

2019年度 修士論文

大学生における運動習慣と運動様式が
膝関節軟骨厚に及ぼす影響

The effects of exercise habits and exercise styles
on knee cartilage thickness in college students

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 スポーツ医科学研究領域

5018A062-9

堀 明日香

研究指導教員： 鳥居 俊 教授

目次

第1章 序論.....	1
1. 緒言	1
2. 目的	4
第2章 本論.....	5
【研究1】超音波画像診断装置を用いた膝関節軟骨厚測定方法の確立.....	5
1-1. 緒言	5
1-2. 方法	7
1-3. 結果	11
1-4. 考察	11
1-5. 結論	14
【研究2】大学生における膝関節軟骨厚の比較-運動習慣と運動様式が及ぼす影響-	15
2-1. 緒言	15
2-2. 方法	17
2-3. 結果	20
2-4. 考察	30
2-5. 結論	36
【研究3】大学生における膝関節軟骨厚に影響を及ぼす因子の検討.....	37
3-1. 緒言	37
3-2. 方法	38
3-3. 結果	40
3-4. 考察	47
3-5. 結論	51
【研究4】大学生における膝関節軟骨厚体格補正值の比較	52
4-1. 緒言	52
4-2. 方法	53
4-3. 結果	54
4-4. 考察	64
4-5. 結論	67
第3章 総合考察	68
第4章 結論.....	70
参考文献	71

第 1 章 序論

1. 緒言

超高齢社会を迎えている日本において運動器の正常な機能を維持することは健康寿命の維持・延伸において非常に重要である。平成 29 年に厚生労働省から発表された要介護度別にみた介護が必要となった主な原因においては、要支援の原因として関節疾患が最も多く挙げられている¹⁾。このことからも、要介護、要支援の予防において正常な関節の働きを保つことがいかに重要であるかわかる。特に、下肢の中心に位置する膝関節は起立歩行動作を含めヒトの ADL に重要な役割を担っている。

下肢荷重関節としての膝関節の機能は「支持性」と「可動性」であり、生理的な膝関節ではこの 2 つの機能が正常に維持されていることが必要不可欠である。膝関節には通常の歩行時で体重の 3~4 倍²⁾、山崎らによるとこの値は 7 倍になる³⁾と言われており、走行時やジャンプ時には更に大きな負荷がかかると考えられる。その膝関節のスムーズな動きを可能にする上で、重要な役割を担っている組織が軟骨である。

軟骨は膝関節において大腿骨滑車、脛骨の上関節面に存在し動作の潤滑さ、負荷の緩衝に寄与している。硝子軟骨によって構成される脛骨大腿関節の軟骨は、血管や神経、リンパ管が存在せず、滑液によって栄養される代謝能に乏しい組織である^{4,5)}。そのため、自然修復は困難であり関節軟骨が損傷されると、徐々に損傷部周囲の軟骨組織変性が生じ、変形性関節症に至る⁶⁾。

高齢者の四大運動器疾患として、骨粗鬆症、変形性関節症、変形性脊椎症、サルコペニア(加齢性筋肉減少症)があげられる⁷⁾。このうち、骨粗鬆症の予防に関しては運動やスポーツによる骨の量と質を高めることが重要である⁸⁾と報告されているように各年代を対象として多くの研究が

行われている。一方、変形性関節症に関する軟骨においては若年期の運動習慣やスポーツ競技との関連を調べた研究は極めて少なく、その関係を明らかにし後年においても正常な軟骨を保つ生活習慣を促すことは急務である。またその関係を明らかにするために、幅広い年代において異なる体格やスポーツ競技に関するバックグラウンドを持った対象者の軟骨形態を把握できる、より簡易で負担の少なく、汎用性の高い測定方法を確立する必要がある。

軟骨形態の評価は、軟骨の表面積や体積、厚さ等でなされる。その中でも、軟骨厚は高齢者において高い罹患率を有する変形性膝関節症の発症と進行を説明する1つの重要な尺度であり⁹⁾、一般的に厚い軟骨は健康な軟骨と考えられている¹⁰⁾。先行研究においては、軟骨厚を含む軟骨形態評価の多くがMRIにより行われているが、その多くでサンプル数の少なさが限界点となっている^{11,12)}。一方、超音波画像診断装置を用いた軟骨厚測定は、非侵襲的かつ短時間で簡易に実施可能である。その特性から、多くの被検者を測定し比較する疫学的な調査において有用であると考えられる。

運動習慣や運動様式と膝関節軟骨形態の関係を明らかにするには、運動による荷重負荷をより受けている大腿骨荷重部位にて軟骨厚を測定する必要がある。また、20～50歳代の日本人67名を対象とした研究では、下肢機能軸は膝関節面の内側を通過していることが報告されており¹³⁾、膝関節内側には過度のストレスが集中していることがわかる。日本人の変形性膝関節症症例の中で内反型は93%を占めていること¹⁴⁾も、膝関節内側への負荷が大腿脛骨関節内側の軟骨変性を促進していることを表している。

以上のことから、大腿脛骨関節の大腿骨内側顆荷重部位で軟骨厚を測定することにより、運動による負荷と軟骨厚の関連を明らかにすることができると考えられる。

膝関節軟骨に関する研究は、その罹患率の高さから変形性膝関節症患者および高齢者を対象としているものが多い。また、スポーツ選手と不活動群の軟骨厚を比較した研究はあるが、スポーツの種目数が限られており¹⁰⁾、健常な大学生において膝関節軟骨厚を疫学的に調査し、運動習慣や様々な運動様式との関連を調査したものはみられない。人生の後年にかけて健康な軟骨を維持し、正常な膝関節の機能を保つために、若年期で軟骨形態の一つである厚さと運動習慣、運動様式の関係を明らかにすることは重要であると考えられる。

2. 目的

本研究では、超音波画像診断装置を用いて大学生の膝関節軟骨厚を測定し運動習慣や運動様式による違いを明らかにすることを目的とした。

第 2 章 本論

【研究 1】超音波画像診断装置を用いた膝関節軟骨厚測定方法の確立

1-1. 緒言

近年、超音波画像診断装置を用いた運動器疾患の検診や診断は医療機関やスポーツイベントなどの多様な場面で利用されており、関節軟骨の定量評価もその一つである。超音波評価は、軟骨に損傷を与えることなくその変性を評価することが可能である¹⁵⁾。2001 年に登場した携帯型超音波画像診断装置 Sonosite180 は、持ち運びの簡易さ、撮像画像の鮮明さに加え耐久性にも優れており、その活躍の場を広げている。しかし、超音波画像診断の特徴として、その評価値は様々な要因によって誤差を生じる場合がある。例えば、プローブを関節軟骨にあてる傾きは誤差を生じる要因の一つであり¹⁶⁾、その傾きによっては軟骨厚を過大評価してしまう可能性もある。

軟骨組織は、軟骨細胞が 2%、水分が 75% で、残りの主成分はプロテオグリカンとコラーゲンからなる基質で構成されており¹⁷⁾、均質な媒体であるため超音波がほとんど反射せず低エコー像として抽出され、その距離を測定することで軟骨厚の測定が可能となる¹⁸⁾。ImageJ は、アメリカ国立衛生研究所で開発されたフリーソフトウェアで画像上の距離を計測できる。超音波画像の解析においても ImageJ 内で超音波画像上の距離を設定することで、軟骨厚を測定することが可能である。しかし、画像上の輝度変化が起こる境界線認識や手動でのカーソル移動において、その正確性は検者の再現性に依存する。

以上より、超音波画像診断装置から得られた画像をもとに軟骨厚の評価を行う際には超音波測定ならびに ImageJ による画像処理の検者内信頼性を検討することが必要であることがわかる。

超音波画像診断装置を用いた大腿骨荷重部位の軟骨厚測定は、膝関節最大屈曲位で膝蓋骨内側にて可能である^{18,19)}。しかし、大腿周径囲、下腿周径囲が大きく異なる個体間においては、最大屈曲時の膝関節屈曲角度の個体差が大きくなる可能性が考えられる。測定において、陸上長距離選手から相撲選手まで体格が大きく異なる選手を対象とした場合でも、測定部位を統一するための新たな手法が必要である。

よって本研究では、画像解析および超音波画像診断装置を用いた測定の検者内信頼性検討による大腿骨内側顆荷重部位における軟骨厚測定法の確立を目的とした。

1-2. 方法

検討 1. 画像解析の検者内信頼性

・対象

超音波画像診断装置を用いて大腿骨内側顆荷重部位にて撮像した軟骨の長軸画像 18 サンプルを対象とした。

・解析方法

画像解析ソフト(Image J, National Institutes of Health)を用い超音波画像上で軟骨厚を測定した。画像の中心から垂直に軟骨表面まで線を下ろし、軟骨表面との交点から軟骨下骨まで垂線を下ろした。軟骨表面から軟骨下骨までの低エコー部の長さを軟骨厚とし、3 回測定して平均したものとのサンプルの軟骨厚とした。単位 mm で小数点第二位まで読み取り、1 サンプルにつき 3 試行行った(図 1-1)。

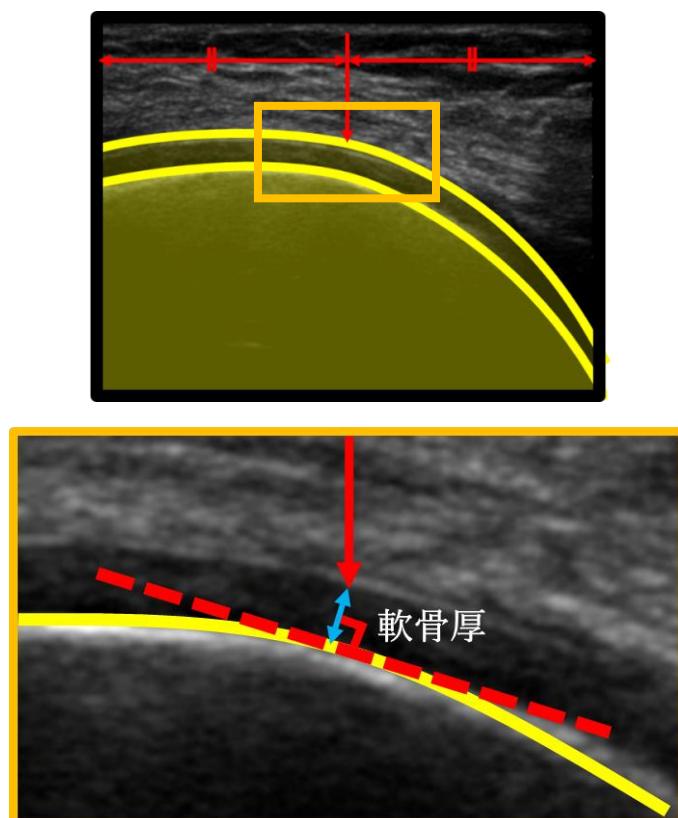


図 1-1. 軟骨の長軸画像

検討 2. 超音波画像診断装置を用いた測定の検者内信頼性

・対象

継続的な運動を行っていない大学生(男子 6 名、女子 3 名)とした。

・測定器具と測定姿勢

3 日間同時間帯に大腿骨内側顆にて軟骨厚を測定した。超音波画像診断装置(SonoSite Edge II, 富士フィルム社)を用い、B モードにて撮像を行った。測定には周波数 6-13MHz のプローブ(リニアプローブ HFL38xp, 富士フィルム社)を使用した。測定肢位は、仰臥位で膝関節屈曲 130°とした(図 1-2)。

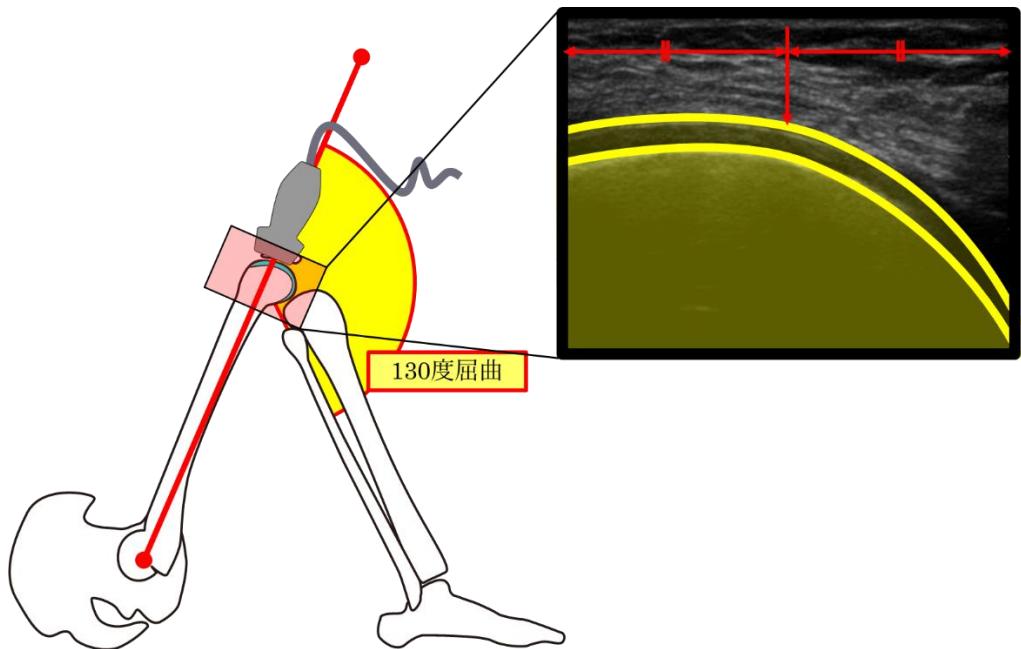


図 1-2. 測定姿勢

・測定位置

膝蓋骨内側から大腿骨内側顆にかけて大腿軸に垂直な面を通る線を引いた。その線上においてプローブを短軸方向に当て、膝蓋骨内側端と大腿骨内側顆最大膨隆部の2点にマークをした。2点の距離を計測しその中点にてプローブを軟骨に垂直に当て、長軸像を撮像した(図1-3)。

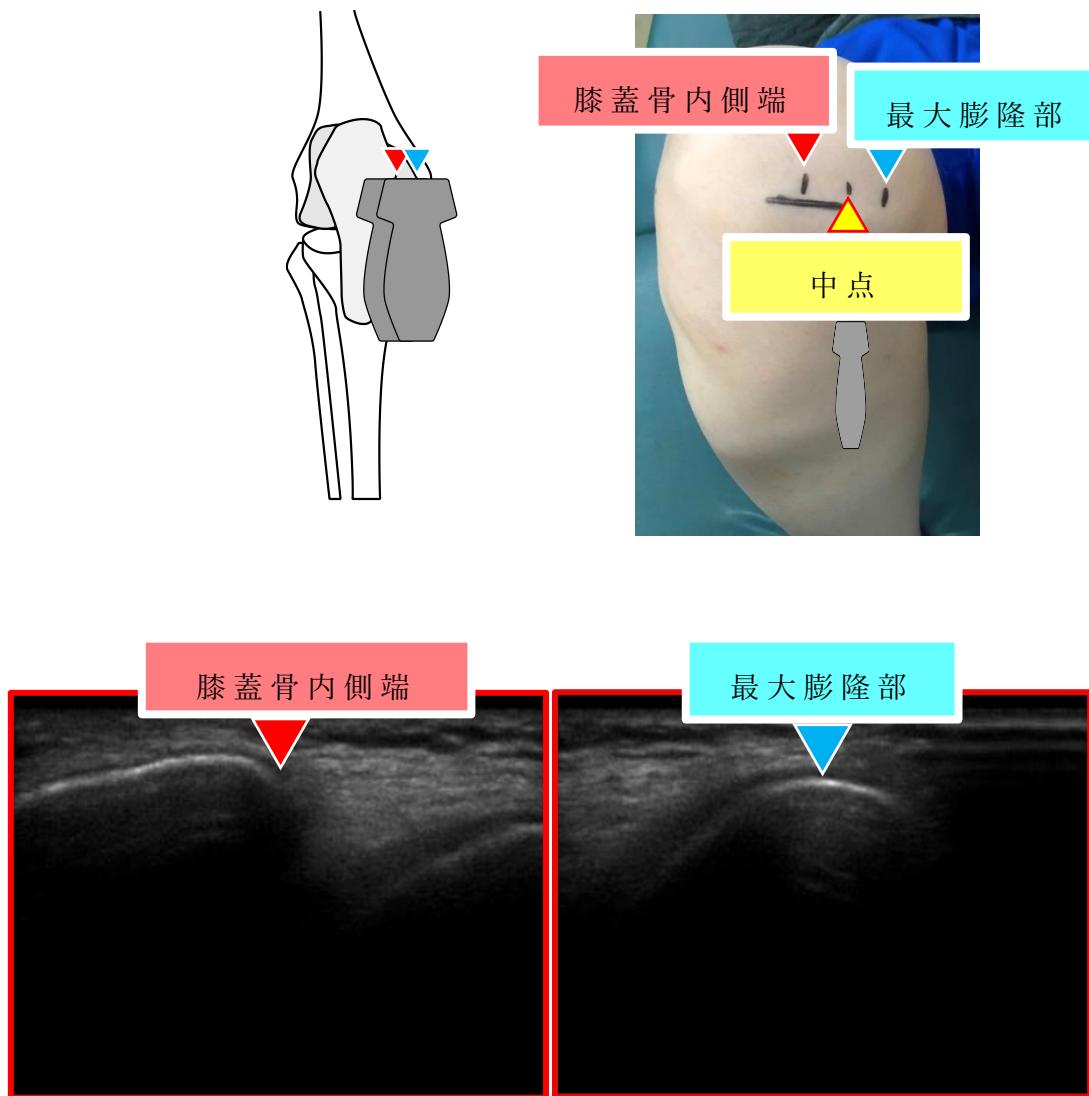


図 1-3. 測定位置

1・2・3. 統計処理

検討 1、2 ともに統計処理には統計ソフト (SPSS Statistics26, IBM 社) を用い、3 試行における検者内信頼性の指標となる級内相関係数 (ICC) を求めた。有意水準は 5%未満とした。

1-3. 結果

(1) ImageJ を用いた画像解析の検者内信頼性

検者内信頼性の指標となる級内相関係数は 0.998 であった(表 1-1)。

表 1-1. ImageJ を用いた画像解析

変数	第 1 試行		第 2 試行		第 3 試行		ICC	F
	M	SD	M	SD	M	SD		
軟骨厚(mm)	1.357	0.495	1.357	0.494	1.359	0.510	0.998	0.022 p>0.05

M:平均値, SD:標準偏差, ICC:intraclass correlation coefficient

F:1 要因分散分析の F 値

(2) 超音波画像診断装置を用いた測定の検者内信頼性

検者内信頼性の指標となる級内相関係数は 0.848 であった(表 1-2)。

表 1-2. 超音波画像診断装置を用いた測定

変数	第 1 試行		第 2 試行		第 3 試行		ICC	F
	M	SD	M	SD	M	SD		
軟骨厚(mm)	1.373	0.362	1.349	0.367	1.336	0.385	0.848	0.298 p>0.05

M:平均値, SD:標準偏差, ICC:intraclass correlation coefficient

F:1 要因分散分析の F 値

1-4. 考察

本研究では、ImageJ を用いた画像解析および超音波画像診断装置を用いた測定の再現性を検討した。その結果、検者内信頼性を示す級内相関係数は、画像解析にて 0.998、超音波測定にて 0.848 を示した。桑原ら²⁰⁾は級内相関係数の評価基準について 0.9 以上を優秀、0.8 以上を良好、0.7 以上を普通、0.6 未満を再考としており、本研究の結果は超音波画像診断装置を用いた大腿骨内側顆荷重部位における軟骨厚測定法の再現性を支持するものとなった。しかし、超音波画像診断装置を用いた測定においては、優秀と判断される 0.9 に達しておらず依然として本手法の再現性に課題があることが示唆された。特に測定時のプローブ角度は、軟骨の写り方に大きく影響を与えるため、検者は測定に十分習熟している必要があると考える。

超音波画像診断装置を用いて大腿骨内側顆の長軸像から得られる軟骨厚と、MRI 測定から得られる軟骨厚の関連を調べた研究では、二つの値は相関するものの、超音波画像診断装置による測定値は MRI による測定値より 1.9~2.8mm 小さいことが報告されており²¹⁾、この値は MRI によす測定値の約 50%に相当する。このような測定値の差は MRI と超音波の撮像メカニズムの違いによると考えられ、両者の相関関係が示されていることから、超音波画像診断装置による測定によって軟骨厚を評価することに問題はないと考える。

本測定の所要時間は両膝を測定する場合でも一人 10 分程度であり、十分に習熟した場合は一人 5 分程度で測定可能である。MRI と比べ被検者の負担も少なくグラウンドなど被験者の活動場所を問わず実施できるため非常に汎用性が高いと言える。また、従来の超音波画像診断装置を用いた大腿骨荷重部位での測定は膝関節最大屈曲位で行われているが

^{18,19)}、下肢周径囲が大きい被験者や、下肢の筋タイトネスが高い被験者では可動域が制限され膝関節最大屈曲位の角度が統一されないと推測される。本測定時の姿勢である膝関節 130 度屈曲位は、どの様な体格の被験者においても姿勢の維持が簡易であり、膝関節角度の統一および被験者の負担軽減が可能であると考えられる。

日本では 40 歳以上の中高年者における変形性膝関節症(以下,膝 OA)の有病率は、男性で 42%、女性で 61.5% であり、X 線で診断される膝 OA の患者数は 2530 万人(男性 860 万人,女性 1670 万人)と推定されている²²⁾。今後高齢化が進むにつれ、国民の罹患率はますます増えていくと考えられる。この様に日本人の多くが罹患する膝 OA 発症と進行を説明する一つの尺度である軟骨厚⁹⁾を簡易に測定できる本手法は、様々な年齢や、異なるバックグラウンドを持つ集団においての縦断調査や横断調査にて利用可能である。その様に測定を重ねることで、どの様な特徴を持つ集団において軟骨障害のリスクが高いか把握し、予防することにも繋がると考える。今後、本手法がさらに汎用性を高めることができるよう検者間信頼性の検討も行っていく必要がある。

1・5. 結論

画像解析および超音波画像診断装置を用いた測定の検者内信頼性を検討したところ、級内相関係数は画像解析にて 0.998、超音波測定にて 0.848 を示し、本研究における超音波画像診断装置を用いた大腿骨内側顆荷重部位の、軟骨厚測定法の再現性は妥当と考えられる。

【研究 2】大学生における膝関節軟骨厚の比較・運動習慣と運動様式が及ぼす影響・

2-1. 緒言

継続的な運動は身体の機能や構造に影響を及ぼす。特に競技スポーツでは、その運動様式の違いによって体に加わるメカニカルストレスが大きく異なる。メカニカルストレスには、生体の構造や機能を決める作用がある²³⁾ため、長期間特定の競技スポーツに必要なトレーニングを積むと骨格筋の形態には競技特性が生じることが知られている。

膝関節の骨端部を覆う関節軟骨は、関節に作用する荷重を接触面上に広く分散し、衝撃を緩和する生体組織である²⁴⁾。継続的なトレーニングや運動に伴う膝関節への負荷により、骨と骨の間に存在する軟骨にも何らかの形態的な適応が生じる可能性がある。

大腿骨遠位の骨端部では出生前に骨端核が出現し、16~19歳で骨端軟骨が閉鎖すると言われている²⁵⁾。骨端核が大きくなるにつれて軟骨が薄くなり、成長軟骨と関節軟骨に分離され、さらに骨端核が大きくなると成長軟骨が閉鎖して骨端部とつながり、関節軟骨のみが残る。この間にスポーツによる負荷がかかると、骨端核と軟骨層に刺激が加わり、成長軟骨の刺激になれば骨頂増加をもたらし、骨端核への刺激は骨端の体積増加につながると考えられる。関節軟骨への刺激が軟骨組織の増大につながれば、厚い軟骨層を生じさせるかもしれない。運動習慣や運動様式の違いによる、膝関節軟骨形態の違いはいくつかの先行研究で述べられている。トライアスリートと不活動群の軟骨厚を比較した研究では両者の大腿骨、脛骨の軟骨厚には差がないことが報告されている¹¹⁾。一方で、小児を対象とした研究においては、過去2週間の活発な運動が脛骨大腿関節において脛骨内側の軟骨体積の増加と関連していると言われており

²⁶⁾、運動習慣や運動様式と軟骨形態の変化には何らかの関連があると考えられる。しかし先行研究では、比較する競技数やサンプル数が少なく、大学生において様々な運動様式を持つ競技間での比較は行われていない。運動習慣や運動様式の違いと軟骨厚の関係を明らかにし、どの様な運動が軟骨厚の増加に関わっているかを明らかにすることは、生涯に渡って膝関節の正常な機能を維持するためにも重要な課題である。

本研究では、大学の体育各部に所属する学生および継続的な運動を行っていない大学生を対象とし、超音波測定を用いて大腿骨内側顆荷重部位の軟骨厚を比較し、その運動習慣や運動様式による特徴を明らかにすることを目的とした。

2-2. 方法

2-2-1. 対象

大学生 870 名（男子 568 名, 女子 302 名）を測定し、包含基準を満たす 510 名（男子 356 名, 女子 154 名）、1020 脚を対象とした。対象は、運動習慣、運動様式によって、男子は 20 群、女子は 12 群にわけられた。

包含基準は、データ欠損、大腿脛骨関節内の外傷・障害（軟骨障害、前十字靱帯損傷、後十字靱帯損傷、半月板損傷）の既往が無いこと、18～22 歳の大学生であることとした。また、体育各部の学生においては競技継続による膝関節軟骨厚の変化を検討するため競技継続年数 4 年以上の選手、測定人数が 5 名以上の部を検討対象とした。包含基準に関する情報はアンケートにて取得した。本研究における非運動群は大学以降継続的な運動を行っていない大学生とした。

なお本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した（申請番号：2018-298）。

2-2-2. 測定項目

(1) 基本項目

基本情報として、年齢、性別、身長、体重、競技継続年数を収集した。以下に、各群の平均値±標準偏差を示す(表 2-1,2)。

表 2-1. 男子基本項目

群	人数 (人)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	競技継続年数 (年)
陸上競技	67	20.0±1.2	172.7±5.4	61.7±8.9	20.6±2.2	9.3±2.2
競泳	9	20.2±1.1	173.7±4.7	68.9±5.0	22.8±1.4	18.4±1.8
相撲	5	19.6±1.3	174.0±4.8	115.0±9.8	37.9±1.5	13.6±0.9
バスケットボール	12	20.2±1.3	182.7±6.5	87.6±15.8	26.3±4.7	12.9±4.0
アメフト	42	20.9±1.0	175.2±5.2	89.2±14.6	29.0±4.1	6.0±1.5
ウェイトリフティング	9	19.2±1.3	168.3±7.3	74.9±16.3	26.2±3.5	5.8±2.5
ラグビー	40	20.0±1.3	173.7±5.9	87.0±11.7	28.8±3.0	12.7±4.6
バドミントン	7	20.7±1.0	170.5±3.0	65.3±3.5	22.5±1.6	13.3±3.5
ハンドボール	23	19.4±1.0	173.5±5.4	73.4±6.6	24.3±1.3	8.9±2.1
フェンシング	5	19.8±0.8	173.1±5.6	67.2±9.4	22.3±1.7	10.4±1.5
フィールドホッケー	11	19.9±1.3	172.5±6.1	64.6±5.9	21.8±2.4	7.6±4.2
卓球	18	20.5±1.3	172.2±5.5	64.1±8.2	21.6±2.2	12.6±2.4
空手	7	20.4±1.3	173.1±7.2	66.4±6.5	22.2±2.4	16.4±2.4
サッカー	14	20.1±1.3	172.2±6.1	66.4±6.0	22.3±1.0	14.1±2.7
ラクロス	6	20.8±0.8	169.6±5.2	65.8±7.8	22.8±2.4	6.0±0.0
柔道	12	19.7±1.3	171.7±7.3	84.4±16.6	28.4±3.7	13±3.3
バレーボール	21	19.6±1.3	184.8±7.5	75.4±8.0	22.1±1.8	10.4±3.5
器械体操	5	19.6±0.5	165.1±5.3	60.6±5.3	22.2±1.1	14.6±1.5
ソフトテニス	21	20.0±1.3	174.4±5.4	64.1±4.4	21.1±1.3	13.5±2.0
非運動群	22	20.5±1.2	169.6±6.2	62.2±8.5	21.6±2.8	-
全体	356	20.1±1.2	173.8±6.8	73.1±15.4	24.1±4.5	10.0±4.8

表 2-2. 女子基本項目

群	人数 (人)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	競技継続年数 (年)
陸上競技	20	20.1±1.3	164.0±5.0	53.4±4.0	19.8±0.9	10.8±2.4
競泳	7	20.1±1.6	163.7±3.3	58.4±4.0	21.8±1.1	16.7±3.3
ウェイトリフティング	9	19.7±1.0	157.3±5.8	62.8±11.7	25.2±3.3	5.2±0.8
ソフトボール	19	20.2±1.3	162.6±5.3	58.3±6.5	22.0±2.3	10.1±2.6
チアリーディング	17	20.7±1.0	160.5±5.6	52.5±4.6	20.4±1.4	5.7±2.9
ハンドボール	9	19.8±1.3	159.8±4.9	57.5±4.1	22.5±1.3	8.8±2.9
卓球	11	19.7±1.2	160.3±2.6	51.9±4.3	20.2±1.9	14.2±1.5
空手	5	20.0±1.0	155.3±6.8	54.9±6.9	22.7±1.3	13.6±3.8
サッカー	16	20.8±1.0	161.9±4.5	57.9±4.9	22.1±1.5	13.8±2.5
ラクロス	9	21.3±1.3	158.0±5.7	53.3±4.9	21.1±1.3	4.9±1.8
ソフトテニス	6	20.3±1.0	160.7±5.1	53.8±5.2	20.8±1.4	13.3±2.4
非運動群	26	20.1±1.1	158.5±5.5	51.5±4.9	20.5±1.5	-
全体	154	19.7±1.2	160.3±2.6	51.9±4.3	20.2±1.9	14.2±1.5

(2) 超音波画像診断装置を用いた軟骨厚の測定

研究1で用いた方法にて大腿骨内側顆荷重部位の軟骨厚を測定した。

2-2-3. 統計処理

統計処理には統計ソフト(SPSS Statistics26, IBM社)を用いた。一元配置分散分析を用いて、男女それぞれにおいて左右平均軟骨厚(以下, 平均軟骨厚)、右膝軟骨厚(以下, 右軟骨厚)、左膝軟骨厚(以下, 左軟骨厚)、軟骨厚左右差絶対値(以下, 軟骨厚左右差)の群間比較を行った。有意水準は5%未満とした。

2-3. 結果

2-3-1. 平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚、軟骨厚左右差

以下に男女それぞれの平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚、軟骨厚左右差（表中、|右-左|）における群間比較の結果を示す（表 2-3,4）。

各項目における群間の統計的有意差は巻末の資料に記す（資料 5-1,2）。

表 2-3. 男子の軟骨厚

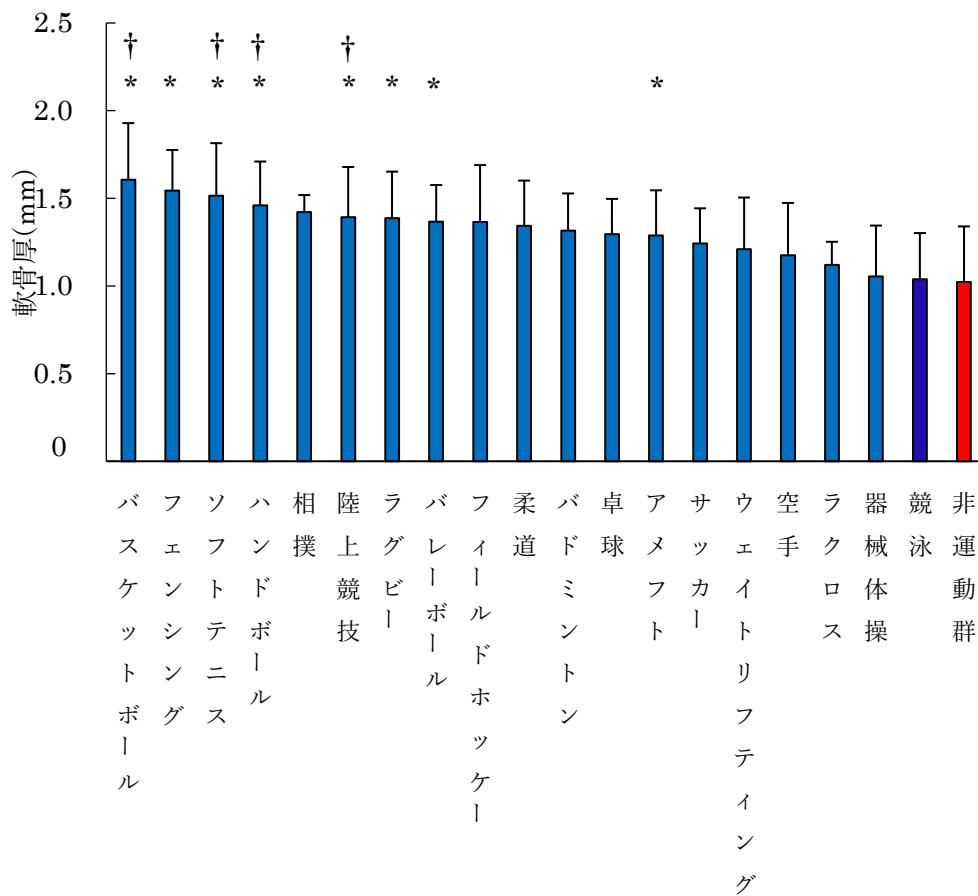
群	平均軟骨厚 (mm)	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	右-左 (mm)
陸上競技	1.39±0.29	1.26±0.33	1.52±0.34	0.36±0.26
競泳	1.04±0.26	0.88±0.32	1.20±0.29	0.34±0.26
相撲	1.42±0.10	1.37±0.09	1.47±0.24	0.25±0.16
バスケットボール	1.61±0.32	1.44±0.35	1.77±0.4	0.42±0.27
アメフト	1.29±0.26	1.15±0.31	1.42±0.28	0.30±0.25
ウェイトリフティング	1.21±0.29	0.93±0.36	1.49±0.30	0.56±0.31
ラグビー	1.39±0.27	1.25±0.31	1.53±0.29	0.31±0.24
バドミントン	1.31±0.21	1.16±0.30	1.47±0.21	0.32±0.29
ハンドボール	1.46±0.25	1.31±0.36	1.61±0.22	0.32±0.31
フェンシング	1.54±0.23	1.27±0.31	1.81±0.27	0.54±0.34
フィールドホッケー	1.36±0.33	1.25±0.35	1.48±0.37	0.32±0.19
卓球	1.30±0.20	1.13±0.19	1.47±0.27	0.34±0.24
空手	1.17±0.30	0.84±0.26	1.51±0.47	0.67±0.47
サッカー	1.24±0.20	1.02±0.22	1.46±0.25	0.43±0.25
ラクロス	1.12±0.13	1.03±0.30	1.22±0.15	0.28±0.33
柔道	1.34±0.26	1.12±0.30	1.57±0.29	0.45±0.30
バレーボール	1.37±0.21	1.23±0.27	1.51±0.21	0.29±0.23
器械体操	1.05±0.29	0.80±0.31	1.3±0.35	0.50±0.32
ソフトテニス	1.51±0.30	1.4±0.33	1.63±0.31	0.28±0.16
非運動群	1.02±0.32	0.89±0.34	1.16±0.36	0.29±0.26
全体	1.33±0.29	1.18±0.34	1.49±0.32	0.35±0.27

表 2-4. 女子の軟骨厚

群	平均軟骨厚 (mm)	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	右-左 (mm)
陸上競技	1.16±0.24	1.08±0.24	1.23±0.30	0.22±0.17
競泳	0.99±0.18	0.78±0.20	1.20±0.19	0.42±0.17
ウェイトリフティング	1.17±0.23	0.98±0.35	1.37±0.19	0.39±0.30
ソフトボール	1.08±0.20	0.92±0.28	1.24±0.22	0.34±0.27
チアリーディング	1.06±0.18	0.99±0.22	1.13±0.21	0.18±0.18
ハンドボール	1.30±0.21	1.16±0.29	1.44±0.18	0.31±0.17
卓球	1.11±0.22	1.02±0.32	1.19±0.17	0.22±0.23
空手	1.23±0.49	1.00±0.54	1.46±0.44	0.45±0.18
サッカー	1.21±0.24	1.05±0.26	1.37±0.28	0.35±0.22
ラクロス	1.04±0.30	0.93±0.33	1.14±0.29	0.23±0.16
ソフトテニス	1.20±0.27	1.13±0.25	1.27±0.30	0.14±0.12
非運動群	0.98±0.29	0.85±0.31	1.11±0.34	0.28±0.27
全体	1.11±0.26	0.98±0.30	1.23±0.28	0.29±0.23

2-3-2. 平均軟骨厚(男子)

非運動群より平均軟骨厚が有意に厚かったのは、バスケットボール、フェンシング、ソフトテニス、ハンドボール、陸上競技、ラグビー、バレーボール、アメフトとなった。競泳より平均軟骨厚が有意に厚かったのは、バスケットボール、ソフトテニス、ハンドボール、陸上競技となつた(図 2-1)。

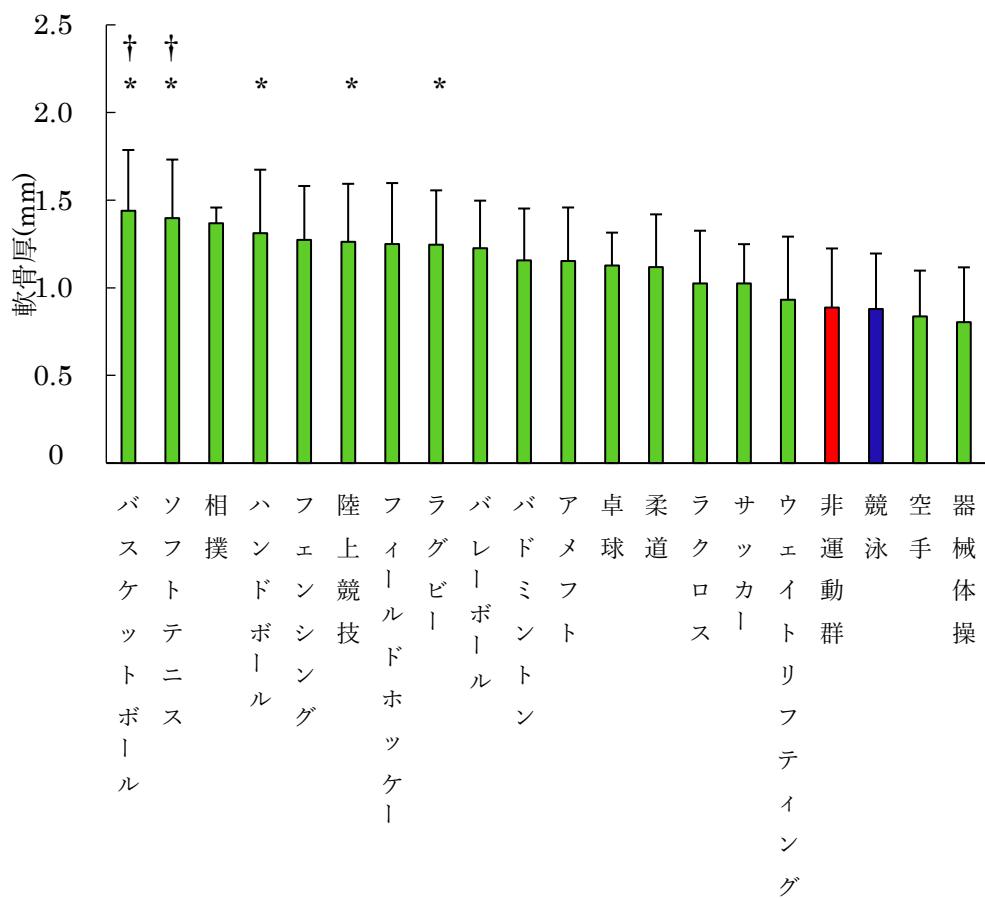


*:vs 非運動群、†:vs 競泳 $p < 0.05$

図 2-1. 平均軟骨厚(男子)

2-3-3. 右軟骨厚(男子)

非運動群より右軟骨厚が有意に厚かったのは、バスケットボール、ソフトテニス、ハンドボール、陸上競技、ラグビーであった。競泳より右軟骨厚が有意に厚かったのは、バスケットボールとソフトテニスであった(図 2-2)。

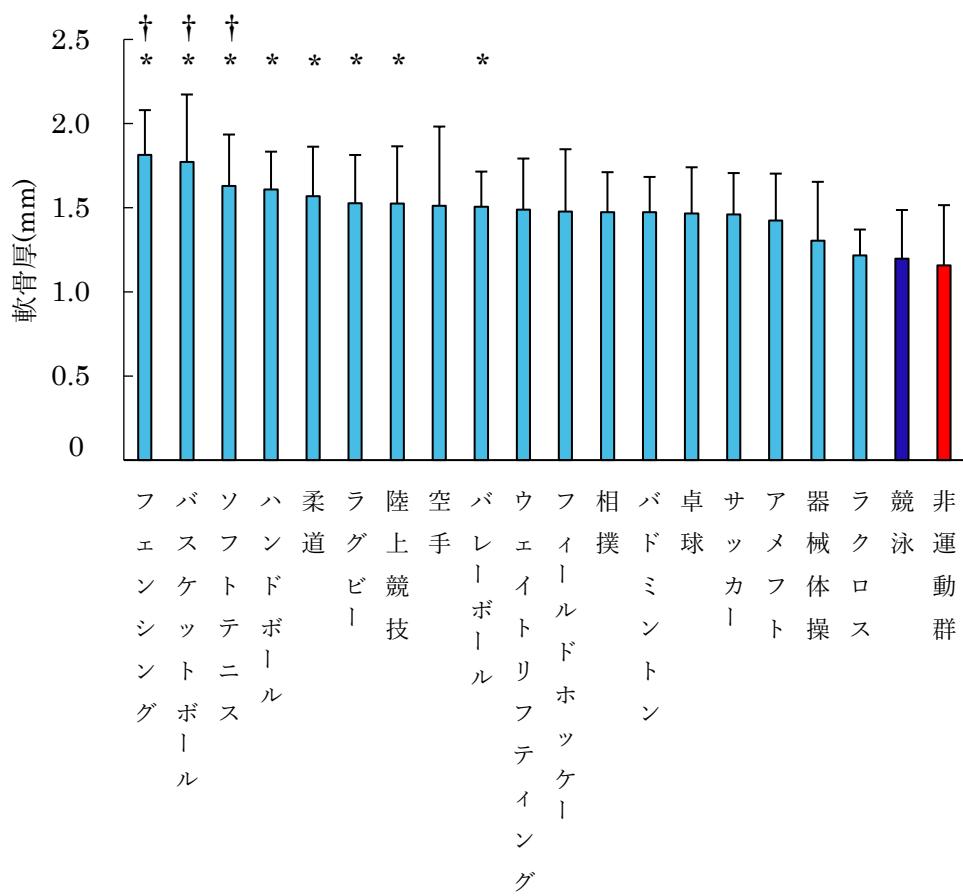


*:vs 非運動群、†:vs 競泳 p<0.05

図 2-2. 右軟骨厚

2-3-4. 左軟骨厚(男子)

非運動群より左軟骨厚が有意に厚かったのは、フェンシング、バスケットボール、ソフトテニス、ハンドボール、柔道、ラグビー、陸上競技、バレーボールであった。競泳より左軟骨厚が有意に厚かったのは、フェンシング、バスケットボール、ソフトテニスであった(図 2-3)。



*:vs 非運動群、†:vs 競泳 p<0.05

図 2-3. 左軟骨厚

2-3-5. 軟骨厚左右差(男子)

男子の軟骨厚左右差においてはすべての群間に有意差は見られなかつた(図 2-4)。

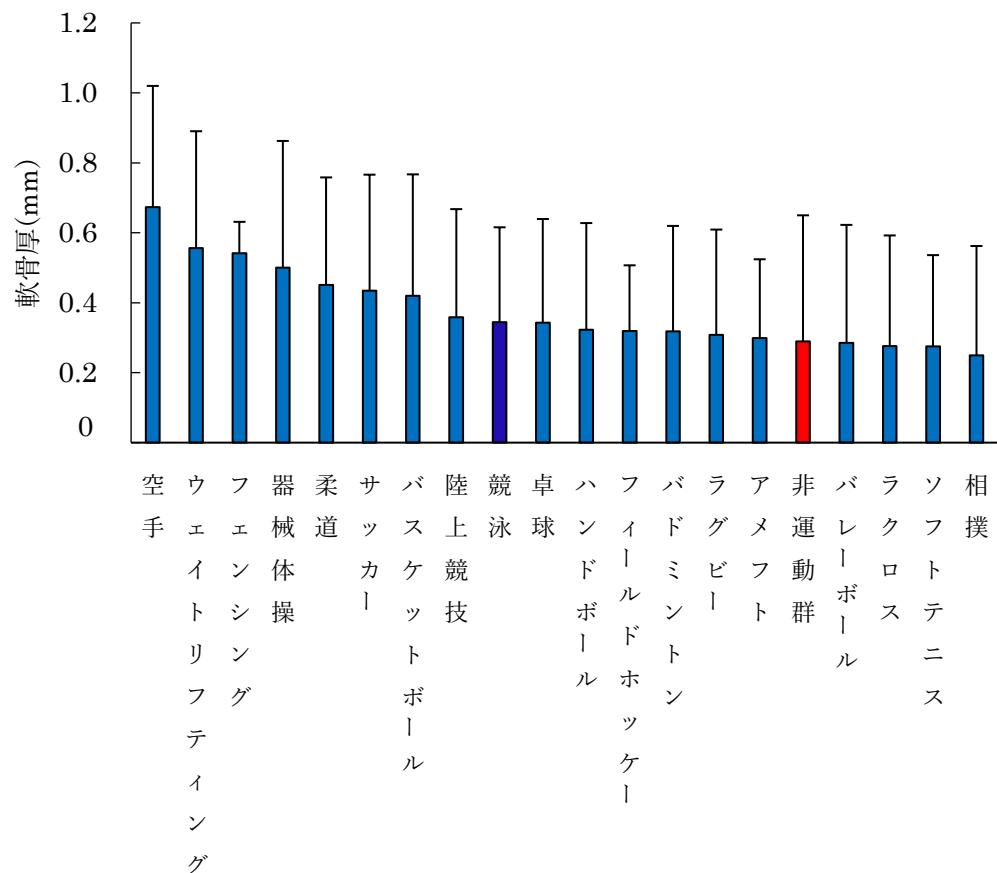


図 2-4. 左右差(男子)

2-3-6. 平均軟骨厚(女子)

女子の平均軟骨厚においてはすべての群間に有意差は見られなかつた(図 2-5)。

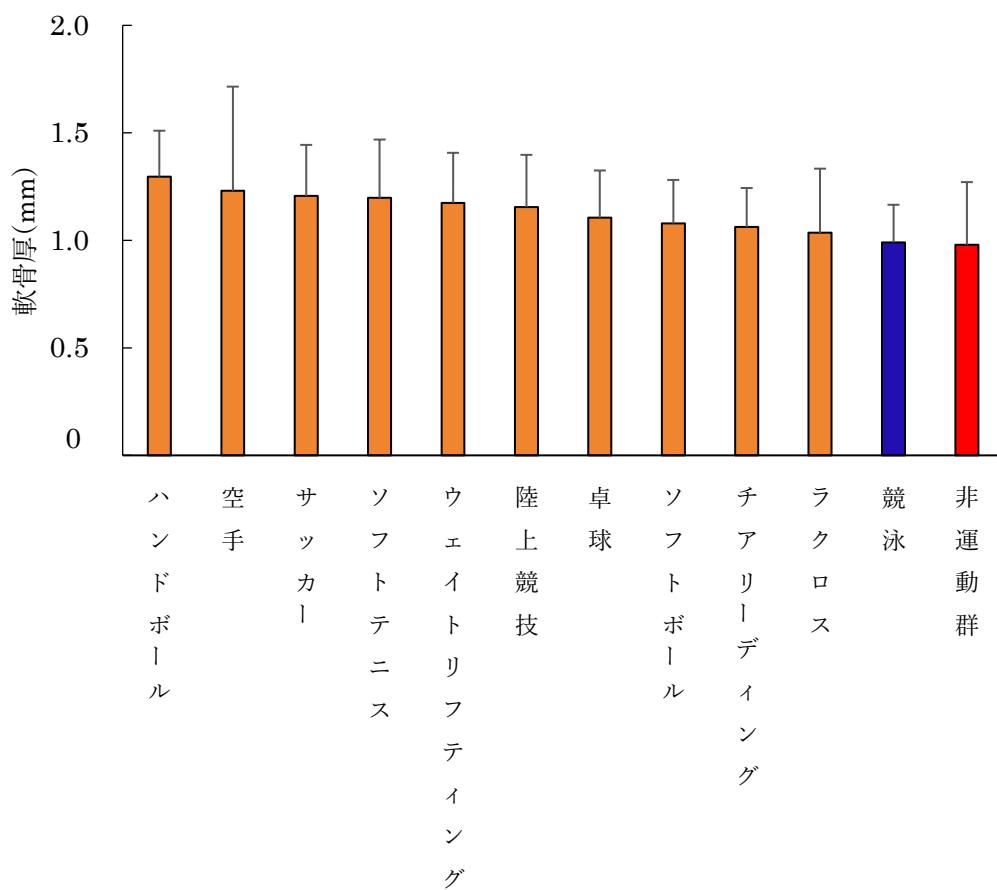


図 2-5. 平均軟骨厚(女子)

2-3-7.右軟骨厚(女子)

女子の右軟骨厚においてはすべての群間に有意差は見られなかった
(図 2-6)。

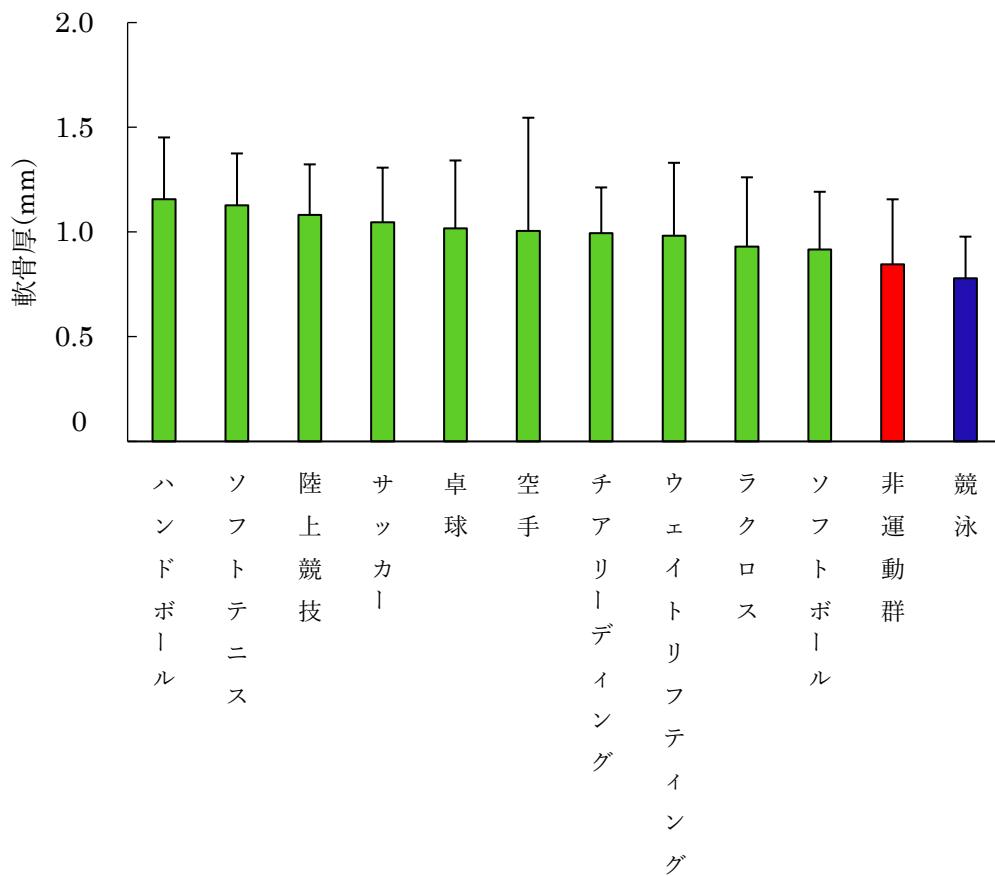


図 2-6. 右軟骨厚(女子)

2-3-8. 左軟骨厚(女子)

女子の右軟骨厚においてはすべての群間に有意差は見られなかった
(図 2-7)。

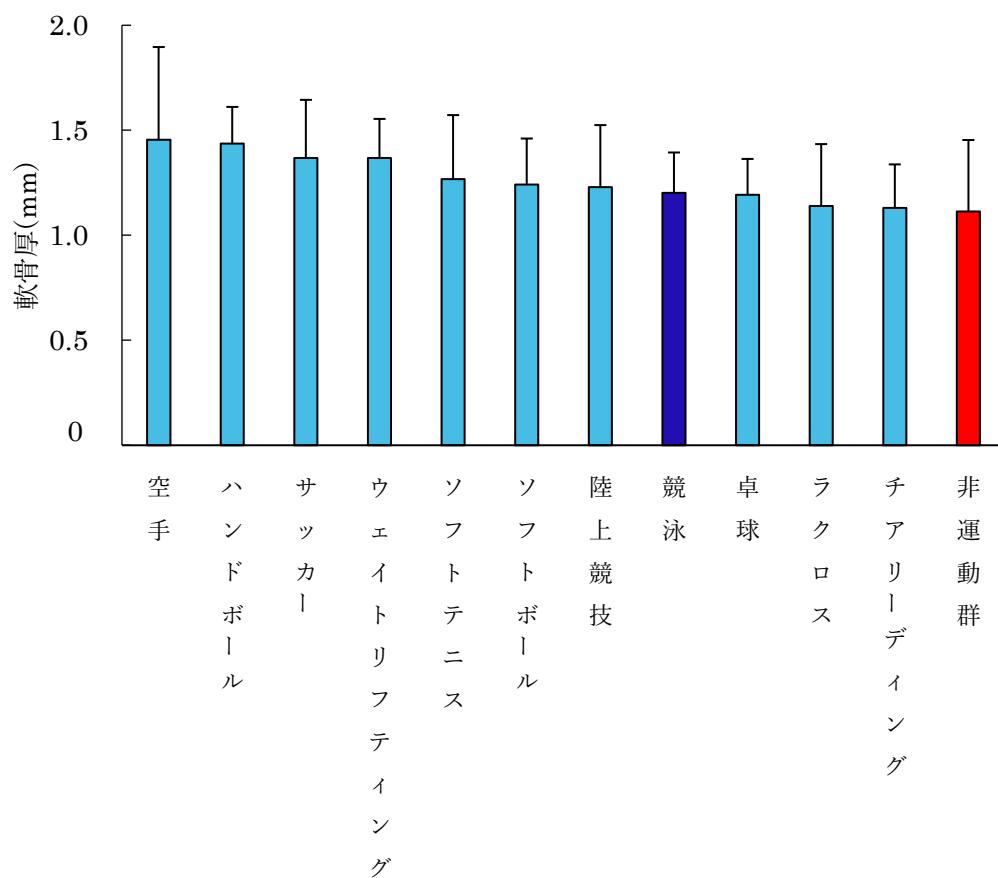


図 2-7. 左軟骨厚(女子)

2-3-9. 軟骨厚左右差（女子）

女子の軟骨厚左右差においてはすべての群間に有意差は見られなかつた（図 2-8）。

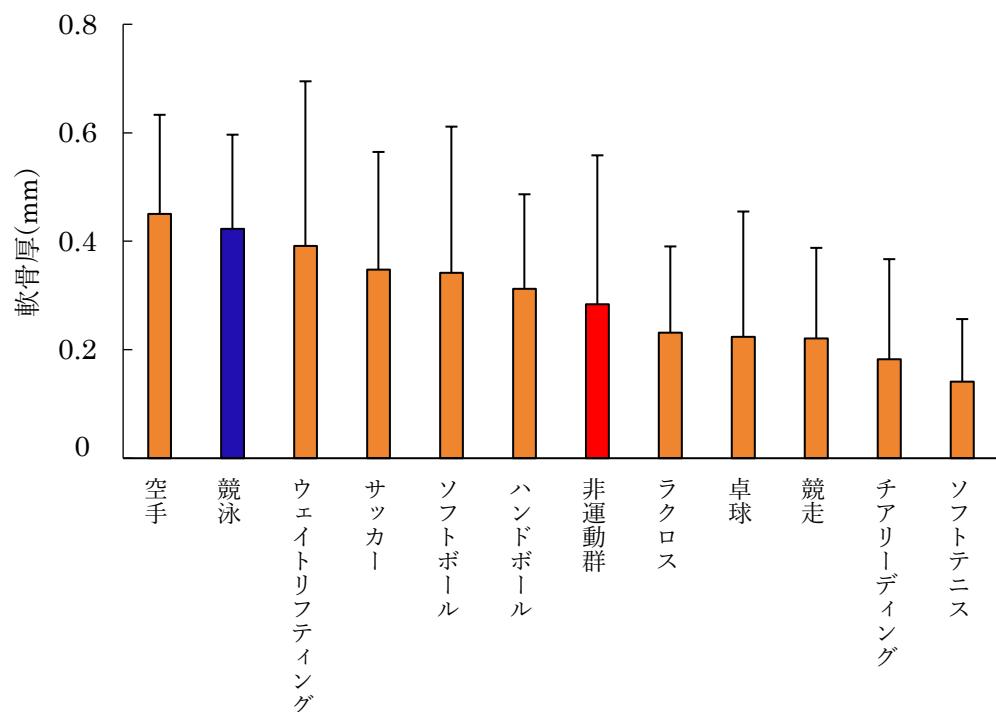


図 2-8. 左右差（女子）

2-4. 考察

2-4-1. 運動による負荷と軟骨厚

軟骨組織は血管およびリンパ管を欠いているため、その栄養は関節液の軟骨基質内への拡散に依存しており、この拡散には関節内への間欠的な荷重負荷による軟骨の圧縮と復元が重要となっている²⁷⁾。また、膝関節軟骨厚は負荷の大きな部位ほど厚く²⁸⁾、適度な負荷が生理的な代謝を営むうえで必要不可欠であると言われている。

関節軟骨には張力、剪断力、静水圧(関節液から受ける水圧)などの力学的ストレスが加わっている²⁹⁾。それらの中でも、軟骨に加わる静水圧は、走行動作やジャンプ動作など下肢にかかる荷重負荷が大きくなるほど増加すると考えられる。細胞レベルでは、培養軟骨細胞を用いて静水圧環境が細胞外マトリックス合成に及ぼす影響を調べた研究において、静水圧負荷によって軟骨マーカーである Collagen Type II の生産に関与している因子の発現が確認され、静水圧を付加することにより軟骨細胞の形状が戻ることが報告されている³⁰⁾。これらの先行研究から、運動による荷重負荷とそれに伴う静水圧の増加は、組織および細胞レベルで軟骨に影響を及ぼしていることが分かる。

2-4-2. 男子における軟骨厚の群間比較

男子において、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚のすべてにおいて非運動群より厚かったのは、バスケットボール、ソフトテニス、ハンドボール、陸上競技、ラグビーであった。また、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚のすべてにおいて競泳より厚かったのは、バスケットボール、ソフトテニスであった。軟骨厚と同様に、荷重負荷に依存すると考えられている骨密度の競技別比較に関する研究では、バスケットボール、ハン

ドボール、テニス、陸上選手、ラグビーの選手において高い下肢(踵骨、大腿骨頸部含む)骨密度を呈すると報告されている^{31~34)}。本研究においても、骨密度と同様にそれらの競技において軟骨厚が厚かった。バスケットボール、ハンドボールにおいては競技特性として絶え間なく繰り返す跳躍動作があり、下肢に大きな圧縮負荷が加わる。その圧縮負荷による軟骨への静水圧増加が、軟骨厚の増大に関連したと考えられる。陸上競技の主要動作であるランニングは、身体重心が下向きの速度をもって地面に衝突し、着地期の後に再び上向きの速度をもって空中に飛び上がる動作の繰り返しによって成立している³⁵⁾。この繰り返される間欠的な負荷が軟骨厚の増大に寄与したと考えられる。テニス選手においては、切り返しや踏み込み動作が多く膝関節に強い剪断力や圧縮力が働くことが推測され、それに伴う下肢の負荷が軟骨厚の増大に関わったと考える。また、ラグビーの運動様式の特徴は、スプリント走やコンタクトプレーなど高強度運動の間にジョギングや歩行など低速での移動運動をはさみながら反復する間欠的運動であり³⁶⁾、これによる間欠的負荷が、軟骨厚の増大に関連している可能性が示唆された。フェンシング³⁷⁾およびバレーボール³⁸⁾についても平均軟骨厚、左軟骨厚が非運動群や競泳より厚かった。これらの競技もこれまで述べた競技同様、コントロール群に比べて下肢の骨密度が高いと報告されている。フェンシングは、比較的衝撃が少ない前方、後方移動と加速、減速運動および衝撃が大きい打撃動作を伴うスポーツであり³⁷⁾、バレーボールはバスケットボールやハンドボール同様、高負荷のジャンプ動作を伴う競技である。この様な負荷の高い運動様式により、非運動群、競泳より軟骨厚が厚い傾向が生じたと考えられるが、フェンシングにおいては被験者数が 5 名と限られているため、さらなる検討が必要である。

一方、先行研究において運動をしていないコントロール群あるいは競技中下肢に荷重負荷がかからない水泳選手に比べて、ウェイトリフティング、柔道、サッカーも下肢骨密度が高いと報告されている。下肢の荷重負荷に注目すると本研究においてもこれらの群で非運動群や競泳より軟骨厚が有意に厚くなると推測されたが、非運動群や競泳より厚いものの統計的な有意差は見られなかった。ウェイトリフティングで持ち上げる重りの重量は、陸上競技の走行動作で下肢にかかる体重の 3 から 8 倍³⁹⁾もの重量に比べると小さい。また、ウェイトリフティングは両脚で重りの重量を支えるため陸上競技等の走行時に片脚にかかる負荷よりも強度が低くなると考えられる。柔道においては、移動はすり足で、その距離も少ないためジャンプ動作や走行動作より膝関節にかかる荷重負荷が低いことが予想される。サッカーに関しては、運動様式上、負荷の強度、頻度共に高いことが推測されるが軟骨厚の左右差が比較的大きかったことが平均軟骨厚の結果に影響した可能性が考えられるため、今後蹴り脚、軸足を考慮した検討が必要である。これらの理由から、ウェイトリフティング、柔道、サッカーの軟骨厚においては、非運動群や競泳より厚かったものの統計的な有意差を生じなかつた可能性がある。器械体操においても下肢の骨密度が高いことが報告されており⁴⁰⁾、下肢への高頻度、高強度の負荷に伴い非運動群、競泳より軟骨厚が厚くなると予想されたが、本研究ではその傾向は見られなかつた。体操競技選手を対象とした損傷発症調査では、膝関節靭帯損傷が多く発生していると報告されており⁴¹⁾、膝関節に耐えうる以上の大きな荷重負荷がかかることが推測される。この過剰な負荷が、軟骨厚の増大を抑制している可能性も考えられる。本研究における器械体操の被験者は 5 名と少ないため、今後さらに人数を増やして検討を行う必要がある。空手は柔道と同様に競技中の移

動は、距離が少なくすり足で行うこと、ラクロスにおいては陸上競技と比べると走行距離が少ないと加え対象者の競技継続年数が短く、サンプル数が少ないと非運動群、競泳と軟骨厚の差が生じなかった要因として考えられる。以上の結果から、軟骨厚には下肢にかかる負荷の頻度と強度が関わっていることが示唆された。

また、非運動群、競泳より軟骨厚が厚かった競技の中には非運動群および競泳より体重が重い群が含まれている。相撲、バスケットボール、アメフト、ラグビー、ハンドボール、柔道、バレーボールは非運動群より体重が重く、相撲、バスケットボール、アメフト、ラグビーは競泳より体重が重かった。この様に、非運動群、競泳より体重が重い群には、軟骨厚が厚い競技が多数含まれており、これによる荷重負荷の増大が軟骨厚に関連している可能性も考えられる。

本研究の被検者においては、ほとんどの運動群が競技継続年数 10 年を超えており、最も短いウェイトリフティングでも 5.8 年である。つまり、運動群の学生は中学・高校、中には小学生から競技を継続している。緒言でも述べたように、大腿骨遠位の骨端軟骨は 16~19 歳で閉鎖する²⁵⁾。被検者の平均年齢が 20.1 歳であることを考えると、骨端核が閉鎖する時期以前の競技継続が、軟骨厚への影響を及ぼした可能性が大きいと考えられる。今後はどの発育段階における運動が、軟骨厚に大きく影響を及ぼしているかを明らかにするために、小学校、中学校、高校、大学ごとの競技経験や運動頻度、運動強度を考慮して検討していく必要があると考える。

2-4-3. 女子における軟骨厚の群間差

女子においては、運動習慣や運動様式によって軟骨厚に違いがあった男子と比べて平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚すべてにおいて群間差が見られなかった。走行動作による軟骨体積の短期的な変化を調べた先行研究では、走行時に軟骨にかかる最大圧縮応力と軟骨体積の変化率は男子においては正の相関があるが、女子においては関連が見られないことを報告されている⁴²⁾。このことから、女子では負荷に対する応答が男子ほど顕著でない可能性が考えられる。また、本研究において競技による軟骨厚の差が男子では多数の群間で見られたものの女子では全く見られなかった理由の一つとして、女子では荷重負荷に関わる因子である体重の群間差が顕著に見られなかったことが考えられる。これに加えて比較する競技の数、各群のサンプル数が男子より少なかったことも女子において群間差がみられなかった要因として考えられる。しかし、軟骨厚が厚い競技から順に示したところ、男子と同様にハンドボールで軟骨厚が厚い傾向であった。このことから、女子においても顕著ではないがジャンプ動作に伴う大きな荷重負荷が軟骨厚に影響している可能性が示唆された。

2-4-4. 男女における軟骨厚左右差の群間比較

軟骨厚左右差に関しては、男女ともに群間差はみられなかった。男子全体、女子全体および各群で軟骨厚左右差があるか検討したところ、男女ともに右軟骨厚が左軟骨厚に比べ厚かった。各群においては男子の相撲、ラクロスを除いて左軟骨厚が右軟骨厚に比べ値が有意に厚い、あるいは厚い傾向(女子の卓球)であった(資料 1-4,5)。先述したように、荷重負荷がかかることにより軟骨厚は厚くなると考えられている。日常生活やスポーツ実施中に左右の脚に掛かる負荷が異なることにより、この様

な差が生じた可能性が考えられる。先行研究ではヒトの足には機能的左右差が存在し、右足は運動性に富み、左足は支持的な役割を重荷になっていると考えられ、右足を運動脚(足)、左足を支持脚(足)と規定したと報告されている⁴³⁾。また、日本人を対象とした研究においては右足が利き足である割合は8割程度と報告されている⁴⁴⁾。大学生剣道選手において左右の踵骨骨密度を測定した研究では、男女どちらにおいても打撃動作時に軸足となる左踵骨骨密度が右踵骨骨密度より有意に高いことが報告されている⁴⁵⁾。剣道と同様に、フェンシングにおいても踏み切り側である軸足において踵骨骨密度が高いことが報告されている⁴⁶⁾。これらの先行研究から、多くの被験者で軸足として働いている左足において、骨密度と同様、軟骨厚の値も大きくなった可能性が考えられる。実際に本研究において利き足、非利き足を調査できた107名において利き足と非利き足の軟骨厚を比較した結果、主に動作中軸足として体重を支持する非利き足の軟骨厚が厚かった(資料1-6)。また統計的に有意ではないものの男女ともに、空手において左軟骨厚が右軟骨厚より厚かった。空手には剣道と同様に突き技という下肢に左右非対称な負荷が加わる動作が存在するため、大きな軟骨厚左右差が生じた可能性があると考える。

2-5. 結論

本研究では、軟骨厚における群間差の中でも運動習慣、運動様式が大きく異なる非運動群、競泳との差に注目した。軟骨厚が厚い方から順に競技を示した結果、男子においては高頻度、高強度の負荷がかかる競技において軟骨厚が厚かった。また、男子、女子ともに継続的な運動を行っていない非運動群ならびに荷重負荷のかからない競技である競泳は他の群に比べ薄い傾向が見られた。

【研究 3】大学生における膝関節軟骨厚に影響を及ぼす因子の検討

3-1. 緒言

膝関節軟骨厚は年齢、体格など様々な要因によって影響を受けている。一般的に、軟骨厚は加齢とともに減少していく。年代別に膝関節軟骨厚を MRI にて測定した研究では、若年群(20~30 歳, 男性 49 名, 女性 46 名)と高齢群(50~78 歳, 男子 11 名, 女性 12 名)における平均軟骨厚と最大軟骨厚が比較され、高齢者群では若年群に比べ、男女ともに大腿骨軟骨厚が有意に薄いことが報告されている⁴⁷⁾。MRI で軟骨厚を測定した研究では、身長と軟骨厚の間に関連は無いが、体重と軟骨厚には小さいが正の相関があったと報告されている⁴⁸⁾。一方、超音波で大腿骨軟骨厚を測定した研究において体重、身長および BMI と軟骨厚に相関がないと報告している先行研究⁴⁹⁾もあり、体格に関連する因子と軟骨厚の関係に関しては、一致した見解が得られていない。

研究 2 の結果から、膝関節軟骨厚は運動習慣や運動様式の違いによつて異なることが明らかになった。また、同様に身長、体重および BMI など体格に関連する因子にも群間差が見られた。異なる運動習慣や運動様式による軟骨厚の違いを明らかにするには、群間に差が見られた複数の体格因子から軟骨厚に強く影響を与える因子を明らかにし、それを補正した値を比較する必要がある。

よって本研究においては、大学生における膝関節軟骨厚に影響を及ぼす因子を明らかにすることを目的とした。

3・2. 方法

3・2・1. 対象

大学生 870 名（男子 568 名, 女子 302 名）を測定し、包含基準を満たす 621 名（男子 416 名, 女子 205 名）、1242 脚を対象とした。

包含基準は、データ欠損、大腿脛骨関節内の外傷・障害（軟骨障害, 前十字靱帯損傷, 後十字靱帯損傷, 半月板損傷）の既往が無いこと、18~22 歳であることとした。包含基準に関する情報はアンケートにて取得した。

本研究における非運動群は大学以降継続的な運動を行っていない大学生とした。

なお本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した（申請番号：2018-298）。

3-2-2. 測定項目

(1) 基本項目

基本情報として、年齢、性別、身長、体重、BMI、競技継続年数を収集した。以下に、それぞれの平均値±標準偏差を示す(図 3-1)。

表 3-1. 基本項目

	人数 (人)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	競技継続年数 (年)
男子	416	20.1±1.2	173.5±6.6	72.6±14.6	24.0±4.2	9.1±5.2
女子	205	20.1±1.2	160.8±5.2	54.9±6.0	21.2±2.0	7.7±5.6

(2) 超音波画像診断装置を用いた軟骨厚の測定

研究 1 で用いた方法にて大腿骨内側顆荷重部位の軟骨厚を測定した。

(3) 回帰直線の求め方

膝関節軟骨厚と体格因子の関係を調べるために、男子、女子それぞれにおいて軟骨厚と身長・体重の関係を、累乗近似による回帰線で表した。

3-2-4. 統計処理

統計処理には統計ソフト(SPSS Statistics26, IBM 社)を用いた。Pearson の相関係数を用い、左右の平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚、それについて、年齢、身長、体重、BMI、競技継続年数との関連を調べた。さらに、ステップワイズ法を用いて重回帰分析を行った。従属変数には左右の平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚を用い、独立変数には年齢、身長、体重、BMI、競技継続年数を用いた。有意水準は 5%未満とした。

3-3. 結果

3-3-1. 年齢・体格・競技継続年数と軟骨厚の関連

Pearson の相関係数を用い、左右の平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚、それぞれについて、年齢、身長、体重、BMI、競技継続年数との関連を調べた。以下に、その結果を示す(表 3-2)。

表 3-2. 年齢・体格・競技継続年数と軟骨厚の関連

		男子		女子			
		r	p	r	p		
年齢	右	-0.128	0.009	*	-0.070	0.318	
	左	-0.049	0.316		-0.070	0.317	
	平均	-0.101	0.040		-0.079	0.260	
身長	右	0.292	0.000	*	0.194	0.005	*
	左	0.267	0.000	*	0.200	0.004	
	平均	0.318	0.000	*	0.222	0.001	*
体重	右	0.212	0.000	*	0.230	0.001	*
	左	0.151	0.002	*	0.290	0.000	*
	平均	0.206	0.000	*	0.292	0.000	*
BMI	右	0.121	0.013	*	0.141	0.043	*
	左	0.065	0.188		0.203	0.004	*
	平均	0.106	0.031	*	0.192	0.006	*
競技継続年数	右	0.096	0.051		0.154	0.027	*
	左	0.088	0.072		0.278	0.000	*
	平均	0.105	0.033	*	0.240	0.001	*

*: p<0.05

3-3-2. 重回帰分析

ステップワイズ法を用いて重回帰分析を行った。以下に、男女それぞれの結果を示す(表 3-3,4)。

表 3-3. 重回帰分析(男子)

従属変数		B	SE B	β	t 値	有意確率	相関
平均軟骨厚							
説明変数							
身長	0.014	0.002	0.318	6.829	p<0.001	0.318	
R ²	0.101						
従属変数		B	SE B	β	t 値	有意確率	相関
右軟骨厚							
説明変数							
身長	0.014	0.002	0.272	5.777	p<0.001	0.292	
年齢	-0.032	0.013	-0.115	-2.443	0.015	-0.128	
BMI	0.008	0.004	0.101	2.144	0.033	0.121	
R ²	0.106						
従属変数		B	SE B	β	t 値	有意確率	相関
左軟骨厚							
説明変数							
身長	0.014	0.002	0.267	5.642	p<0.001	0.267	
R ²	0.071						

B:標準化計数, SEB:回帰計数の標準誤差, β :標準偏回帰係数, R²:決定係数

表 3-4. 重回帰分析(女子)

従属変数						
平均軟骨厚	B	SE B	β	t 値	有意確率	相関
説明変数						
体重	0.010	0.003	0.253	3.741	0.000	0.292
競技継続年数	0.008	0.003	0.188	2.778	0.006	0.240
R ²	0.119					

従属変数						
右軟骨厚	B	SE B	β	t 値	有意確率	相関
説明変数						
体重	0.011	0.003	0.230	3.374	0.001	0.230
R ²	0.053					

従属変数						
左軟骨厚	B	SE B	β	t 値	有意確率	相関
説明変数						
体重	0.011	0.003	0.243	3.627	0.000	0.290
競技継続年数	0.011	0.003	0.227	3.394	0.001	0.278
R ²	0.134					

B:標準化計数, SEB:回帰計数の標準誤差, β:標準偏回帰係数, R²:決定係数

3-3-3. 身長と軟骨厚の関連(男子)

男子において身長と軟骨厚の関連を調べたところ、 $y=2E-05X^{2.1298}$ という回帰式が得られた(図 3-1)。

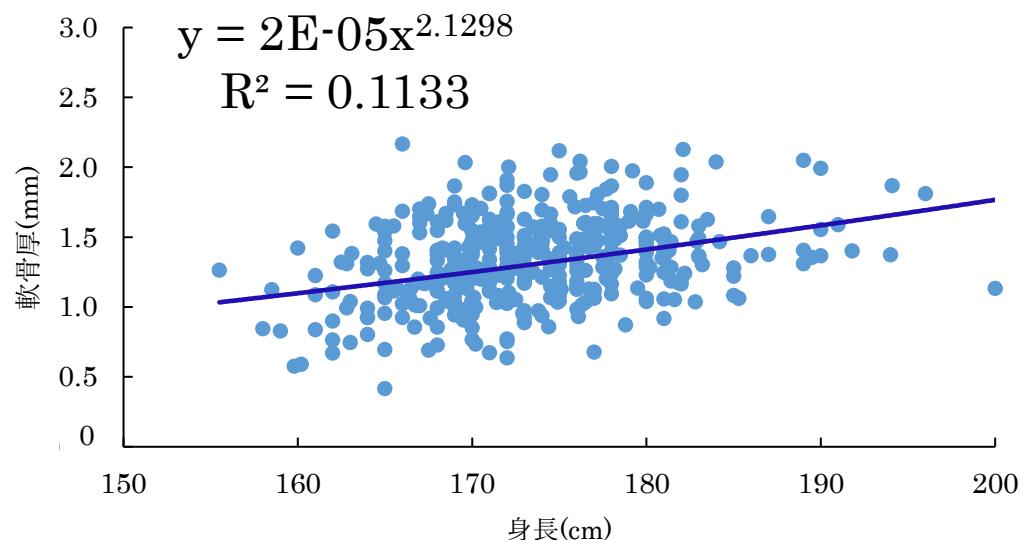


図 3-1. 身長と軟骨厚の関連(男子)

3-3-4. 体重と軟骨厚の関連(男子)

男子において体重と平均軟骨厚の関連を調べたところ、

$y=0.3624X^{0.3002}$ という回帰式が得られた(図 3-2)。

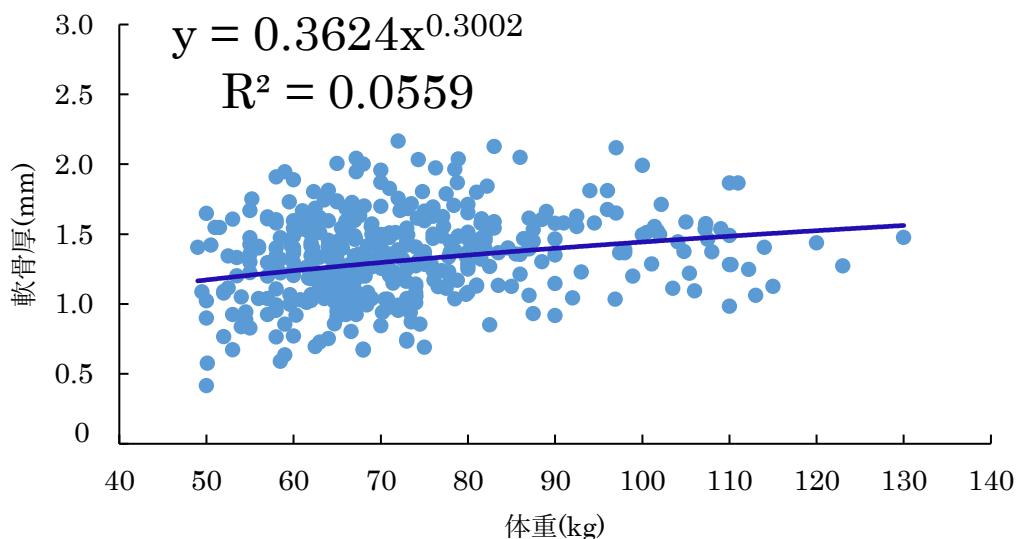


図 3-2. 体重と軟骨厚の関連(男子)

3-3-5. 身長と軟骨厚の関連(女子)

女子において身長と平均軟骨厚の関連を調べたところ、

$y=0.0001X^{1.8148}$ という回帰式が得られた(図 3-3)。

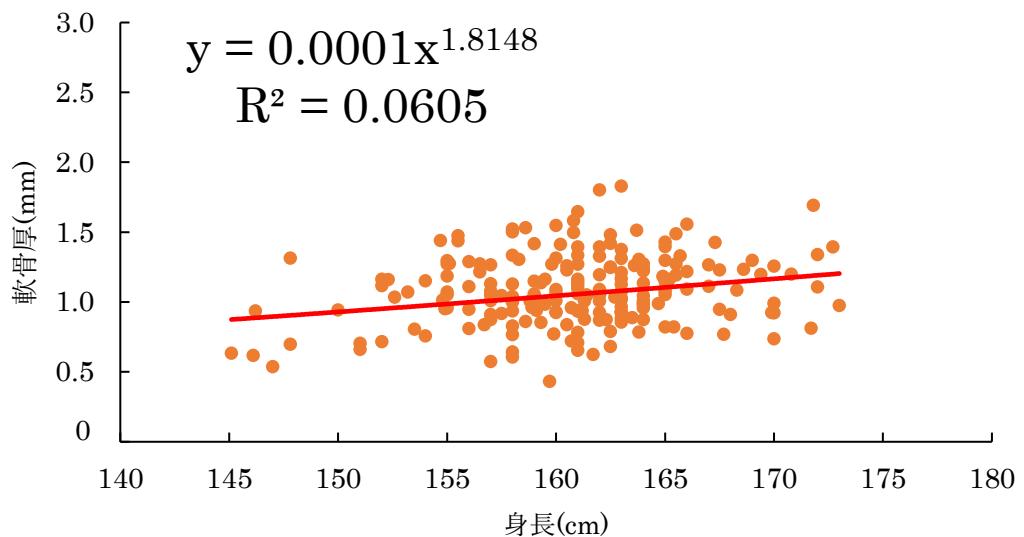


図 3-3. 身長と軟骨厚の関連(女子)

3-3-6. 体重と軟骨厚の関連(女子)

女子において身長と平均軟骨厚の関連を調べたところ、

$y=0.0726X^{0.6688}$ という回帰式が得られた(図 3-4)。

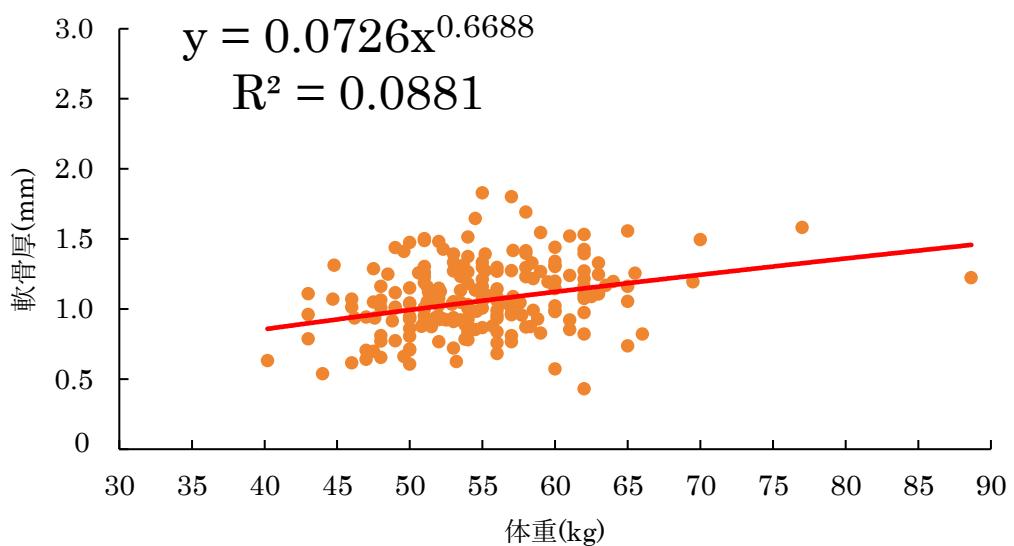


図 3-4. 体重と軟骨厚の関連(女子)

3-4. 考察

3-4-1. 男子大学生において軟骨厚に影響を及ぼした変数

身長と軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚のすべてにおいて身長と正の相関が認められた。重回帰分析においても平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚を従属変数としたすべての場合において身長が独立変数として残り、男子においては他の要因に比べて身長が軟骨厚に及ぼす影響が大きいと考えられる。先行研究においては、身長と軟骨厚に関連が無いことが報告されていたが⁴⁸⁾、本研究から身長の増加に伴う下腿長の増加が、軟骨厚増加に関連している可能性が示唆された。先行研究の結果と異なったが測定手法に加え対象の年齢、サンプルサイズの違いによる差異である可能性が考えられる。身長と平均軟骨厚の間には $y=2E-05X^{2.1298}$ という回帰式が得られ、男子において軟骨厚は身長の 2 乗に比例していることが明らかになった。軟骨厚を身長の 2 乗で除した補正值と身長の関連を見た際には、相関は消失していた。先行研究においては筋纖維長という 1 次元の要素を身長で補正する際、身長の 2 乗で除す方法を用いている⁵⁰⁾。本研究においても軟骨厚という 1 次元の要素を身長で補正する際、その 2 乗値で除す妥当性が示唆された。

3-4-2. 男子大学生において軟骨厚に影響を及ぼさなかった変数

男子大学生においては年齢と軟骨厚の関係を調べた結果、右軟骨厚においてのみ年齢と有意な負の相関が見られた。重回帰分析においても、右軟骨厚を従属変数とした場合のみ年齢が身長、BMIとともに独立変数として残った。本研究では大学生という限られた年齢の対象者において軟骨厚を比較しているため、年齢は軟骨厚を決定する重要な要因ではないと考えられる。

体重と軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚のすべてにおいて体重と正の相関が認められた。しかし、重回帰分析においては独立変数として残らなかった。これらの結果から、男子においては体重が重い人ほど軟骨厚は厚いという関係はあるものの、体重は軟骨厚に大きな影響を与える要因ではないことが明らかになった。研究 2 では競技間の軟骨厚に有意な群間差が見られた要因の一つとして群間の体重差をあげたが、男子においては体重の違いよりも運動習慣の違いや競技毎の運動様式の違いが軟骨厚に与えている影響が大きい可能性が考えられる。

BMI と軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚と右軟骨厚において BMI と正の相関が見られたものの、重回帰分析では右軟骨厚を従属変数とした場合のみ、身長、年齢とともに選択され、他の要因と比べて強い決定因子とはならなかった。この結果は、先行研究と同様であった⁴⁷⁾。

競技継続年数と軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚において競技継続年数と正の相関が見られたものの、重回帰分析においては独立変数として選択されなかった。研究 2 において多数の競技間で軟骨厚に有意差が見られたが、本研究の結果から競技継続年数は軟骨厚を決定する強い因子にはならないと考える。したがって、男子においては長期間競技を継続していることよりも運動習慣の違いや競技毎の運動様式の違いが軟骨厚の差に影響を与えている可能性が示唆された。

3-4-3. 女子大学生において軟骨厚に影響を及ぼした変数

体重と軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚のすべてにおいて体重と有意な正の相関が見られた。重回帰分析においても、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚を従属変数としたすべての場合に

おいて身長が独立変数として残った。この結果より女性においては、他の要因に比べて体重が軟骨厚に及ぼす影響が大きいと考えられる。女子においては負荷の緩衝に寄与している軟骨が、体重増加に伴う荷重負荷の増加に適応して厚くなっている可能性が示唆された。体重と平均軟骨厚の間には $y=0.0726X^{0.6688}$ という回帰式が得られ、女子において軟骨厚は身長の $2/3$ 乗に比例していることが明らかになった。軟骨厚を体重の $2/3$ 乗で除した補正值と体重の関連を見た際には、相関は消失していた。軟骨厚は 1 次元、体重は 3 次元と性質が異なるパラメータであり、本研究の結果から、体重が増加することによる軟骨厚への影響は指数関数的に増加する可能性が示唆された。

また、女子においては平均軟骨厚、左軟骨厚において競技継続年数が独立変数として選択された。研究 2においては、競技間で軟骨厚の有意差が見られなかつたが、本研究の結果から競技継続年数が長いほど軟骨厚が厚くなることが明らかになった。したがって、女子においては運動習慣の違いや競技毎の運動様式の違いよりも、スポーツ競技を長く継続していることが軟骨厚の差に大きな影響を与えている可能性が示唆された。

3-4-3. 女子大学生において軟骨厚に影響を及ぼさなかった変数

女子大学生においては年齢と軟骨厚の間に関連は見られなかつた。これは、男子と同様に本研究は対象者の年齢が限られているためであると考えられる。

身長と軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚、右軟骨厚において身長と有意な正の相関が見られた。しかし、重回帰分析において身長は独立変数として選択されなかつた。

BMIと軟骨厚の関係に関しては、平均軟骨厚と右軟骨厚においてBMIと正の相関が見られたものの、重回帰分析では右軟骨厚を従属変数とした場合のみ、身長、年齢とともに選択され、他の要因と比べて強い決定因子とはならなかった。

身長、BMIという独立変数が除去された結果については、先行研究と同様であった⁴⁹⁾。一方、軽度の内反変性を伴う膝関節においてはBMIと大腿骨内側顆軟骨厚の損失率は相関していることが報告されており⁵⁰⁾、膝関節の不安定性やアライメント不良が発生している人においては軟骨厚に影響を及ぼす要因は変わり得る可能性が考えられる。

3-5. 結論

本研究においては、男子と女子において軟骨厚に強く関連している因子が異なり、男子では身長、女子では体重であることが明らかになった。

また、男子においては平均軟骨厚と身長の間に $y=2E-05X^{2.1298}$ という回帰式が得られ、軟骨厚を身長の 2乗で除すことによって身長の影響を排除することができ、女子においては平均軟骨厚と体重の間に $y=0.0726X^{0.6688}$ という回帰式が得られ、軟骨厚を体重の 2/3乗で除することで体重の影響を排除することができる事が明らかになった。

【研究 4】大学生における膝関節軟骨厚体格補正值の比較

4-1. 緒言

研究 2 の結果から、膝関節軟骨厚は競技によって異なることが明らかになった。しかし、研究 2 における軟骨厚の運動習慣、運動様式による比較では体重、身長といった体格の因子を考慮していない。研究 3 より、男子においては身長、女子においては体重が他の因子に比べて軟骨厚に及ぼす影響が強いことが明らかになった。これにより、男子では身長が高いほど軟骨厚が厚くなり、女子では体重が重いほど軟骨厚が厚くなることが示唆された。運動習慣の違いや競技毎の運動様式の違いが軟骨厚に与える影響を正確に検討するためには、これらの軟骨厚に影響を与える因子を排除する必要がある。

膝関節において負荷の緩衝、動作の潤滑さに寄与している軟骨は、一般的に厚いほど正常な機能を維持していると言われている¹⁰⁾。軟骨が摩耗され、それに伴う痛みや可動域の低下が起こると競技活動だけでなく、日常生活にも支障が生じる。様々な競技を行っている選手において軟骨厚を比較し、異なる運動様式と軟骨厚の特徴を明らかにすることは、それぞれの競技における軟骨障害リスクの推察や予防の一助となる可能性がある。また、運動習慣による軟骨厚の違いを明らかにすることで日常的な運動を推奨する根拠ともなり得る。

よって本研究では、男子の軟骨厚身長補正值、女子の軟骨厚体重補正值の比較を行い、運動習慣や競技による運動様式の違いが軟骨厚に与える影響を明らかにすることを目的とした。

4-2. 方法

4-2-1. 対象

対象は研究 2 と同様とした。

なお本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した(申請番号 : 2018-298)。

4-2-2. 測定項目

(1) 基本項目

対象の基本項目は研究 2 と同様である。

(2) 超音波画像診断装置を用いた軟骨厚の測定

研究 1 で用いた方法にて大腿骨内側顆荷重部位の軟骨厚を測定した。

(3) 補正值の設定

研究 3 で求めた回帰式から、男子では身長の 2 乗、女子では体重の 2/3 乗で軟骨厚を除すことによって、身長補正值、体重補正值を求めた。男子において身長補正值と身長、女子において体重補正值と体重の関連を確認したところそれぞれ関連はなかった。

4-2-3. 統計処理

統計処理には統計ソフト(SPSS Statistics26, IBM 社)を用いた。一元配置分散分析を用いて、男子においては平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚、軟骨厚左右差絶対値(以下、左右差)の身長補正值、女子においては体重補正值の群間比較を行った。有意水準は 5%未満とした。

4-3. 結果

4-3-1. 身長補正值・体重補正值

以下に平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚、左右差それぞれの身長・体重補正值を示す(表中、左右差身長・体重補正值=|右-左|身長・体重補正值)。男子は身長補正值、女子は体重補正值を示す(表 4-1,2)。各項目の群間差は有意差があった男子のみ巻末資料に示す(表 1-3)。

表 4-1. 男子の軟骨厚身長補正值

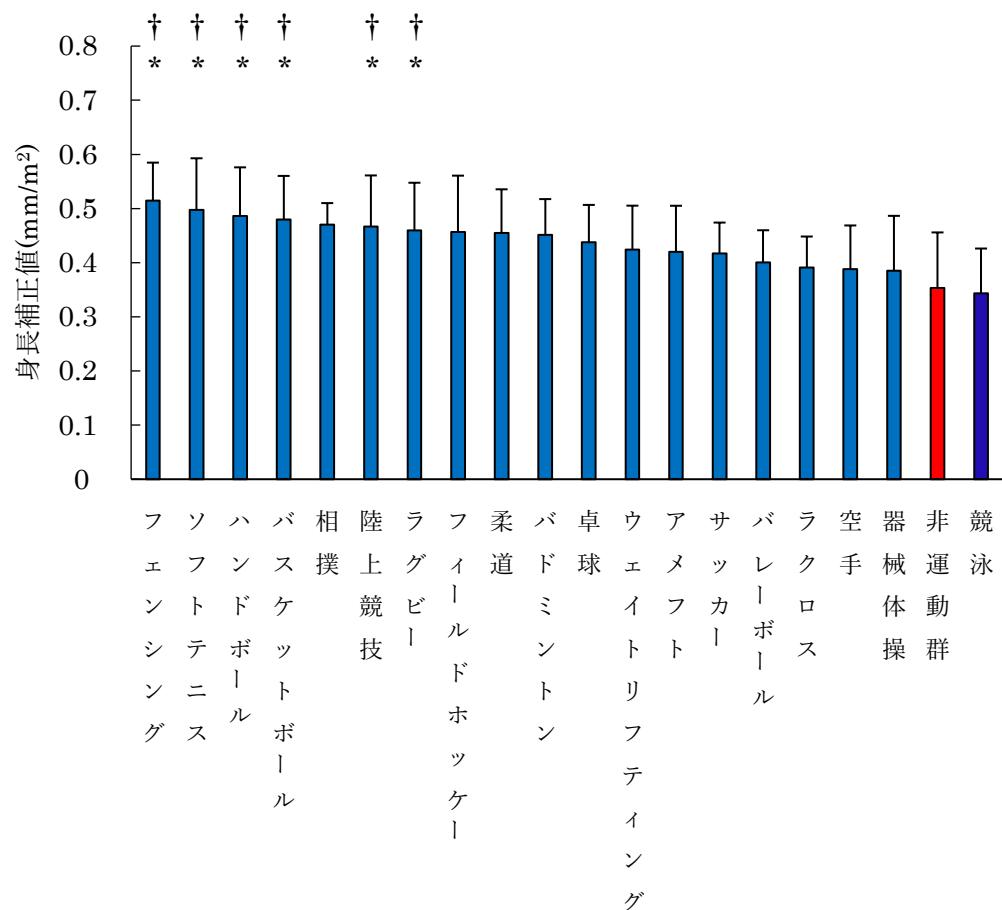
群	平均身長補正值 (mm/m ²)	右身長補正值 (mm/m ²)	左身長補正值 (mm/m ²)	右-左 身長 補正值 (mm/m ²)
陸上競技	0.47±0.09	0.42±0.11	0.51±0.11	0.12±0.09
競泳	0.34±0.08	0.29±0.10	0.40±0.10	0.12±0.09
相撲	0.47±0.04	0.45±0.04	0.49±0.08	0.08±0.05
バスケットボール	0.48±0.08	0.43±0.09	0.53±0.11	0.13±0.09
アメフト	0.42±0.09	0.38±0.10	0.46±0.09	0.10±0.08
ウェイトリフティング	0.42±0.08	0.32±0.11	0.52±0.10	0.20±0.12
ラグビー	0.46±0.09	0.41±0.10	0.51±0.09	0.10±0.08
バドミントン	0.45±0.07	0.4±0.10	0.51±0.06	0.11±0.10
ハンドボール	0.49±0.09	0.44±0.13	0.53±0.08	0.11±0.10
フェンシング	0.51±0.07	0.42±0.08	0.61±0.10	0.19±0.12
フィールドホッケー	0.46±0.10	0.42±0.11	0.50±0.13	0.11±0.07
卓球	0.44±0.07	0.38±0.06	0.50±0.10	0.12±0.08
空手	0.39±0.08	0.28±0.07	0.50±0.14	0.22±0.15
サッカー	0.42±0.06	0.34±0.07	0.49±0.08	0.15±0.09
ラクロス	0.39±0.06	0.36±0.12	0.42±0.05	0.09±0.11
柔道	0.45±0.08	0.38±0.10	0.53±0.09	0.15±0.10
バレーボール	0.40±0.06	0.36±0.07	0.44±0.07	0.09±0.07
器械体操	0.39±0.10	0.30±0.12	0.47±0.11	0.18±0.10
ソフトテニス	0.50±0.10	0.46±0.11	0.54±0.09	0.09±0.05
非運動群	0.35±0.10	0.31±0.11	0.40±0.12	0.10±0.09
全体	0.44±0.09	0.39±0.11	0.49±0.10	0.12±0.09

表 4-2. 女子の軟骨厚体重補正值

群	平均体重補正值 (mm/kg ^{3/2})	右体重補正值 (mm/kg ^{3/2})	左体重補正值 (mm/kg ^{3/2})	右-左 体重 補正值 (mm/kg ^{3/2})
陸上競技	0.08±0.02	0.08±0.02	0.09±0.02	0.02±0.01
競泳	0.07±0.01	0.05±0.01	0.08±0.01	0.03±0.01
ウェイトリフティング	0.08±0.01	0.06±0.02	0.09±0.01	0.03±0.02
ソフトボール	0.07±0.01	0.06±0.02	0.08±0.01	0.02±0.02
チアリーディング	0.08±0.02	0.07±0.02	0.08±0.02	0.01±0.01
ハンドボール	0.09±0.02	0.08±0.02	0.10±0.01	0.02±0.01
卓球	0.08±0.01	0.07±0.02	0.09±0.01	0.02±0.02
空手	0.08±0.03	0.07±0.04	0.10±0.03	0.03±0.01
サッカー	0.08±0.02	0.07±0.02	0.09±0.02	0.02±0.01
ラクロス	0.07±0.02	0.06±0.02	0.08±0.02	0.02±0.01
ソフトテニス	0.08±0.02	0.08±0.02	0.09±0.02	0.01±0.01
非運動群	0.07±0.02	0.06±0.02	0.08±0.02	0.02±0.02
全体	0.08±0.02	0.07±0.02	0.09±0.02	0.02±0.02

4-3-2. 平均軟骨厚身長補正值(男子)

非運動群より平均軟骨厚身長補正值が有意に厚かったのは、フェンシング、ソフトテニス、ハンドボール、バスケットボール、陸上競技、ラグビーとなった。競泳より平均軟骨厚身長補正值が有意に厚かったのは、フェンシング、ソフトテニス、ハンドボール、バスケットボール、陸上競技、ラグビーとなった(図 4-1)。

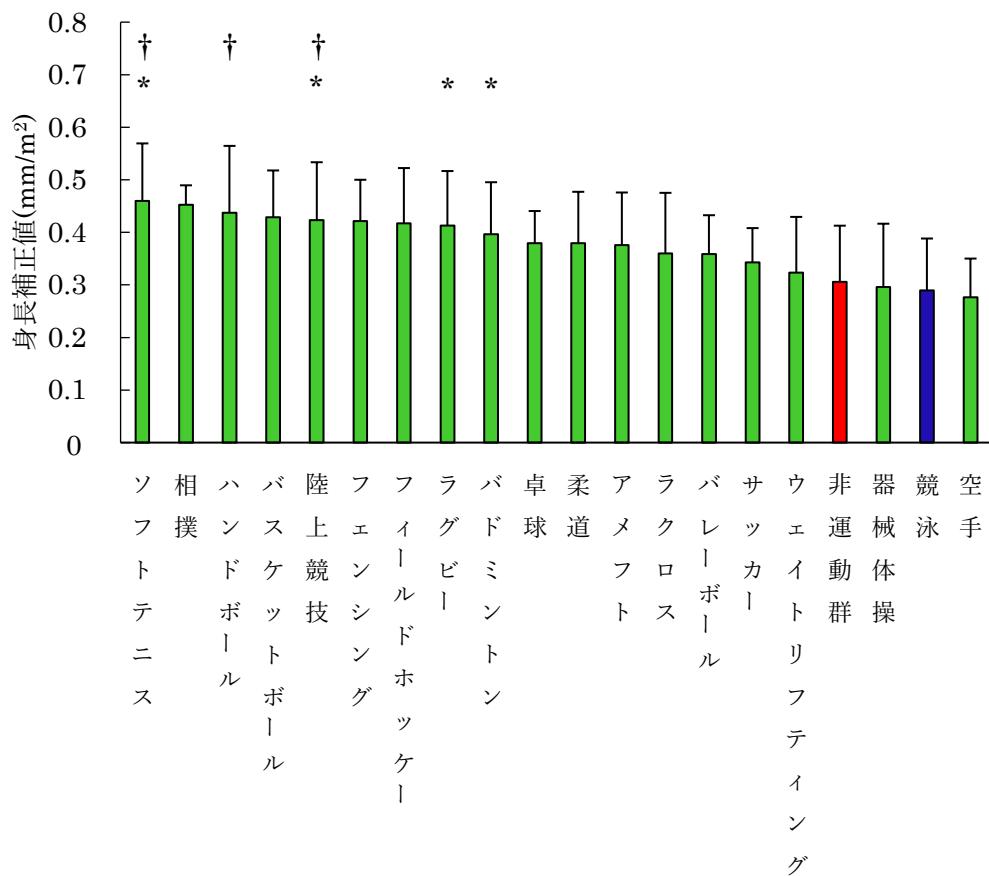


*:vs 非運動群、†:vs 競泳 p<0.05

図 4-1. 平均軟骨厚身長補正值(男子)

4-3-3. 右軟骨厚身長補正值(男子)

非運動群より右軟骨厚身長補正值が有意に厚かったのは、ソフトテニス、陸上競技、ラグビー、バドミントンとなった。競泳より右軟骨厚身長補正值が有意に厚かったのは、ソフトテニス、ハンドボール、陸上競技となった(図 4-2)。

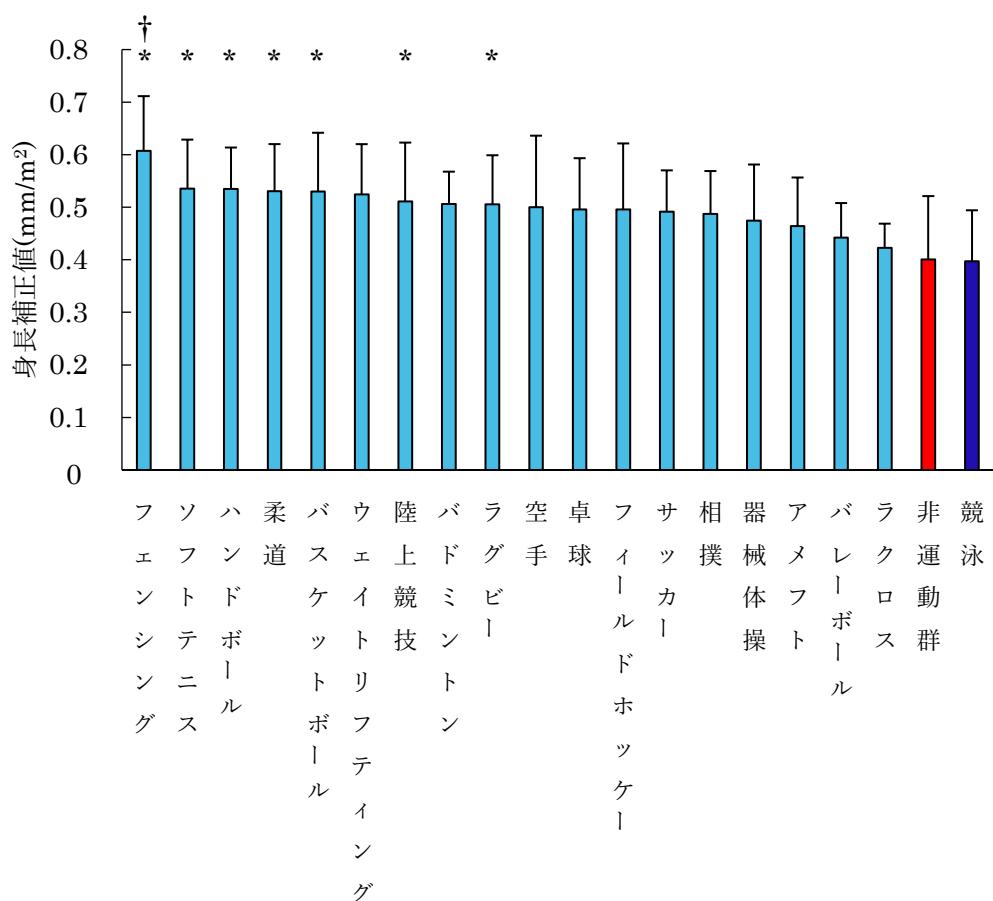


*:vs 非運動群、†:vs 競泳 p<0.05

図 4-2. 右軟骨厚身長補正值(男子)

4-3-4. 左軟骨厚身長補正值(男子)

非運動群より左軟骨厚身長補正值が有意に厚かったのは、フェンシング、ソフトテニス、ハンドボール、柔道、バスケットボール、陸上競技、バドミントンとなった。競泳より左軟骨厚身長補正值が有意に厚かったのは、フェンシングとなった(図 4-3)。

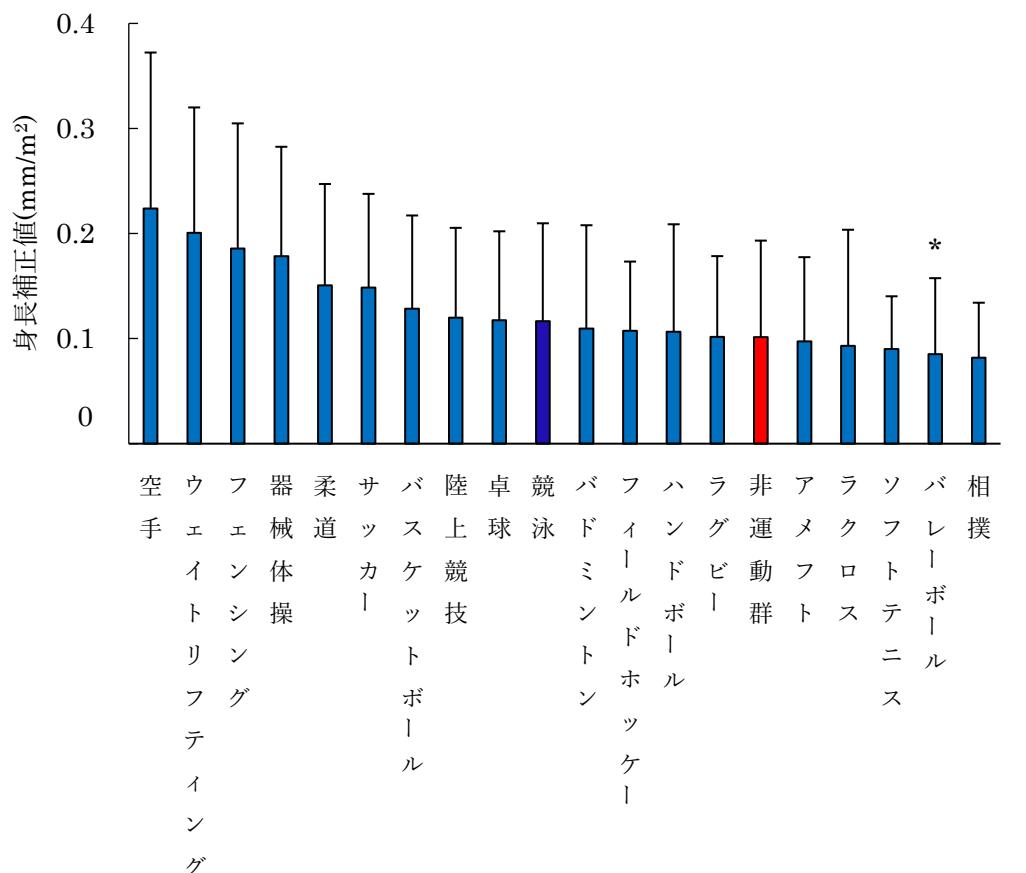


*:vs 非運動群、†:vs 競泳 p<0.05

図 4-3. 左軟骨厚身長補正值(男子)

4-3-5. 左右差身長補正值(男子)

男子の左右差身長補正值においては空手の左右差身長補正值がバレーボールより有意に大きい値だった(図 4-4)。



*:vs 空手 p<0.05

図 4-4. 左右差身長補正值(男子)

4-3-6. 平均軟骨厚体重補正值(女子)

女子の平均軟骨厚体重補正值においてはすべての群間に有意差は見られなかった(図 4-5)。

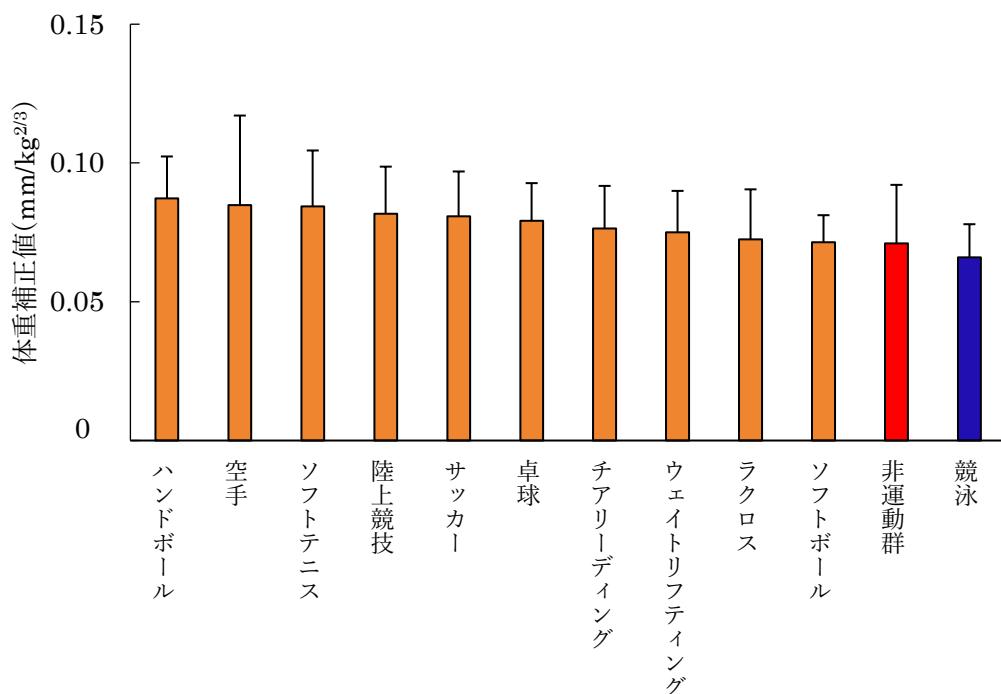


図 4-5. 平均軟骨厚体重補正值(女子)

4-3-7. 右軟骨厚体重補正值(女子)

女子の右軟骨厚体重補正值においてはすべての群間に有意差は見られなかった(図 4-6)。

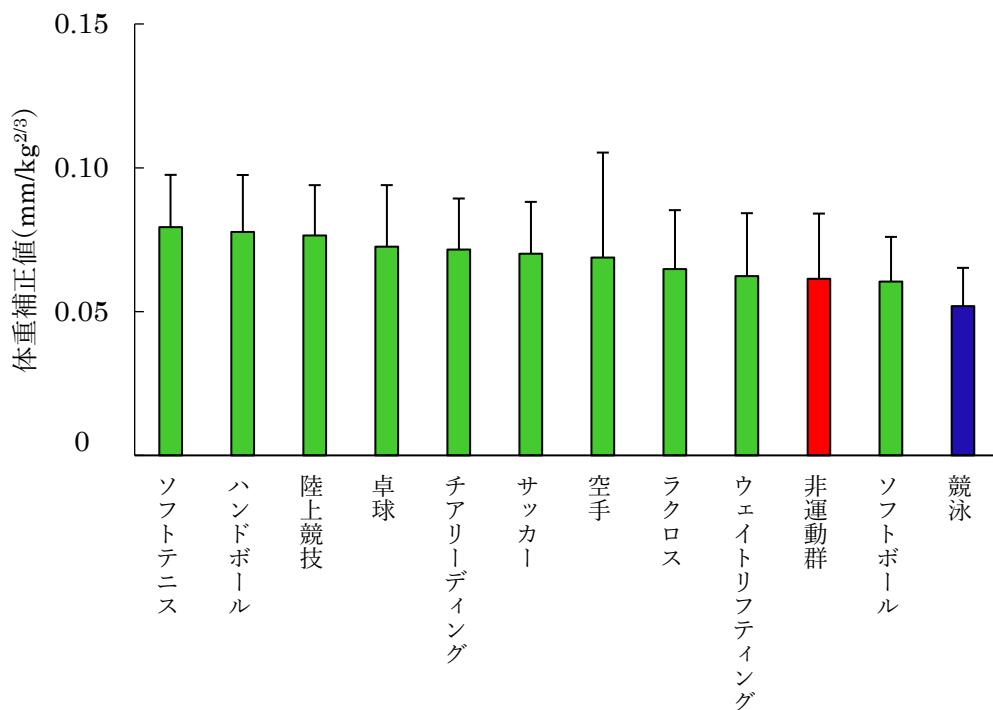


図 4-6. 右軟骨厚体重補正值(女子)

4-3-7. 左軟骨厚体重補正值(女子)

女子の左軟骨厚体重補正值においてはすべての群間に有意差は見られなかった(図 4-7)。

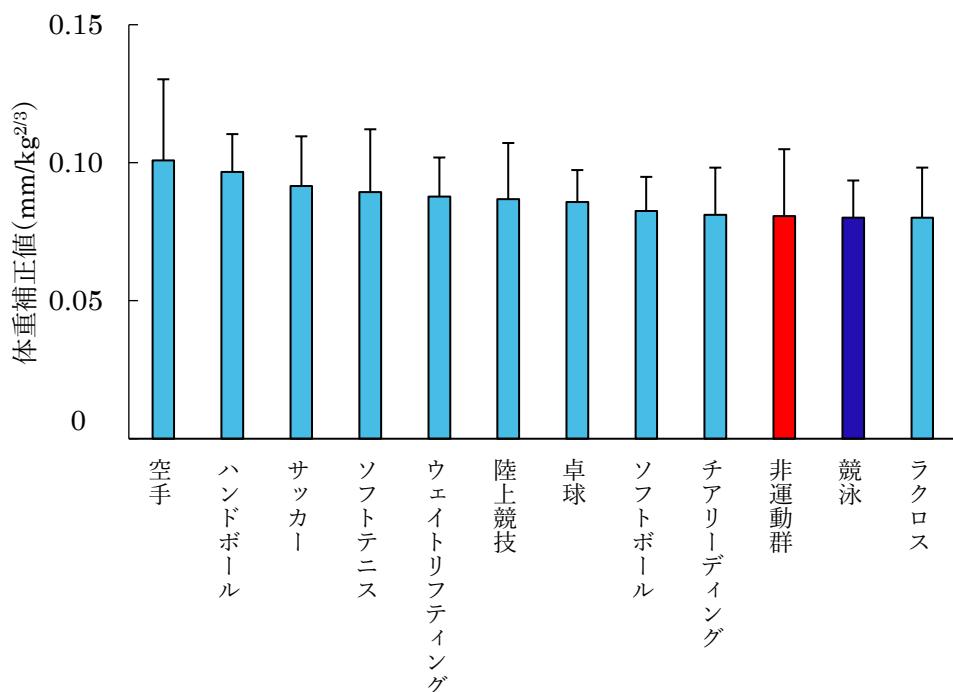


図 4-7. 左軟骨厚体重補正值(女子)

4-3-8. 左右差身長補正值(女子)

女子の左右差体重補正值においてはすべての群間に有意差は見られなかった(図 4-8)。

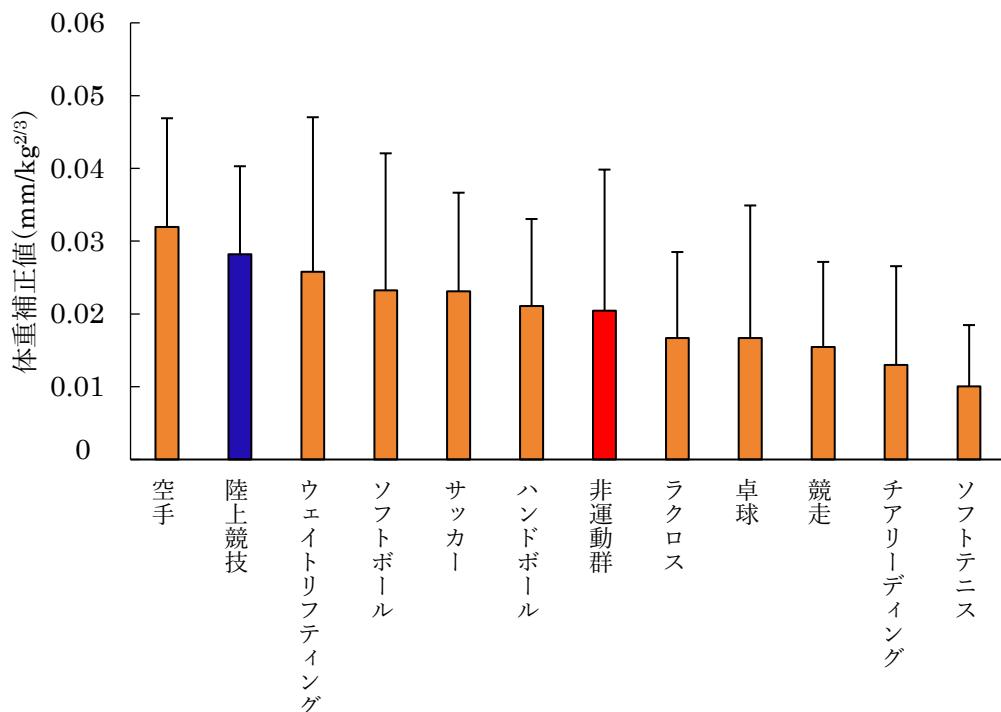


図 4-8. 左右差体重補正值(女子)

4-4. 考察

4-4-1. 男子における軟骨厚の群間差

男子において、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚の身長補正値すべてにおいて非運動群より厚かったのは、ソフトテニス、バスケットボール、陸上競技、ラグビーであった。競泳より、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚が厚かった競技としては、ソフトテニス、ハンドボール、ラグビー、陸上競技があがった。この結果から、軟骨厚を身長で補正した際に非運動群あるいは競泳に比べて軟骨厚が高い競技は、研究 2 と同様にソフトテニス、バスケットボール、陸上競技、ラグビー、ハンドボールであることがわかった。これらの競技は、研究 2 で述べたようにその特性としてジャンプ動作やランニング動作などに伴い下肢に高頻度あるいは高強度の間欠的な負荷がかかる。この負荷が膝関節内において軟骨に加わる静水圧を増加させ、軟骨厚の増大に繋がった可能性が考えられる。軟骨厚を身長の 2 乗で補正して各群を軟骨厚が厚い順に示した際、厚い傾向から薄い傾向へ大きく変動したのはバレーボールであった。本研究の対象となったバレーボール選手の平均身長はすべての群の中で最も高いため、その値の 2 乗で除した際に大きく傾向が変動したと考える。一方、バレーボールと同じく身長が高いバスケットボールにおいては、身長補正後も軟骨厚は高い傾向を示した。これはバスケットボール競技中の走行距離はバレーボールより長く、下肢への負荷が大きいためである可能性が考えられる。

また、軟骨厚を身長で補正後も非運動群、競泳と軟骨厚に差が見られなかった競技も大きく変わらなかった。これは、研究 2 でも述べたようにそれぞれの競技における負荷の頻度や強度が、軟骨厚が厚い競技に比べ低かったためと考えられる。また、相撲、フェンシング、ラクロス、

器械体操においてはサンプル数が小さいことも軟骨厚の結果に影響を及ぼしていると考えられる。

以上より、男子大学生における軟骨厚には運動習慣や継続している競技の運動様式によって差が生じ、下肢にかかる負荷が軟骨厚に影響していると考える。

4-4-2. 女子における軟骨厚の群間差

女子においては、平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚の体重補正值すべてにおいて群間差は見られず、体重を考慮しても研究2と同様に運動習慣の違い、運動様式の違いによって軟骨厚に差はないことが明らかになった。25~60歳の男女を対象とした研究においては骨格筋量と膝関節軟骨量に正の相関があることが報告されている⁵²⁾。一般的に女子は男子よりも骨格筋量が少なく軟骨厚も薄い⁴⁹⁾。これらが、女子においては軟骨厚に群間差が見られなかった要因となっている可能性が考えられる。また、軟骨量と性ホルモンの関連に関する研究においては一貫した結果が得られていないもののテストステロンレベルと軟骨量^{53,54)}、エストロゲンと軟骨量に関連⁵⁵⁾があることが述べられており、性ホルモンが運動負荷に対する男女の応答の違いを生んだ可能性も考えられる。これに加えて比較する競技の数、各群のサンプル数が男子より少なかったことも女子において群間差がみられなかった要因として考えられる。しかし、軟骨厚が厚い競技から順に示した際には、研究2と同様ハンドボールで軟骨厚が厚い傾向であった。このことから、女子においてもジャンプ動作に伴う大きな荷重負荷が軟骨厚に影響している可能性が示唆された。女子における運動習慣や運動様式による軟骨厚の違いは更なる検討を行う必要があると考える。

4-4-3. 男女における軟骨厚左右差の群間比較

軟骨厚左右差に関しては、男子の左右差身長補正值が空手においてバレーボールより有意に厚く、女子の左右差体重補正值においては研究 2 と同様、すべての群間において有意差が見られなかった。これらの結果から、継続している競技の違い、運動習慣の違いは軟骨厚の左右差に大きく影響していないことが明らかになった。しかし、体格に関する要因を補正してもなお空手の左右差は男女ともに高い傾向があり、空手特有の突き技に伴う下肢への左右非対称な負荷により、大きな左右差を生じたと考える。

4-5. 結論

本研究では、軟骨厚における群間差の中でも運動習慣、運動様式が大きく異なる非運動群、競泳との差に注目した。軟骨厚が厚い方から順に競技を示した結果、男子、女子ともに体格の因子を補正後も研究 2 と同様に、運動習慣のない非運動群および荷重負荷のかからない競泳において他の群に比べ軟骨厚が薄い傾向が見られた。また、下肢に大きな負荷がかかる競技において軟骨厚が厚い傾向があり、大学生の軟骨厚には運動習慣や運動様式が関与している可能性が示唆された。

第3章 総合考察

本論文では、超音波画像診断装置を用いて大学生の膝関節軟骨厚を測定し運動習慣や運動様式による違いを明らかにすることを目的とした。

研究1~4より、継続的な運動習慣や膝関節に大きな負荷のかかる競技の選手では軟骨厚が厚いことが明らかになり、若年期の運動に伴う負荷が軟骨厚を厚くする可能性が示唆された。また研究3を踏まえ、男女それぞれにおいて軟骨厚に関連する体格因子を補正し、群間比較した結果を軟骨厚が厚い順に示した際の競技分布は、研究2と研究4において大きく変わらなかった。したがって軟骨厚は、体格の因子よりも運動習慣や運動様式の違いに起因している可能性が示唆された。

本研究は、超高齢社会に突入している日本において、要介護の大きな要因である関節疾患に関する軟骨に注目し、運動習慣や様々な運動様式とその形態の関連を検討した最初の研究となった。本研究の結果、骨同様、軟骨も日々の運動に伴う負荷によってその形態を変化させ、軟骨厚が厚くなっている可能性ある。特に大腿骨遠位における骨端軟骨閉鎖時期以前の運動が軟骨厚に影響を与えていたりする可能性が示唆された。

厚い軟骨は薄い軟骨よりも衝撃緩衝能力に優れるため⁵⁶⁾、一般的に厚い軟骨は健康な軟骨と考えられている¹⁰⁾。このことから、若年期の運動習慣や高負荷の運動により軟骨厚を増大させることが、40歳頃から減少すると言われる⁵⁷⁾軟骨を維持し、後年においても膝関節の正常な働きを維持することに役立つ可能性が示唆された。一方、本研究の対象は膝関節軟骨に変性が起きていない大学生であることが前提となっている点に注意する必要がある。16歳前後の青年バレーボール選手と、46歳前後の成人バレーボール選手の膝関節軟骨厚を2年間縦断的に観察した研究においては青年の選手では軟骨厚が増加したが、成人では減少したこと

が報告されている⁵⁸⁾。したがって、筋量減少により膝関節に不安定性が生じている高齢者や、軟骨に何らかの異常が起こっている人においては負荷が軟骨に及ぼす影響が健常な若年者と異なることが推察され、必ずしも軟骨に良い影響を与えない可能性がある。また、過剰な負荷は軟骨の損傷にも繋がるとも報告されているため、今後それぞれの年代においてどの程度の負荷が軟骨の維持に役立つか、あるいは損傷に繋がるのかを明らかにしていく必要があると考えられる。

本研究の限界としては、軟骨厚の比較においてサンプル数が少ない群があることや、女子においては運動様式が大きく異なる多数の競技をリクルートできなかった点が挙げられる。また本研究は大学生における横断研究であるため、負荷のかかる運動様式によって軟骨厚が増大したのか、軟骨厚が厚い学生が大きな負荷がかかる競技をしているのか、いずれが事実かは明確にできない。今後、縦断研究や発達途上の年代での測定を行うことで、どの年代におけるどの様な運動が軟骨厚の変化に大きく影響を与えているのかより明確にできると考えられる。

第4章 結論

大学生において、運動習慣や継続している運動競技によって膝関節軟骨厚に違いがあることが明らかになった。

男子においてはバスケットボールなど膝に大きな負荷のかかるジャンプ系競技や陸上競技といった繰り返し膝に負荷のかかる競技において、負荷のかからない競泳や運動習慣のない非運動群より有意に軟骨が厚いことが明らかとなった。

女子においては群間に有意な軟骨厚の差は見られなかったが、負荷のかからない競泳や運動習慣のない非運動群の軟骨は薄いことが明らかとなつた。

以上より、下肢への荷重負荷が加わる運動の実施が軟骨厚を厚くしている可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 厚生労働省：平成28年国民生活基本調査の概況
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/dl/05.pdf>
- 2) J.B.Morrison: The mechanics of the knee joint in relation to normal walking. *Journal of Biomechanics*, 3(1): p51-61, 1970
- 3) 山崎信寿: 2足歩行の総合解析モデルとシミュレーション. バイオメカニズム, 3: p261-269, 1975.
- 4) Winslow Alford MD. et.al: Cartilage Restoration, Part 1: Basic Science, Historical Perspective, Patient Evaluation, and Treatment Options J. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(2): p295-306, 2005.
- 5) Elizabeth S. et.al: The Basic Science and Surgical Treatment Options for Articular Cartilage Injuries of the Knee. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy*, 42(3): p243-253, 2012.
- 6) 菊田晋祐: 骨・軟骨疾患の再生医療. *日大医学雑誌*, 75(2): p70-73, 2016.
- 7) 増島篤, 鳥居俊他: 子供の運動をスポーツ医学の立場から考える. *日本臨床スポーツ医学会学術委員会整形外科部会*: p4, 2016.
- 8) No author listed. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *NIH Consensus Statement*, 17: p1-45, 2000.
- 9) F. Eckstein. et.al: Magnetic resonance imaging (MRI) of articular cartilage in knee osteoarthritis (OA): morphological assessment. *Osteoarthritis and Cartilage*, 14(1): p46-75, 2006.
- 10) Randy J. et.al: Sagittal-Plane Knee Moment During Gait and Knee

Cartilage Thickness. Journal of Athletic Training: 52(6): p560-566, 2017.

- 11) Roland Mühlbauer. et.al: Comparison of Knee Joint Cartilage Thickness in Triathletes and Physically Inactive Volunteers Based on Magnetic Resonance Imaging and Three-Dimensional Analysis. THE AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE, 28(4): p541-546, 2000.
- 12) S. C. Faber. et.al: Gender differences in knee joint cartilage thickness, volume and articular surface areas: assessment with quantitative three-dimensional MR imaging, 30: p144-150, 2001.
- 13) 長崎浩爾 他: 健常者の下肢アライメント. 長崎国際情報大学情報文化学部紀要: p87-104, 2001.
- 14) 長嶺隆二 他: 若年健常者と内側型変形性膝関節症症例の下肢形態の相違. 整形外科と災害外科, 50(4): p1168-1171, 2001.
- 15) Hattori K. et.al : Quantitative arthroscopic ultrasound evaluation of living human cartilage. ClinBiomech, 19 : p553-557, 2004.
- 16) 山田桂輔 他:B113 関節軟骨の超音波特性とその計測法の検討. バイオフロンティア講演会講演論文集, 18: p63-642, 2007.
- 17) 立花陽明: 変形性膝関節症の診断と治療. 理学療法科学, 20(3): p235-240, 2005.
- 18) 皆川洋至:『超音波でわかる運動器疾患』. メジカルビュー社, 4: p13, p249-251, 2010.
- 19) 鳥居俊: 日本人健康男児の膝関節軟骨の発育変化に関する横断的研究. 日本小児整形外科学会雑誌, 22(2): p513-516, 2013.
- 20) 桑原洋一 他 : 検者内および検者間の Reliability (再現性, 信頼性)

- の検討. 呼吸と循環, 41(10): p945-952, 1993.
- 21) Randy J. Schmitz. et.al: Evaluation of knee cartilage thickness: A comparison between ultrasound and magnetic resonance imaging methods. The knee, 24(2): p217-223, 2017.
- 22) 吉村典子 : 変形性関節症の疫学研究—大規模コホート研究. Clinical Calcium, 19(11) : p1572-1577, 2009.
- 23) Tomasek, J. J et.al: Myofibroblasts and mechano-regulation of connective tissue remodelling. Nature reviews Molecular cell biology, 3(5): p349-363, 2002.
- 24) 大澤 恭子 他: 変性軟骨における力学・材料特性の機能領域別評価. 生体医工学, 47(6): p554-559, 2009.
- 25) Ogden, John A: Skeletal injury in the child. Springer Science & Business Media: p56-57, 1982
- 26) G Jones. et.al: Knee Articular Cartilage Development in Children: A Longitudinal Study of the Effect of Sex, Growth, Body Composition, and Physical Activity. PEDIATRIC RESEARCH, 54(2): 2003.
- 27) 久保 俊一 他: 関節軟骨の破壊と修復の機序.理学療法, 28(3): p70-75, 2001.
- 28) Guoan Li et.al: The cartilage thickness distribution in the tibiofemoral joint and its correlation with cartilage-to-cartilage contact. Clinical Biomechanics, 20(7): p736-44, 2005.
- 29) 久保俊 他: 関節軟骨とストレス. 理学療法, 16(4): p298-302, 1999.
- 30) 大野 隆弘 他: 軟骨細胞の静水圧負荷に対する細胞内シグナル応答. バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 14: p249-250, 2002.

- 31) 小澤治夫: スポーツ種目と骨密度. 臨床スポーツ医学. 11(11): p1245-1251, 1994.
- 32) 水野 秀一 他: 大学女子スポーツ選手の踵骨骨密度に影響を及ぼす諸因子. 総合健診, 41(3): p411-417, 2014.
- 33) 赤嶺卓哉 他: 体育大学女性スポーツ選手における競技種目別・部位別の骨密度についての調査研究. 鹿屋体育大学学術研究紀要, 48: 2014.
- 34) Hind K. et.al: Insights into relationships between body mass, composition and bone: findings in elite rugby players. Journal of Clinical Densitometry, 18(2): p172-178, 2015.
- 35) 湯川 治敏 他: 可変質量粘弾性モデルによるランニング中の着地衝撃のパラメータ同定. 日本機械学会論文集 C 編, 61(587): p2862-2868, 1995.
- 36) 黒須雅弘 他: ラグビーフットボールにおけるコンタクトフィットネストレーニングの有効性. 東海学園大学研究紀要, 17: p134-144, 2012.
- 37) G. Chang. et.al: Olympic fencers: adaptations in cortical and trabecular bone determined by quantitative computed tomography. Osteoporosis International, 20: p779-785, 2009.
- 38) 赤嶺卓哉 他: 大学女子スポーツ選手における種目別の身体組成と骨密度に関する研究. 整形外科と災害外科, 62(4): p694-696, 2013.
- 39) Miller, D.: Ground reaction forces in distance running. Biomechanics of Distance Running. Human Kinetics Books. Champaign, IL: p203-224, 1990.
- 40) Kerry Dyson. et.al: Gymnastic training and bone density in pre-adolescent females. Medicine & Science in Sports & Exercise,

- 29(4): p443-450, 1997.
- 41) 夏山元伸 他: 足関節靭帯損傷、臨床スポーツ医学 14,395 400, 1997.
- 42) Boocock M. et.al: The short-term effects of running on the deformation of knee articular cartilage and its relationship to biomechanical loads at the knee. Osteoarthritis and Cartilage, 17(7): p883-90, 2009.
- 43) 吉田 友英:右利き, 左利きの考え方. Equilibrium Research, 69(3): p147-150, 2010.
- 44) 荒木 智子, 鳥居 俊: 足部形態の発育と手足の機能分化の検討. 理学療法・臨床・研究・教育, 14(14): p34-41, 2007.
- 45) 山神眞一 他: 大学男女剣道選手の骨密度特性. 武道学研, 37(3): p13-23, 2005.
- 46) 宮本 賢作 他: 高校生フェンシング競技者の骨密度変化に関する研究. 武道学研究, 37: p67, 2004.
- 47) M. Hudelmaier. et.al: Age - related changes in the morphology and deformational behavior of knee joint cartilage: ARTHRITIS & RHEUMATISM, 44(11): p2556-2561, 2001.
- 48) Graeme Jones. et.al: SEX AND SITE DIFFERENCES IN CARTILAGE DEVELOPMENT. ARTHRITIS & RHEUMATISM, 43(11): p2543-2549, 2000.
- 49) I.G. Otterness. et.al: Women have thinner cartilage and smaller joint surfaces than men after adjustment for body height and weight Author links open overlay panel. Osteoarthritis and Cartilage, 15: p666-672, 2007.
- 50) 森上亜城洋 他: 筋組織構造からみた下腿最大周径が反映する理学療

法評価構成要素の再考. 理学療法科学, 28(1): p21-26, 2013.

- 51) Kyle W. et.al: Medial Femoral Condyle Cartilage Defect Biomechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(2): p409-416, 2015.
- 52) Berry PA. et.al, The relationship between body composition and structural changes at the knee. *Rheumatology*, 49(12): p2362-9, 2010.
- 53) F Hanna. et.al: Factors influencing longitudinal change in knee cartilage volume measured from magnetic resonance imaging in healthy men. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 64: p1038-1042, 2005.
- 54) Cicuttini FM, et al: Factors affecting knee cartilage volume in healthy men. *Rheumatology*, 42: p258-62, 2003.
- 55) Anne-Christine Bay-Jensen. et.al: The response to estrogen deprivation of the cartilage collagen degradation marker, CTX-II, is unique compared with other markers of collagen turnover. *Arthritis Research & Therapy*, 11(1): 2009.
- 56) 尾田十八 他: 衝撃負荷を受ける骨・軟骨モデルの動的応力とその評価. 日本機械学会論文集 A 編, 58(551) p1048-1054, 1992.
- 57) Ding, Changhai. et.al: What can we learn about osteoarthritis by studying a healthy person against a person with early onset of disease? *Current Opinion in Rheumatology*, 22(5): p520-527, 2010.
- 58) Heide Boeth. et.al: Differences in biomarkers of cartilage matrix turnover and their changes over 2 years in adolescent and adult volleyball athletes. *Journal of Experimental Orthopedics*, 4(7),

2017.

卷末資料

資料 1-1. 男子群間比較

資料 1-2. 女子群間比較

群	略称	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	競技継続年数 (年)	平均軟骨厚 (mm)	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	右-左 (mm)
陸上競技	tf	wl	wl	wl, sb, hb, kr, sc	wl	sw, tt, sc	wl	wl	wl	wl
競泳	sw	wl	wl	wl	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	sw, tt, sc	wl	wl	wl	wl
ソフトボール	sb	wl	wl	wl	tf, sw, sb, tt, kr, sc, st	sw, tt, sc	wl	wl	wl	wl
チアリーディング	cl	wl	wl	wl	tf, sw, sb, tt, kr, sc, st	sw, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
ハンドボール	hb	wl	wl	wl	tf, sw, sb, tt, kr, sc, st	sw, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
卓球	tt	wl	wl	wl	tf, sw, sb, tt, kr, sc, st	sw, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
空手	kr	tf	wl	wl	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
サッカー	sc	wl	wl	wl	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
ラクロス	lc	wl	wl	wl	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
ソフトテニス	st	wl	wl	wl	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st	wl	wl	wl	wl
非運動群	ne	tf	wl, sb, sc	wl	all	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

各項目において有意に値が大きい群を記す (p<0.05, n.s.: p>0.05)

資料 1-3. 男子補正值群間比較

群	略称	平均身長補正值(mm/m ²)	右身長補正值(mm/m ²)	左身長補正值(mm/m ²)	右-左 身長補正值 (mm/m ²)
陸上競技	tf				
競泳	sw	tf,bb,rg,hb,fc,st	tf,hb,st	fc	
相撲	sm				
バスケットボール	bb				
アメフト	af				
ウェイトリフティング	wl				
ラグビー	rg				
バドミントン	bd				
ハンドボール	hb				
フェンシング	fc				
フィールドホッケー	hc				
卓球	tt				
空手	kr		tf,hb,st		
サッカー	sc				
ラクロス	lc				
柔道	jd				
バレーボール	vb	st			kr
器械体操	gm				
ソフトテニス	st				
非運動群	ne	tf,bb,rg,hb,fc,st	tf,rg,hd,st	tf,bb,rg,hb,fc,jd,st	
全体	-	-	-	-	-

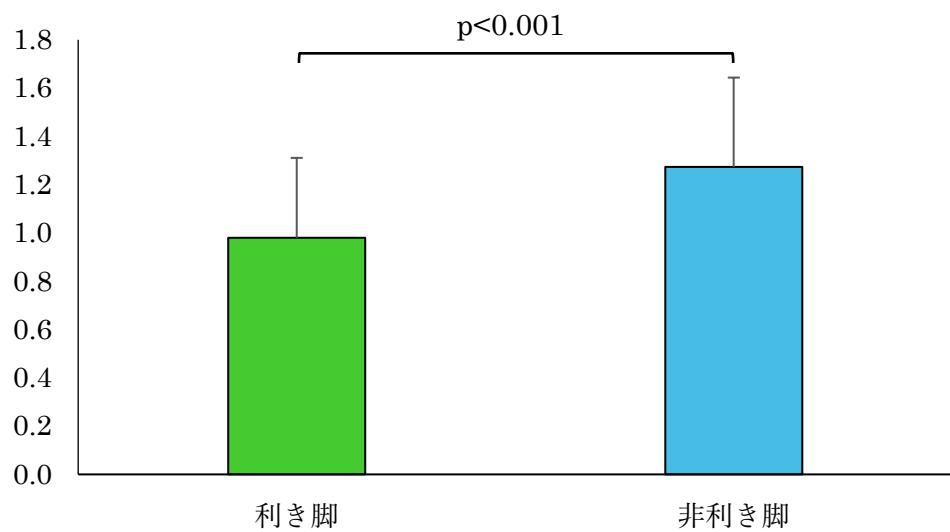
各項目において有意に値が大きい群を記す(p<0.05, n.s.:p>0.05)

資料 1-4. 軟骨厚の左右差(男子)

群	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	左・右 (mm)	左右差有意差 (p 値)
陸上競技	1.26±0.33	1.52±0.34	0.26±0.36	p<0.001
競泳	0.88±0.32	1.20±0.29	0.32±0.3	0.013
相撲	1.37±0.09	1.47±0.24	0.11±0.3	0.475
バスケットボール	1.44±0.35	1.77±0.4	0.33±0.38	0.011
アメフト	1.15±0.31	1.42±0.28	0.27±0.28	p<0.001
ウェイトリフティング	0.93±0.36	1.49±0.30	0.56±0.31	0.001
ラグビー	1.25±0.31	1.53±0.29	0.28±0.27	p<0.001
バドミントン	1.16±0.30	1.47±0.21	0.32±0.29	0.026
ハンドボール	1.31±0.36	1.61±0.22	0.3±0.34	p<0.001
フェンシング	1.27±0.31	1.81±0.27	0.54±0.34	0.023
フィールドホッケー	1.25±0.35	1.48±0.37	0.23±0.3	0.031
卓球	1.13±0.19	1.47±0.27	0.34±0.25	p<0.001
空手	0.84±0.26	1.51±0.47	0.67±0.47	0.009
サッカー	1.02±0.22	1.46±0.25	0.43±0.25	p<0.001
ラクロス	1.03±0.30	1.22±0.15	0.19±0.4	0.292
柔道	1.12±0.30	1.57±0.29	0.45±0.3	p<0.001
バレーボール	1.23±0.27	1.51±0.21	0.28±0.24	p<0.001
体操部	0.80±0.31	1.3±0.35	0.5±0.32	0.025
ソフトテニス	1.4±0.33	1.63±0.31	0.23±0.22	p<0.001
非運動	0.89±0.34	1.16±0.36	0.27±0.28	p<0.001
全体	1.18±0.34	1.49±0.32	0.31±0.31	p<0.001

資料 1-5. 軟骨厚の左右差(女子)

群	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	左・右 (mm)	左右差有意差 (p 値)
陸上競技	1.08±0.24	1.23±0.30	0.15±0.24	0.011
競泳	0.78±0.20	1.20±0.19	0.42±0.17	0.001
ウェイトリフティング	0.98±0.35	1.37±0.19	0.39±0.31	0.006
ソフトボール	0.92±0.28	1.24±0.22	0.32±0.29	p<0.001
チアリーディング	0.99±0.22	1.13±0.21	0.14±0.22	0.024
ハンドボール	1.16±0.29	1.44±0.18	0.28±0.23	0.006
卓球	1.02±0.32	1.19±0.17	0.17±0.27	0.060
空手	1.00±0.54	1.46±0.44	0.45±0.18	0.005
サッカー	1.05±0.26	1.37±0.28	0.32±0.26	p<0.001
ラクロス	0.93±0.33	1.14±0.29	0.21±0.19	0.010
ソフトテニス	1.13±0.25	1.27±0.30	0.14±0.12	0.033
非運動群	0.85±0.31	1.11±0.34	0.27±0.29	p<0.001
全体	0.98±0.30	1.23±0.28	0.26±0.26	p<0.001



資料 1-6. 利き脚と非利き脚の軟骨厚

謝辞

本論文作成にあたり多くの方々のご指導、ご支援を賜りましたことを御礼申し上げます。指導教員の鳥居先生におかれましては、本論文作成に至るまで学部時代から5年間ご指導を賜り、大変お世話になりました。本研究や5年間を通して鳥居先生から学ばせていただいたスポーツ医科学の知識だけでなく、「社会の役に立つことを探求する」という考え方を、社会人になっても胸にとめて生きていきたいと思います。また、ご多忙のところ副査を快諾して下さいました金岡先生、廣瀬先生におかれましては授業も含め数々のご指導を賜りました。心より御礼申し上げます。助手の飯塚さんにおかれましては、棒グラフ一つまともに作れなかった学部時代から本論文作成に至るまで、パソコン技術だけでなくおおざっぱな性格もたたきなおしていただきました。今私が研究室の掃除機を充電できるのは飯塚さんの「常に考えろ」というご指導のおかげです。本当に感謝しています。研究室の先輩である筒井さんには本論文作成にあたり、論理的な考え方について何度も何度も丁寧に教えていただきました。同じことを何十回も質問してしまい申し訳ありません。そして同じく数々のアドバイス、測定のサポートをしていただいた前道さんははじめ、同期の平林、坂槻、後輩の力添えがあり、本研究を完遂することができました。この場を借りて心より御礼申し上げます。

そして本研究は、本学だけでなく他大学の学生も含め何百人の被験者の方々、体育各部・サークルの監督、コーチ、スタッフの皆様や、そこに至るまでに連絡を繋いでくださった沢山の方々のご支援、ご協力により成り立っております。そのことに深く感謝すると共に、皆様の力を借りて完成したこの研究を社会に還元できるよう今後も邁進して参ります。誠にありがとうございました。