

2018年度 修士論文

成長期野球選手における
肘の発育と身体成熟度の関係について

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医学研究領域

5009A702-7

中原 啓吾

研究指導教員： 鳥居 俊 准教授

目次

第1章 序論	1
第1節 研究背景	1
第2節 目的	4
第3節 仮説	5
第4節 本論文の構成	6
第2章 本論	7
第1節 肘の発育と身体成熟度の関係についての検討	7
第2節 肘の発育に対する投球による影響についての検討	23
第3節 骨端軟骨の部位ごとの発育についての検討	34
第4節 肘の発育と野球肘の関連についての検討	50
第4章 総合考察	61
第5章 結論	64
参考文献	65
謝辞	70

第 1 章 序論

第 1 節 研究背景

野球選手において、投球による肘関節の障害（以下、野球肘）は最も頻度の多い障害の一つであり、本邦において研究と予防のための活動が盛んに行われている。障害発生状況を調査するために小学生～高校生の野球選手に対する大規模なアンケート調査が行われており、1 万人を超える中学生を対象にアンケート形式で行った調査では、痛みを経験した部位としては肘が最も多く、次いで肩であったと報告されている（全日本野球協会ほか，2016）。また、野球肘の予防を目的として、医師や理学療法士を中心とした検診が全国で積極的に行われている（帖佐，2014）。中学生硬式野球選手を対象とした報告では、検診時に 50%の選手が何らかの障害を有しており、そのうち肘関節の障害は 19.4%を占めていたとしている（柿沼ら，1998）。特に成長期野球選手における野球肘は骨軟骨の障害であることが多い。少年野球選手を対象とした検診では 46.4%に肘の疼痛既往があり、全体の 18.1%に肘の骨軟骨障害が確認された（鈴江ら，2006）。成長期には、骨の長軸方向への成長が、骨密度の上昇を伴うことなく、急速に発生することで一時的に骨が脆弱な状態となる（Rauch，2004）。それにより、筋腱が骨に付着する部位に対してスポーツ活動などによる牽引ストレスが加わり、骨軟骨部に障害が発生しやすいと考えられている。

肘を構成する骨の成長については暦年齢を元に報告がなされている。肘は尺骨・橈骨・上腕骨という 3 つの骨によって構成されている。肘の周囲には骨端軟骨（または骨端線）と呼ばれる骨の長軸方向への成長を担う部位が、上腕骨小頭・外側上顆・内側上顆・滑車・橈骨頭・肘頭の

6ヶ所に存在する。各部位の骨端軟骨が閉鎖する時期については複数の報告がされており、国内では南の報告が引用されることが多い（南，1926）。しかし、いずれの報告も暦年齢を元に検討されたものであり、骨端軟骨の閉鎖時期についても広い範囲で記述されている。先述した南の報告から、野球肘を発生しやすい上腕骨内側上顆について骨端線が閉鎖する時期は13～16歳と報告されており、中学生から高校生の時期には骨端軟骨が成熟途上の選手が入り混じることになる。身体の成長に個体差が大きい成長期のスポーツ選手を指導する為には、身体的な成長度合い（以下、身体成熟度）を知る為により明確な指標が必要であると考えられる。

個々の身体成熟度を知る手段として、最大発育速度年齢（以下、PHV年齢）を利用することが出来る。PHV年齢は複数の身長履歴から算出される。年齢からPHV年齢を引いた値（以下、発育年齢）を算出することで、身体成熟度を示す指標として用いることが出来る。その他に身体成熟度を知る手段として、手部のレントゲン画像から評価した骨年齢を用いる方法が多く報告されている（芦澤ら，1998）。公益財団法人日本サッカー協会のホームページ（<http://www.jfa.jp>）においても、骨年齢により身体成熟度を評価する意義として、発育に応じたトレーニングの処方やスポーツ障害の予測など、多くが挙げられている。しかし、レントゲン画像を用いた評価はスポーツ現場では簡便とは言い難い手法であり、被曝などの問題も懸念される。発育年齢による身体成熟度の推測手法は比較的簡便に用いることが出来、より一般化されやすい手段であると考えられる。

先行研究では、先述した骨端軟骨の閉鎖時期や身体成熟度のそれぞれについては報告がされているが、その関係性を検討したものは少ない。野球肘が起こる肘に焦点をあて、骨端軟骨の状態を分析して身体成熟度との関連を検討することで、肘を構成する骨の成長（以下、肘の発育）を簡便に推測することが出来るようになると思う。これにより、スポーツや臨床の現場でも身体成熟度を活用することが出来るようになり、個々の発育に合わせた指導が可能になると考えられる。

第 2 節 目的

本研究では、成長期の野球選手における肘の発育と身体成熟度の関係について明らかにすること、また、肘の発育に対する投球の影響と障害の関連について明らかにすることを目的とした。

第 3 節 仮説

仮説として以下の 2 点を立て、検証を行う。

- i. 暦年齢よりも発育年齢の方が的確に肘の発育を推測することが出来る。

- ii. 投球によるメカニカルストレスにより、投球側の肘の発育は非投球側に比べて進行するが、障害との兼ね合いで一部例外的な特徴を有する選手が存在する。

第 4 節 本論文の構成

本論では以下の題目ごとに 4 つの節に分けて記述を行う。

第 1 節：肘の発育と身体成熟度の関係についての検討

投球の影響を受けない非投球側における肘の発育と身体成熟度の関係を検討する。

第 2 節：肘の発育に対する投球による影響についての検討

肘の発育に対する投球による影響を検討する為に、年齢ごとに投球側と非投球側の比較を行う。

第 3 節：骨端軟骨の部位ごとの発育についての検討

肘の発育について、骨端軟骨の部位ごとに検討を行い、それぞれの部位に対して骨端軟骨の閉鎖時期や野球肘との関連を検討する。

第 4 節：肘の発育と野球肘の関連についての検討

野球肘の現病歴または既往歴を有する選手について発育の特徴を検討する。

上記を踏まえて、総合考察にてスポーツ現場での研究結果の活用方法や仮説に対する回答を記述する。最後に結論を述べる。

第 2 章 本論

第 1 節 肘の発育と身体成熟度の関係についての検討

1-1. 緒言

成長期に起こる身体の変化に関して、日本人の発育のピーク年齢を調査した報告では、13.10 歳で身長が発育ピークを迎え、上肢長が発育ピークは 13.09 歳であるされている (Csukás ら, 2006)。また、発育の順序として、骨の長軸方向への発育ピークの後に筋量増加のピークがあり、その後に骨密度増加のピークを迎えるとされている (Rauch, 2004)。

肘の発育に焦点をあてた報告として序論にて紹介した南の報告では、肘周囲に存在する 6 ヶ所の骨端軟骨について、骨端核の出現および骨端軟骨の閉鎖は以下の表 1 に記す時期に起こるとされている (南, 1926)。

表 1. 骨端核の出現および骨端軟骨の閉鎖時期 (南, 1926 より抜粋)

	骨端核の出現	骨端軟骨の閉鎖
上腕骨小頭	4.5~5ヵ月	12~14歳
上腕骨外側上顆	11~12歳	13~16歳
上腕骨内側滑車	10~12歳	14~16歳
上腕骨内側上顆	4.9~9歳	13~16歳
肘頭	10~12歳	14~16歳
橈骨頭	5.5~8歳	14~16歳

また、身体が発育と身体成熟度を検討した先行研究としては、脛骨粗面に関して行われた報告が散見される。鳥居らは、脛骨粗面の発育段階について、発育年齢の方が暦年齢よりも関連が高かったと報告している (鳥居ら, 2011)。

身体が発育と身体成熟度のそれぞれについて報告したものは見られる

が、鳥居らの報告のように関係性を検討したものは少ない。また、肘関節を対象に検討したものは確認されなかった。

そこで、本節では投球によるストレスを受けない非投球側に焦点を当てて、肘の発育と身体成熟度の関係について検討を行った。

1-2.方法

1-2-1.対象

対象は硬式野球チームに所属する中学生・高校生の男子 83 名とした。83 名の内訳は中学生 29 名、高校生 54 名である。中学生・高校生はそれぞれ 1 チームずつ（計 2 チーム）に所属している。

1-2-2.測定

測定は、まず基本項目として身長および体重の測定を行なった。次に質問紙形式にて生年月日、競技開始年齢、ポジション、投打の利き側、障害の現病歴と既往歴の調査を行なった。そして、肘関節 MRI 撮影、DXA 測定、身長履歴調査を行なった。後半 3 つの測定項目について以下に詳細を記載する。

[肘関節 MRI 撮影]

前額面にて両肘の MR 画像を撮影した。撮影は T2 条件下（TR 4200, TE 103）にて行なった。

撮影した MR 画像より骨端軟骨の観察を行なった。肘周囲にある 6 ヶ所の骨端軟骨のうち、前額面画像からは観察の難しかった肘頭部を除いて、上腕骨内側上顆・上腕骨内側滑車・上腕骨外側上顆・上腕骨小頭・橈骨頭の 5 ヶ所の骨端軟骨を観察した。骨端軟骨の発育段階を分類した例として Ehrenborg が脛骨粗面に対して行なった分類がある（Ehrenborg, 1961、図 1）。本研究において肘周囲の骨端軟骨の状態を客観的な数値に置き換える為に、脛骨粗面の発育段階にならって、以下の表 2 の通り 4 段階に骨端軟骨の状態を分類して点数化を行なった。点数化の一例として、内側上顆・外側上顆・上腕骨小頭・橈骨頭の 4 ヶ所

が骨端軟骨点数 2 点を示した選手の MR 画像を図 2 に示す。5ヶ所の骨端軟骨に対して各 4 点、片側あたり 20 点を満点として、点数が上がるほど骨端軟骨の成熟が進んでいることを表す指標とした。

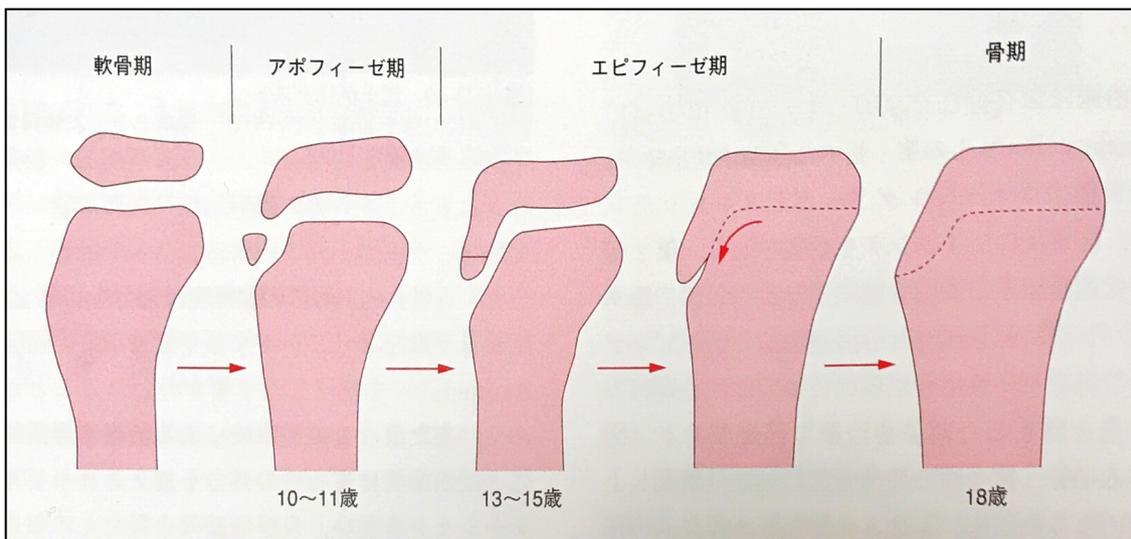


図 1.Ehrenborg による脛骨粗面発育段階の分類

(日本スポーツ協会, 2007 より抜粋)

表 2.骨端軟骨の点数化基準

1 点 :	骨端核が確認出来ないもの
2 点 :	骨端軟骨の間隔が空いて観察されるもの
3 点 :	骨端軟骨が一方向からのみ観察されるもの または、骨端線が線状に観察されるもの
4 点 :	骨端軟骨が観察されないもの

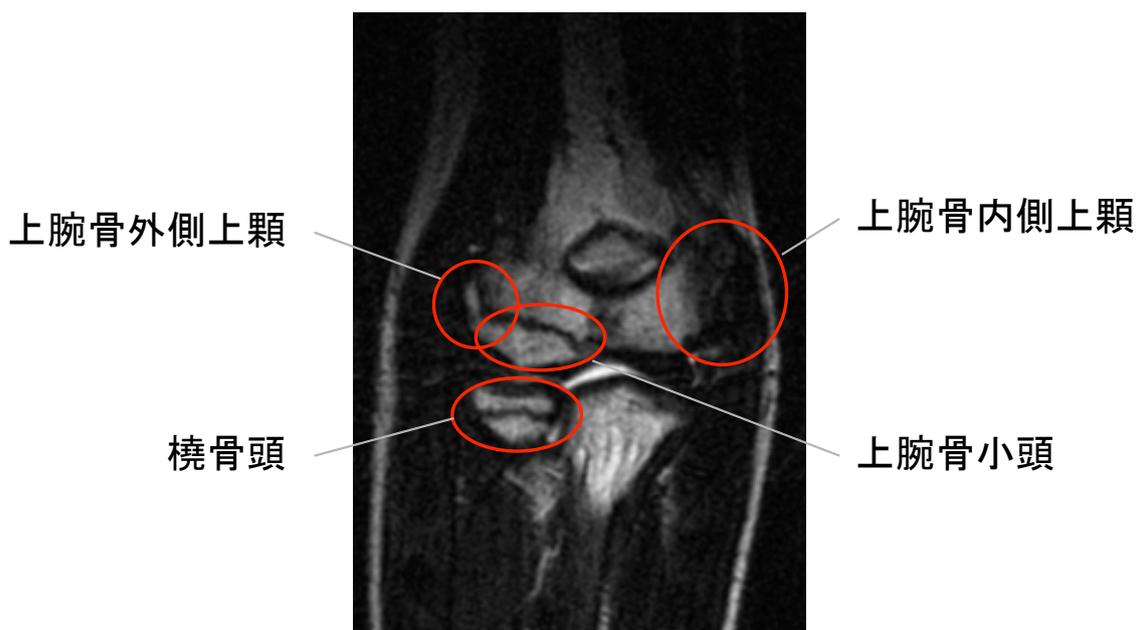


図 2.骨端軟骨点数化の例

[DXA 測定]

身体組成を測る手法として DXA 装置 (DelphiA-QDR, Hologic 社) を用いて測定を行なった。whole body mode にて全身をスキャンし、全身の身体組成計測を行なった。本装置の仕様は放射線取扱資格を有する医師が行い、毎回の測定前には定められた手順でキャリブレーションを行なった。衣類による誤差を少なくする為に被験者は T シャツとハーフパンツといった軽装になり、測定を行なった。

得られたデータから、本研究では上肢骨密度 (BMD : Bone Mineral Density) の値を検討に利用した。骨密度は骨の面積あたりの骨量を表したものであり、20 代のピークに向けて漸増するとされている。

[身長履歴調査]

小学校 1 年生から測定時までの身長履歴をアンケート形式にて回答してもらった。回収した身長履歴から成長学分析ソフト (AUXAL,

Scientific Software International Inc.)を用いて PHV 年齢を算出した。身長履歴に欠損があった場合は回収できた分のみで PHV 年齢を算出した。序論に記載の通り、暦年齢から PHV 年齢を引いた値を発育年齢とした（発育年齢＝暦年齢－PHV 年齢）。

1-2-3.対象の除外・データの欠損

序論にて述べた、野球肘の既往歴を有する選手は非常に多く、約半数の選手に見られるとの報告もある（鈴江ら,2006）。そこで本研究では（検討 4 以外では）既往歴を有する選手を除外することなくデータに含めて検討を行った。

また、上記の測定項目のうち、データの欠損となった選手は以下の 3 名である。

- ・ MRI 撮影不可：中学生 1 名（骨端軟骨点数算出不可）
- ・ PHV 年齢算出不可：高校生 2 名（発育年齢算出不可）

1-2-3.統計処理

統計処理には統計ソフト SPSS Statics 24（IBM 社）を用いた。相関関係の検討にはピアソンの積率相関係数を用いた。暦年齢および発育年齢の群間差を比較する際には一限配置分散分析を用いた。有意水準は 5% 未満とした。

1-2-4.倫理承認

本研究は早稲田大学倫理委員会「人を対象とする研究」の承認を得て実施した(承認番号 2017-323)。

1-3. 結果

1-3-1. 全体および暦年齢別結果

全体と暦年齢別の平均値および標準偏差を表 3 から表 5 に示す。

表 3. 全体および暦年齢別平均値 基本情報

全体/ 暦年齢	n数	基本情報			
		身長 (cm)	体重 (kg)	競技開始年齢 (歳)	競技年数 (年)
全体	83	169.50 ± 8.38	66.37 ± 13.15	7.10 ± 1.31	8.17 ± 1.92
12	9	151.91 ± 3.61	47.28 ± 7.94	7.22 ± 1.86	6.11 ± 1.54
13	6	165.10 ± 3.98	51.84 ± 7.08	8.00 ± 0.89	5.17 ± 1.33
14	10	166.93 ± 5.53	57.39 ± 9.76	7.50 ± 1.35	7.10 ± 1.37
15	20	173.80 ± 4.80	69.24 ± 8.30	6.60 ± 0.75	7.85 ± 1.63
16	23	171.03 ± 4.89	72.35 ± 10.70	7.13 ± 1.58	9.48 ± 0.79
17	15	175.47 ± 5.40	76.60 ± 7.68	7.00 ± 1.07	9.73 ± 0.96

表 4. 全体および暦年齢別平均値 身体成熟度

全体/ 暦年齢	身体成熟度			
	暦年齢 (歳)	PHV年齢 (歳)	予測最大身長 (cm)	発育年齢 (歳)
全体	15.57 ± 1.59	12.82 ± 1.03	176.77 ± 4.58	2.73 ± 2.11
12	12.60 ± 0.14	13.58 ± 0.52	175.38 ± 2.56	-0.98 ± 0.63
13	13.55 ± 0.31	13.29 ± 0.38	179.46 ± 4.13	0.26 ± 0.56
14	14.38 ± 0.27	13.01 ± 0.92	175.25 ± 5.30	1.37 ± 1.04
15	15.46 ± 0.30	12.38 ± 0.98	177.19 ± 4.78	3.08 ± 1.15
16	16.57 ± 0.28	12.65 ± 1.33	175.99 ± 4.25	3.92 ± 1.33
17	17.58 ± 0.24	12.89 ± 0.84	178.05 ± 5.14	4.69 ± 0.90

表 5. 全体および暦年齢別平均値 上肢骨密度, 骨端軟骨点数

全体/ 暦年齢	上肢骨密度 (g / cm ²)		骨端軟骨点数 (点)	
	投球側	非投球側	左右合計 (40点満点)	非投球側 (20点満点)
全体	0.83 ± 0.09	0.76 ± 0.10	34.67 ± 7.87	17.27 ± 3.90
12	0.66 ± 0.04	0.59 ± 0.04	17.75 ± 1.39	8.88 ± 0.64
13	0.77 ± 0.05	0.67 ± 0.02	23.67 ± 5.01	12.00 ± 2.45
14	0.80 ± 0.05	0.71 ± 0.05	30.30 ± 6.57	15.10 ± 3.14
15	0.85 ± 0.06	0.76 ± 0.05	37.60 ± 2.82	18.55 ± 1.57
16	0.87 ± 0.07	0.84 ± 0.07	39.65 ± 1.30	19.83 ± 0.65
17	0.88 ± 0.07	0.82 ± 0.06	39.47 ± 0.92	19.67 ± 0.62

1-3-2. 暦年齢と発育年齢の関係

暦年齢と発育年齢の関係を図 3 に示す。暦年齢と発育年齢は有意な正の相関関係を示した。また、対象において暦年齢の最小値は 12.35 歳、最大値は 17.89 歳。発育年齢の最小値は -2.35 歳、最大値は 7.68 歳であった。暦年齢の幅は 5.54 歳であるのに対して、発育年齢の幅は 10.03 歳となっていた。

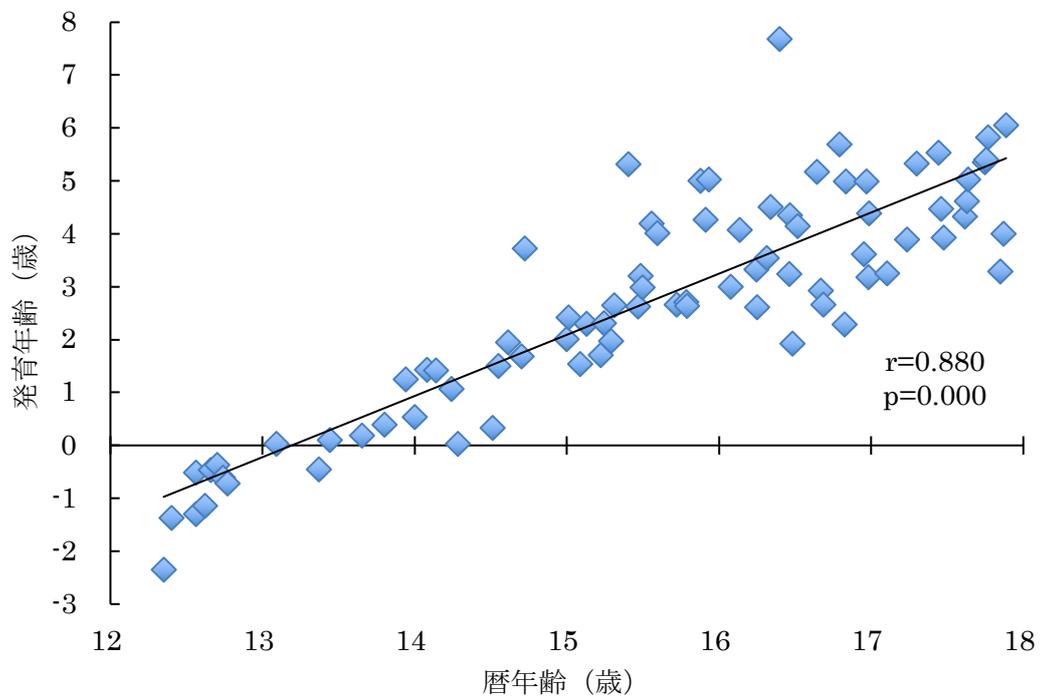


図 3. 暦年齢と発育年齢の関係

1-3-3. 暦年齢および発育年齢と非投球側上肢骨密度の関係

暦年齢と発育年齢のそれぞれについて、非投球側の上肢骨密度との関係を図4と図5に示す。暦年齢と発育年齢のどちらも非投球側の上肢骨密度と有意な正の相関関係にあることを示した。

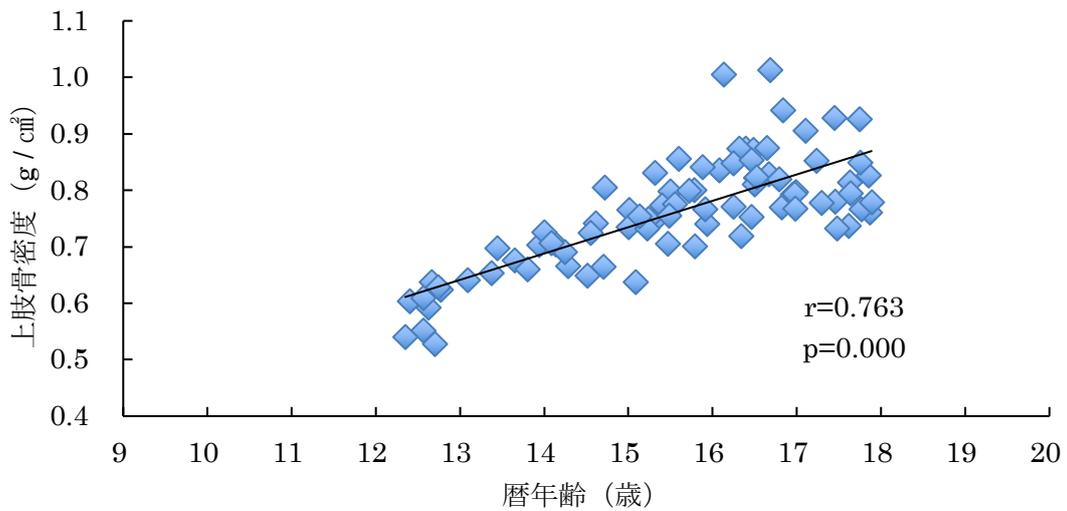


図4. 暦年齢と非投球側上肢骨密度の関係

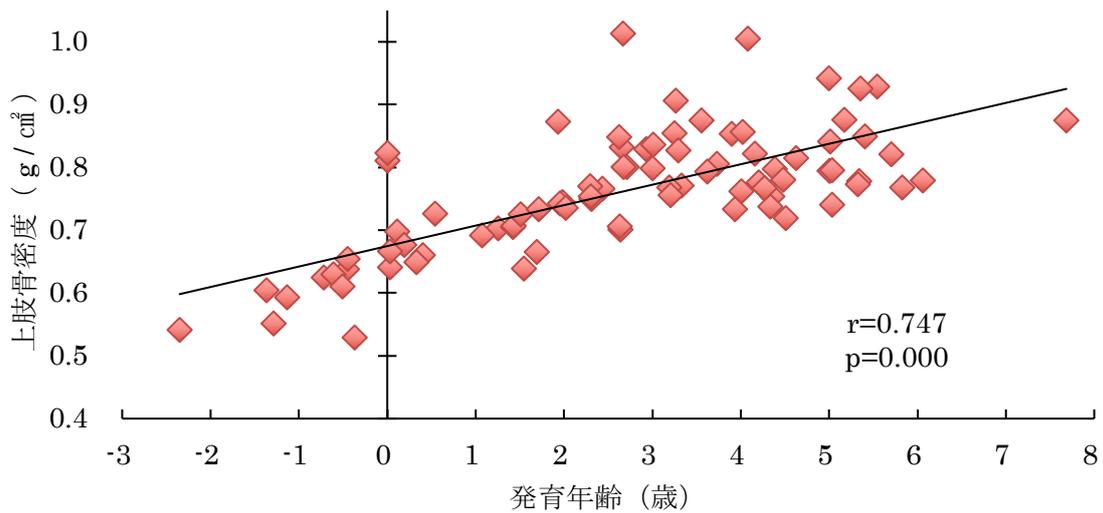


図5. 発育年齢と非投球側上肢骨密度の関係

1-3-4. 暦年齢および発育年齢と非投球側骨端軟骨点数の関係

暦年齢と発育年齢のそれぞれについて、非投球側の骨端軟骨点数との関係を図6と図7に示す。骨端軟骨点数は暦年齢および発育年齢の進行に従って、満点である20点に向けて増加を示し、一定の年代で満点を迎えて以降はプラトーを迎える分布となった。

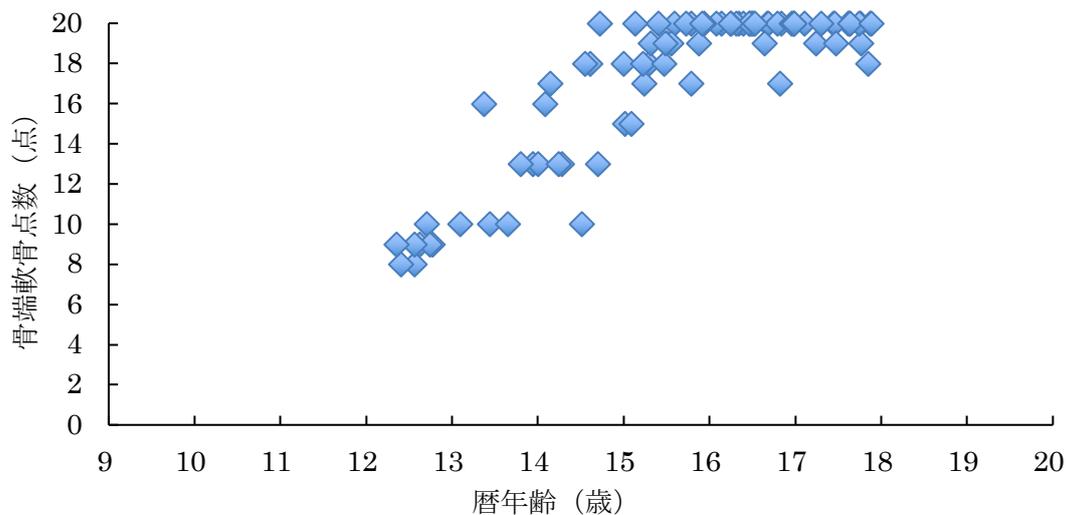


図6. 暦年齢と非投球側骨端軟骨点数の関係

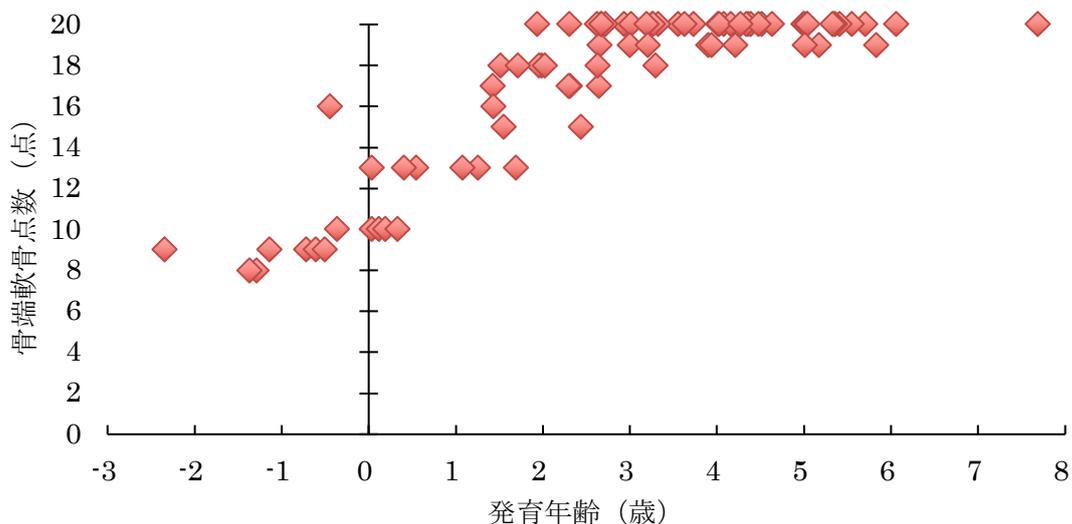
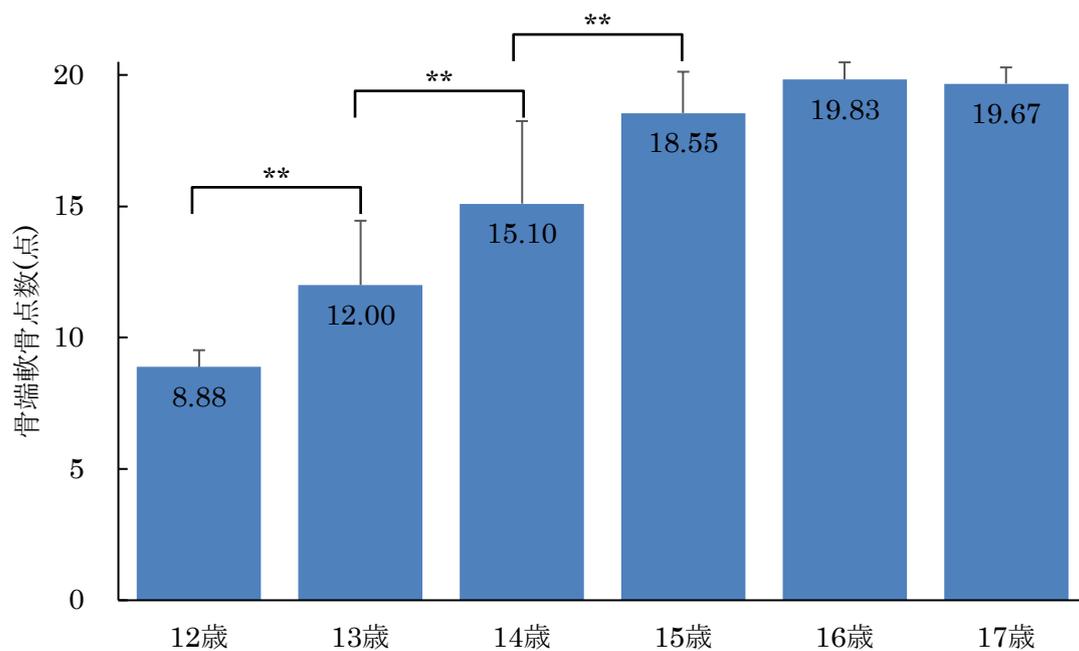


図7. 発育年齢と非投球側骨端軟骨点数の関係

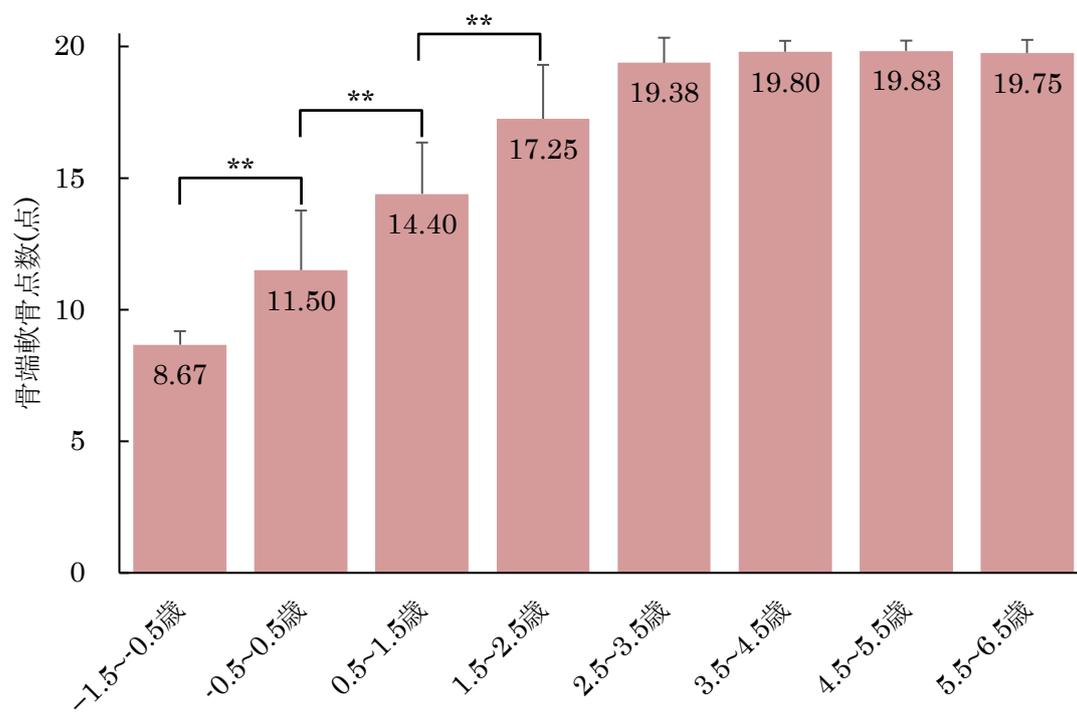
1-3-5. 暦年齢および発育年齢別の骨端軟骨点数比較

骨端軟骨点数について、暦年齢および発育年齢を1年ごとに群分けして平均値を比較した結果を以下の図8と図9に示す。尚、発育年齢の群分けにおいて、対象数が1であった-2.5~-1.5歳と7.5~8.5歳に対しては差の検定に対象数が不十分な為、検討に含んでいない。暦年齢による群分けでは12歳から15歳までの各群間には有意な差が見られたが、16歳以上の群間には有意な差は見られなかった。発育年齢による群分けでは-1.5歳から2.5歳未満までの各群間には有意な差が見られたが、2.5歳以上の群間に有意な差は見られなかった。



** : $p < 0.01$

図 8. 暦年齢別 非投球骨端軟骨点数



** : $p < 0.01$

図 9. 發育年齡別 非投球骨端軟骨点数

1-3-6. 暦年齢および発育年齢と成熟途上の骨端軟骨点数の関係

1年ごとの群分けによる差の比較から有意な差の見られた年代を抽出して、骨端軟骨点数との関係を検討したものを図10と図11に示す。暦年齢および発育年齢のどちらも有意な正の相関関係にあることを示した。2つのグラフの相関係数（ r 値）を比較したところ暦年齢に比べて発育年齢の方が僅かであるが相関係数が高くなっていた。

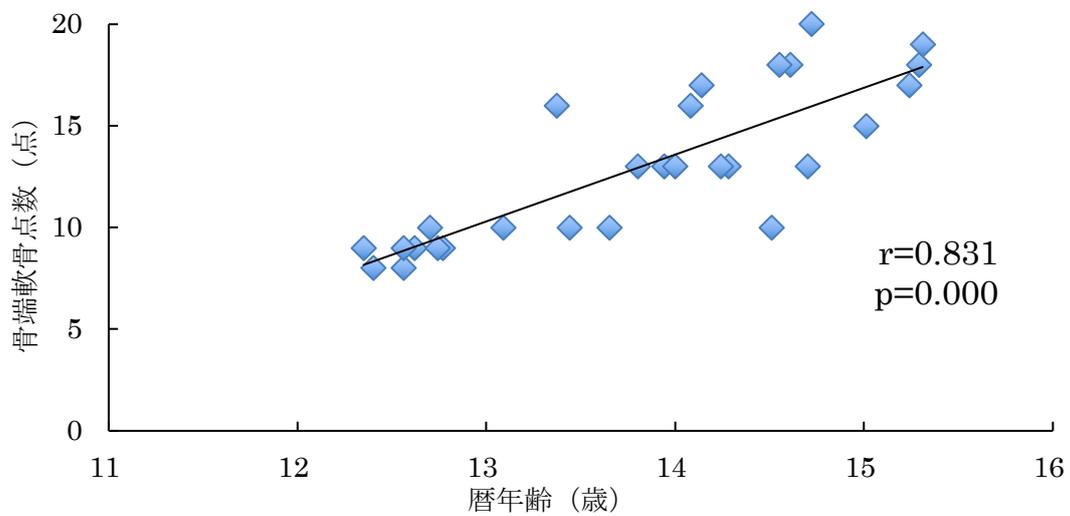


図 10. 暦年齢 12 歳以上～16 歳未満 非投球骨端軟骨点数

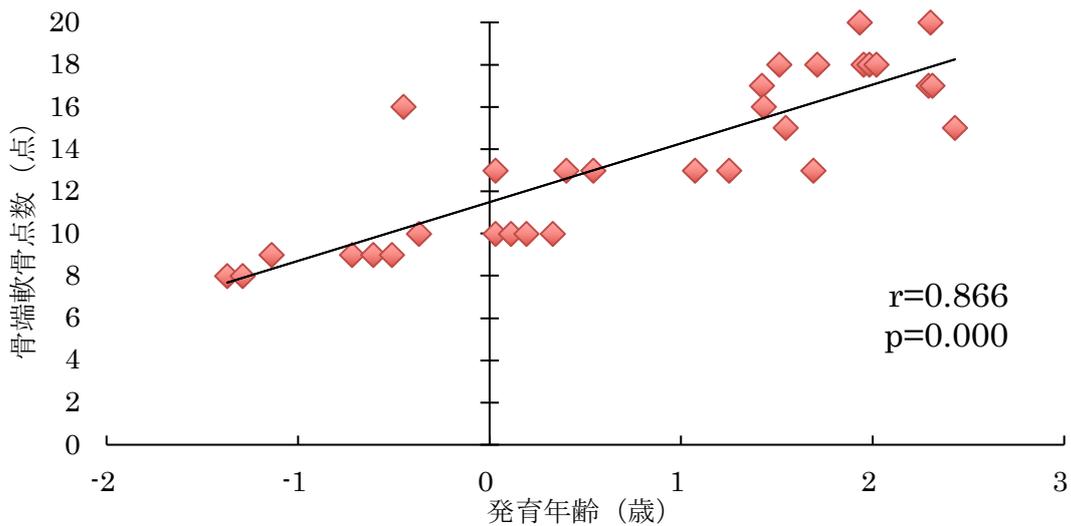


図 11. 発育年齢 -1.5 歳以上～2.5 歳未満 非投球骨端軟骨点数

1-4. 考察

まず、表 3 より全体の競技開始年齢の平均が 7.10 歳となっている。先行研究では 9-10 歳ごろが多いと報告されていることから、十分な競技年数を経ている集団であるという事が出来る（藤井ら，2003）。本研究と同様の方法で PHV 年齢を算出した先行研究では、中学生男子野球選手の PHV 年齢が 12.9 歳 ± 1.0 歳とされており、表 4 に示す本研究の値と同程度であった（三野，1996）。

対象は暦年齢において最小 12.35 歳から最大 17.89 歳の 5.54 歳の範囲に分布しているのに対して、発育年齢では最小 -2.35 歳から最大 7.68 歳の 10.03 歳の範囲に分布が広がる結果となっている（図 3）。このことから成長期には個々の成長のばらつきが大きく、発育年齢の方が個体差を反映する事が出来ることを示す結果となった。また、全体の PHV 年齢の平均は 12.82 歳、標準偏差は 1.03 となっている。95%信頼区間である標準偏差の 2 倍の値を考えると各学年に ± 約 2 歳の個体差が存在することを示した結果となっている。中学校および高校が 3 学年ごとに分かれているが、本研究からは 1 学年の中には早熟と晩熟の選手で 4 歳の個体差が見られる場合があるという結果となった。これは成長期スポーツ選手の指導には成長の個体差を考慮する必要があることの理由となり得ると考えられる。

図 4 と図 5 では暦年齢と発育年齢のそれぞれについて、非投球側の上肢骨密度との関係を示した。発育年齢が暦年齢に比べて広く分布していることから、これらの図でも発育年齢が x 軸となるグラフの方が横に広がる分布となっており、個体差を反映した結果となっている。この点に

については骨端軟骨との関係を示した図 6 と図 7 においても同様である。

暦年齢と発育年齢のそれぞれについて非投球側の骨端軟骨点数との関係を示した図 6 と図 7 のグラフにおいて、骨端軟骨点数が満点に近い値を迎えてグラフがプラトーを示す時期がいつであるかを知る事は、即ち骨端軟骨が成熟する時期を知る事になり、臨床的にも有用であると考えられる。そこで骨端軟骨点数について、暦年齢および発育年齢を 1 年ごとに群分けして平均値を比較した（図 8, 図 9）。その結果、暦年齢では 16 歳、発育年齢では 2.5 歳を迎えるまでの期間に骨端軟骨の成熟が有意に大きく進行することが分かった。この時期を迎えるまでに野球肘の症状が見られた場合には骨軟骨部の症状を疑い、十分な精査を行う必要がある。また、これ以降の時期に関しては身長が伸びているかなどの個体差を考慮して進めることが重要である。

暦年齢では 12 歳以上から 16 歳未満、発育年齢では -1.5 歳以上から 2.5 歳未満を骨端軟骨の成熟が有意に大きく進行する時期として、その年代を抽出して、骨端軟骨との関係を検討した（図 10, 図 11）。暦年齢と発育年齢のどちらも有意な正の相関関係にあった。2 つのグラフの相関係数（ r 値）を比較すると、暦年齢に比べて発育年齢の方が高い値を示したがその差は僅かであった。今回の結果からは、成熟途上にある骨端軟骨の状態を推測する為に暦年齢と発育年齢のどちらが有用かを明示することは出来なかった。

1-5.まとめ

- 投球の影響を受けない非投球側における肘の発育について、身体成熟度との関係を検討した。
- 暦年齢よりも発育年齢の方が成長の個体差を抽出することが出来、1学年に4歳の個体差が存在する場合がある。
- 暦年齢では16歳、発育年齢では2.5歳を迎えるまでに肘周囲の骨端軟骨の成熟は有意に大きく進行する。

第 2 節 肘の発育に対する投球による影響についての検討

2-1. 緒言

野球選手の身体組成については国内外で多くの報告がされている (Sweet, 2018)。骨の左右差に関する報告として、超音波骨密度計を用いて大学スポーツ選手の利き腕と非利き腕の骨密度を検討した研究がある (藤澤, 2009)。その結果として、多くのスポーツで利き腕の方が非利き腕よりも高い骨密度を示したが、有意な差ではなかったとしている。野球選手においては非利き腕の方が高い骨密度を示し、ボールを捕球する衝撃の影響であると考察されている。

骨の発育については、レントゲン画像より骨年齢を算出する方法が多く用いられるが、利き手は使用頻度の差が生じるとして非利き手にて評価されている。骨年齢の左右差に関する先行研究は見当たらなかった。

本節では肘の発育に対する投球による影響を検討する為に、投球側と非投球側の比較を行う。

2-2.方法

対象と測定方法については第 1 節と同様である。

2-2-1.統計処理

統計処理には統計ソフト SPSS Statics24 (IBM 社) を用いた。投球側と非投球側の差の検定には対応ある T 検定を用いた。

2-2-2.上肢骨密度 (BMD) 「投球側－非投球側 割合」算出方法

表 6 と表 7 内の「投球側－非投球側 割合」の項目については以下に示す計算式の通りに算出している。

$$\begin{array}{l} \text{投球側-非投球側} \\ \text{割合} \end{array} = \frac{\text{投球側BMD}-\text{非投球側BMD}}{\text{非投球側BMD}} \times 100$$

2-3. 結果

2-3-1. 暦年齢および発育年齢別の投球側と非投球側上肢骨密度比較

暦年齢と発育年齢のそれぞれについて1年ごとに群分けを行い、投球側と非投球側の上肢骨密度を比較した結果を表6と表7に示す。尚、発育年齢別の表について、-2.5~-1.5歳、6.5~7.5歳、7.5~8.5歳の3つの群に関しては対象数が不十分な為に統計的な検討には含んでいない。

暦年齢別の比較では12歳から15歳までの各群において、非投球側に比べて投球側の方が上肢骨密度は有意に高い値を示した。発育年齢別の比較では-1.5歳以上から5.5歳未満までの各群において、非投球側に比べて投球側の方が上肢骨密度は有意に高い値を示した。

表6. 暦年齢別 投球側と非投球側の上肢骨密度比較

全体/ 暦年齢	n数	上肢骨密度 (g / cm ²)				
		投球側	非投球側	投球側-非投球側		
				絶対値	割合	
全体	83	0.83 ± 0.09	0.76 ± 0.10	0.06	8.53	-
12	9	0.66 ± 0.04	0.59 ± 0.04	0.07	12.24	**
13	6	0.77 ± 0.05	0.67 ± 0.02	0.10	14.72	**
14	10	0.80 ± 0.05	0.71 ± 0.05	0.09	12.70	**
15	20	0.85 ± 0.06	0.76 ± 0.05	0.08	10.84	**
16	23	0.87 ± 0.07	0.84 ± 0.07	0.03	3.32	
17	15	0.88 ± 0.07	0.82 ± 0.06	0.06	7.76	

投球側と非投球側の有意差表記 *p<0.05, **p<0.01

表 7. 発育年齢別 投球側と非投球側の upper limb bone density comparison

		upper limb bone density (g / cm ³)				
発育年齢	n数	投球側	非投球側	投球側-非投球側		
				絶対値	割合	
-2.5~-1.5	1	0.64 ± 0.00	0.54 ± 0.00	0.10	17.89	
-1.5~-0.5	6	0.67 ± 0.04	0.60 ± 0.03	0.07	11.87	**
-0.5~0.5	9	0.73 ± 0.06	0.65 ± 0.05	0.09	13.24	**
0.5~1.5	5	0.80 ± 0.04	0.71 ± 0.01	0.09	12.78	**
1.5~2.5	12	0.82 ± 0.07	0.74 ± 0.06	0.08	10.59	**
2.5~3.5	16	0.87 ± 0.09	0.82 ± 0.08	0.05	6.46	*
3.5~4.5	15	0.88 ± 0.05	0.81 ± 0.07	0.07	8.72	**
4.5~5.5	12	0.87 ± 0.07	0.82 ± 0.07	0.05	5.58	
5.5~6.5	4	0.86 ± 0.04	0.82 ± 0.07	0.04	4.37	
6.5~7.5	0					
7.5~8.5	1	0.77 ± 0.00	0.87 ± 0.00	-0.10	-11.51	

投球側と非投球側の有意差表記 *p<0.05, **p<0.01

2-3-2. 暦年齢および発育年齢別の投球側と非投球側骨端軟骨点数比較

暦年齢と発育年齢別の骨端軟骨点数について、投球側と非投球側を比較した結果を以下の表に示す（表 8，表 9）。

暦年齢別の 15 歳時、発育年齢別の -0.5~0.5 歳時に投球側と非投球側に有意な差が見られた。尚、発育年齢別の表については、上肢骨密度の検討時と同様に、-2.5~-1.5 歳、6.5~7.5 歳、7.5~8.5 歳の 3 つの群に関しては対象数が不十分な為に統計的な検討には含んでいない。

表 8. 暦年齢別 投球側と非投球側の骨端軟骨点数比較

骨端軟骨点数 (点)					
全体/ 暦年齢	n数	投球側 (20点満点)	非投球側 (20点満点)	投球側 -非投球側	
全体	83	17.40 ± 4.00	17.27 ± 3.90	0.13	-
12	9	8.88 ± 0.83	8.88 ± 0.64	0.00	
13	6	11.67 ± 2.58	12.00 ± 2.45	-0.33	
14	10	15.20 ± 3.49	15.10 ± 3.14	0.10	
15	20	19.05 ± 1.36	18.55 ± 1.57	0.50	*
16	23	19.83 ± 0.65	19.83 ± 0.65	0.00	
17	15	19.80 ± 0.41	19.67 ± 0.62	0.13	

投球側と非投球側の有意差表記 *p<0.05, **p<0.01

表 9. 発育年齢別 投球側と非投球側の骨端軟骨点数比較

		骨端軟骨点数 (点)		
発育年齢	n数	投球側 (20点満点)	非投球側 (20点満点)	投球側 - 非投球側
-2.5~-1.5	1	8.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	-1.00
-1.5~-0.5	6	8.83 ± 0.75	8.67 ± 0.52	0.17
-0.5~0.5	9	11.00 ± 2.33	11.50 ± 2.27	-0.50 *
0.5~1.5	5	15.00 ± 1.58	14.40 ± 1.95	0.60
1.5~2.5	12	17.75 ± 2.30	17.25 ± 2.05	0.50
2.5~3.5	16	19.69 ± 0.79	19.38 ± 0.96	0.31
3.5~4.5	15	19.87 ± 0.35	19.80 ± 0.41	0.07
4.5~5.5	12	19.83 ± 0.39	19.83 ± 0.39	0.00
5.5~6.5	4	19.75 ± 0.50	19.75 ± 0.50	0.00
6.5~7.5	0			
7.5~8.5	1	20.00 ± 0.00	20.00 ± 0.00	0.00

投球側と非投球側の有意差表記 *p<0.05, **p<0.01

2-4. 考察

上肢骨密度について、投球側と非投球側の差（以下、左右差）を検討した結果、暦年齢で12歳から15歳、発育年齢では-1.5歳以上から5.5歳未満に有意な差が見られ、投球側で有意に高値を示した（表6，表7）。国内の大学生を対象とした研究において、スポーツによる身体への力学的なストレスが骨量を増加させる要因となり得るという報告がある（大槻，2000）。骨密度も筋の張力による機械的な刺激や、体重のかかる運動による刺激などが影響することは示唆されている（Bekker et al., 2003）。今回の結果についても投球動作によるメカニカルなストレスが上肢に加わることで投球側の骨密度が有意に高められたと考えられる。

暦年齢の16歳以降、発育年齢の5.5歳以降で有意な差が見られなかった点については野球以外のトレーニングの影響が考えられる。16歳以降は全員が高校生となる年代である。高校に入り、ウエイトトレーニングなどの非投球側の上肢を積極的に使う何らかの運動に取り組むことで、左右差が見られなくなるのではないかと考えられる。方法にて記載した通り、本研究は中学・高校各1チームずつに協力を依頼して実施している為、トレーニング環境などの影響が反映されやすい状況となっている。この点は本研究の限界の一つである。今後は複数のチームに渡って測定を行い、トレーニングの環境や内容などの要因を整理して分析することで、競技の影響を抽出して検討が出来ると考えられる。

骨端軟骨点数について、投球側と非投球側の差を検討した結果からは暦年齢と発育年齢ともに1群ずつに有意な差が見られたが、明確な傾向は見出せなかった（表8，表9）。しかし、発育年齢別の3.5歳以上の群では他の群に比べて左右差が低値を示しており、3.5歳以前の期間までは投

球による何らかの影響を受けているものと推察される。状況を分析する
 為に、骨端軟骨点数の左右差について人数の内訳を暦年齢と発育年齢の
 それぞれについて表10と表11に示す。

表10.骨端軟骨点数 投球側－非投球側 暦年齢別 人数内訳

骨端軟骨点数							
暦年齢	n数	-1点	0点	1点	2点	3点	投球側－非投球側 平均値
12	8	1	6	1	0	0	0.00
13	6	2	4	0	0	0	-0.33
14	10	3	4	2	1	0	0.10
15	20	0	13	5	1	1	0.50
16	23	0	23	0	0	0	0.00
17	15	0	15	0	1	0	0.13

表11.骨端軟骨点数 投球側－非投球側 発育年齢別 人数内訳

骨端軟骨点数							
発育年齢	n数	-1点	0点	1点	2点	3点	投球側－非投球側 平均値
-2.5~-1.5	1	1	0	0	0	0	-1.00
-1.5~-0.5	6	0	5	1	0	0	0.17
-0.5~0.5	9	4	5	0	0	0	-0.50
0.5~1.5	5	0	3	1	1	0	0.60
1.5~2.5	12	1	6	4	0	1	0.50
2.5~3.5	16	0	13	1	2	0	0.31
3.5~4.5	15	0	14	1	0	0	0.07
4.5~5.5	12	0	12	0	0	0	0.00
5.5~6.5	4	0	4	0	0	0	0.00
6.5~7.5	0	0	0	0	0	0	
7.5~8.5	1	0	1	0	0	0	0.00

上記の表10と表11より、暦年齢の16歳以降、発育年齢の3.5歳以降の
 年代にて左右差がほとんどの選手で無くなっていると考えられる。第1
 節での非投球側における検討では、暦年齢16歳、発育年齢2.5歳以上の

年齢にて骨端軟骨の成熟が完了に近づくことが示された。投球側でも同様の時期に骨端軟骨の成熟が左右ともに完了に近づくことで、投球による差は見られなくなったと考えられる。

暦年齢では12歳から14歳、発育年齢では-2.5歳から2.5歳の期間にて、-1点を示す選手が合わせて6名見られ、投球側の骨端軟骨の成熟が非投球側に対して遅れる場合があることが分かる。暦年齢14歳の年代に見られるように、-1点を示す選手がいる為に1点や2点を示す選手がいても左右差の平均値としては差が相殺されてしまう年代が確認された。-1点を示した6名のうち、5名は上腕骨外側上顆または上腕骨内側滑車の部分で点数の差（投球側の発育の遅れ）が確認されている。この2つの骨端軟骨部は骨端核の形成が他の部位より遅く、点数化の際に1点として換算される場合のあった部位である。一方で、1点から3点を示した選手（12名）はそれ以外の3つの骨軟骨部を中心として、投球側の骨端軟骨の成熟が非投球側に先行していた。特に上腕骨内側上顆にて投球側の骨端軟骨の成熟が成熟している選手は12名のうち5名に見られ、骨端軟骨部位の中で最も多かった。以上から、投球が肘の発育に与える影響は、骨端軟骨と骨端核のそれぞれに対して区別した検討を行う必要があることが示唆された。この点については今後さらなる検討が必要と考えられる。

また、結果として示してはいないが、投球の影響を検討するにあたり、投球数に差があると考えてポジションごとの検討を行ったが有意な差や明らかな傾向を観察することは出来なかった。その原因として、出場機会やポジションの経験年数、練習を含めた全力での投球数などの調査を行わなかったことが理由と考えられる。本研究ではポジションの聞

き取りにあたり「現在、最も多く守る場面のあるポジション」という質問のみを行った。レギュラーやエースピッチャーである場合とそれ以外では、全力での投球数や経験年数に違いが出ると考えられる。全国規模で行われた障害調査においても、一週間の投球数が350球を超えた選手の障害の経験が最も多く、43.1%が肩肘の痛みを経験しているとして投球数の制限が提案されている（全日本野球協会ほか，2018）。質問紙に出場機会や経験年数、投球数の項目を加え、さらにチーム数および被験者数を増やすことで、一定の傾向を見いだすことが出来るのではないかと考えられる。身体成熟度の利用として、早熟の選手が重要なポジションにつく可能性が高い場合や、晩熟だが高身長な選手ほど障害のリスクが高まることなどに注意して検討する必要があると考える。

2-5.まとめ

- 肘の発育に対する投球による影響を検討する為に、年齢ごとに投球側と非投球側の比較を行った。
- 暦年齢で12歳から15歳、発育年齢で-1.5歳以上から5.5歳未満において投球側の上肢骨密度は非投球側に比べて有意に高い値を示した。理由としては投球の影響であることが先行研究から示唆された。
- 骨端軟骨点数については有意な差や明確な傾向は見られなかった。

第 3 節 骨端軟骨の部位ごとの発育についての検討

3-1. 緒言

骨端軟骨の部位ごとの先行研究としては、障害との関連から報告されたものが多い。特に離断性骨軟骨炎の発生する肘関節上腕骨小頭に関しては報告が多く見られ、なかでも離断性骨軟骨炎の病期分類に関する報告は数多く引用されている（岩瀬，2013）。また、Schenckらは肘外側の関節軟骨の硬さについて調べ、橈骨頭の方が上腕骨小頭に比べて硬いことを報告した（Schenck，1994）。

また、肘以外では、第 1 節で紹介した通り、骨端障害の一つであるオスグッド・シュラッター病を発症する脛骨粗面に関する報告が多く見られる。脛骨粗面の発育段階についても検討されており、オスグッド・シュラッター病がどの段階にて発症しやすいか検討されている（鳥居ら，2011）。

成長期の骨軟骨障害は、軟部組織に対して骨が脆弱である時期に発生することが多くの文献に記載されている。しかし、その具体的な時期については障害の結果として報告されていることが多く、発育との関連を検討する必要があると考える。

本節では肘の発育について、骨端軟骨の部位ごとに検討を行い、それぞれの部位に対して骨端軟骨の閉鎖時期や野球肘との関連を検討する。

3-2.方法

対象と測定方法については第 1 節、第 2 節と同様である。

3-3.結果

3-3-1.部位別の骨端軟骨点数の割合

観察した肘周囲の5ヶ所の骨端軟骨の部位について、全体対象者と、中学生にあたる12～15歳、高校生にあたる15～17歳の3つに分けて骨端軟骨点数の割合を以下の表12から表14に示す。表のカッコ内には実数を示す。

1点として表記される骨端核が確認されなかった部位は上腕骨内側滑車、上腕骨外側上顆の2つであった。

12～15歳の年代において、上腕骨内側上顆の骨端軟骨点数が2点および3点を示す選手が全体の62%に見られた。

16～17歳の年代では橈骨頭を除いた4ヶ所の骨端軟骨部で、ほとんどの選手において骨端軟骨の閉鎖が完了していることが分かった。ただし、上腕骨内側上顆に関して骨端線が残存している選手が若干名存在することが確認された。

表12.部位別の骨端軟骨点数の割合 全体 (n=82)

投球側					
骨端軟骨 点数	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
1	0 (0)	6 (5)	7 (6)	0 (0)	0 (0)
2	30 (25)	10 (8)	10 (8)	15 (12)	26 (21)
3	4 (3)	5 (4)	5 (4)	6 (5)	20 (16)
4	66 (54)	79 (65)	78 (64)	79 (65)	55 (45)
非投球側					
骨端軟骨 点数	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
1	0 (0)	4 (3)	7 (6)	0 (0)	0 (0)
2	33 (27)	12 (10)	7 (6)	15 (12)	26 (21)
3	7 (6)	9 (7)	7 (6)	7 (6)	24 (20)
4	60 (49)	76 (62)	78 (64)	78 (64)	50 (41)

単位：% (カッコ内は人数)

表 13. 部位別の骨端軟骨点数の割合 12～15 歳 (n=44)

投球側					
骨端軟骨 点数	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
1	0 (0)	11 (5)	14 (6)	0 (0)	0 (0)
2	55 (24)	18 (8)	18 (8)	27 (12)	48 (21)
3	7 (3)	9 (4)	9 (4)	11 (5)	25 (11)
4	39 (17)	61 (27)	59 (26)	61 (27)	27 (12)
非投球側					
骨端軟骨 点数	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
1	0 (0)	7 (3)	14 (6)	0 (0)	0 (0)
2	57 (25)	23 (10)	14 (6)	27 (12)	48 (21)
3	14 (6)	16 (7)	14 (6)	14 (6)	34 (15)
4	30 (13)	55 (24)	59 (26)	59 (26)	18 (8)

単位：% (カッコ内は人数)

表 14. 部位別の骨端軟骨点数の割合 16～17 歳 (n=38)

投球側					
骨端軟骨 点数	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
2	3 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
3	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13 (5)
4	97 (37)	100 (38)	100 (38)	100 (38)	87 (33)
非投球側					
骨端軟骨 点数	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
2	5 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
3	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13 (5)
4	95 (36)	100 (38)	100 (38)	100 (38)	87 (33)

単位：% (カッコ内は人数)

3-3-2. 部位別の骨端軟骨点数の分布

次に、骨端軟骨の部位ごとに点数の分布を暦年齢と発育年齢に分けて以下の図 12 から図 21 に示す。

また、より詳細な分析の為に図 12 および図 13 に対して表 15 に記載した条件の点線 A および点線 B を加えたものを図 12-2 および図 13-2 として示す。

表 15. 図 12-2, 図 13-2 の追記事項

点線A： 骨端軟骨点数1～3点記録選手の最大暦年齢または発育年齢

点線B： 骨端軟骨点数4点記録選手の最小暦年齢または発育年齢

暦年齢における骨端軟骨点数の分布を示した図 12-2 では骨端軟骨が未成熟であることを示す 1～3 点を記録した選手の分布が、骨端軟骨の閉鎖を示す 4 点の選手の分布に大きく重なるように広がっている。その為に点線 A と B の幅が大きく示された。

発育年齢における骨端軟骨点数の分布を示した図 13-2 では、1～3 点の選手の分布と 4 点の選手の分布との重なりは図 12-2 と比べて小さく、点線 A と B の幅も小さく示された。

また、点線 B の年齢から点線 A の年齢までの年齢の期間を骨端軟骨が成熟途上の選手と閉鎖している選手が混在する期間として、暦年齢と発育年齢のそれぞれについて表 16 に示す。②点数 1～3 最大年齢（点線 A）として示した値が骨端軟骨の閉鎖する年齢を示している。③差として示した値は②の値から①点数 4 最小年齢（点線 B）の値を引いたものであり、橈骨頭を除く全ての部位において、暦年齢よりも発育年齢の方が小

さい値を示しており、骨端軟骨が未成熟の選手と閉鎖している選手の混在している期間が短いことが分かった。

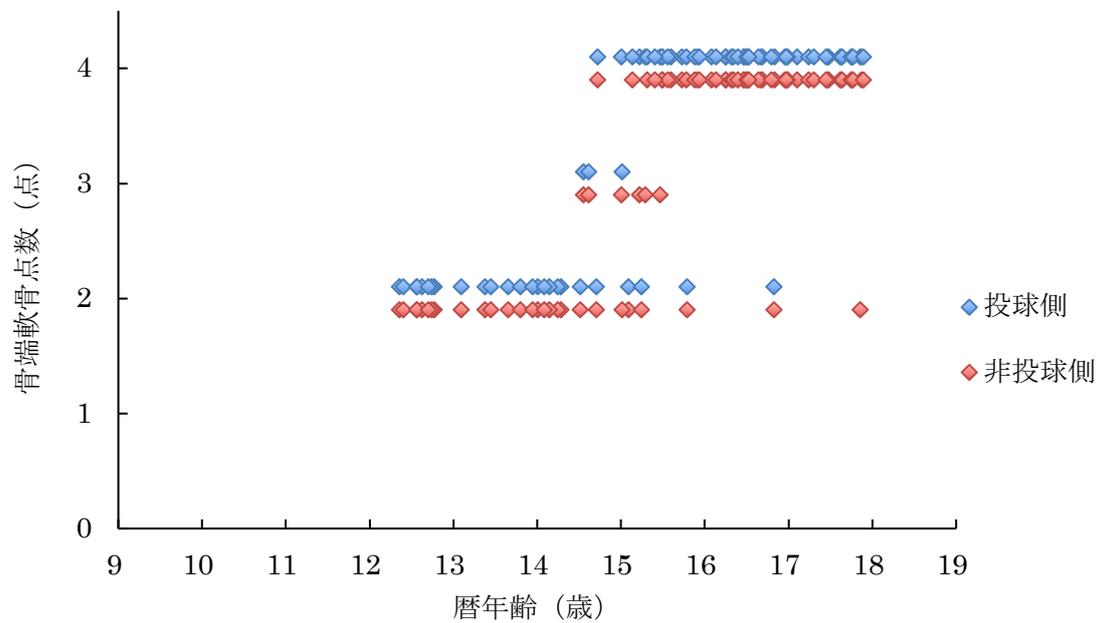


図 12-1. 暦年齢別 骨端軟骨点数分布 上腕骨内側上顆

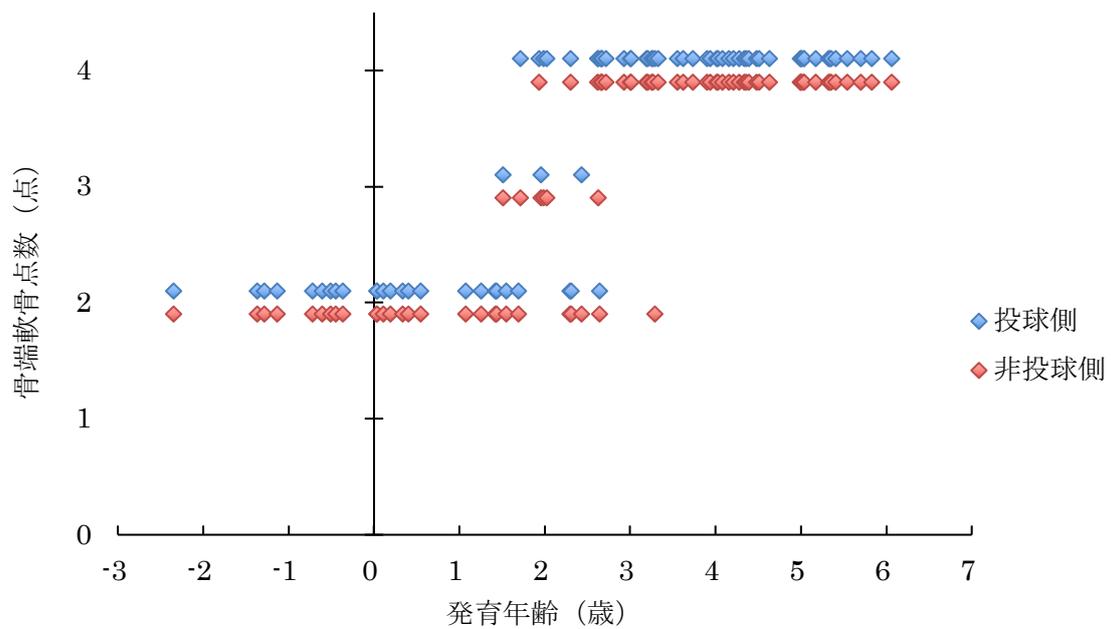


図 13-1. 発育年齢別 骨端軟骨点数分布 上腕骨内側上顆

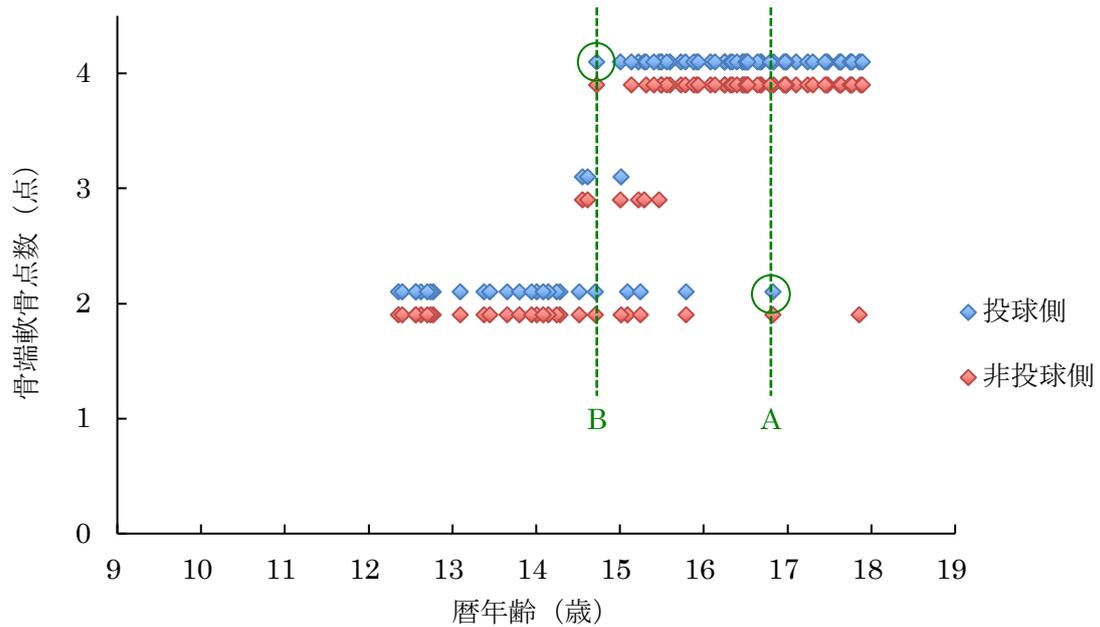


図 12-2. 暦年齢別 骨端軟骨点数分布 上腕骨内側上顆

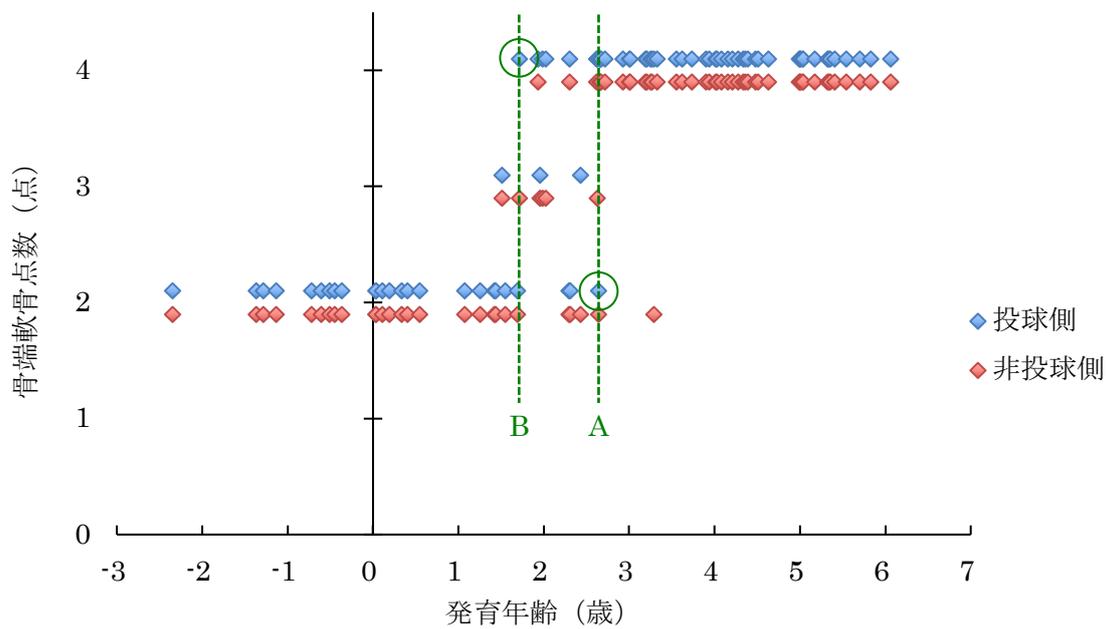


図 13-2. 発育年齢別 骨端軟骨点数分布 上腕骨内側上顆

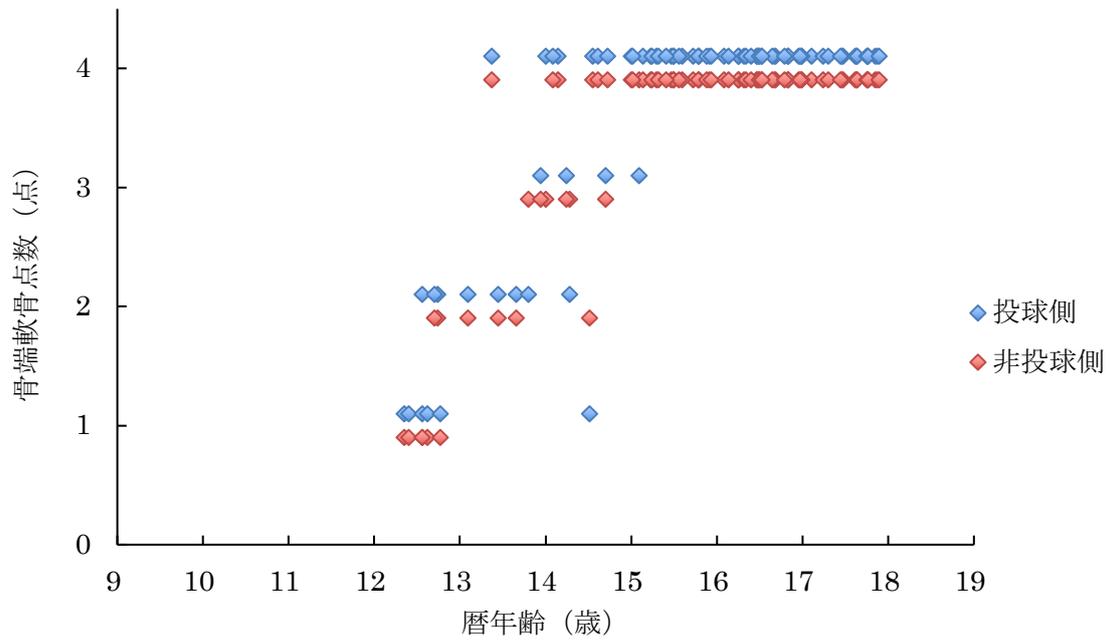


图 16. 曆年齡別 骨端軟骨点数分布 上腕骨外側上顆

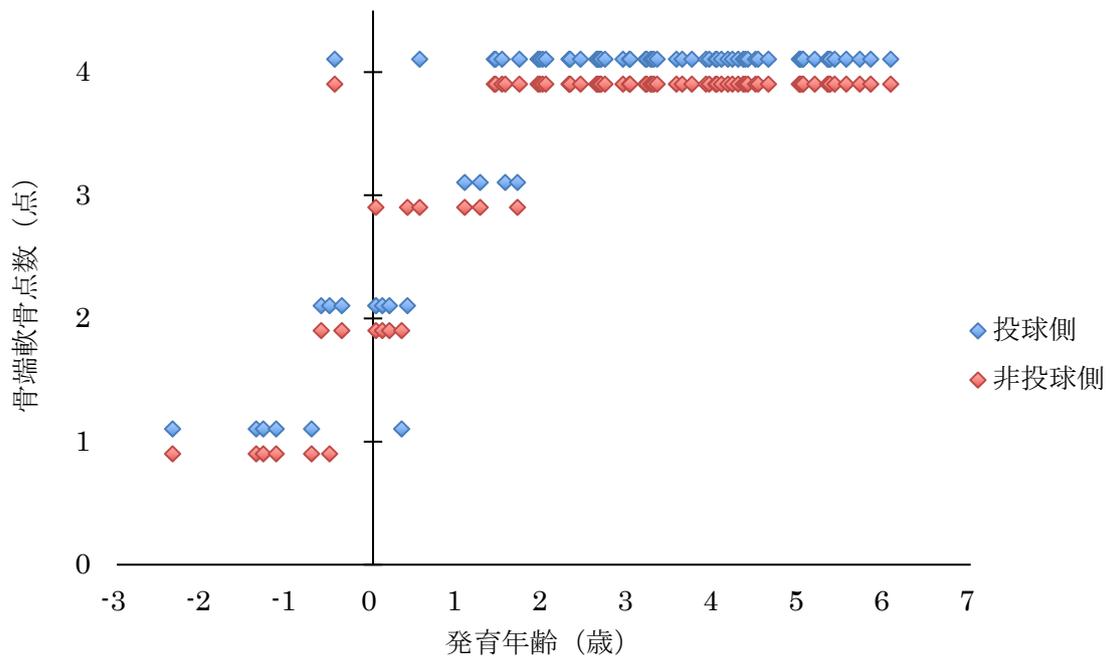


图 17. 发育年齡別 骨端軟骨点数分布 上腕骨外側上顆

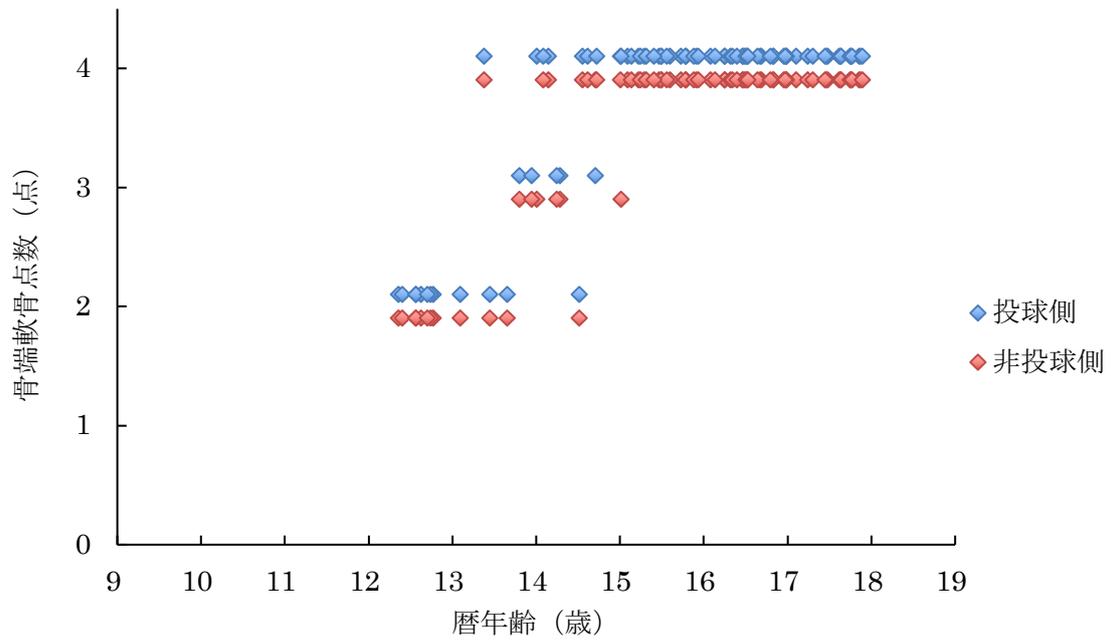


図 18. 暦年齢別 骨端軟骨点数分布 上腕骨小頭

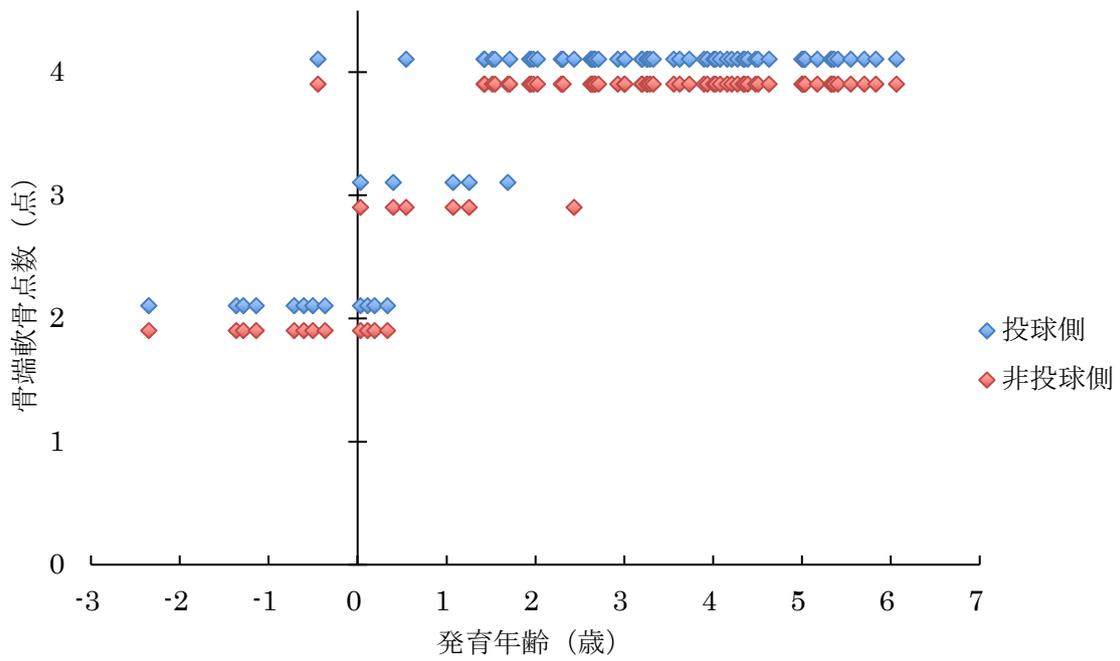


図 19. 発育年齢別 骨端軟骨点数分布 上腕骨小頭

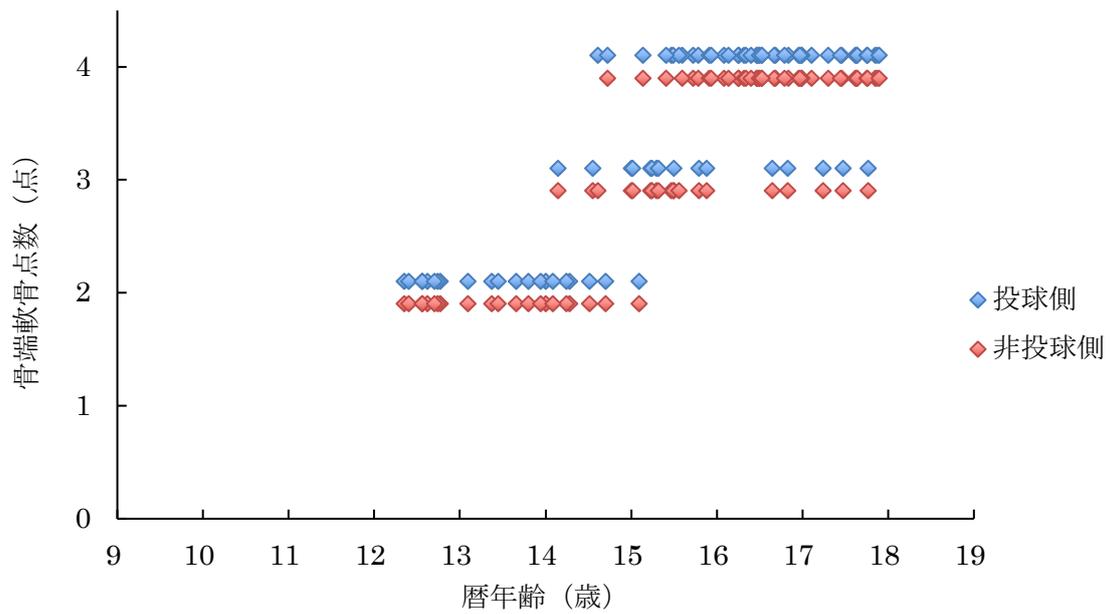


図 20. 暦年齢別 骨端軟骨点数分布 橈骨頭

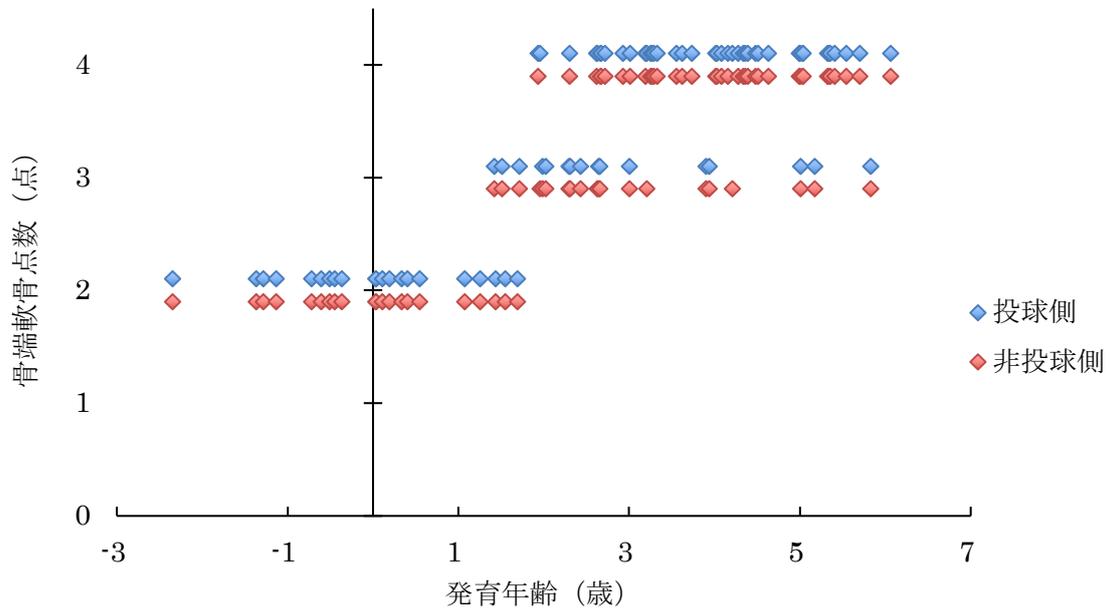


図 21. 発育年齢別 骨端軟骨点数分布 橈骨頭

表 16. 骨端軟骨点数の分類による最大および最小年齢

暦年齢	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
①点数4最小年齢 (点線B)	14.72	13.37	13.37	13.37	14.61
②点数1~3最大年齢 (点線A)	16.82	14.7	15.09	14.7	17.77
③差 (①-②)	2.1	1.33	1.72	1.33	3.16
発育年齢	上腕骨 内側上顆	上腕骨 内側滑車	上腕骨 外側上顆	上腕骨 小頭	橈骨頭
①点数4最小年齢 (点線B)	1.71	1.07	0.54	0.54	1.93
②点数1~3最大年齢 (点線A)	2.64	1.69	1.69	1.69	5.83
③差 (①-②)	0.93	0.62	1.15	1.15	3.9

単位：歳

3-4. 考察

臨床的にも有益であると考えて、成長期に野球肘の発生頻度が多い上腕骨内側上顆に注目して考察する。結果に記載の通り、投球側に焦点を当てて検討を行った。

年代による大まかな分類では 12～15 歳の年代において、上腕骨内側上顆の骨端軟骨点数が 2 点および 3 点を示す選手が全体の 62%に見られた（表 13）。中学生にあたるこの年代では、上腕骨内側上顆の骨端軟骨が未成熟の選手と閉鎖が完了している選手の入り混じった年代であることが分かった。

高校生にあたる 16～17 歳の年代では橈骨頭を除いた 4ヶ所の骨端軟骨部で、ほとんどの選手において骨端軟骨の閉鎖が完了していることが分かった（表 14）。ただし、上腕骨内側上顆に関して骨端線が残存している選手が若干名存在することが確認されており、これらの選手に注意する必要があると考える。そこで、発育年齢を用いたより詳細な分析が必要であると考え、図 12-2 と図 13-2 を作成した。

暦年齢における骨端軟骨点数の分布を示した図 12-2 では、骨端軟骨が未成熟な選手の分布が、骨端軟骨の閉鎖した選手の分布に大きく重なるように広がっている。この為に、暦年齢による分布では骨端軟骨が閉鎖する時期の線引きを行うことが難しいと考えられる。それに比べて、発育年齢における骨端軟骨点数の分布を示した図 13-2 では、骨端軟骨が未成熟な選手の分布と閉鎖した選手の分布との重なりは小さい。つまり、より明確に骨端軟骨の閉鎖時期が示された。点線 A として記した発育年齢の以降にあたる選手については骨端軟骨が閉鎖していると判別することが出来る。

特に図 12-2 における点線 A の位置については、他の選手の分布から離れた、いわゆる外れ値となる選手の値によって変化することが分かる。しかし、全体の分布とは離れた外れ値となる選手ほど成長の個体差を尊重した指導が必要となり、障害のリスクの高まる選手であると考えられる。それに対して発育年齢における分布では、暦年齢で外れ値となった選手の身体成熟度を考慮して全体の分布の中にも含めることが可能となっている。

表 16 より、記載した①点数 4 最小年齢（点線 B）の値より年齢が小さい選手は骨端軟骨が未成熟であり、②点数 1~3 最大年齢（点線 A）の値より年齢が大きい選手は骨端軟骨が閉鎖していることが示された。③差として示した①から②の間にあたる年齢は、骨端軟骨が未成熟な選手と閉鎖した選手が入り混じる年齢となる。

表 16 中、②の値は小さいものから順に肘の骨端軟骨が閉鎖していくことを示している。その順序としては、上腕骨内側滑車・上腕骨外側上顆・上腕骨小頭の 3 部位が始めに閉鎖して、その後に上腕骨内側上顆、最後に橈骨頭という順になっている。この結果は先行研究におけるものと概ね一致する順序であると考えられる（表 1、表 16）。

但し、本研究の結果は限られた対象から算出されたものであり、表 16 中②にある年齢を超えていけば必ずしも骨端軟骨が閉鎖していることを表すことにはならない点に留意する必要がある。実際の臨床やスポーツ現場での指導際には、画像検査などを合わせて行った上で進めることが重要である。

表 16 中にある③差の結果から、橈骨頭を除いた全ての部位において、

暦年齢よりも発育年齢の方が小さい値を示し、骨端軟骨が未成熟な選手と閉鎖している選手の混在している期間が短いことが分かった。この結果は、暦年齢よりも発育年齢の方がより短い期間で骨端軟骨の成熟を推測することが出来ることを意味している。特に上腕骨内側上顆では半分以下の期間にて骨端軟骨の成熟を推測出来ることが示されており、発育年齢の利用が有用であることが分かる。

また、橈骨頭については他の骨端軟骨部と異なる分布の様子が示された（図 20，図 21，表 16）。これは MRI の撮影条件によるところが大きいと考えられる。矢状面からの MRI 撮影によって、橈骨頭の骨端軟骨は他の部位以上に明確に観察することが出来、成熟途上である 3 点を多く示す結果となった。この点に関しては他の骨端軟骨部も部位ごとに撮影条件を調整して撮影をすることで、より詳細な検証が可能になると考えられる。本研究では両肘を撮影する必要があるため、撮影条件を調整しての長時間の拘束が難しかったことから、部位ごとに条件を調整することなく撮影を行っている。

3-5.まとめ

- 肘の発育について、骨端軟骨の部位ごとに検討を行い、それぞれの部位に対して骨端軟骨の閉鎖時期や野球肘との関連を検討した。
- 上腕骨内側上顆に注目すると 12～15 歳の年代では骨端軟骨が未成熟の選手と閉鎖している選手が入り混じっていることが分かった。
- 暦年齢よりも発育年齢の方がより短い期間で骨端軟骨の成熟を推測することが出来、発育年齢の利用が有用であることが分かった。
- 特に障害の発生しやすい上腕骨内側上顆では、発育年齢を用いることで、暦年齢の半分以下の期間で骨端軟骨の成熟を推測出来た。

第 4 節 肘の発育と野球肘の関連についての検討

4-1. 緒言

野球肘には様々な病態が含まれる。発生する病態を表 17 として示す。その中でも内側に発生する野球肘が最も頻度が多い。9 歳から 12 歳の野球選手に対して X 線を用いて肘関節を調査した報告では肘関節障害のうち 57% が内側の障害であったとしている (Hang ら, 2004)。

表 17. 成人野球肘の病態分類 (柏口, 2008 より改変)

軟部組織障害	内側上顆付着部障害
	内側、外側副靭帯損傷
	尺骨神経障害
	滑膜ひだ障害
骨軟骨障害	成長期の遺残障害
	過労性骨障害 (疲労骨折、骨棘骨折、骨端線閉鎖不全)

成長期の野球肘では特に骨軟骨の障害が多く、部位別では上腕骨内側上顆での発生が最も多い (鈴江ら, 2006、表 18)。上腕骨内側上顆骨端障害はリトルリーグ肘と呼ばれ 10 歳から 14 歳に好発する (辻野ら, 2005)。一時的に症状が消失することが多いが、高校生以後パフォーマンスの上昇に伴い、内側支持機構の機能不全を招く場合があり、注意が必要である。上腕骨小頭に発生する離断性骨軟骨炎は発生頻度の低い障害ではあるが、変形性肘関節症に移行することがあり、最も注意すべき障害であるとされている (柏口, 1989)。

表 18. 部位別の骨軟骨障害発生率（複数部位の発生を含む）

（鈴江ら，2006より抜粋）

骨端軟骨障害	18.1%
上腕骨内側上顆	17.6%
上腕骨小頭	1.9%
橈骨頭	0.9%
肘頭	0.7%

野球肘の発生するメカニズムとしては、一連の投球動作においてコッキング期から加速期にかけて肘内側には強い牽引力、肘外側および後方には圧迫力と剪断力が生じるとされている（黒澤ら，2000）。

野球肘の発生に関わる危険因子として、投球側肩関節後方の伸張性低下や下肢・体幹筋の柔軟性低下が挙げられてきた（福林ら，2011）。このように身体的特徴と障害の関連は多く報告されているが、身体成熟度などの発育と野球肘の関連を検討したものは見られない。

本節では野球肘の現病歴または既往歴を有する選手を抽出して発育についての特徴を検討する。

4-2.方法

対象と測定方法については第1節から第3節と同様である。

4-2-1.野球肘の定義

本節における野球肘の定義として以下の表19に示す条件を定め、野球肘の現病歴または既往歴を有する選手を抽出した。

表19.野球肘の定義

現病歴：	選手の訴えと医師による診察所見が一致しているもの
	現在の症状について医療機関で明確な診断を受けているもの
既往歴：	過去に医療機関で明確な診断を受けたもの、手術歴があるもの
	過去に疼痛の既往があり、医師によりMRI画像に組織の変性が見られたもの

4-3.結果

4-3-1.野球肘を有する選手の内訳

野球肘を有する選手の内訳と本節での群分けについて、表 20 に示す。

表 20.野球肘を有する選手の内訳

野球肘	総数	現病歴	既往歴	
	15	11	4	
軟部組織障害		5	0	} <u>軟部組織障害あり群</u>
骨軟骨障害		1	4	
軟部組織+骨軟骨障害		5	0	} <u>骨端軟骨障害あり群</u>

対象選手において、野球肘の現病歴または既往歴を有する選手は 15 名見られた。現病歴を有する選手が 11 名、既往歴を有する選手が 4 名見られた。また、全 15 名のうち 2 名は肘外側部の手術既往を有していた。症状の内訳としては 11 名のうち 5 名は尺側側副靭帯または尺骨神経などの軟部組織の障害であった。残りの 6 名は骨軟骨に障害があるか、軟部組織と骨軟骨の両方に障害が見られる選手であった。既往歴を有していた 4 名全員は骨軟骨の障害によるものであった。

本節では、軟部組織のみに障害を有する選手 5 名を「軟部組織障害あり群」、骨軟骨に障害があるか軟部組織と骨軟骨の両方に障害のある選手 10 名を「骨軟骨障害あり群」、野球肘を有していない選手を「障害なし群」とした。

4-3-2.野球肘を有する選手の特徴

暦年齢と発育年齢の関係について野球肘を有する選手を色分けして図22に示す。

色分けした野球肘を有する選手は分布の中央を貫く近似曲線よりも下側に多く分布していることが分かり、同じ暦年齢の選手に比べて発育年齢が相対的に低い選手に障害が発生していることが多いことが示されている。

緑色で示した軟部組織障害あり群は暦年齢が大きい選手に多く、図の右側に集まって分布していることが分かる。骨軟骨障害あり群はグラフ中央から左側に分布しており、軟部組織障害あり群の以下の暦年齢であることが分かる。

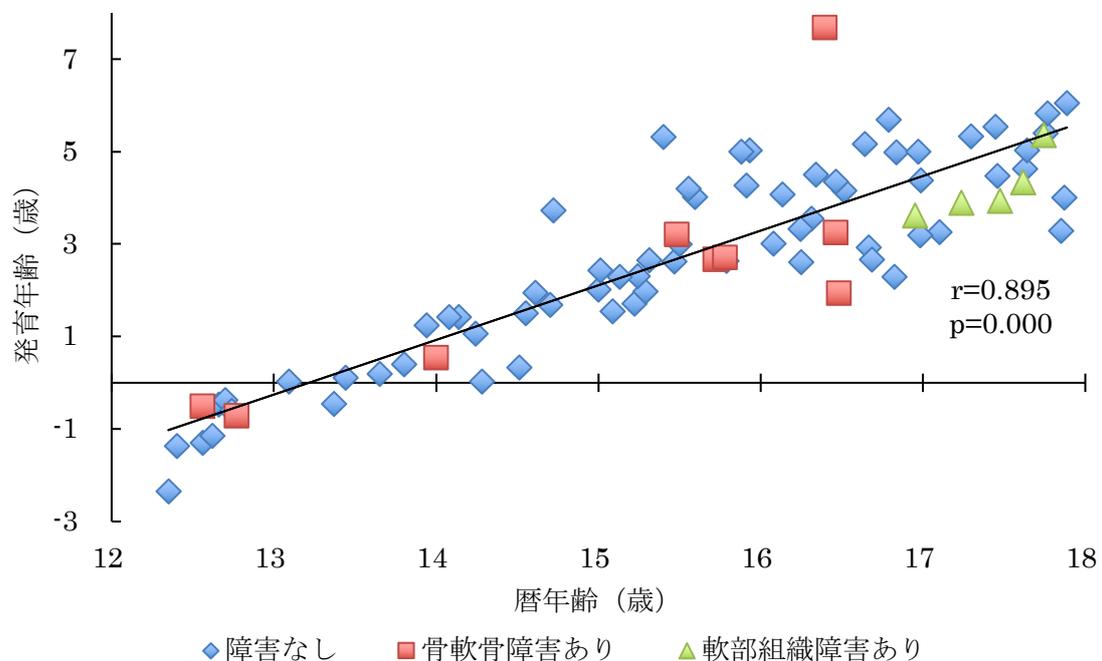


図 22.野球肘既往の群分けによる暦年齢と発育年齢の関係

暦年齢および発育年齢と上肢骨密度の関係の図において野球肘を有する選手について色分けして図 23 と図 24 に示す。

暦年齢の図 23 にて野球肘を有する選手の分布は近似曲線の上側に 6 名、下側に 9 名見られた。同様に発育年齢の図 24 では近似曲線の上側に 4 名、下側に 10 名分布していた（1 名は PHV 年齢データ欠損選手）。特に発育年齢の図 24 において、近似曲線よりも下側に野球肘を有する選手の分布が広がっていることが分かり、同じ発育年齢の選手よりも相対的に骨密度の値が低い場合が多いことが分かる。

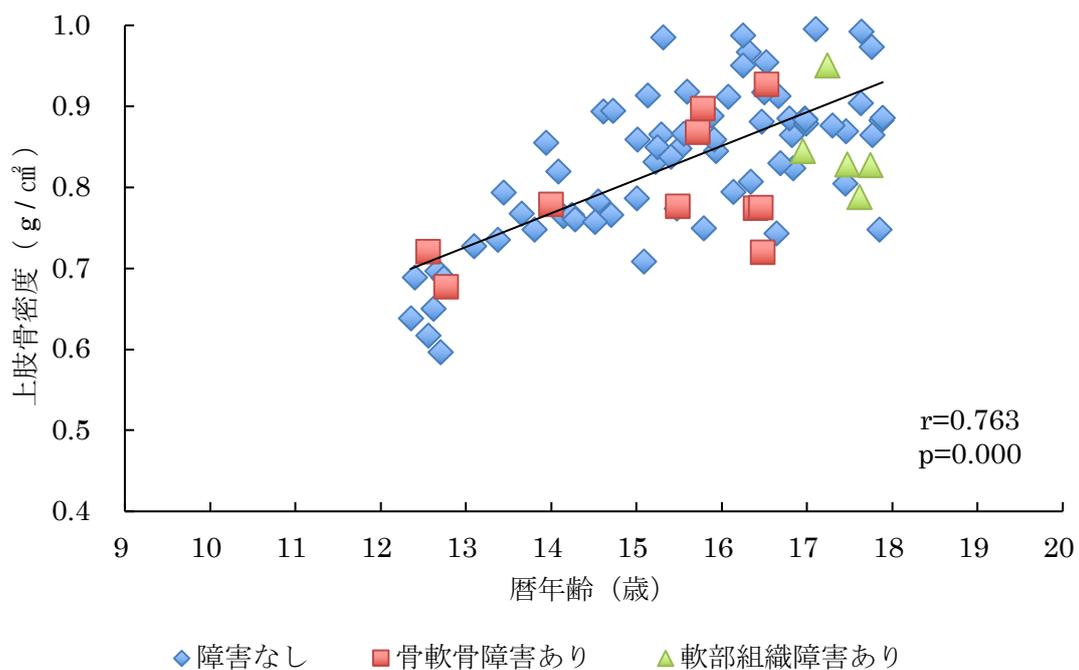


図 23. 野球肘既往の群分けによる暦年齢と上肢骨密度の関係

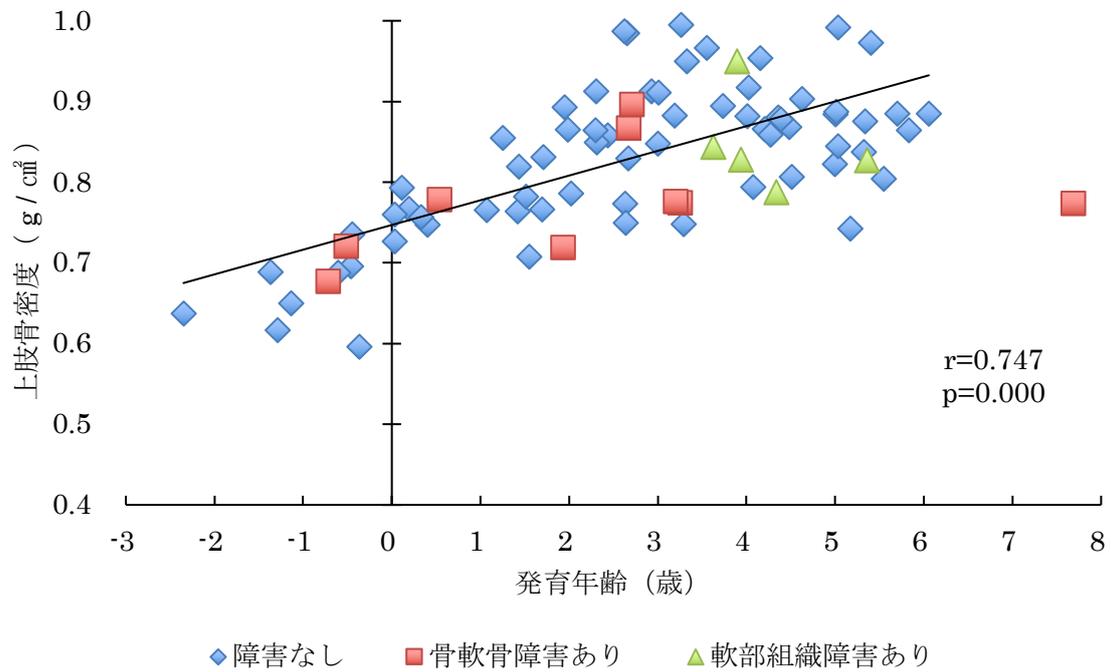


図 24.野球肘既往の群分けによる発育年齢と上肢骨密度の関係

暦年齢および発育年齢と骨端軟骨点数の関係の図において野球肘を有する選手について色分けして図 25 と図 26 に示す。

これらの図からは障害内容別に障害有無による違いは見出だせなかった。

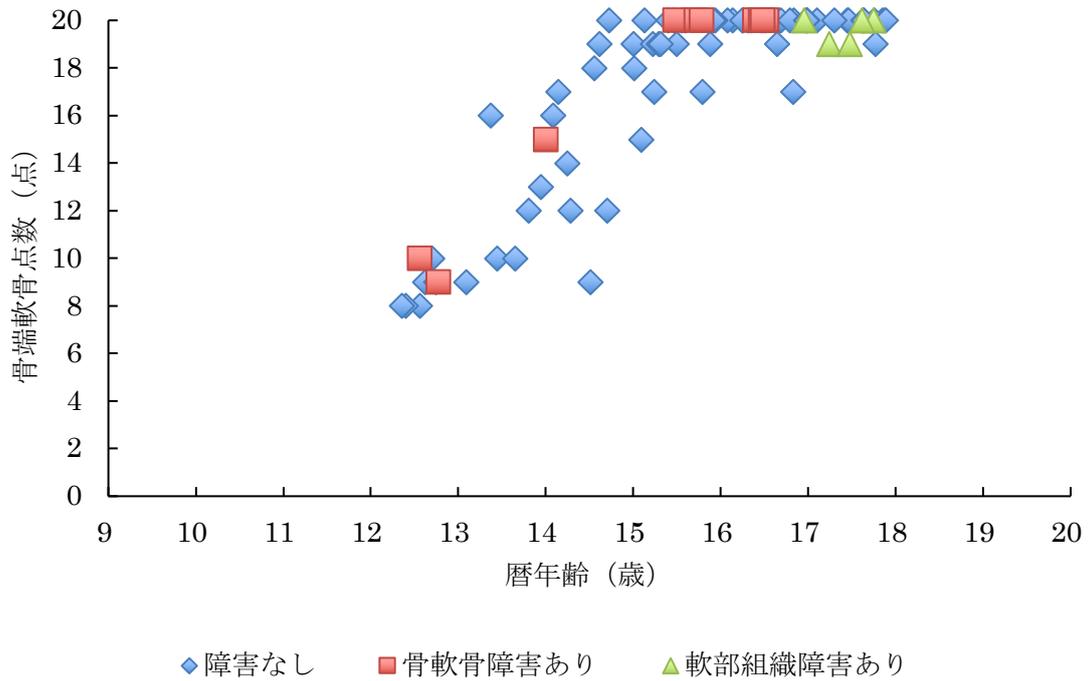


図 25.野球肘既往の群分けによる暦年齢と骨端軟骨点数の関係

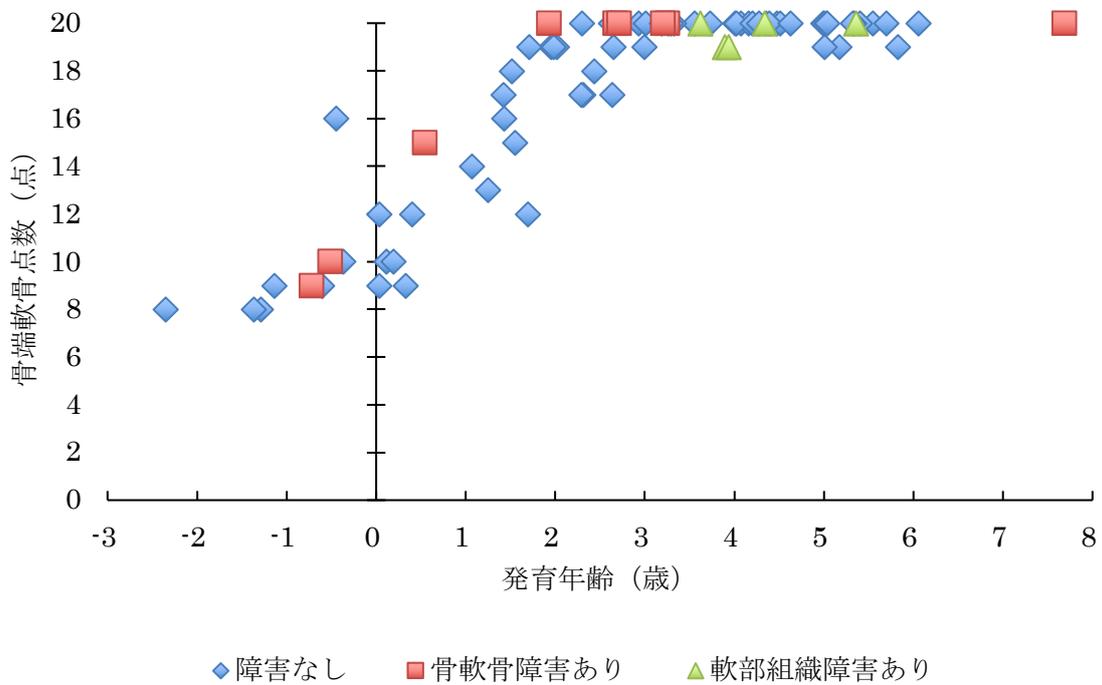


図 26.野球肘既往の群分けによる発育年齢と骨端軟骨点数の関係

4-4. 考察

図 22 より、同じ暦年齢の選手に比べて発育年齢が相対的に低い選手に野球肘が発生している場合が多いことが示された。今回の結果は現病歴と既往歴を合わせて検討しており、障害がいつ発症しているかについては言及していない。いずれかの時期にて、競技によるストレスが身体的に未成熟な選手にとって過剰なものとなり、障害に繋がる場合が多い結果になった。

また、軟部組織障害のみを発症している選手は概ね 17 歳以上の比較的暦年齢の大きい選手であり、それに対して、骨軟骨障害を含む野球肘は 16 歳以下の選手に発症している。これは第 1 節にて示した骨端軟骨の成熟が完了する時期と一致しており（図 8）、成長期には骨軟骨障害が多いという先行研究を裏付ける結果となっている（鈴江ら，2006）。

上肢骨密度についての検討では、特に発育年齢のグラフにおいて、近似曲線よりも下側に野球肘を有する選手の分布が広がっていることが分かり、同じ発育年齢の選手よりも相対的に骨密度が低い場合が多いことが分かる（図 24）。しかし、障害の発生時期は考慮していない為に、元々骨密度の低い選手に障害が発生しているのか、障害発生の結果として骨密度が低い状態となるのかは不明である。その点については、本研究の限界であり、縦断的な検討を行うことにより明らかにすることが出来ると考えられる。

骨端軟骨点数について野球肘との関連を検討したが、障害有無による違いは見出すことは出来なかった（図 25，図 26）。また、図として示していないが、骨端軟骨の部位ごとに野球肘との関連を調べた検討でも同

様に違いを見いだすことは出来なかった。理由としては野球肘を有する選手を含めた被験者数の不足が考えられる。今回、肘外側の野球肘を有していたのは全 84 名中 4 名であり、十分な検討の出来る被験者数ではなかった。今後、被験者が増えることにより、剥離骨折を起こす内側上顆や、離断性骨軟骨炎を起こす外側上顆など部位ごとに分類をして特徴を検討することで、年齢や骨密度、骨端軟骨の状態との関連を見いだすことが出来るのではないかと考える。

4-5.まとめ

- 野球肘の現病歴または既往歴を有する選手について発育の特徴を検討した。
- 野球肘を発症した選手の多くが、同じ暦年齢の選手に比べて発育年齢が相対的に低い。
- 野球肘を発症した選手の多くが、同じ発育年齢の選手よりも上肢骨密度が相対的に低い。
- 今後は縦断的な検討により詳細な分析が必要である。

第4章 総合考察

本研究より得られた知見を実際のスポーツ指導の現場にどのように生かすことが出来るかという視点から考察を行う。

まず、中学生と高校生、どちらの年代を指導するとしても、身体成熟度の考慮は重要である。1学年に4歳の個体差が存在する場合があります(表4)、学年での分類による指導は障害のリスクになるだけでなく、効率の悪い指導になると考えられる。発育年齢により身体成熟度を知ることが、これまで指導者が経験的に行ってきた指導に対しての裏づけになり得ると考える。

次に、中学生の年代では、肘の発育に関して個体差が特に大きいことに注意して指導する必要がある。暦年齢では16歳、発育年齢では2.5歳を迎えるまでに肘周囲の骨端軟骨の成熟は有意に大きく進行することが分かり(図8, 図9)、中学生の年代には個体差が大きいことが示された。また、障害の多い投球側の上腕骨内側上顆に注目すると、中学生である12~15歳の年代では、骨端軟骨について未成熟の選手と閉鎖している選手が入り混じっていることが示された(表13)。これにより、同じ投球数でも野球肘(特に骨軟骨の障害)のリスクは選手により異なると考えられる。

障害のリスクを加味して投球数を考慮する為には、上腕骨内側上顆の骨端軟骨閉鎖時期を示す発育年齢2.64歳以上であるかどうかを目安すると良いと考えられる(表16)。また、障害のリスクを減らす為には、選手個々の発育年齢と上肢骨密度の値が全体の分布の中で低値を示

していることが無いが考慮することも有用である（図 22，図 24）。

発育年齢を利用することで、早熟の選手と晩熟の選手に対して、試合での起用や指導の方法を分けることが可能となると考える。本研究の対象の中でも 2 学年下の年齢と同程度に体格が小さく、発育年齢は低く、骨端軟骨も未成熟である、いわゆる晩熟の選手が見られた。それに対して、発育年齢が暦年齢に先行して、同年代の中で体格の比較的大きい選手が早熟の選手にあたる。中学生野球選手を対象とした先行研究において、全国大会に出場した競技成績の高い選手の中で 4-9 月生まれの割合は 84% であり、県大会に出場していない比較的低い競技成績の低い選手の 56% よりも高かったことが報告されている（Katsumata ら，2018）。また、同研究では競技成績の高い選手の中で 1-3 月生まれの割合は 0% であったとしている。暦年齢による分類では発育の面で有利な早生まれの選手への負荷が大きくなり、発育の面で不利な選手は出場機会を失う状況にあることが示されている。近年では日本臨床スポーツ医学会が示す「青少年の野球選手に対する提言」の中で投球数の制限が提唱されるなど、成長期の身体への負荷が過剰になり、障害へ繋がることが無いように対応が求められている（日本臨床スポーツ医学会，1995）。発育年齢を考慮した指導により、早熟な選手への過負荷を減らし、晩熟な選手が競技から遠ざかることが無いように配慮することが出来ると考える。

考察の最後に、仮説に対して本研究から得られた回答を述べる。論文の冒頭にて、仮説として以下の 2 点を挙げた。

- i. 暦年齢よりも発育年齢の方が的確に肘の発育を推測することが出来る。
- ii. 投球によるメカニカルストレスにより、肘の発育は非投球側に比べて進行するが、障害との兼ね合いで一部例外的なパターンが存在する。

まず、一つ目の仮説について、肘の発育を推測する為には暦年齢よりも発育年齢の方が有用であることが分かった。成長期の野球選手において、暦年齢よりも発育年齢の方が成長の個体差を反映することが出来た（図 3）。特に障害の多く発生する上腕骨内側上顆においては発育年齢を利用することで骨端軟骨の閉鎖時期をより明確に推測することが出来た（図 12-2, 図 13-2, 表 16）。

次に、二つ目の仮説について、投球側の上肢骨密度は投球の影響により進行することが分かったが、障害との兼ね合いについては縦断的な調査による更なる検討が必要であることが分かった。投球によるメカニカルストレスにより投球側の上肢骨密度が非投球側に比べて高くなることが分かった（表 6, 表 7）。特に中学生である 12 歳から 15 歳の年代にて有意な差が示された。障害との関連については発育年齢や上肢骨密度の発育が遅れることが障害の要因となる可能性が示唆された（図 22, 図 24）。障害を有する選手の特徴をさらに明確に示す為には縦断的な検討が必要である。

第 5 章 結論

成長期の野球選手における肘の発育と身体成熟度の関係として、以下の 3 点が明らかとなった。

- i. 暦年齢では 16 歳、発育年齢では 2.5 歳を迎えるまでに肘周囲の骨端軟骨の成熟は有意に大きく進行する。
- ii. 投球の影響により、暦年齢で 12 歳から 15 歳、発育年齢で -1.5 歳から 5.5 歳の年代において投球側の上肢骨密度は非投球側の値を上回る。
- iii. 野球肘の好発する上腕骨内側上顆において、骨端軟骨閉鎖時期の推測には暦年齢よりも発育年齢が有用である。

参考文献

Bakker I, Twisk JWR, van Mechelen W, Kemper HCG : Fat-Free Body Mass Is the Most Important Body Composition Determinant of 10-yr Longitudinal Development of Lumbar Bone in Adult Men and Women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 88:2607-2613, 2003

Csukás A, Takai S, Baran S : Adolescent growth in main somatometric traits of Japanese boys: Ogi longitudinal growth study. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*. 57:73-86, 2006

Ehrenborg G, Lagergren C : Roentgenologic changes in the Osgood-Schlatter lesion. *Acta Chir Scand*. 121:315-327, 1961

Hang DW, Chao CM, Hang Y : A Clinical and Roentgenographic Study of Little League Elbow. *The American Journal of Sports Medicine*. 32:79-84, 2004

Katsumata Y, Omuro K, Mitsukawa N, Nakata H : Characteristics of Relative Age Effects and Anthropometric Data in Japanese Recreational and Elite Male Junior Baseball Players. *Sports Medicine - Open*. 4:1-9, 2018

Rauch F, Bailey DA, Baxter-Jones A, Mirwald R, Faulkner R : The 'muscle-bone unit' during the pubertal growth spurt. Bone. 34:771-775, 2004

Schenck Jr RC, Athanasiou KA, Constantinides G, Gomez E : A biomechanical analysis of articular cartilage of the human elbow and a potential relationship to osteochondritis dissecans. Clinical Orthopaedics and Related Research. 305-312, 1994

Sweet J : A Comparison of Body Composition Changes throughout the Offseason for NCAA Division I Male Baseball Players. ProQuest Dissertations Publishing. 2018.

芦澤玖美, 大槻文夫 : 骨成熟と骨年齢の評価. 106 : 1-17, 1998

岩瀬 毅信. よくわかる野球肘 離断性骨軟骨炎: 肘実践講座. 東京: 全日本病院出版会. 2013

大槻 伸: 運動における衝撃は男子大学生の骨塩量を増大させる. 中部日本整形外科災害外科学会雑誌. 44 : 777-784, 2001

柿沼忍，山崎克彦，立花陽明，東博彦：中学生硬式野球(シニアリーグ)選手を対象としたメディカルチェック．日本臨床スポーツ医学会誌．3：123-123，1995

柏口新二：子どものスポーツ障害こう防ぐ、こう治す 親子で読むスポーツ医学書．主婦と生活社．2008

柏口新二：野球肘-成長期野球肘の自然経過と治療．関節外科．8：109-117，1989

黒澤尚：スポーツ外傷学 3.医歯薬出版．2000.

鈴江直人，岩瀬毅信，柏口新二：成長期のスポーツ肘障害．関節外科．25：65-69，2006

鈴木仁人：スポーツにおける肘関節疾患のメカニズムとリハビリテーション．ナッブ．2011.

角田直，田中重，石塚信，青山利，岡田雅，西山一：投動作パフォーマンスに及ぼす筋形態及び機能的特性．国士舘大学体育研究所報．21，2003

全日本野球協会，日本整形外科学会，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．2018

帖佐悦男：成長期のスポーツ障害予防（全国規模の少年野球検診）「子どもに笑顔を！野球傷害を防ごう」プロジェクト．関節外科．33：1280-1284，2014

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・靭帯．18：975-983，2005

鳥居俊，飯田悠佳子，村田祐樹ほか．：男子中学生サッカー選手における超音波法による脛骨粗面発育段階と身長変化に基づく発育年齢との関連性．日本成長学会雑誌．17：64-68，2011

日本体育協会：スポーツ外傷・障害の基礎知識．3：2007．

日本臨床スポーツ医学会：青少年の野球障害に対する提言．1995．

藤井康成，赤嶺卓也，梶博則ほか：高校野球選手に対するメディカルチェックの検討—障害に関するアンケート調査の結果から．整形外科と災害外科．52：712-719，2003

藤澤 義彦：スポーツ選手の資質の検討における骨密度測定の可能性(その III)．同志社スポーツ健康科学．19-26，2009

南正夫：肘関節形成各骨端核の出現期並に化骨期におけるのレ線的検索．日整会誌．1：3-74，1926

三野 耕，成山 公：中学生期におけるスポーツ選手の成熟度特性に関する

る研究. 体力科学. 45 : 127-139, 1996

謝辞

指導教員である鳥居俊先生への感謝は言葉で言い尽くすのは難しいほどです。2009年の大学院入学から就職による休学と退学、そして復学を経て、修士論文の提出に至るまで10年を要した私を受け入れてくださり、見捨てずにご指導頂けたことを大変有り難いものであると感じております。

副査をお引き受け頂きました中村千秋先生と広瀬統一先生は学部生時代から私たちの憧れでした。そのお二人にご指導頂けますことを幸せに感じます。

現職の上司であり、アスレティックトレーナーである渡部賢一さんには大学院への復学にご理解を頂きましたことを有り難く感じております。

助教授の飯塚先生と大伴先生には本当にたくさんのご協力を頂きました。不出来な先輩にお付き合い頂き、ありがとうございました。

学生同士では誰に感謝を申し上げるべきか分からないほどたくさんの方々と出会うことが出来ました。たくさんの方々の志の高い同志に出会う機会を与えてくれた早稲田大学の環境に感謝致します。