

発育期の膝関節軟骨厚の変化 —運動様式と性差が膝関節軟骨厚に及ぼす 影響—

原

著

Changes in the Thickness of Knee Joint Cartilage
During the Growth Period

—The Impact of Exercise Patterns and Gender Differences on Knee Joint
Cartilage Thickness—

樋口明奈^{*1,2}, 本間勇伎^{*1}, 坂模 航^{*1}
筒井俊春^{*3}, 鳥居 俊^{*3}

キー・ワード : Cartilage, Knee joint, Development
軟骨, 膝関節, 発育

〔要旨〕 (目的) 発育途上の膝関節軟骨厚が運動様式および性別により異なるかを明らかにすること。

(方法) 6-12歳の男子74名と7-15歳の女子23名を対象とした。スポーツ種目は水泳、陸上競技、サッカー、バレーボールであった。膝関節軟骨厚は、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た。膝関節軟骨厚と体格の関係にはPearsonの積率相関係数、Spearmanの順位相関係数を用いた。また、男子の運動様式の検討には一元配置分散分析、女子には対応のないT検定を行った。効果量は、 η^2 またはdを用いた。さらに、性別の違いには対応のないT検定を用いた。

(結果) 男子の膝関節軟骨厚は月齢($r = -0.617, p < 0.001$)、身長($r = -0.582, p < 0.001$)、体重($r = -0.514, p < 0.001$)との間に負の相関を認めた。女子の膝関節軟骨厚は月齢($r = -0.461, p = 0.027$)、身長($r = -0.581, p = 0.004$)、体重($r = -0.638, p < 0.001$)との間に負の相関を認めた。競技間の膝関節軟骨厚では差を認めず($p = 0.432, p = 0.412$)、効果量も低値を示した($\eta^2 = 0.04, d = 0.42$)。女子の膝関節軟骨厚は男子よりも低値を認めた($p < 0.001$)。

(考察) 発育途上の膝関節軟骨厚は年齢の影響を強く受け、女子の膝関節軟骨厚は男子よりも薄いことが明らかとなった。

緒 言

変形性膝関節症は40歳以上で有病率が約55%、要介護への移行リスクが約6倍であることが指摘されている¹⁾。また、変形性膝関節症の有病

率は男性42%、女性61.5%と女性の方が高い割合を占める¹⁾。膝関節は荷重負荷を緩衝しており、歩行時には体重の3-4倍の負荷がかかっている²⁾。変形性膝関節症は軟骨の変性や摩耗により生じることから、過度な荷重負荷の増大は、軟骨の損傷や変形を助長する可能性が考えられる。さらに、軟骨は血管が存在せず代謝能に乏しい組織であり^{3,4)}、自己修復能力は限られているため一度損傷を受けると自然修復が困難である。

一方で、Wangらは⁵⁾中等度の機械的負荷が、膝関節軟骨に対して保護効果をもたらすと報告して

*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*2 草加整形外科内科

*3 早稲田大学スポーツ科学学術院

Corresponding author : 鳥居 俊 (shunto@waseda.jp)

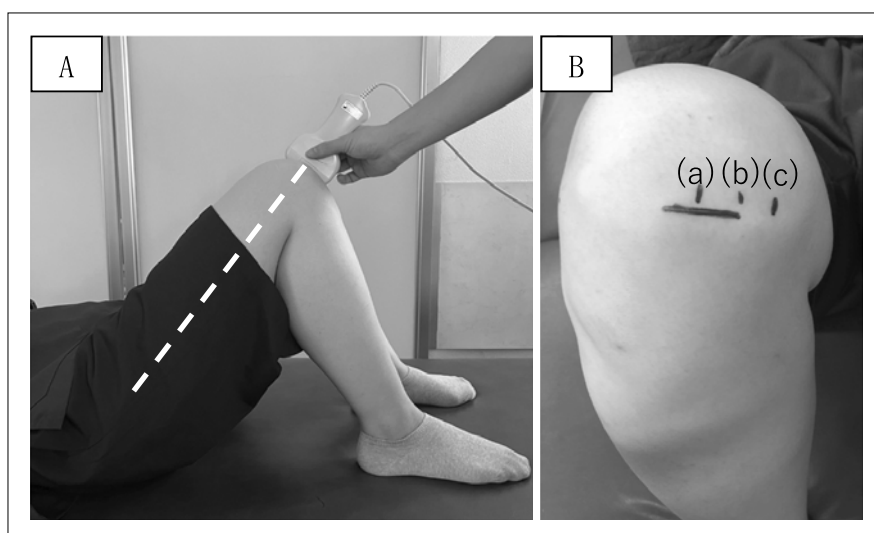


図1 測定肢位と部位
A. 矢状面 B. 前額面
(a) 膝蓋骨内側端 (b) (a)と(c)の midpoint (c) 大腿骨内側顆最大膨隆部

いる。また、堀らは18-22歳の男女を対象に膝関節軟骨厚を調査し、下肢に荷重負荷が加わるバスケや陸上競技を行う者は、非運動群ならびに競泳の膝関節軟骨厚が有意に厚いことを示している⁶⁾。さらに、発育期における膝関節軟骨の体積を縦断的に検討した Jones らは⁷⁾9-18歳の小児を対象とし、活発な運動を行う者は運動量が少ない者と比較して脛骨内側の軟骨体積が増加することを報告している。加えて、膝関節軟骨の体積の増加は、女子よりも男子において有意に増加していたことを示している。以上より、大腿骨遠位の骨端核が閉鎖する16-19歳以前⁸⁾の運動負荷は膝関節軟骨の体積増加に関与し、膝関節軟骨厚は発育期の段階ですでに性差が生じている可能性が考えられる。

しかし、先行研究⁷⁾では、運動量や運動強度による比較にとどまっており、競技特性を考慮した検討や本邦の小児を対象とした性差の検討は行われていない。そこで、本研究では本邦の発育期を対象に発育途上の膝関節軟骨厚が、運動様式および性別により異なるかどうかを明らかにすることとした。

対象および方法

1. 対象

地域スポーツクラブに所属する男子74名(年齢: 10.1 ± 1.8 歳, 身長: 138.9 ± 12.9 cm, 体重: 33.9 ± 9.8 kg), 女子23名(年齢: 11.2 ± 1.8 歳, 身長: 143.6 ± 10.4 cm, 体重: 35.6 ± 8.6 kg)を対象と

した。スポーツ種目は水泳(男子:21名, 女子:18名), 陸上競技(男子13名, 女子:5名), サッカー(男子25名), バレーボール(男子:15名)であった。除外基準は、膝関節内の痛みを呈す者および既往がある者とした。対象者は全員未成年であるため、事前に保護者にも研究の目的や方法を十分に説明し、同意を得たうえで測定を行った。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審査委員会」の承認を得て実施した(承認番号:2021-218)。

2. 超音波画像診断装置による膝軟骨厚測定

超音波画像診断装置(SonoSiteEdgeII, 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。測定肢位と位置は、先行研究⁶⁾を参考に実施した(図1)。測定肢位は仰臥位で膝関節屈曲130°とした。測定位置は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、2点の midpoint の軟骨に対してプロープを垂直に当て長軸像を撮像した。画像解析ソフトにはImageJを用いて、それぞれ3回ずつ撮像し膝関節軟骨厚を求め3回の平均値を膝関節軟骨厚とした(図2)。測定は、十分な練習を積んだ理学療法士1名が実施した。また、検者内信頼性⁹⁾は単一測定, 平均測定ともに全ての項目において0.90以上となった。

3. 統計解析

膝関節軟骨厚と月齢, 身長, 体重の関係を男女

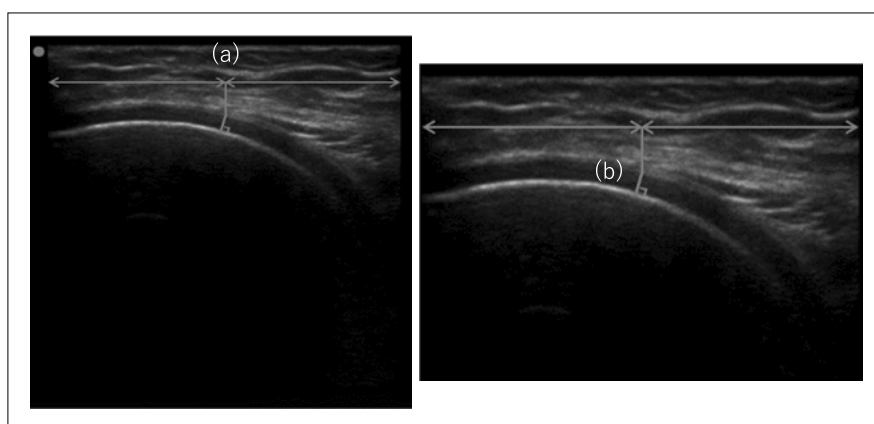


図2 解析画像

(a) 画像の中心 (b) 軟骨厚：軟骨表面との交点から軟骨下骨までの垂線距離

別に検討した。それぞれの項目との関係には Pearson の積率相関係数, Spearman の順位相関係数を用いた。また, 運動様式の検討には性別の影響を考慮した。男子には一元配置分散分析を用い, 主効果を認めた場合は多重比較検討を行った。また, 効果量には, η^2 を用いて検討した。女子には対応のない T 検定を行い, 効果量には d を用いた。さらに, 性別の違いには対応のない T 検定を用いた。有意水準はいずれも 5% 未満とした。

結 果

対象者の年齢, 身長および体重の基本情報は表 1 に示し, 競技別の年齢内訳は表 2 に示した。男子の膝関節軟骨厚は月齢 ($r = -0.617, p < 0.001$; 図 3), 身長 ($r = -0.582, p < 0.001$; 図 4), 体重 ($r = -0.514, p < 0.001$; 図 5) との間に負の相関を認めた。女子の膝関節軟骨厚も同様に月齢 ($r = -0.461, p = 0.027$; 図 3), 身長 ($r = -0.581, p = 0.004$; 図 4), 体重 ($r = -0.638, p < 0.001$; 図 5) との間に負の相関を認めた。男女ともに競技間の膝関節軟骨厚では差を認めず ($p = 0.432, p = 0.412$; 図 6), 効果量も低値を示した ($\eta^2 = 0.04, d = 0.42$; 図 6)。女子の膝関節軟骨厚は男子よりも低値を示した ($p < 0.001$; 図 7)。

考 察

本研究では, 発育途上の膝関節軟骨厚が運動様式および性別により異なるかどうかを明らかにすることとした。男女の膝関節軟骨厚は, 月齢や体格と負の相関関係を示すことが明らかとなった。男子の膝関節軟骨厚は体重よりも身長との相関係

表 1 基本情報

	男子 (n=74) Mean $\pm$ SD	女子 (n=23) Mean $\pm$ SD
年齢 (歳)	10.1 $\pm$ 1.8	11.2 $\pm$ 1.8
身長 (cm)	138.9 $\pm$ 12.9	143.6 $\pm$ 10.4
体重 (kg)	33.9 $\pm$ 9.8	35.6 $\pm$ 8.6

表 2 競技別年齢の内訳 (歳)

	男子 (n=74) Mean $\pm$ SD 歳	女子 (n=23) Mean $\pm$ SD 歳
水泳	10.4 $\pm$ 2.0	11.2 $\pm$ 1.9
陸上競技	10.6 $\pm$ 2.2	10.3 $\pm$ 1.2
サッカー	9.8 $\pm$ 1.5	—
バレーボール	9.7 $\pm$ 1.7	—

数が高値だった。男子の最大身長増加年齢は 13 歳¹⁰⁾とされ, 大腿骨遠位の骨端部は 16-19 歳で骨端軟骨が閉鎖すると報告されている⁸⁾。四肢を中心とした長管骨は, 骨端軟骨における軟骨形成と軟骨基質の石灰化によって軟骨内骨化する^{10, 11)}。そのため, 骨が長軸方向へ発育するとともに関節軟骨の厚さは徐々に薄くなる¹²⁾。本研究の男子の対象年齢は 6-12 歳であり, 身長 (骨長) 発育による変化が著しい時期であったことが考えられる。従って, 身長と膝関節軟骨厚の関係が体重よりも強く関係した可能性が考えられる。一方, 女子の膝関節軟骨厚は身長よりも体重との相関係数が高かった。Rauch ら⁸⁾ は, カナダ人小児を対象とした報告により, 最大身長増加年齢の後に除脂肪量や骨量の最大増加の時期が来ることを報告している。女子の最大身長増加年齢は約 11 歳¹⁰⁾とされ, 男子と比

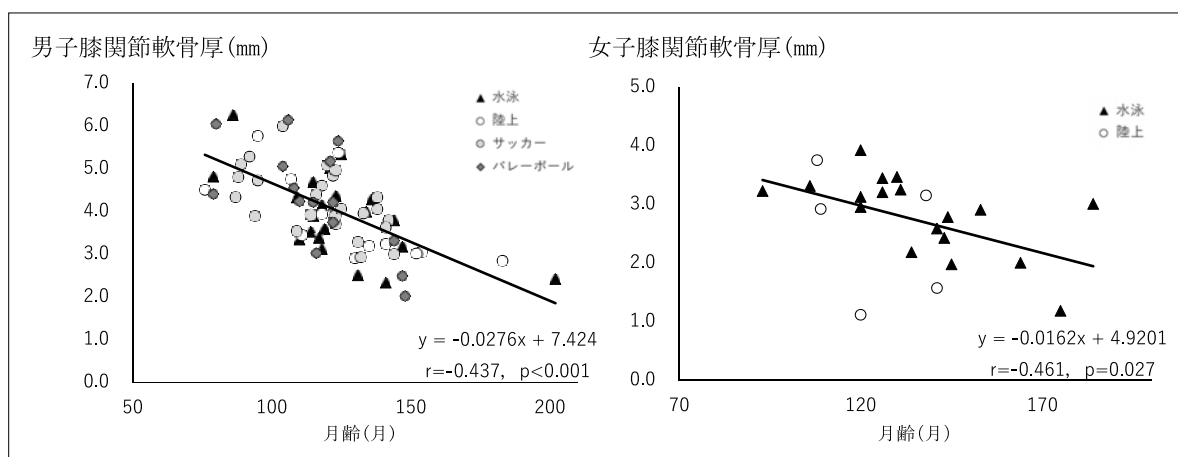


図3 月齢と膝関節軟骨厚の関係

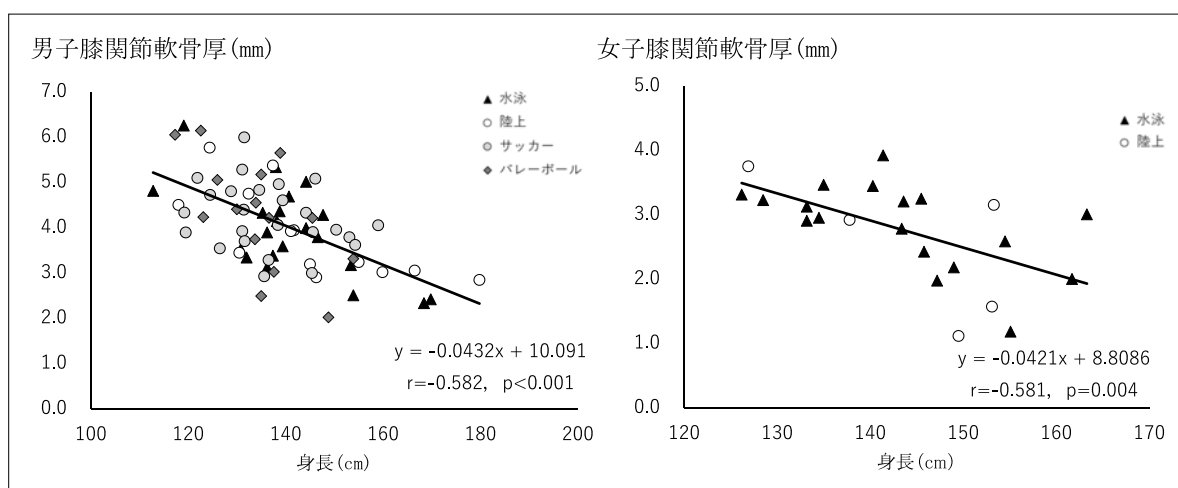


図4 身長と膝関節軟骨厚の関係

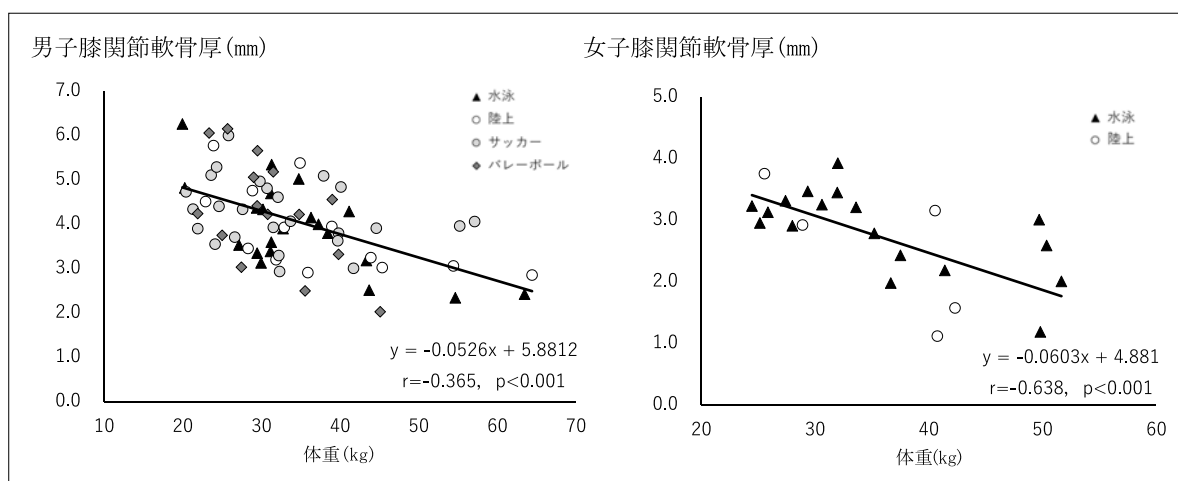


図5 体重と膝関節軟骨厚の関係

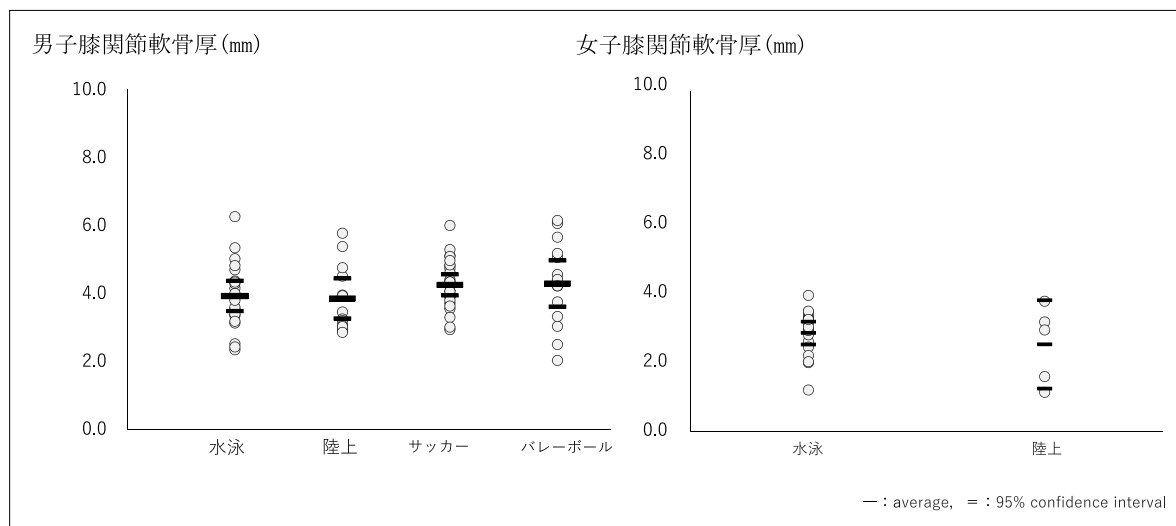


図6 競技種目別における膝関節軟骨厚

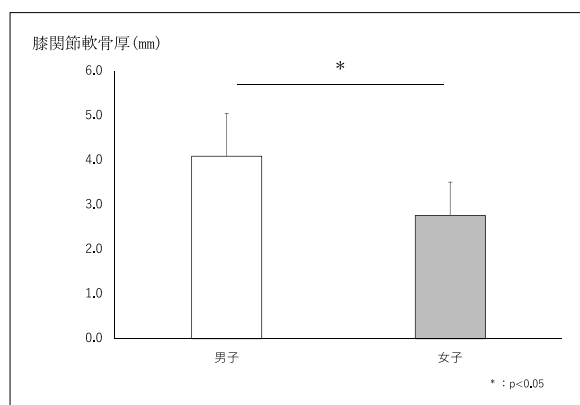


図7 膝関節軟骨厚の男女比較

較して1~2年早い。本研究の女子の対象年齢は7-15歳であり、身長(骨長)発育の変化が著しい時期に加え、身長発育の変化が一定となる時期も含まれていたことが考えられる。また、除脂肪量や骨量の最大増加時期に属される対象者もいたことから、膝関節軟骨厚は身長よりも体重と強い関係を認めたと考える。さらに、女子の膝関節軟骨厚は男子よりも低値を認めた。前述したとおり、最大身長増加年齢は男子よりも女子の方が早くに生じる。身長発育に伴う骨端線の閉鎖には男女ともに女性ホルモン(エストラジオール)が関与している。エストラジオールは成長ホルモンの分泌を増加させ身長発育を促進したり、直接軟骨細胞の発育を促したりしている。女子は最大身長増加時期以前においてエストラジオールが0.6pg/ml、男子では0.08pg/mlと女子の方が高値を示す¹³⁾。これらの現象が、男子より女子において最大身長増

加時期が早い要因の1つと考えられている。従って、女子の膝関節軟骨厚が男子よりも低値を認めたのは、性差による骨長の発育速度の差異が関与している可能性が考えられる。

軟骨の代謝には荷重や関節運動による圧縮、静水圧、剪断応力などの力学的負荷が軟骨組織にかかることが必須とされている。一方で、膝関節軟骨への過剰な力学的負荷による外傷や離断性骨軟骨炎などの軟骨損傷は軟骨変性を助長する。しかし、力学的負荷は軟骨の組織再生に効果がある¹⁴⁾とのことから、軟骨組織に良い影響を与える可能性が考えられている。堀ら⁶⁾は大学生男女510名を対象に膝関節軟骨厚を測定した結果、下肢に荷重がかからない競泳の膝関節軟骨厚は、下肢に高頻度かつ高強度の負荷がかかる陸上競技やバスケットボールよりも薄い傾向を示したと報告している。また、発育期を含めて検討を行ったJonesらは⁷⁾、活発な運動をする者は運動量が少ない者と比較して脛骨内側の軟骨の体積が高値であったと述べている。そのため、本研究においても下肢への負荷が少ない水泳競技者の膝関節軟骨厚が、他の競技と比較して薄い傾向を示すと考えたが異なる結果となった。先行研究では、対象の年齢幅を限定していないものの、運動負荷の基準を6.5 METsに設定し、運動を行う群と行わない群を明確に分類した上で、膝関節軟骨厚の差異を検討している^{6,7)}。一方、本研究の対象は地域スポーツクラブに所属する6-16歳の男女97名であり、すべての対象者において膝関節軟骨へ一定の力学的負荷が加わっている状態であった。そのため、膝関節軟

骨に対する力学的負荷の差が認められなかったと考える。また、競技種目間および競技内における年齢のばらつきにおいても、本研究結果に影響を及ぼした可能性が考えられる。

本研究の限界点は3点挙げられる。1点目は、横断研究という点である。発育期においては最大身長増加時期が個々で異なることから、膝関節軟骨厚の変化にも個体差が生じていることが考えられる。従って、縦断研究を用いて発育による変化量を調査し、運動様式や性別の違を検討することが今後の課題である。2点目は、膝関節軟骨厚と下肢形態との関係を検討しなかった点である。変形性膝関節症では内反変形や外反変形等の下肢形態が関係しており、内反変形は内側型の変形性膝関節症が生じることが明らかとなっている¹⁵⁾。このことから、大腿骨内側側で膝関節軟骨厚を計測した本研究では、下肢形態の影響を受けていた可能性が考えられる。3点目は、月経による膝関節軟骨厚への影響を考慮出来なかった点である。無月経症状を認める身体状態の者は、骨密度が低いことが報告されている¹⁶⁾。月経状況は骨と密接な関係があることが報告されており、骨長発育と関係のある膝関節軟骨厚の発育にも影響を及ぼす可能性が考えられる。

結 語

発育途上の膝関節軟骨厚は運動様式の違いよりも年齢や体格の影響を強く受ける可能性が示唆され、女子の方が男子よりも膝関節軟骨厚が薄いことが明らかとなった。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

樋口明奈：Conceptualization；Data curation；Formal analysis；Investigation；Methodology；Validation, Visualization；Writing original draft；Writing review & editing

本間勇伎：Data curation；Investigation

坂模航：Data curation；Investigation

筒井俊春：Project administration, Supervision, Conceptualization

鳥居俊：Project administration, Supervision, Conceptualization, Methodology

文 献

- 1) 変形性膝関節症診療ガイドライン 2023. 入手先：変形性膝関節症診療ガイドライン2023 - c00793.pdf (jcqhc.or.jp). 参照日 2024 年 6 月 15 日.
- 2) Morrison JB. The mechanics of the knee joint in relation to normal walking. J Biomech. 1970; 3: 51-61.
- 3) Alford JW, Cole BJ. Cartilage restoration, part 1: basic science, historical perspective, patient evaluation, and treatment options. Am J Sports Med. 2005; 33: 295-306.
- 4) Tetteh ES, Bajaj S, Ghodadra NS. Basic science and surgical treatment options for articular cartilage injuries of the knee. J Orthop Sports Phys Ther. 2012; 42: 243-253.
- 5) Wang Y, Jin Z, Jia S, et al. Mechanical stress protects against chondrocyte pyroptosis through TGF- β 1-mediated activation of Smad2/3 and inhibition of the NF- κ B signaling pathway in an osteoarthritis model. Biomed Pharmacother. 2023; 159: 1-10.
- 6) 堀明日香, 筒井俊春, 前道俊宏, 他. 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—. 日臨スポーツ医学会誌. 2022; 30: 14-23.
- 7) 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. Pediatr Res. 2003; 54: 230-236.
- 8) Rauch F, Bailey DA, Baxter-Jones A, et al. The 'muscle-bone unit' during the pubertal growth spurt. Bone. 2004; 34: 771-775.
- 9) 桑原洋一. 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. 1993; 41: 945-952.
- 10) Ogden JA. Skeletal injury in the child. Lea & Febiger. 1982; 17: 56-57.
- 11) 上田晃三, 清野佳紀. 骨の成長・発育. バイオメカニズム会誌. 2008; 32: 57-60.
- 12) 中村利孝. 骨の発生, 成長, 維持. In: 内田淳正. 標準整形外科科学. 11. 東京: 医学書院; 25, 2011.
- 13) 大山建司. 思春期の発現. 山梨大学看護学会誌. 2004; 3: 3-8.
- 14) Mizuno S, Ushida T, Tateishi T, et al. Proteoglycan synthesis by chondrocytes cultured under hydrostatic pressure and perfusion. Mater Sci Eng C.

- 1998; 6: 297-300.
- 15) Sharma L, Song J, Felson DT, et al. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. JAMA. 2001; 286: 188-195.
- 16) Ackerman KE, Cano Sokoloff N, DE Nardo Maffaz-

ioli G, et al. Fractures in Relation to Menstrual Status and Bone Parameters in Young Athletes. Med Sci Sports Exerc. 2015; 47: 1577-1586.

(受付：2024年7月19日，受理：2026年4月19日)

Changes in the Thickness of Knee Joint Cartilage During the Growth Period —The Impact of Exercise Patterns and Gender Differences on Knee Joint Cartilage Thickness—

Higuchi, A. ^{*1,2}, Honma, Y. ^{*1}, Sakamaki, W. ^{*1}
Tsutsui, T. ^{*3}, Torii, S. ^{*3}

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

^{*2} Orthopedic Surgery Medicine, Souka

^{*3} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: Cartilage, Knee joint, Development

[Abstract] This study examined whether knee joint cartilage thickness during growth differs according to exercise modality and sex. Seventy-four boys aged 6–12 years and twenty-three girls aged 7–15 years participated in swimming, track and field, soccer, or volleyball. Knee cartilage thickness at the weight-bearing area of the medial femoral condyle was measured using ultrasonography. Relationships between cartilage thickness and physical characteristics were analyzed using Pearson's and Spearman's correlation coefficients. Differences among exercise modalities were examined using one-way analysis of variance in boys and independent t-tests in girls, with effect sizes calculated using η^2 or Cohen's d. Sex differences were also assessed using an independent t-test. In boys, knee cartilage thickness was negatively correlated with age in months ($r = -0.617$, $p < 0.001$), height ($r = -0.582$, $p < 0.001$), and body weight ($r = -0.514$, $p < 0.001$). In girls, similar negative correlations were observed with age in months ($r = -0.461$, $p = 0.027$), height ($r = -0.581$, $p = 0.004$), and body weight ($r = -0.638$, $p < 0.001$). No significant differences in cartilage thickness were found among sports in either sex, with small effect sizes. Knee cartilage thickness was significantly lower in girls than in boys ($p < 0.001$). These results suggest knee cartilage thickness during growth is influenced by age and differs by sex.