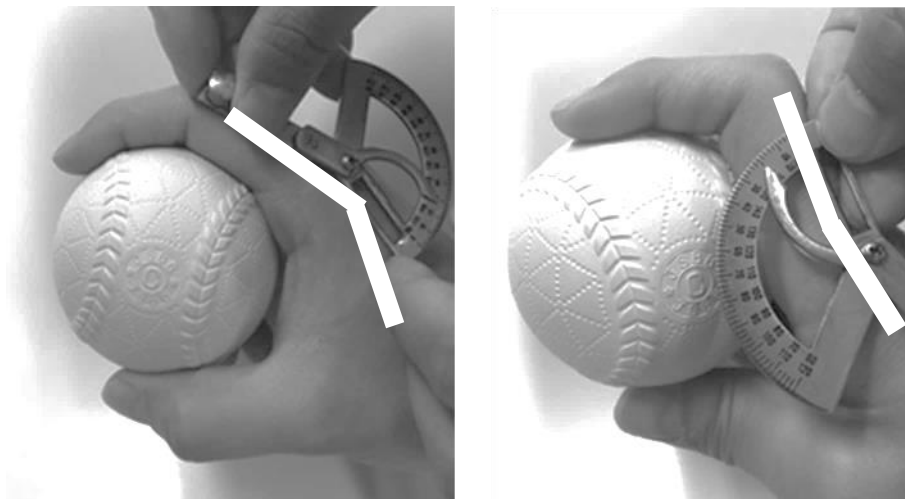
A: 母指尺側握り

B: 母指指腹握り

図8： 握り方のタイプ分け

A: 母指が示指より尺側に位置し、母指の尺側で把持しているもの

B: 母指が示指より橈側に位置し、母指の指腹で把持しているもの



屈曲位 (+)

伸展位 (-)

図9： 示指 MP 関節角度測定

普段投球する際の握り方を再現した状態で、中手骨と基節骨の成す角度(MP 関節角度)を測定 (単位:  $2^{\circ}$  )

屈曲方向を(+)、伸展方向を(-)とした

### 3-2-4. 結果

手長は、母指尺側握り群（214 名）が平均  $16.3 \pm 1.4$ cm、母指指腹握り群（436 名）が平均  $15.8 \pm 1.2$ cm と母指尺側握り群で有意に高値を示した。示指 MP 角度は母指尺側握り群平均  $0.7 \pm 5.7^\circ$ 、母指指腹握り群平均  $5.2 \pm 5.5^\circ$ 、母指指腹握り群で有意に高値を示した（表 4）。握り方のタイプと投球時肩・肘痛の既往については分布に有意差は見られなかった ( $p > 0.05$ )（表 5）。示指 MP 角度と投球時肩・肘痛では、既往なし群（370 名）に比べ既往あり群（281 名）では有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )（表 6）。

表4 ボールの握り方と手長・示指MP角度の比較

	Flexed thumb group ( n = 214 )	Extended thumb group ( n = 436 )	p-value
Hand length ( cm )	$171.4 \pm 4.5$	$163.6 \pm 4.2$	$< 0.05$
Index finger MP angle ( $^\circ$ )	$0.7 \pm 5.7$	$5.2 \pm 5.5$	$< 0.05$

Mean  $\pm$  Standard Deviation

表5 ボールの握り方と肘痛の既往の有無

	Flexed thumb group ( n = 214 )	Extended thumb group ( n = 436 )	p-value
No pain group	103	266	$> 0.05$
Pain group	111	170	$> 0.05$

Mean  $\pm$  Standard Deviation

表6 示指MP角度と投球時肩・肘痛の既往の有無

	No pain group ( n = 369 )	Pain group ( n = 281 )	p-value
Index finger MP angle (deg)	$5.2 \pm 4.9$	$1.3 \pm 4.2$	$< 0.05$

Mean  $\pm$  Standard Deviation

### 3-2-5. 考察

本研究では、学童野球選手の投球時肘肩・肘痛既往を手長・ボールの握り方（母指位置、示指 MP 関節角度）に着目して調査した。

対象者の投球時肘肩・肘痛既往について、成長期野球選手の投球障害罹患率は、約 30%以上と報告されており<sup>53)</sup>、本研究結果においても過去 1 年間に投球時に肩・肘痛を経験したのは 43.2%と高値であった。野球選手の投球障害発生は、投球数による影響や大会等が多く行われる夏季に多く発生する特徴があるため<sup>59)</sup>、チーム環境や調査期間に影響を受けることが考えられるが、いずれも発生件数は高い割合であり、効果的な対策が必要である。

野球ボールの握り方について、水谷<sup>56)</sup>は小学生から高校生までの手長や手指筋力と母指の位置で見た握り方のタイプの分布には有意差がなかったとしているが、学童野球選手のみを対象とした本研究では母指尺側握り群では手長が有意に高値であり、手長が大きいと母指尺側握りを選択するという結果であった。手長と示指 MP 角度について、母指指腹握りは橈側外転位であるのに対し、母指尺側握りは尺側内転位（対立位）である。ボールの直径分を母指尺側と示指・中指の近位指節間関節以遠で把持するには大きな手長が必要で、手長が小さい場合は MP 関節以遠が伸展位となりやすいことが考えられる。しかし手長の大きな対象者の全例において母指尺側握りであったわけではなく、野球ボールの握り方は経験や手掌面との距離、環指の影響などを含む多くの因子によって決定されているため、母指の位置を二分するのみの分類でなく、より詳細な調査が必要である。

投球時肩・肘痛の既往と示指 MP 関節角度について、結果より既往あり群において示指 MP 関節が低値（伸展位）であったが、MP 関節屈曲位と伸展位では、ボールを把持しリリースするまでの筋活動に違いがあったものと考えられる。主に使用されと考えられる深指屈筋・浅指屈筋、橈側手根屈筋・尺側手根屈筋、円回内筋などの FPM (Flexor Pronator Mass) と虫様筋などの手内在筋のうち MP 関節屈曲筋である虫様筋が劣位肢位となり深指屈筋・浅指屈筋の活動が高くなり内側上顆の牽引ストレスが増加する可能性<sup>39)</sup>や深指屈筋・浅指屈筋の活動増加による前腕や手関節の動作中の可動性低下が考えられる。

本研究の限界は、ボールの握り方について環指や手掌面などボールに接している他部位の影響を考慮できていないこと、ボールを握ったまま MP 関節角度測定を行なったため示指のみの測定であったこと、また投球時肩・肘痛の既往について疼痛発生時のエピソードや疼痛部位の詳細について調査できていないことが挙げられる。今後は、動作解析や筋電図学的手法を用いて投球動作時のボールの握り方が各関節へ与える影響を明らかにする必要がある。

### 3-3. 小括

これまで野球選手のボールの握り方は、ボールの上面を示指と中指、下面を屈曲した母指の尺側で把持する方法が推奨されてきた。先行研究では、母指が伸展位で母指の指腹で把持する握り方は不良動作を招くとされてきた。しかし、今回対象とした学童野球選手においては、母指の位置については選手の手長に影響していることが明らかになった。また、母指の位置のみを指標と

した分類では投球障害との関係はなく、示指のMP関節角度が影響するという結果となった。今後は、ボールの握り方が変化することによる筋活動の差異やボールを把持する際の環指の関与も含めた調査を行なう必要がある。また、成人野球選手における手長とボールサイズの比率と小学生など手長の小さい選手の比率を考慮し、手長の小さい選手が小さなボールを投球する際の投球動作を解析することで、投球動作が年齢や経験年数、技術によるものか手長とボールサイズによるものかが明らかになると考えられる。一方で、本研究では手長や母指の位置、MP角度に着目したが、野球選手におけるパフォーマンスや障害予防についてボールの握り方の最適条件を示したものではない。パフォーマンスと障害予防の両者の観点から推奨できる握り方については、示指・中指・母指に加え環指の関与や示指外転角度、動作中の手関節角度や手関節運動、BR時の指尖位置、摩擦、慣れ等の考慮が必要となる。

## 第4章 ボールの変更による投球動作の変化

### 4-1. 野球で使用されるボールの規格

野球選手が使用するボールは、選手が所属するチームが加盟している団体の規則に則って決まる。学童野球選手は、軟式C号球（直径 $68\pm0.5\text{mm}$ 、重量 $128\pm1.8\text{g}$ ）から2018年に軟式J号（直径 $69\pm0.5\text{mm}$ 、重量 $129\pm1.8\text{g}$ ）へと変更された。同年以降、中学生以降の軟式球は軟式M号（直径 $72\pm0.5\text{mm}$ 、重量 $138\pm1.8\text{g}$ ）が使用され、中心部は空洞である。硬式球（直径 $72.93\sim74.84\text{mm}$ 、重量 $141.7\sim148.8\text{g}$ ）はリトルリーグ、シニアリーグ、高校野球硬式野球部、大学硬式野球部、社会人野球硬式部、プロ野球で使用され、中心部はコルク芯をゴム芯で覆い、それをウール糸で巻いて空洞を詰められている。野球ボールにおいては、縫い目もしくは縫い目に模した凹凸を付けることで、BRにおける摩擦を増加させボールの回転数が上がり、マグナス効果と呼ばれる揚力が発生しやすい構造となっている。学童野球で使用されている軟式野球ボールは、縫い目に模した膨らみに加え、全面にディンプルが彫られており、マグナス効果を増幅させる働きをしている<sup>60)</sup>。また、4シームと呼ばれる、ボールが1回転する際に、縫い目が4回回転軸を横切る進行方向に対して垂直なバックスピン回転が最も抗力を下げる。4シームでは毎秒約30回転とされ、示指と中指でボールを挟むフォークボールでは毎秒約10回転といわれている<sup>61)</sup>。本論文では、野球ボールの握りについて、4シームを投球する際の握り方を「ボールの握り方」として論じる。

### 4-2. ボールサイズの変更による投球動作および肘関節内反トルクの変化（研究3）

#### 4-2-1. 背景と目的

先行研究では、ボールの重量を変更することによる変化が調査されてきた。Fleisig<sup>62)</sup>は、通常の $141.8\text{g}$ のボールと軽量化した $113.4\text{g}$ のボールによる比較を行ない、肩関節外旋角度、肩関節水平内転角度、肘関節屈曲角度に差がないこと、軽量ボールは重量の軽量化に応じた肩関節内旋角速度の増加、肘関節伸展角速度の増加、肘関節内反トルクの低下を報告している。少年期野球選手の肘関節障害罹患率は高く、ボールの軽量化による肘関節内反トルクの低下は意義深い結果であるが、少年期野球選手の投球動作による障害発生の問題点には影響しないことが示された。ボールの変化という観点では、ボールの重量のみでなく直径を小さくしたボールを投球することによる変化を調査する必要がある。しかし、過去に異なるボールサイズによる投球動作の変化を調査した報告はない。少年期野球選手の投球障害を予防するうえで、体格や成長曲線、身体機能面などの内的要因について明らかにすることは重要であるが、外的要因である使用する道具についての影響を明らかにすることは、投球障害予防に加え、指導者が選手に発する指導内容についても動作不良の原因が、身体機能や技術面によるものか、体格に対する使用道具の影響によるものかを加味することについての一助になると考えられる。

よって、本研究の目的は、手長の小さい少年期の野球選手に通常の野球ボールと、直径の小さいボールでの投球による変化を運動学・運動力学的に解析し、その違いにより少年期野球選手の

肘関節障害予防に寄与できるかを検討することとした。また、本研究の仮説は、ボールサイズが小さくなることで示指 MP 関節が屈曲位となることにより虫様筋を使用したボール把持が可能となり、浅指屈筋・深指屈筋・手関節伸筋群・手指伸筋群の過活動を抑制することが挙げられる。結果的に手関節の運動性が向上し、肩関節・肘関節の関節角度や関節角速度に変化が生じることが考えられる。また、上肢の運動効率が增加することで肘関節内反トルクにも正の効果を示すことが考えられる。

## 4-2-2. 方法

### 4-2-2-1. 対象

本研究の対象は、リトルリーグチーム所属の 26 名（男性 25 名、女性 1 名）であった。対象者の詳細は、平均年齢  $9.7 \pm 1.0$  歳、平均身長  $136.5 \pm 7.4$ cm、平均体重  $33.2 \pm 7.4$ kg、平均手長  $14.6 \pm 0.9$ cm、野球の平均経験年数は  $38.4 \pm 19.7$  か月であった（表 7）。また本研究は、帝京平成大学研究倫理委員会の承認を経て、実験に際し被験者および保護者に実験の目的と意義、安全性について書面ならびに口頭にて説明し同意を得て行なった（利益相反受付番号：2020-147、研究倫理承認番号：R01-093、R01-093-1）。

表7 対象者の基本情報

Characteristic	N = 26	
Age (years)	9.7 ± 1	
Gender ( n )	Male : 25	Female : 1
Height ( cm )	136.5 ± 7.4	
Body weight ( kg )	33.2 ± 7.4	
Hand length ( cm )	14.6 ± 0.9	
Baseball experience ( months )	38.4 ± 19.7	
	Mean ± Standard Deviation	



#### 4-2-2-2. 使用ボールの作製

使用ボールは、リトルリーグで使用されている硬式球（ミズノ社製：直径 74mm、重量 141 g）を Normal 条件、自作ボール（内外ゴム社製：直径 65mm、重量 141g）を Small 条件とした。自作ボールは、ボールの中心線から 2 つに割り空洞部分には直径 3 cm の粘土をウール糸で巻くことで充填し 141g となるよう重量調整をした。

#### 4-2-2-3. 実験環境

実験は、帝京平成大学千葉キャンパス 3-105 解析室にて行ない、試技は平坦な床面において行われた。投球距離は軸脚の足部内側から緩衝ネット（フィールドフォース社製）までの 5m とし、標的は直径 20 cm の的を緩衝ネット中央部 150 cm の高さに取り付けた。使用機器は、三次元動作解析装置 VICON (Oxford Metrics 社製, Oxford, UK.) を使用し、8 台の赤外線カメラを使用した（図 10・図 11）。カメラのサンプリング周波数は 500Hz とし、遮断周波数 14Hz の Butterworth low pass filter で処理した。投球動作の相の定義と確認のために床反力計（AMTI 社製）を使用しサンプリング周波数は 1000Hz とした。カメラの動的キャリブレーションは対象者ごとに行ない、全カメラで誤差 0.09mm 以下となるよう調整した。

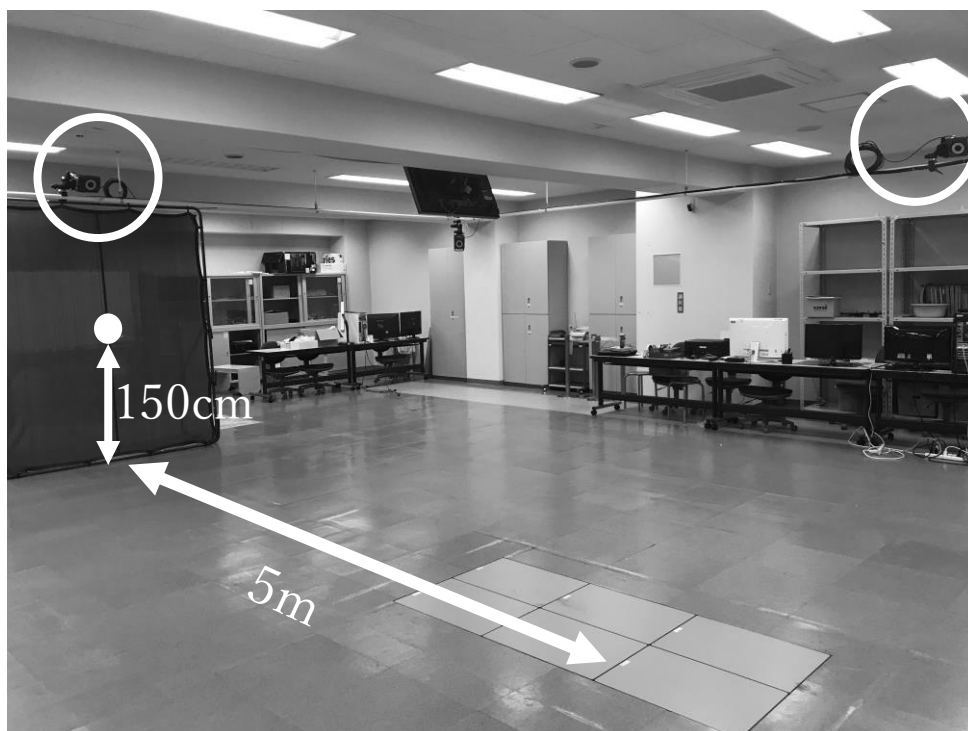


図 10： 実験環境

8 台の赤外線カメラ（サンプリング周波数 500Hz）で解析  
投球開始位置である床反力計から 5m の距離に緩衝ネットを設置し  
投球目標は高さ 150 cm の的とした



図 11： 投球試技最中の様子

#### 4-2-2-4. 反射マーカ貼付位置

反射マーカの貼付位置は、投球動作の解析に関して Wu<sup>63)</sup>が報告した国際バイオメカニクス学会が推奨する 16 点（胸骨切痕部・剣状突起・肩関節前部・肩関節後部・肩峰角・第 7 頸椎棘突起・第 8 胸椎棘突起・上腕骨内側上顆・上腕骨外側上顆・橈骨茎状突起・尺骨茎状突起・第 3 中手骨遠位部・第 3 指遠位背側・ボール 3 点）とした(図 12)。

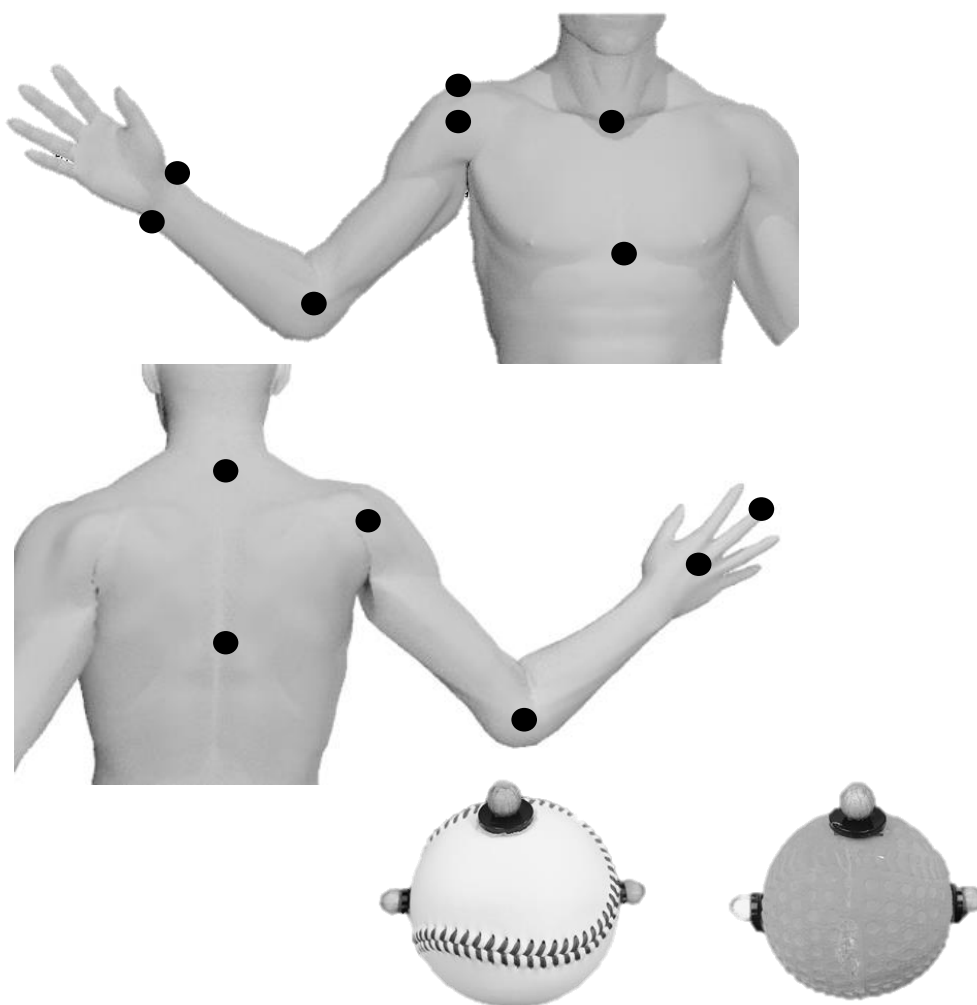


図 12： 反射マーカ貼付部位

胸骨切痕部・剣状突起・肩関節前部・肩関節後部・肩峰角・第 7 頸椎棘突起・第 8 胸椎棘突起・上腕骨内側上顆・上腕骨外側上顆・橈骨茎状突起・尺骨茎状突起・第 3 中手骨遠位部・第 3 指遠位背側・ボール 3 点の計 16 点

#### 4-2-2-5. 実験手順

実験手順は、①被験者と保護者に口頭および書面にて実験の説明、②肩関節・肘関節可動域検査、手長測定、手厚・指厚測定、反射マーカー貼付、③握りの検査 (Normal)、④ウォーミングアップ (ジョギング・ストレッチング)、⑤Normal での投球練習約 15 球 (最大 20 球)、⑥Normal の投球試技 5 球、⑦5 分間休憩、⑧握りの検査 (Small)、⑨ウォーミングアップ (ジョギング・ストレッチング)、⑩Small での投球練習 15 球 (最大 20 球)、⑪Small の投球試技 5 球の順とした。投球試技は、2 枚の床反力計を跨いだ静止立位を開始肢位とし、投球試技における口頭指示は、「的に向けて出来るだけ強く投げてください」に統一した。また、本実験の投球試技では両条件ともにロジンや炭酸マグネシウムを使用しないこととした。

#### 4-2-2-6. 解析方法

手長測定および握りの検査は、研究 2 の方法に準じ行なった。手長測定は投球側を測定し、橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の midpoint から中指先端までの距離をメジャーで測定し、最小単位は 0.1 cm とした。ボールの握り方のタイプ分けは、普段の投球時の持ち方を再現するため、ボールを把持し数回投球動作の模倣をした状態を維持させ示指尺側のラインより母指が尺側に位置し母指の尺側で把持しているものを母指尺側握り群、母指が示指尺側のラインより橈側に位置し母指の指腹で把持しているものを母指指腹握り群と規定した。握り方の判定は、ボールの高さに検者の目線を合わせ、手掌を正面より見る形で目視にて判定した。示指 MP 角度測定はボールの握り方のタイプ分けでボールを把持した状態を維持したまま橈側より手指用ゴニオメータを用いて測定し、屈曲方向をプラス (+) 表記、伸展方向をマイナス (-) 表記とした。角度の最小単位は  $2^{\circ}$  とした。

解析の対象としたのは、関節角度について、投球相のうち MER における肩関節外旋角度・肩関節外転角度・肘関節屈曲角度とした。また、関節角速度については、MER から BR までの加速期における肩関節内旋角速度・肘関節伸展角速度・手関節屈曲角度を算出とすることで上肢の振りの速さの指標とした。肘関節内反トルクは、MER から BR における肘関節最大内反トルクを算出し肘関節内側に加わるストレス量の指標とした。また、パフォーマンスの指標としてボールの 3 点の反射マーカーの中心部の最大速度を求めた。いずれの解析も VICON の Plug in pitch モデルを参考に解析した。計算に代入した項目は、身長・体重・手厚・指厚とした。手厚・指厚は、第 3 中手骨遠位背側・第 3 指遠位背側のマーカーとボールに貼付したマーカーの距離を算出することで BR の規定に用いた。手厚は、MP 関節伸展位における第 3 中手骨頭遠位部の反射マーカー貼付部と同部位で掌側と背側の厚みを測定した。指厚は、第 3 指遠位部背側に貼付する反射マーカーと同部位における掌側と背側の厚みを測定した。手厚・指厚の測定はいずれもノギスを使用し、手部長軸方向に対して垂直な面で測定した (図 13・図 14)。

身体各セグメントは剛体リンクセグメントと定義した。解析空間内における座標系は、静止座標系  $R_g (X_g, Y_g, Z_g)$  について  $Z_g$  を鉛直方向、 $Y_g$  を投球方向に向かう水平方向、 $X_g$  軸は  $Y_g$  と  $Z_g$  の外積で右投げにおける 3 塁方向とする右手直交座標系と定義した (図 15)。また、各関節中心

は、肩関節で肩関節前部と後部の中点、肘関節で上腕骨内側上顆と上腕骨外側上顆の中点、手関節は、橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の中点とした。Rg について計測される 3 次元座標値を用いて各セグメント重心に固定された移動座標系 (Rh, Ru, Rt) を定義した。

関節角度は、オイラー角で表した。関節角速度は、宮西<sup>64)65)</sup>の方法に準じ移動座標系の各軸方向の単位ベクトルを微分し、静止座標系における角速度ベクトルへ変換した。よって相対角速度ベクトル  $\omega$  は、胸郭を ua、上腕を ut、前腕を fa、手部を h とした場合の、胸郭に対する上腕 ( $\omega_{ua/ut}$ )、上腕に対する前腕 ( $\omega_{fa/ua}$ )、前腕に対する手部 ( $\omega_{h/fa}$ ) とした。これらを関節座標系 (RWJ, REJ, RSJ) として関節角速度を求めた (図 16)。

関節トルクは、関節運動の軸回りで発揮された正味の回転力とした。また、投球する上肢は、ボール・手部・前腕・上腕・胸郭の 5 つのリンクセグメントとして定義した。各セグメントの質量ならびにセグメントの慣性モーメントは、横井<sup>66)</sup>と阿江<sup>67)</sup>が用いた日本人アスリートおよび幼少年期の身体部分慣性特性の推定係数を参考に算出した。このリンクセグメントの関節トルクは、Andrews<sup>68)</sup>の方法に従い、遠位末端のセグメントから順次運動方程式を解くことで算出した。また、BR 後はボールにかかる部分を除いて算出した。

関節角度ならびに関節角速度は、肩関節は Z 軸で内旋 (+)、外旋 (-)、肘関節は X 軸で伸展 (+)、屈曲 (-)、手関節は X 軸で屈曲 (+)、伸展 (-) とした。肘関節トルクは X 軸で内反 (+)、外反 (-) とした。投球動作の相および MER、BR の定義は、第 3 指遠位背側と第 3 中手骨背側のマーカーとボールのマーカーとの距離、デジタルデータと VICON で合成されたアナログデータの動作 (図 17)、床反力計によるステップ脚の床反力データにより確認し、ステップ脚接地後から BR までの最大肩関節外旋角度を MER、第 3 指反射マーカーとボールの反射マーカーの距離が離れ始めたフレームを BR とした。

各パラメータについて、Normal 条件と Small 条件での差を対応のある t 検定を用いて比較した。統計処理には統計ソフト R for windows version2.13.0 を使用し、統計学的有意水準はいずれも危険率 5%未満とした。



図 13： 手厚の測定

MP 関節伸展位における第 3 中手骨頭遠位部の反射マーカ貼付部  
と同部位で掌側と背側の厚みを測定



図 14： 指厚の測定

第 3 指遠位部背側に貼付する反射マーカと同部位における掌側と  
背側の厚みを測定

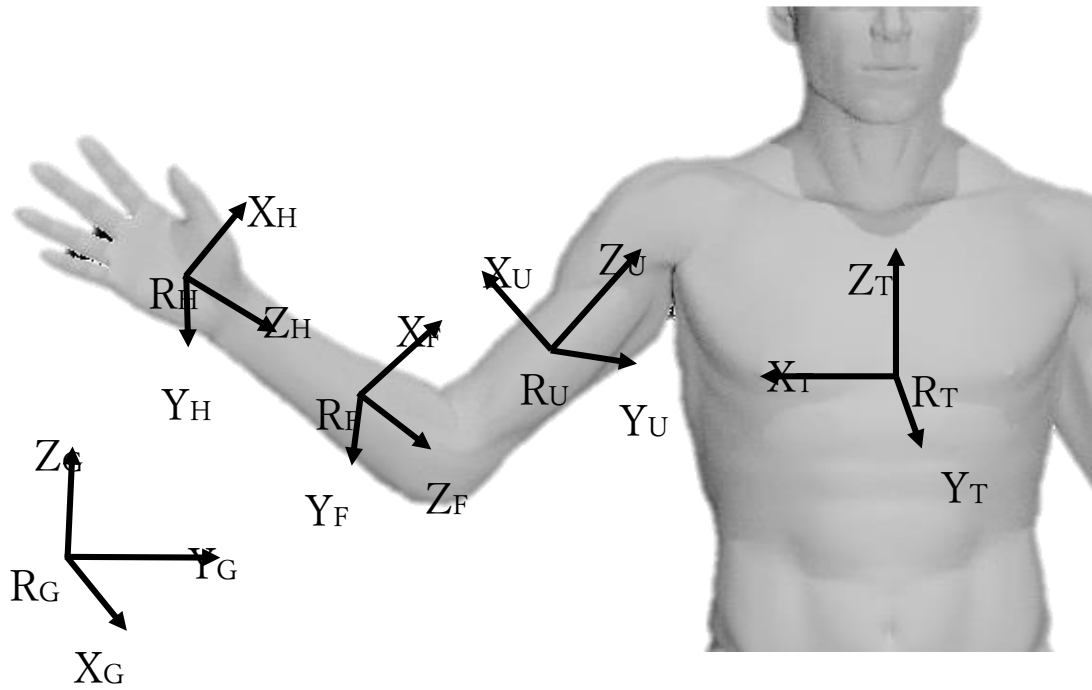


図 15： 静止座標系と移動座標系の定義

G: Gravity  
T: Trunk  
U: Upper arm  
F: Forearm  
H: Hand

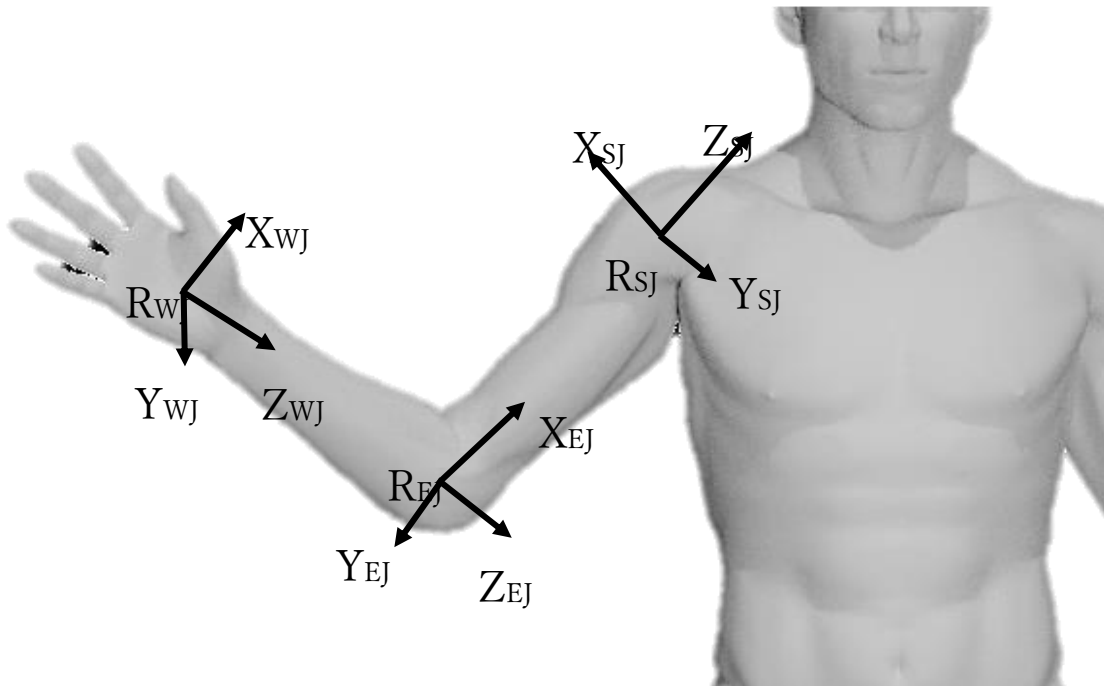


図 16 : 関節角度と関節角速度算出のための移動座標系

SJ: Shoulder Joint

EJ: Elbow Joint

WJ: Wrist Joint



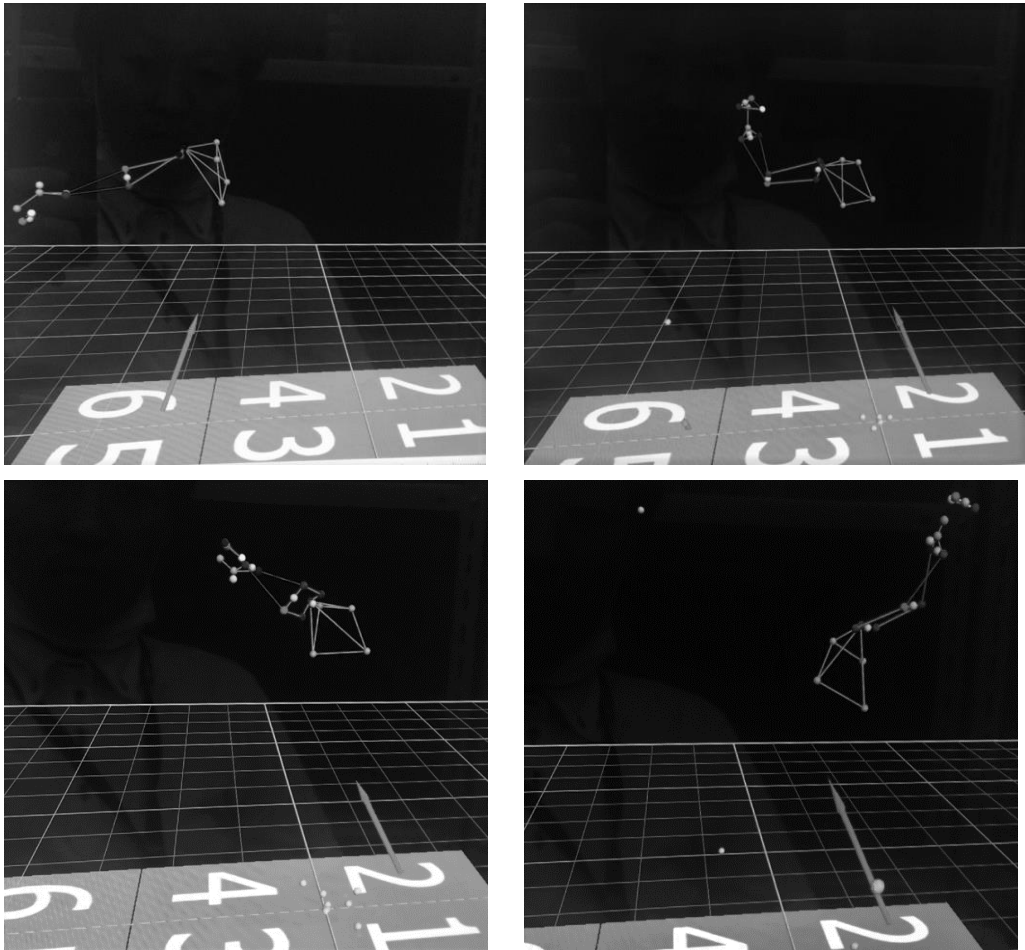


図 17 : アナログデータ

### 4-2-3. 結果

ボールの握り方について、Normal から Small に変更することで、26 名中 13 名が母指指腹握りから母指尺側握りへと変化した（表 8）。残る 13 名は握り方に変化が見られなかった。また、Normal から Small になることで示指 MP 角度は有意に高値を示し屈曲方向へ変化した（表 9）。

MER における関節角度について、肩関節外旋角度は Normal 条件で  $77.3 \pm 8.6^\circ$ 、Small 条件で  $83.0 \pm 9.2^\circ$  であり Small 条件で有意に高値を示した。肩関節外転角度は両群の間に有意差がなかった。肘関節屈曲は Normal 条件で  $88.5 \pm 16.8\text{deg}$ 、Small 条件で  $94.0 \pm 15.3\text{deg}$  と Small 条件で有意に高値を示した。

関節角速度は、肩関節内旋において Normal 条件で  $1769.7 \pm 504.5\text{deg/s}$ 、Small 条件で  $2181.1 \pm 669.3\text{deg/s}$  であり Small 条件で有意に高値を示した。肘関節伸展においては、Normal 条件で  $1563.2 \pm 318.8\text{deg/s}$ 、Small 条件で  $1776.3 \pm 337.3\text{deg/s}$  で Small 条件であり有意に高値を示した。手関節屈曲は Normal で  $696.4 \pm 241.1\text{deg/s}$ 、Small 条件で  $920.2 \pm 321.1\text{deg/s}$  であり有意に Small 条件で有意に高値を示した。ボールスピードは Normal 条件で  $15.2 \pm 1.8\text{m/s}$ 、Small 条件で  $17.1 \pm 2.2\text{m/s}$  であり Small 条件で有意に高値を示した。ボール速度で除した肘関節最大内反トルクは Small 条件で有意に低値を示した（表 10）。

表8 ボールサイズ変更による握り方の変化

Normal	Small	n=26
母指指腹握り	母指尺側握り	13名
母指指腹握り	母指指腹握り	7名
母指尺側握り	母指尺側握り	6名
母指尺側握り	母指指腹握り	0名

表9 ボールサイズ変更による示指MP関節角度の変化

n=26	Normal	Small	p-value
示指MP角度(°)	$1.5 \pm 4.5$	$5.5 \pm 4.1$	<0.01

Mean  $\pm$  Standard Deviation

表10 関節角度・関節角速度・ボールスピード・肘関節内反トルクの比較

	Normal ( $\phi$ 74mm 141g )	Small ( $\phi$ 65mm 141g )	
Joint angle at MER ( deg )			
Shoulder external rotation	77.3 $\pm$ 8.6	83.0 $\pm$ 9.2	**
Shoulder abduction	97.4 $\pm$ 12.5	97.3 $\pm$ 13.3	
Elbow flexion	88.5 $\pm$ 16.8	94 $\pm$ 15.3	*
Maximum angular velocity ( deg/s )			
Shoulder internal rotation	1769.8 $\pm$ 504.5	2181.1 $\pm$ 669.3	**
Elbow extension	1563.2 $\pm$ 318.8	1776.3 $\pm$ 337.3	**
Wrist flexion	696.4 $\pm$ 241.1	920.2 $\pm$ 321.1	**
Ball speed ( m/s )	15.2 $\pm$ 1.8	17.1 $\pm$ 2.2	**
Maximum elbow varus torque			
( Nm )	15.4 $\pm$ 5.7	15.8 $\pm$ 5.8	
( Nm / ball speed )	1.0 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.2	*

$\phi$  : diameter

\* : < 0.05 \*\* : < 0.01

Mean  $\pm$  Standard Deviation

MER: Maximum External Rotation phase

#### 4-2-4. 考察

結果より、ボールが小さくなることで対象者の半数で母指指腹握りから母指尺側握りへと変化した。また、研究2で投球肘障害の因子として挙げたMP関節角度が屈曲位へと変化した。母指の位置については、手長に対しボールの直径が小さくなったことでボールを把持するための対立位に母指を位置させることが可能となったものと考えられる。しかし対象者の野球経験が平均で3年以上あることから慣れや習慣の影響が推測されるため本結果については、長期的な変化や環指の影響を考慮した検討が必要である。

関節角度・関節角速度については、少年野球選手の投球動作において同重量で大きさの異なるボールを投げることによる関節角度、関節角速度、ボールスピードに違いが生じることが示された。

投球動作の全相のうち、最大外旋位からリリース期までの加速期に肘関節に対し最大の外反ストレスがかかるが<sup>69)70)</sup>、投球方向に対し、肘関節の外反ストレスを緩衝するものは、胸椎の伸展・肩甲骨の後傾・肩関節の外旋・肘関節の屈曲であると考えられる。Aguinaldo<sup>15)</sup>は最大外旋位における肩関節の外旋角度と肘関節の屈曲角度の増大が肘関節外反トルクの低下と関係していると報告している。Samuel<sup>71)</sup>は少年期野球選手における肘内側痛の既往歴が有る群は無い群に比べ最大外旋位における肘関節屈曲角度が有意に低下していたと報告している。また、MERにおける肘関節角度について、Sabick<sup>69)</sup>とFleisig<sup>13)</sup>は少年期の解析において $57^{\circ}$ ～ $95^{\circ}$ であったと報告している。本研究結果では、Small条件で肩関節外旋角度、肘関節屈曲角度が有意に高く、少年野球選手においては、成人と同じサイズのボールを使用するよりも小さい直径のボールを使用するほうが怪我をするリスクを減らすことができる可能性が示唆された。また、「肘下がり」と表現される肩関節外転角度については、角度の低下が投球障害の一要因であると報告されてきたが<sup>72)</sup>本研究結果ではボールサイズの条件変更による変化は見られなかった。肩関節外転角度の改善は、投球肘障害の予防において重要であると考えられるが、肩関節の柔軟性や肩回旋筋腱板機能などの要因により変化するものと考えられる。

投球の加速期における肩関節内旋・肘関節伸展・手関節屈曲最大角速度は、いずれもNormal条件に比べSmall条件で有意に高値を示した。加速期において、上肢では、肩関節内旋、肘関節伸展、手関節屈曲の順に運動が生じる。関節角度のデータにおいてSmall条件で肘関節屈曲角度が増加したことが上腕部の回転半径を縮小させたため、肩関節内旋角速度が増加し、結果的に肘関節伸展角速度と手関節屈曲角速度も増加したのと考えられる。また、少年野球選手にとって大きなサイズのボールは、ボールを把持するために虫様筋などの手内在筋の活動が抑制され、深指屈筋や浅指屈筋などの筋活動量が増加する可能性が高くなることや、MP関節が伸展位となることで手関節・手指伸筋群の過活動により手関節の運動を阻害していた可能性が考えられる。

肘関節最大内反トルクについては、本研究では、Small条件で肩関節内旋角速度、肘関節伸展角速度、ボール速度が増加したにも関わらず、ボール速度で除した肘関節最大内反トルクは低値を示した。投球速度が増加すれば肘関節トルクも増加すると言われているが<sup>73)</sup>、本研究では、Small条件において肩関節外旋角度が向上したことで加速期において肘頭が投球方向に向き、肘関節外反ストレスが緩衝されたためボールスピードあたりの肘関節内反トルクが低下したのと考えら

れる。また、ボールスピードが増加したことで実際の野球をプレーする場面において同距離での投球または送球では投射角度が低くなることが予想される。上方への投射角度では肘関節が投球方向へ向かず、肘関節内側に加わるストレスが増大することが考えられるため、ボールサイズ変更によるボールスピードの増加は投射角度の観点からも有益であると考えられる。

以上のことから、本研究の対象となった手長 15 cm 以下の少年野球選手において、通常使用されている硬式球より小さなボールを使用することは、投球の効率を上げ、肘関節内側障害のリスクを軽減する可能性が示唆された。

本研究の限界は、実験環境が屋内であり、また投球距離が 5m と短いことが挙げられる。少年期野球選手では筋力や技術の問題から山なりの投射方向での投球が予想されるが、本研究では実際の投射方向を反映した結果ではない。また、結果について手指・手関節の筋活動の観点から考察したが、投球時における手内在筋における筋活動のデータ収集の難しさと、発生するアーチファクトの問題から本研究では方法に加えていない。これらの課題については今後も検討が必要である。

#### 4-3. 小括

野球選手の投球障害に関与する因子の検討は、これまで関節柔軟性や筋力などの身体因子である内的要因に関するもので行われてきた。本論文では、研究 2 の結果より、手長の小さい選手において、通常より小さいボールを使用することによる変化を明らかにした。結果として、手長の平均 15cm 以下の少年期野球選手においては、通常より小さいサイズのボールを使用することにより肘関節内反トルクを緩衝するための肩関節外旋角度、肘関節屈曲角度が増加した。また関節角速度・ボールスピードが増加したが肘関節内反トルクについて有意差はなく、ボールスピードあたりの肘関節内反トルクは低下した。

これまで報告されてきた内的要因である関節柔軟性や下肢・体幹の機能、予防に効果的なストレッチングやエクササイズに加え外的要因であるボールサイズの変更により投球肘障害の予防に寄与する可能性が示唆された。

本研究結果の社会的意義としては、小学校低学年が想定される 15cm 以下の手長の野球選手においては、現行のボールサイズより小さいものを使用することで骨端線閉鎖前の肘関節内側障害の罹患率を下げることを期待できる。一方で、実際の野球プレー場面における変化や球数の増加による影響については検証できていないため今後更なる研究が必要である。

## 第5章 総括

本論文では、少年期野球選手の投球肘障害について、主にボールサイズとボールの握り方について肘関節に及ぼす影響を論じた。

少年期において投球肘障害は高頻度に発生し、かつ成人期に至るまで影響を及ぼすスポーツ障害である。これまでに少年期野球選手の投球肘障害は、発生メカニズムや発生する選手の肩関節機能・体幹機能・股関節機能などについて調査されてきたが、発生件数は数十年に渡り減少せず推移してきた。一方で、患部となる肘関節の理学所見と新規発生に対する前向き調査は行われて来ておらず、本論文では、研究1として、投球時肘内側部痛の既往のない少年期野球選手の圧痛検査と外反ストレス検査結果から翌年までの新規発生について検討した。場所を選ばず簡便な2種類の検査で一定の傾向を見出すことが明らかとなり、今後は検査方法について再考したうえで、家庭やチーム単位での定期チェックにより投球肘障害の危険信号を早期に知らせることが出来る方法として普及させていく必要がある。また、投球動作の最終効果器である手部・手指の影響についても十分な検討はされてこなかったため、研究2では、少年期野球選手の手長と握り方について投球肘障害の既往との関係を明らかにした。これまで推奨されてきた母指尺側握りは、手長の小さい選手にとってはMP関節が伸展位となる握り方になるため、かえって虫様筋などの手内在筋が機能しづらい肢位となることが示された。これにより母指の位置のみで握り方の良し悪しを判断するのではなく、「ゆとりを持たせた握り」であるMP関節が軽度屈曲位となるボールの握り方を推奨する結論となった。この結果を受けて、研究3では、手長の小さい選手に対し通常より小さいボールを使用することで握り方・投球動作・投球時の肘関節トルクがどのように変化するかを調査した。また使用するボールについては、直径の小さいボールという条件に加え、通常のボールと重量を均一にすることで重量の因子が投球動作および肘関節トルクに与える影響を除いた。結果として対象者のおよそ半数で母指指腹握りから母指尺側握りへと変化し、全体の平均では有意に示指が軽度屈曲位となった。これは研究2の結果を更に裏付けるものであり、ボールの握り方は、手長とボールサイズの関係により変化すること、手長の小さい選手は、通常より小さいボールを握ることで、危険因子の一つであるMP関節の伸展角度が改善することが示された。投球動作については、関節角度において、MERにおける肩関節外旋角度、肘関節屈曲角度が増大した。この2点については、先行研究で報告されている推奨されている方向への変化であり、指導者による動作指導に先んじてボールサイズの変化が動作変化を生じさせる一因子であることを発信していく必要があると考えられる。投球側上肢の腕の振りの速さの指標である肩・肘・手関節角速度とパフォーマンスの指標であるボールスピードについては小さいボールを使用することで対象とした項目で有意に増加した。この結果は、投球動作の変化に伴って生じたものであると考えられるが、単にパフォーマンスとして腕の振りが速くなりボールスピードが増加した点のみでなく、ボールスピードの増加により実際の投球・送球場面において肘関節に負荷がかかる投射角度の低下を招くことが予想されるため、投球肘障害の予防に関しても寄与できる結果であると考えられる。実際に肘関節内側にかかる肘関節トルクについては、小さいボールを使用することでボールスピードあたりの肘関節内反トルクが低下した。この結果は本論文の根幹をなすものであり、本研究で対象となった手長15 cm以下の選手においては、直径の小さいボールを使用すること

が、パフォーマンスと投球肘障害予防の両側面から推奨できるものであると考えられる。少年期野球選手における投球肘障害の予防については、これまでに報告されてきた関節可動域や柔軟性などの身体機能因子である内的要因と、近年ルール整備がされた投球数制限に加え、手長の小さい低学年選手についてはボールサイズの検討を提言したいと考えている。

一方、手内在筋や手関節筋群の筋活動解析や実際の投球・送球距離における調査について十分な検討が必要であり、今後の課題である。

## 参考・引用文献

- 1) 長崎浩：動作分析のこれから．理学療法科学．2003；18(3)：147-151.
- 2) 桜井伸二，高槻先歩：投げる科学．東京，大修館書店．1992；pp244-263.
- 3) M.R. Wild. The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children. Research Quarterly, 2016；22：20-24.
- 4) 尾縣貢，関岡康雄：遠投における投射角度の変化が投射初速度，投射高および投動作に及ぼす影響．スポーツ教育学研究．1994；14(1)：49-59.
- 5) Dillman CJ, Fleisig GS, et al. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. J Orthop Sports Phys Ther. 1993；18(2)：402-408.
- 6) 宮西智久，藤井範久，他：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．1997；46：55-68.
- 7) 西川仁史，田中宏：投球動作の運動学的特徴．投球障害のリハビリテーション&リコンディショニング1版．東京，文光堂．2010；pp120-137.
- 8) Thompson SF, Guess TM, et al. Youth Baseball Pitching Mechanics: A Systematic Review. Sports Health. 2018；10(2)：133-140.
- 9) 長谷川伸：投球動作における軸脚の股関節周囲筋の筋電図学的分析．九州共立大学紀要．2014；5(1)：23-28.
- 10) 五百川威，飯田晋，他：成長期野球選手における投球時の蹴り，踏み込み動作と球速の関連について．スポーツ傷害．2007；12：15-19.
- 11) 信原克哉：肩とスポーツ．肩-その機能と臨床-．東京，医学書院．2013；pp349-414.
- 12) Okamoto S, Endo Y, et al. Three-dimensional kinematic analysis of glenohumeral, scapular, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation associated with baseball shadow pitching: comparison with normal pitching. J Phys Ther Sci. 2018；30(7)：938-942.
- 13) Fleisig GS, Barrentine SW, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. J Biomech. 1999；32(12)：1371-1375.
- 14) Luera MJ, Dowling B, et al. Role of Rotational Kinematics in Minimizing Elbow Varus Torques for Professional Versus High School Pitchers. Orthop J Sports Med. 2018；6(3)：1-8.
- 15) Aguinaldo AL, Chambers H. Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. Am J Sports Med. 2009；37(10)：2043-2048.
- 16) Fleisig GS, Kingsley DS, et al. Kinetic comparison among the fastball, curveball, change-up, and slider in collegiate baseball pitchers. Am J Sports Med. 2006；34(3)：423-430.
- 17) Borsa PA, Laudner KG, et al. Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: a theoretical and evidence-based perspective. Sports Med. 2008；38(1)：17-36.



- 18) 宮下浩二：スポーツにおける上肢の運動障害の予防とリハビリテーション．日本職業・災害医学会誌．2012；60(3),131-136.
- 19) Sakata J, Nakamura E, et al. Physical Risk Factors for a Medial Elbow Injury in Junior Baseball Players: A Prospective Cohort Study of 353 Players. Am J Sports Med, 2017；45(1)：135-143.
- 20) 一般財団法人全日本野球協会，公益財団法人日本整形外科学会，公益財団法人運動器の10年・日本協会：平成28年度中学野球（軟式・硬式）実態調査報告書．2017.
- 21) Reeder MT, Smith B. Little League Shoulder. J Am Osteopath Assoc. 2015；115(8)：522.
- 22) Kanematsu Y, Matsuura T, et al. Epidemiology of shoulder injuries in young baseball players and grading of radiologic findings of Little Leaguer's shoulder. J Med Invest. 2015；62(3)：123-125.
- 23) 小山智士，藤岡宏幸，他．成長期における野球肘の疫学調査と上腕骨内側上顆骨化核下端障害の治療経験．日本臨床スポーツ医学会誌．2014；22(3)：456-462.
- 24) 南正夫．肘関節形成各骨骨端核の発現期並びに化骨期に就てのX線学的検索．日本整形外科学会誌．1926；3：74.
- 25) Lyman S, Fleisig GS, et al. Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. Med Sci Sports Exerc. 2001；33(11)：1803-1810.
- 26) 松浦哲也，鈴江直人，他．少年野球選手の肘関節痛発症に関する前向き調査危険因子の検討とガイドラインの検証．整スポ会誌．2012；32(3)：242-247.
- 27) Olsen SJ, Fleisig GS, et al. Risk factors for shoulder and elbow injuries in adolescent baseball pitchers. Am J Sports Med. 2006；34(6)：905-912.
- 28) Shanley E, Kissenberth MJ, et al. Preseason shoulder range of motion screening as a predictor of injury among youth and adolescent baseball pitchers. J Shoulder Elbow Surg. 2015；24(7)：1005-1013.
- 29) 坂田淳，中村絵美，他．少年野球選手における肘内側障害の危険因子に関する前向き研究．整スポ会誌．2016；36(1)：43-51.
- 30) 高原政利ほか：野球肘の治療と予防．日整会誌，2011；85(9)：539-545.
- 31) 辻野昭人，伊藤恵康：内側型野球肘牽引障害の病態と治療．骨・関節・靱帯，2005；18(11)：975-983.
- 32) Harada M, Takahara M et al. Outcome of nonoperative treatment for humeral medial epicondylar fragmentation before epiphyseal closure in young baseball players. Am. J. Sports Med. 2012；40(7)：1583-1590.
- 33) 松浦哲也．少年野球肘検診-障害の早期発見 早期治療と予防をめざして-．関節外科．2008；27：1089-1095.
- 34) 山口健．保存療法を行った上腕骨小頭離断性骨軟骨炎に経時的変化．日本肘関節学会雑誌．2007；14：1-3.
- 35) 西中直也，筒井廣明，他．CT所見による上腕骨小頭離断性骨軟骨炎の不安定性分類の試み．日本肘関節学会誌，2015；22(2)：30-34.

- 36) 川野達哉, 大場俊二, 他. 小学生野球肘(内側型)の予後. 九州・山口スポーツ医・科研究会誌, 2007; 19: 23-28.
- 37) 岩間徹, 米田進, 他. イラストによる 投球フォーム指導. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2011; 19(3): 460-465.
- 38) 工樂義孝, 秀島聖尚, 他. 成長期野球 肘と足部マルアライメントの関連性 ポジション別による検討. 九州・山口スポーツ医・科研究会誌, 2014; 23: 77-83.
- 39) BROGDON BG, CROW NE. Little leaguer's elbow. Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med. 1960; 83: 671-675.
- 40) Pappas AM. Elbow problems associated with baseball during childhood and adolescence. Clin Orthop Relat Res. 1982; 164: 30-41.
- 41) Frangiamore SJ, Moatshe G, et al. Qualitative and Quantitative Analyses of the Dynamic and Static Stabilizers of the Medial Elbow: An Anatomic Study. Am J Sports Med. 2018; 46(3): 687-694.
- 42) 高原政利, 戸祭正喜, 他. 画像診断, 分類, 病理, および病因. 日本整形外科スポーツ医学会誌. 2011; 31(1): 3-16.
- 43) 坂田淳. 前腕回旋機能障害, 肘関節理学療法マネジメント. 東京, メジカルビュー社. 2020: pp75-83.
- 44) 山口健, 三原研一, 他. 少年野球肘に対する運動療法と治療成績. 整スポ会誌, 2008; 27: 321-324.
- 45) Shanley E, Rauh MJ, et al. Shoulder range of motion measures as risk factors for shoulder and elbow injuries in high school softball and baseball players. Am J Sports Med. 2011; 39(9): 1997-2006.
- 46) 平本真知子, 森原徹, 他. 高校生野球選手における関節可動域と肘関節障害の関係. 日本肘関節学会雑誌, 2018; 25(2): 216-218.
- 47) Guidelines for Youth and Adolescent Pitchers. [Internet]. USA: Pitch Smart. [cited 2021 Nov.20]. Available from: <https://www.mlb.com/pitch-smart/pitching-guidelines>.
- 48) 吉本真純, 渡辺裕之, 他. 中学生野球選手における 75 球の反復投球が 関節可動域, 筋柔軟性に与える影響. 理学療法科学, 2020; 35(2): 153-157.
- 49) 平山大作, 藤井範久, 他. 投球数の増加にともなう投球動作の変容. 筑波大学体育学系紀要, 2009; 32: 189-192.
- 50) Shitara H, Yamamoto A, et al. Shoulder Stretching Intervention Reduces the Incidence of Shoulder and Elbow Injuries in High School Baseball Players: a Time-to-Event Analysis. Sci Rep. 2017; 27(7): 1-7.
- 51) Bahr R, Krosshaug T: Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. Br J Sports Med. 2005; 39(6): 324-329.
- 52) Meeuwisse WH: Assessing causation in sport injury: a multifactorial model. Clin J Sport Med. 1994; 4(3): 166-170.

- 53) Takagishi K, Matsuura T, et al. Shoulder and elbow pain in elementary school baseball players: The results from a nation-wide survey in Japan. *J Orthop Sci.* 2017; 22(4): 682-686.
- 54) O'Driscoll SW, Lawton RL, Smith AM. The moving valgus stress test for medial collateral ligament tears of the elbow. *Am J Sports Med.* 2005; 33(2): 231-239.
- 55) 田中正栄, 西野勝敏, 他. 成長期野球選手の投球動作解析-成長に伴う変化についての検討 -. *スポーツ傷害*, 2006; 11: 39-42.
- 56) 水谷仁一, 竹中裕人, 他. ボールの握り方の変化が投球動作に及ぼす影響. *東海スポーツ傷害研究会会誌*. 2009; 27: 25.
- 57) 飯田博己. リトルリーグ肩, 成長期のスポーツ障害とリハビリテーション. *MB Med Reha.* 2008; 96: 1-11.
- 58) Aranceta-Garza A, Conway BA. Differentiating Variations in Thumb Position From Recordings of the Surface Electromyogram in Adults Performing Static Grips, a Proof of Concept Study. *Front Bioeng Biotechnol.* 2019; 7: 1-11.
- 59) 一般財団法人全日本野球協会, 公益社団法人日本整形外科学会, 一般財団法人運動器の10年・日本協会: 平成28年度中学野球(軟式・硬式)実態調査 報告書. 2017.
- 60) 高見圭太, 宮寄武, 他. バックスピンする球体に働く負のマグナス力-飛翔実験による測定 -. *ながれ*. 2009; 28: 347-356.
- 61) 谷口哲也, 宮寄武, 他. 硬式野球ボールに働く空気力の測定. *ながれ*, 2006; 25: 257-264.
- 62) Fleisig GS, Phillips R, et al. Kinematics and kinetics of youth baseball pitching with standard and lightweight balls. *Sports Engineering*, 2006; 9: 155-163.
- 63) Wu G, van der Helm FC, et al. International Society of Biomechanics. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech.* 2005; 38(5): 981-992.
- 64) 宮西智久, 藤井範久, 他. 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*, 1996; 41: 23-37.
- 65) 宮西智久. 剛体リンク系における身体運動の3次元関節トルク算出法の実験. *仙台大学紀要*, 1998; 30(1): 46-56.
- 66) 横井孝志, 渋谷通良, 他. 日本人幼少年の身体部分係数. *体育学研究*, 1986; 31(1): 53-66.
- 67) 阿江通良, 湯海鵬, 他. 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. *バイオメカニズム*, 1992; 11: 23-33.
- 68) Andrews JG. Biomechanical analysis of human motion. In *Kinesiology IV. Physical Education and Reaction*, 1974: 32-42.
- 69) Sabick MB, Torry MR, et al. Valgus torque in youth baseball pitchers: A biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004; 13(3): 349-355.
- 70) Werner SL, Fleisig GS, et al. Biomechanics of the elbow during baseball pitching.

- J Orthop Sports Phys Ther. 1993; 17(6): 274-278.
- 71) Thompson SF, Guess TM, et al. Youth Baseball Pitching Mechanics: A Systematic Review. Sports Health. 2018; 10(2): 133-140.
- 72) 坂田淳, 中村絵美, 他. 少年野球選手における肘内側部傷害の危険因子に関する前向き研究. 整スポ会誌, 2016; 36(1): 43-51.
- 73) Slowik JS, Aune KT, et al. Fastball Velocity and Elbow-Varus Torque in Professional Baseball Pitchers. J Athl Train. 2019; 54(3): 296-301.

## 研究成果

### 学会発表

田中直樹, 我妻浩二, 岩本航. 学童野球選手における圧痛と外反ストレス検査は肘内側部痛新規発生予測となり得るか. 第31回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 2020;一般演題発表. (研究1)

### 投稿論文

Naoki Tanaka, Yasutomo Sakai, Wataru Iwamoto, Koji Wagatsuma. Influence of pitching grip on shoulder and elbow injuries in junior baseball players, focusing on hand length and the metacarpophalangeal joint angle. J Phys Ther Sci. 2021; 33(9): 637-640. (研究2)

Naoki Tanaka, Yasutomo Sakai, Yosuke Maruyama, Tetsuro Hirayama Wataru Iwamoto, Koji Wagatsuma. Throwing kinematics and elbow varus torque relative to ball size in junior baseball players. J Phys Ther Sci. 2022; 34(1). (研究3)

## 謝辞

本研究を遂行し、博士論文をまとめるにあたり、多くの方々のご支援とご協力をいただきました。

指導教員である帝京平成大学大学院健康科学研究科の阪井康友教授には、時に応じ常に最新の知見や工夫をご指導いただきましたおかげで前向きに研究に向かうことが出来ました。心よりお礼申し上げます。副指導教員の加藤勝行教授には、いつも暖かくそして細部に渡るご指導をいただき行き詰った自分を磨き上げていただきました。帝京平成大学大学名誉教授の青木主税教授におかれましては、大学院の受け入れから準備段階で多くのご支援をいただき研究を開始することができました。本当にありがとうございました。

帝京平成大学健康医療スポーツ学部リハビリテーション学科の長尾邦彦教授には、日々の熱いご指導とご支援をいただき常に応援してくださいましたことを心よりお礼申し上げます。丸山陽介准教授と平山哲郎講師には、ご多忙のなか多くの汗をかいていただき実験にご協力をいただきました。帝京平成大学健康医療スポーツ学部リハビリテーション学科の先生方、帝京平成大学健康メディカル学部理学療法学科の先生方におかれましてもいつも暖かくサポートしていただき本当に感謝しています。

江戸川病院スポーツ医学科の岩本航先生をはじめ江戸川病院スポーツ医学科の先生方、我妻浩二氏をはじめ江戸川病院スポーツリハビリテーションメンバー・医療法人社団靱生会リハビリテーション科の皆様、船橋整形外科グループの皆様には日頃より厚いご支援とご協力をいただき感謝の気持ちでいっぱいです。少年期野球選手の投球傷害を無くすという目標のもと今後も多くの活動を共に進めていけることを願っています。

最後になりましたが、江戸川区学童少年軟式野球連盟・葛飾区学童少年軟式野球連盟の選手・保護者・指導者の皆様、千葉市リトルリーグ所属の選手・保護者・指導者の皆様のご協力なくして研究を行なうことは出来ませんでした。COVID-19 の世界的な感染拡大下においてこのようなご協力をいただけたことは幸せであると感じています。本当にありがとうございました。

選手の皆様が元気に野球を続けていけるよう研究を続けて参ります。

2021 年 12 月

帝京平成大学大学院健康科学研究科健康科学専攻博士課程

田中直樹