

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 —超音波画像診断装置を用いて—

The effects of exercise habits and styles on knee cartilage thickness
determined by ultrasound diagnostic imaging in college students

堀明日香*¹, 筒井俊春*¹, 前道俊宏*¹
飯塚哲司*², 鳥居 俊*²

キー・ワード：knee, cartilage thickness, college student
膝, 軟骨厚, 大学生

〔要旨〕 膝関節は下肢の中心に位置し人々の ADL に重要な役割を担っている。その膝関節の正常な働きを可能にするのが動作の潤滑さと負荷の緩衝に寄与する軟骨である。軟骨厚は近年日本で増加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、一般的に厚い軟骨は薄い軟骨よりも衝撃緩衝能力に優れ健康な軟骨と考えられている。運動と軟骨厚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。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。

対象は大学生 510 名(男子 356 名, 女子 154 名), 計 1020 膝とした。超音波画像診断装置を用いて大腿骨内側顆荷重部の軟骨厚を測定し、異なる運動習慣と運動様式を持つ群間で比較した。

男子においてはバスケットボールや陸上競技など、下肢に高頻度、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らない競技である競泳は、他の群に比べ軟骨厚が薄い傾向が見られた。

本研究結果から、運動習慣や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示唆された。したがって、若年期の運動により正常な軟骨厚を保つことが、後年においても関節の働きを維持することに役立つ可能性が考えられる。

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、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。

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⁾とされており、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。硝子軟骨により構成される脛骨大腿関節の軟骨は、血管やリンパ管を持たず、滑液によ

*¹ 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*² 早稲田大学スポーツ科学学術院

て栄養されている組織であり、一般的に代謝能に乏しいと言われている。そのため、一度損傷すると修復が難しいのが特徴である。高齢者の罹患率が高い疾患として、骨粗鬆症や変形性関節症、サルコペニア（加齢性筋肉減少症）などがあげられる。このうち、骨粗鬆症、サルコペニアにそれぞれ関わる骨と筋に関しては、運動との関連が数多く研究され疾患の予防に役立てられている。一方、変形性関節症に関わ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。

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⁴⁾。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す。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無いことが報告されている⁵⁾。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⁶⁾、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。

以上より本研究では、運動習慣や運動様式の違いによる膝関節軟骨厚の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 対象

対象は510名(男子356名、女子154名)、1020膝とした。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、前十字靭帯損傷、後十字靭帯損傷、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、運動群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名以上の競技を検討対象とした。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入学以降継続的な運動を行っていない大学生とした。対象は、運動習慣と運動様式によって、男子は20群、女子は12群にわけられた。基本情報および、それらに統計的な差があった群は以下の通りである(表1)。対象者には事前に研究の目的や調査方法、倫理的配慮等に関する説明を行い、研究に対する同意を得て実施した。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) 超音波画像診断装置による軟骨厚測定

超音波画像診断装置(SonoSite Edge II, 富士フイルム社)を用い、Bモードにて撮像を行った。測定には周波数6-13MHzのプロープ(リニアプロープHFL38xp, 富士フイルム社)を使用した。

測定姿勢は仰臥位で膝関節屈曲130°とした。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プを短軸方向に当て、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プを軟骨に垂直に当て、長軸像を撮像した(図1)。左右それぞれ3回ずつ撮像し図2に示す画像解析方法にて軟骨厚を求め、3回の平均値を軟骨厚とした。なお、軟骨厚の測定部位はSchmitzら⁷⁾が超音波画像とMagnetic Resonance Imagingとの比較で有意な相関を示したと報告した部位を採用した。また、本測定法において再現性を保証する級内相関係数は0.848を示した。

(3) ImageJを用いた画像解析

画像解析ソフト(ImageJ, 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

表 1 対象者基本情報

〈男子〉

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
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	13.0±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	0.0±0.0
全体	356	20.1±1.2	173.8±6.8	73.1±15.4	24.1±4.5	10.0±4.8

(mean±SD)

群	略称	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	競技継続年数 (年)
陸上競技	tf		bb, vb	sm, bb, af, wl, rg, hb, jd, vb	sm, bb, af, wl, rg, hb, jd	sw, bb, rg, bd, tt, kr, jd, gm, st
競泳	sw		vb	sm, bb, af, rg	sm, af, rg, jd	
相撲	sm		vb			
バスケットボール	bb			sm	sm	sw
アメフト	af		bb, vb	sm	sm	tf, sw, sm, bb, rg, bd, hb, tt, kr, sc, jd, vb, gm, st
ウェイトリフティング	wl	af	bb, vb	sm, af	sm	tf, sw, sm, bb, rg, bd, tt, kr, sc, jd, vb, gm, st
ラグビー	rg		bb, vb	sm	sm	sw
バドミントン	bd		bb, vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, af, rg, jd	sw
ハンドボール	hb	af	bb, vb	sm, bb, af, rg	sm, af, rg, jd	sw, bb, rg, bd, tt, kr, sc, jd, gm, st
フェンシング	fc		vb	sm, bb, af, rg	sm, af, rg, jd	sw, kr
フィールドホッケー	hc		bb, vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, bb, af, wl, rg, jd	sw, sm, bb, rg, bd, tt, kr, sc, jd, gm, st
卓球	tt		bb, vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, bb, af, wl, rg, jd	sw
空手	kr		vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, af, rg, jd	
サッカー	sc		bb, vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, bb, af, rg, jd	sw
ラクロス	lc		bb, vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, af, rg, jd	sw, sm, bb, rg, bd, tt, kr, sc, jd, gm
柔道	jd		bb, vb	sm	sm	sw
バレーボール	vb	af		sm, af, rg	sm, bb, af, wl, rg, jd	sw, kr, sc, st
器械体操	gm		bb, af, vb	sm, bb, af, rg, jd	sm, af, rg, jd	
ソフトテニス	st		bb, vb	sm, bb, af, rg, jd, vb	sm, bb, af, wl, rg, hb, jd	sw
非運動群	ne		bb, af, vb	sm, bb, af, rg, hb, jd, vb	sm, bb, af, wl, rg, jd	all

(各群より有意に該当項目の値が大きい群を右に示す：p<0.05)

表1 対象者基本情報 (続き)

〈女子〉

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	0.0±0.0
全体	154	19.7±1.2	160.3±2.6	51.9±4.3	20.2±1.9	14.2±1.5

(mean±SD)

群	略称	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	競技継続年数 (年)
陸上競技	tf			wl	wl, sb, hb, kr, sc	sw, tt, sc
競泳	sw				wl	
ウェイトリフティング	wl					tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st
ソフトボール	sb				wl	sw, tt, sc
チアリーディング	cl			wl	wl	tf, sw, sb, tt, kr, sc, st
ハンドボール	hb				wl	sw, tt, kr, sc, st
卓球	tt			wl	wl	
空手	kr		tf			
サッカー	sc				wl	
ラクロス	lc			wl	wl	tf, sw, sb, hb, tt, kr, sc, st
ソフトテニス	st				wl	
非運動群	ne		tf	wl, sb, sc	wl	all

(各群より有意に該当項目の値が大きい群を右に示す：p<0.05)

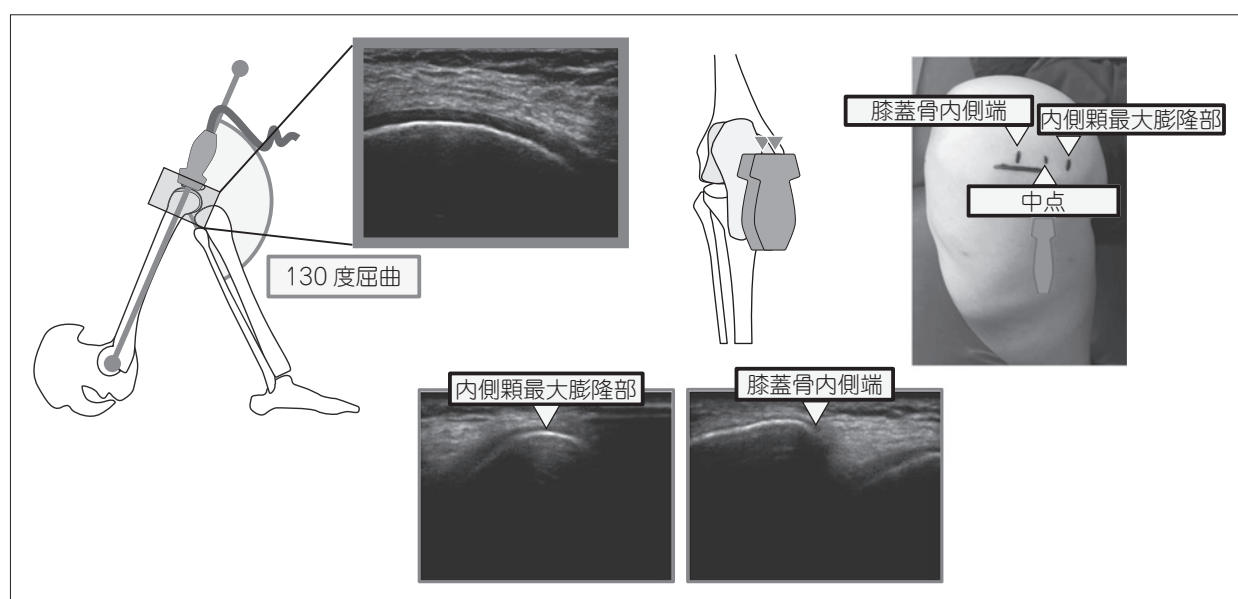


図1 測定姿勢と測定部位

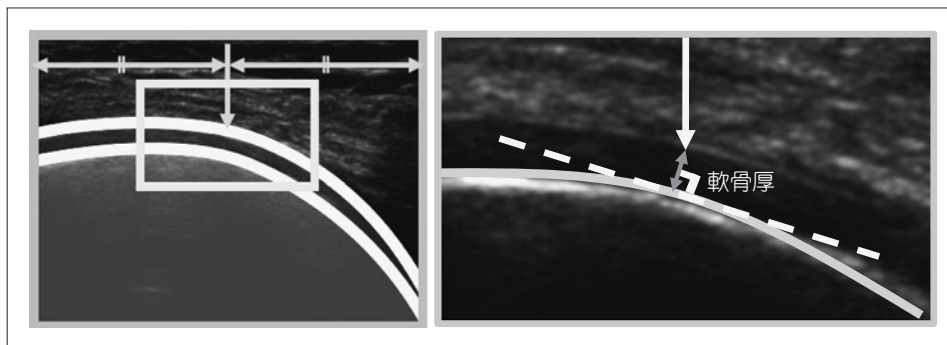


図2 軟骨の長軸画像

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た。単位 mm で小数点第二位まで読み取った(図2)。本測定法において再現性を保証する級内相関係数は0.998を示した。

(4) 統計処理

統計処理には統計ソフト (SPSS Statistics 26, IBM 社) を用いた。一元配置分散分析を用いて、男子、女子それぞれにおいて平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚を群間で比較した。有意水準は5%未満とした。

3. 結果

(1) 平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚

以下に男女それぞれの平均軟骨厚、右軟骨厚、左軟骨厚の値と、各群に対して有意に軟骨厚が厚かった群の略称を示す(表2, 3)。

(2) 男子の平均軟骨厚

運動習慣が大きく異なる非運動群、下肢への荷重負荷がかからない競泳とその他の群における平均軟骨厚の差に着目したグラフを示す。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、陸上競技となった(図3)。

(3) 女子の平均軟骨厚

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った(図4)。

4. 考察

(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る。そのため、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。

関節軟骨は運動時に、張力、剪断力、静水圧(関節液から受ける水圧)などの様々なメカニカルストレスを受けている。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II型コラーゲン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⁸⁾。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可能性が考えられる。

(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⁹⁻¹²⁾。本研究においても、骨密度と同様にこれらの競技において軟骨厚が厚かった。バスケット

表2 男子の軟骨厚

群	略称	人数 (人)	平均軟骨厚 (mm)	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	平均軟骨厚 厚い群	右軟骨厚 厚い群	左軟骨厚 厚い群
陸上競技	tf	67	1.39±0.29	1.26±0.33	1.52±0.34			
競泳	sw	9	1.04±0.26	0.88±0.32	1.20±0.29	tf, bb, hb, st	bb, st	bb, fc, st
相撲	sm	5	1.42±0.10	1.37±0.09	1.47±0.24			
バスケットボール	bb	12	1.61±0.32	1.44±0.35	1.77±0.40			
アメフト	af	42	1.29±0.26	1.15±0.31	1.42±0.28	bb		
ウェイトリフティング	wl	9	1.21±0.29	0.93±0.36	1.49±0.30		bb, st	
ラグビー	rg	40	1.39±0.27	1.25±0.31	1.53±0.29			
バドミントン	bd	7	1.31±0.21	1.16±0.30	1.47±0.21			
ハンドボール	hb	23	1.46±0.25	1.31±0.36	1.61±0.22			
フェンシング	fc	5	1.54±0.23	1.27±0.31	1.81±0.27			
フィールドホッケー	hc	11	1.36±0.33	1.25±0.35	1.48±0.37			
卓球	tt	18	1.30±0.20	1.13±0.19	1.47±0.27			
空手	kr	7	1.17±0.30	0.84±0.26	1.51±0.47		bb, st	
サッカー	sc	14	1.24±0.20	1.02±0.22	1.46±0.25			
ラクロス	lc	6	1.12±0.13	1.03±0.30	1.22±0.15	bb		bb
柔道	jd	12	1.34±0.26	1.12±0.30	1.57±0.29			
バレーボール	vb	21	1.37±0.21	1.23±0.27	1.51±0.21			
器械体操	gm	5	1.05±0.29	0.80±0.31	1.30±0.35	bb	bb, st	
ソフトテニス	st	21	1.51±0.30	1.40±0.33	1.63±0.31			
非運動群	ne	22	1.02±0.32	0.89±0.34	1.16±0.36	tf, bb, af, rg, hb, fc, vb, st	tf, bb, rg, hb, st	tf, bb, rg, hb, fc, jd, vb, st
全体	—	356	1.33±0.29	1.18±0.34	1.49±0.32	—	—	—

(mean±SD)

(各群より有意に軟骨厚が厚い群を示す：p<0.05)

表3 女子の軟骨厚

群	略称	人数 (人)	平均軟骨厚 (mm)	右軟骨厚 (mm)	左軟骨厚 (mm)	平均軟骨厚 厚い群	右軟骨厚 厚い群	左軟骨厚 厚い群
陸上競技	tf	20	1.16±0.24	1.08±0.24	1.23±0.30	—	—	—
競泳	sw	7	0.99±0.18	0.78±0.20	1.20±0.19	—	—	—
ウェイトリフティング	wl	9	1.17±0.23	0.98±0.35	1.37±0.19	—	—	—
ソフトボール	sb	19	1.08±0.20	0.92±0.28	1.24±0.22	—	—	—
チアリーディング	cl	17	1.06±0.18	0.99±0.22	1.13±0.21	—	—	—
ハンドボール	hb	9	1.30±0.21	1.16±0.29	1.44±0.18	—	—	—
卓球	tt	11	1.11±0.22	1.02±0.32	1.19±0.17	—	—	—
空手	kr	5	1.23±0.49	1.00±0.54	1.46±0.44	—	—	—
サッカー	sc	16	1.21±0.24	1.05±0.26	1.37±0.28	—	—	—
ラクロス	lc	9	1.04±0.30	0.93±0.33	1.14±0.29	—	—	—
ソフトテニス	st	6	1.20±0.27	1.13±0.25	1.27±0.30	—	—	—
非運動群	ne	26	0.98±0.29	0.85±0.31	1.11±0.34	—	—	—
全体	—	154	1.11±0.26	0.98±0.30	1.23±0.28	n.s.	n.s.	n.s.

(mean±SD)

(各群より有意に軟骨厚が厚い群を示す：p<0.05, n.s.：p≥0.05)

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、繰り返されるジャンプ動作であり立脚時には

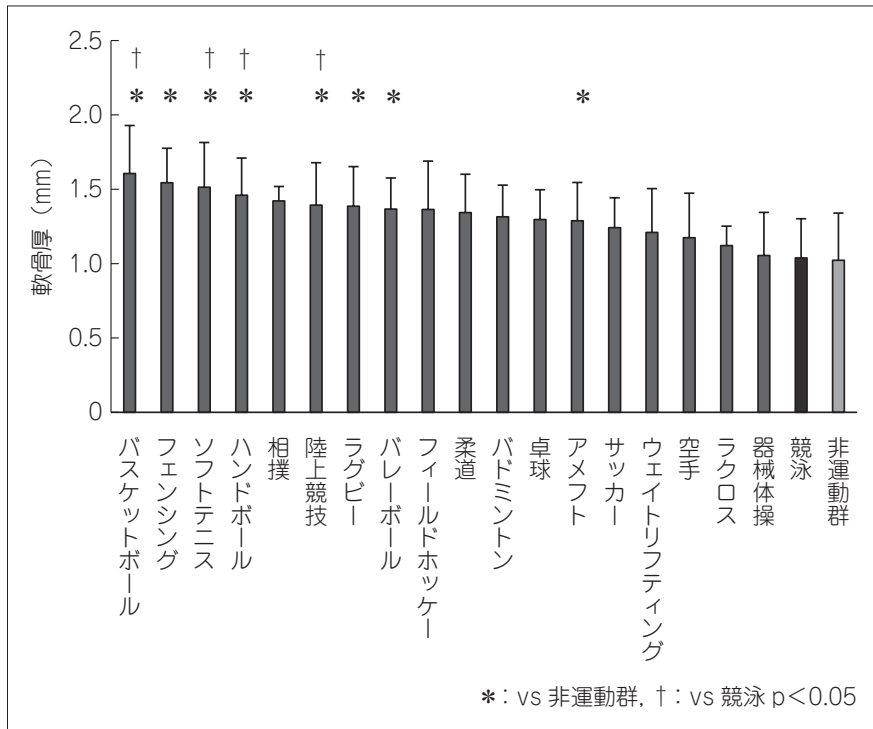


図3 男子の平均軟骨厚

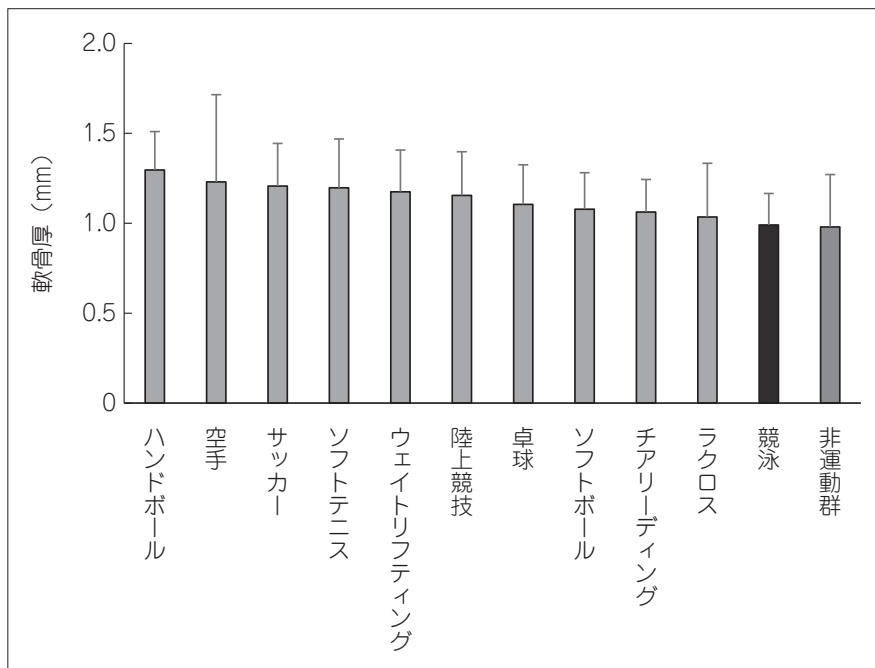


図4 女子の平均軟骨厚

体重を支持する脚に大きな荷重負荷が加わる。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¹³⁾、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¹⁴⁾ およびバレーボール¹⁵⁾ 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¹⁴⁾、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¹⁶⁾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、軸脚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った可能性がある。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¹⁷⁾、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った。体操競技選手においては、助走からの激しいジャンプ動作や着地動作を

伴うという運動様式から膝関節靭帯損傷が多く発生しており、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ことに加え対象者の競技継続年数が短く、サンプル数が少ないことも非運動群、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⁴⁾。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を行っていく必要があると考える。

(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。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¹⁸⁾。一般的に女子は男子

より骨格筋量が少なく軟骨厚も薄い¹⁹⁾。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両者に関連があること²⁰⁾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、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。

5. 結論

本研究では、膝関節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。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 厚生労働省. 平成 28 年国民生活基本調査 IV 介護の状況. 入手先 : <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/dl/05.pdf>.
- Morrison J.B. The mechanics of the knee joint in relation to normal walking. *Journal of Biomechanics*. 1970; 3: 51-61.
- 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*. 1975; 3: 261-269.
- Ogden JA. *Skeletal injury in the child*. Springer Science & Business Media. 1982; 56-57.
- Mühlbauer R, Lukasz TS, Faber TS, 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*. 2000; 28: 541-546.
- Jones G, Ding C, Glisson M, et al. Knee Articular Cartilage Development in Children: A Longitudinal Study of the Effect of Sex, Growth, Body Composition, and Physical Activity. *PEDIATRIC RESEARCH*. 2003; 54.
- Schmitz RJ, Wang HM, Polprasert DR, et al. Evaluation of knee cartilage thickness: a comparison between ultrasound and magnetic resonance imaging methods. *The Knee*. 2017; 24(2): 217-223.
- 大野隆弘, 牛田多加志, 玉木 保, 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*. 2002; 14: 249-250.
- 小澤治夫. スポーツ種目と骨密度. *臨床スポーツ医学*. 1994; 11: 1245-1251.
- 水野秀一, 宮原恵子, 小島菜実絵, 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*. 2014; 41: 411-417.
- 赤嶺卓哉, 高田 大, 松村 勲, 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*. 2014; 48.
- Hind K, Gannon L, Brightmore A, et al. Insights into relationships between body mass, composition and bone: findings in elite rugby players. *Journal of Clinical Densitometry*. 2015; 18: 172-178.
- 黒須雅弘, 菅野昌明. 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*. 2012; 17: 134-144.
- Chang G., Regatte RR, Schweitzer ME. Olympic fencers: adaptations in cortical and trabecular bone determined by quantitative computed tomography. *Osteoporosis International*. 2009; 20: 779-785.
- 赤嶺卓哉, 吉田剛一郎, 高田 大, 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*. 2013; 62: 694-696.
- Miller D. Ground reaction forces in distance running. In: Cavanaugh P. R., ed. *Biomechanics of Distance Running*. Champaign, IL: Human Kinetics Books; 203-224, 1990.
- Dyson K, Blimkie CJ, Davison KS, et al. Gymnastic

- training and bone density in pre-adolescent females. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1997; 29: 443-450.
- 18) Berry PA, Wluka AE, Davies-Tuck ML, et al. The relationship between body composition and structural changes at the knee. *Rheumatology*. 2010; 49: 2362-2369.
- 19) Otterness IG, Eckstein F. 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*. 2007; 15: 666-672.
- 20) Bay-Jensen AC, Tabassi NC, Sondergaard LV, 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*. 2009; 11.

(受付：2020年3月9日，受理：2021年6月8日)

The effects of exercise habits and styles on knee cartilage thickness determined by ultrasound diagnostic imaging in college students

Hori, A.^{*1}, Tsutsui, T.^{*1}, Maemichi, T.^{*1}
Iizuka, S.^{*2}, Torii, S.^{*2}

^{*1} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

^{*2} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: knee, cartilage thickness, college student

[Abstract] Cartilage thickness of the knee is an important measure to explain the onset and progression of knee osteoarthritis. Thick cartilage is generally considered to be a better cartilage with better shock-absorbing capacity than thin cartilage. There is an urgent need to clarify the relationship between exercise and cartilage thickness and to encourage a lifestyle that maintains normal cartilage in later years. The purpose of this study was to measure the cartilage thickness of the knee joint of college students using an ultrasound diagnostic imaging system and to clarify differences due to exercise habits and exercise styles. The subjects were 510 college students. The cartilage thickness of the medial femoral condyle, which is affected by load, is measured using an ultrasound imaging system and compared between groups with different exercise habits and exercise styles. In boys, the cartilage was thicker in case they participated in sports in which the lower limbs are subjected to frequent and strong stress. In both males and females, subjects in the non-exercise group, who did not exercise continuously, and those in the swimming race group, without load application, tended to have thin cartilage compared to the other groups. The results of this study suggest that exercise habits and exercises involving load on the lower limbs may cause an increase in cartilage thickness.