

博士論文

成長期スポーツ障害の予防に関する研究
膝伸展機構障害に対する発症予測指標の開発

平成 18 年度

筑波大学大学院

人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

木下裕光

筑波大学

専門用語の定義および説明

スポーツ障害：スポーツによって繰り返す微小な外力が身体に作用して引き起こす慢性損傷のことである。たとえば、腱の炎症，疲労骨折などである。

スポーツ外傷：スポーツ中の1回の大きな外力が身体に作用して引き起こす損傷のことである。たとえば，捻挫，骨折などである。

スポーツ傷害：上記の両者を一括した総称のことである。

オスグッド病：オスグッド・シュラッテル病とも呼ばれ，スポーツによって繰り返される膝伸展機構への負荷によって生じる脛骨粗面における成長軟骨の骨化障害（骨端症）である。

ジャンパー膝：スポーツによって繰り返される膝関節への負荷によって生じる膝蓋腱の炎症のことである。

Sinding-Larsen-Johansson 病：スポーツによって繰り返される膝関節への負荷によって生じる膝蓋骨下極（膝蓋腱附着部）の炎症のことである。

筋 - 腱ユニット (muscle-tendon unit)：筋肉は筋腹と筋腹を骨その他の附着対象物に結合する腱からなるが，筋腹と腱の一連の器官の総称のことである。

膝伸展機構：膝関節を伸展させる作用がある大腿四頭筋，大腿四頭筋腱，膝蓋骨，膝蓋腱を含む筋 - 腱ユニットのことである。大腿四頭筋の一部である大腿直筋は骨盤の下前腸骨棘を起始とし，膝蓋腱は脛骨粗面に停止する。

筋柔軟性：筋の伸長性のことである。その評価方法として、スティフネスがある。スティフネスは、組織の長軸方向に緊張を加えたとき、一定の長さの変化を与えるのに要する力と定義されている。このスティフネスを正確に評価するためには、筋肉を採取して加えられた張力と長さの変化を測定しなければならないが、生体では測定できないので、間接的な測定が行われている。一般的には、自動もしくは他動的に関節可動域を測定する方法や身体のある部位間の距離を測定する方法が用いられている。

Ely テスト：膝伸展機構の筋柔軟性テストの1つである。腹臥位にて膝を屈曲させ、尻上がり現象（股関節が屈曲し、尻が拳上する現象）を認めるか、検者が下腿を押す手に抵抗を感じて踵が殿部に付かなければ陽性と判断する。

アライメント：骨格の配列のことである。本研究では膝を中心とした大腿骨と脛骨の配列を評価する。膝アライメントは、両膝をそろえて直立し、両大腿骨内顆部または脛骨内果の間に距離がある場合を異常とし、各々、内反膝（O脚変形）または外反膝（X脚変形）と言われている。

関節弛緩性：正常関節可動域より過剰に動く状態のことである。一般に、関節弛緩性テストとして、全身の6大関節（肩、肘、手、股、膝、足）+脊柱の7カ所について laxity test を行う（東大式）。

思春期スパート：思春期の急激な成長促進現象のことである。比較的計測しやすく、短期間に大きく変動することのない身長を中心に述べられることが多い。

成長速度：1年間の身長増加量のことである。同一個人の1年間の身長増加量の経時的記録をプロットしたものが成長速度曲線である。

暦年齢：出生後からの物理的時間経過で、一般的な年齢と同じである。

骨年齢：成長や発達の段階を基準にした発達年齢の1つで、ある一定の暦年齢における平均的な骨成熟度に対して、その暦年齢をあてはめたものである。手部のX線撮影が最も代表的な骨年齢の評価方法である。手部の骨年齢の評価方法であるRUS骨成熟スコアによれば、日本人で男子は16歳、女子は14歳でADULT（成人の骨格）となる。

ストレッチング：柔軟性（関節可動域）の向上と疲労回復を通じてスポーツ選手の傷害予防を目的とする体操のことである。

ウォーミングアップ：主運動を行う前に、主運動を安全にかつ効率よく行うために身体を準備する運動のことである。一般的には、徒手体操やランニング、ストレッチングなどが代表的である。

クーリングダウン：主運動を終えた後に心と身体の疲労の早期回復を目的とし、障害因子として残存しないようにする整理運動のことである。一般的には、軽いランニング、アイシング、ストレッチング、マッサージ、入浴などがあげられる。

コンディショニング：スポーツ選手が、その競技で最高の能力を発揮するために、心身の状態を調節することである。

関連論文

本研究は，以下の論文を基礎にし，未発表データを加えて，さらに拡大，発展させたものである．

- 1) 木下裕光，宮川俊平，向井直樹，河野一郎：筋弾性計を用いた膝伸展機構障害の予防指標開発の試み（第1報）．
日臨スポーツ医会誌，12：278-281，2004．
- 2) 木下裕光，宮川俊平：筋のタイトネスとストレッチ．
体育の科学，56：710-713，2006．
- 3) 木下裕光，宮川俊平，向井直樹，河野一郎：成長期男子サッカー選手における膝伸展機構の筋硬度の検討．
日整外スポーツ医会誌，25：399-402，2006．
- 4) Kinoshita, H., Miyakawa, S., Mukai, N., Kono, I.:
Measurement of tissue hardness for evaluating
flexibility of the knee extensor mechanism. *Football
Science* 4: 15-20, 2006.

目次

第 章 緒言	1 頁
1 . 研究の背景	1
2 . 研究の目的	7
3 . 検討すべき研究課題および本研究の構成	8
1) 検討すべき研究課題	8
2) 本研究の構成	8
第 章 膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係	10
1 . 目的	10
2 . 対象と方法	11
1) 対象	11
2) 身体特性の計測	11
3) 筋硬度測定方法	12
(1) 測定肢位	12
(2) 膝伸展機構の長さとの筋硬度の測定	12
(3) 筋硬度測定装置	14
(4) 統計処理	14
3 . 結果	15
1) 筋硬度と性差	15
2) 筋硬度と身体特性	15
3) 筋硬度と膝伸展機構長	17
4 . 考察	19
1) スポーツ障害と筋柔軟性	19
2) 筋硬度の測定に影響を与える因子	22
3) 筋柔軟性と筋硬度	23
5 . 本章のまとめ	25
第 章 膝伸展機構の筋硬度と成長段階の関係	26
1 . 目的	26
2 . 対象と方法	27

1) 対象	27
2) 測定方法	27
(1) 筋硬度の測定	27
(2) 成長段階の調査	27
(3) 統計処理	29
3 . 結果	30
1) 被験者の身体特性	30
2) 成長段階と筋硬度	31
4 . 考察	33
5 . 本章のまとめ	35
第 章 膝伸展機構の筋硬度とスポーツ障害発症の関係	36
1 . 目的	36
2 . 対象と方法	37
1) 対象	37
2) 測定方法	37
(1) 調査開始時の身体特性	37
(2) スポーツ障害発症調査	37
(3) 統計処理	38
3 . 結果	39
1) 調査開始時の身体特性	39
2) スポーツ障害の発症	41
3) スポーツ障害発症と筋硬度の関係	43
4 . 考察	44
5 . 本章のまとめ	46
第 章 膝伸展機構スポーツ障害のリスク因子分析	47
1 . 目的	47
2 . 対象と方法	48
1) 対象	48
2) 方法	48
(1) 調査項目	48
(2) 解析方法	50
3 . 結果	51

1) 調査項目における障害発症者と非発症者の比較	51
2) 障害を発症した下肢と発症しなかった下肢の比較	53
3) 障害発症の要因解析	54
4 . 考察	56
5 . 本章のまとめ	61
終章 本研究のまとめ	62
1 . 研究のまとめ	62
1) 膝伸展機構の柔軟性の指標	62
2) 膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係	62
3) 成長期スポーツ選手における膝伸展機構の筋硬度	63
4) 筋硬度と膝伸展機構障害発症の関係	63
5) 膝伸展機構障害発症のリスク因子	64
2 . 今後の展望	65
謝辞	67
参考文献	69

第 章

緒言

1 . 研究の背景

わが国においては，社会の文明化や高齢化が急激に進展したため，体を動かす機会が減少しつつあり，それに伴う生活習慣病の増加，要介護者の増加，医療費の高騰などが大きな社会問題となっている．このような状況に対して，国民の健康の保持増進や活力のある健康的な社会の構築を目的として，平成 12 年にスポーツ振興基本計画が策定された．その目標の 1 つに，国民の誰もが生涯にわたりスポーツに親しむことができる「生涯スポーツ社会」を実現することがあげられている（小笠原ほか，2005）．また，平成 9 年に保健体育審議会がまとめた「生涯にわたる心身の健康の保持増進のための今後の健康に関する教育及びスポーツの振興の在り方について」には，21 世紀のわが国の生涯スポーツの基本的な考え方，指針，方針が示されている．その中で，生涯スポーツ社会の実現のためには，ライフステージ別にスポーツとの望ましい関係をとらえる必要があると述べている．ライフステージは，乳幼児期，児童期，青年期（前期，後期），壮年期，中年期，老年期（前期，後期）に区分され，特に，成長期が含まれる青年期前期（中学生，高校生）は，この時期に豊富なスポーツ経験を持つことが，その後のライフステージにおけるスポ

スポーツ習慣の形成に大きく影響を及ぼす重要な時期とされている(日下ほか, 2001)。一方で, 成長期はスポーツ障害を来しやすい時期であり, 障害あるいは, その後遺症により長期の安静や手術が必要になることがある(Mital, et al, 1980; Krause, et al, 1990; 中嶋寛之, 1994; 古賀, 1995; 平野ほか, 2000; 柚木ほか, 2006)。さらには, その後のスポーツ活動を断念することもあり, 障害の発症予防が特に重要と考える。

スポーツにおいて膝関節は, 走る, 跳ぶ, 蹴る, 軸足として支持するなど重要な役割をはたしており, 特に膝伸展機構は, オスグッド病, ジャンパー膝, Sinding-Larsen-Johansson病など成長期スポーツ障害の好発部位である(Ekstrand, 1994; 正田ほか, 1994; Krivickas, 1997)。その原因として以下の解剖学的特徴が考えられている。下肢長径成長の約7割は大腿骨遠位と脛骨近位の骨端線で生じ, 急激な骨成長により, 膝関節周辺の軟部固有組織, 特に膝伸展機構の柔軟性が急激に低下する(Micheli, 1983; 古賀, 1996; Hawkins & Metheny, 2001; Hirano, et al, 2001)。膝関節を伸展させる膝伸展機構において, 人体最大の筋肉である大腿四頭筋の停止部が膝蓋骨から急に幅を減じ, 膝蓋腱を経て, 脛骨粗面に狭い面積で付着しており, 膝蓋骨, 膝蓋腱, 脛骨粗面が力学的な弱点となっている(古賀, 1995)。膝伸展機構の停止部である脛骨粗面は, 成長期に骨化過程の未熟な骨端軟骨を含んでいる(Ehrenborg, et al, 1961; Ogden & Southwick, 1976; 平野ほか, 2000; 広瀬, 2006)。以上の特徴に加え, 様々

な要因により，成長期に膝伸展機構のスポーツ障害を発症すると考えられている．様々な要因の中でも，膝伸展機構の柔軟性の評価は，成長期の膝関節スポーツ障害のメディカルチェックにおいて重要な測定項目である(Kibler, et al, 1989)．膝伸展機構の柔軟性については，“尻上がり現象”の有無(Elyテスト，図1-1)を調べるのが一般的であるが(中嶋, 1985; Bleck, 1987; Micheli, 1987; 下條, 1994; Krivickas, 1997)，定量的な評価が困難であり，踵部殿部間距離の測定や反力計を用いた評価法が試みられている(鳥居, 1993; Koga, et al, 1999; 田中ほか, 2000)．しかし，これらの測定方法は関節包や靭帯などの関節構成体の影響を受けるなどの制約があり，膝伸展機構の柔軟性の評価やスポーツ障害発症の予測について，スポーツ現場で定量的かつ簡便に評価する方法は確立されていない(Jones & Wright, 1962; Gilbert & McHugh, 1997)．



図 1 - 1 膝伸展機構の柔軟性検査（Elyテスト）

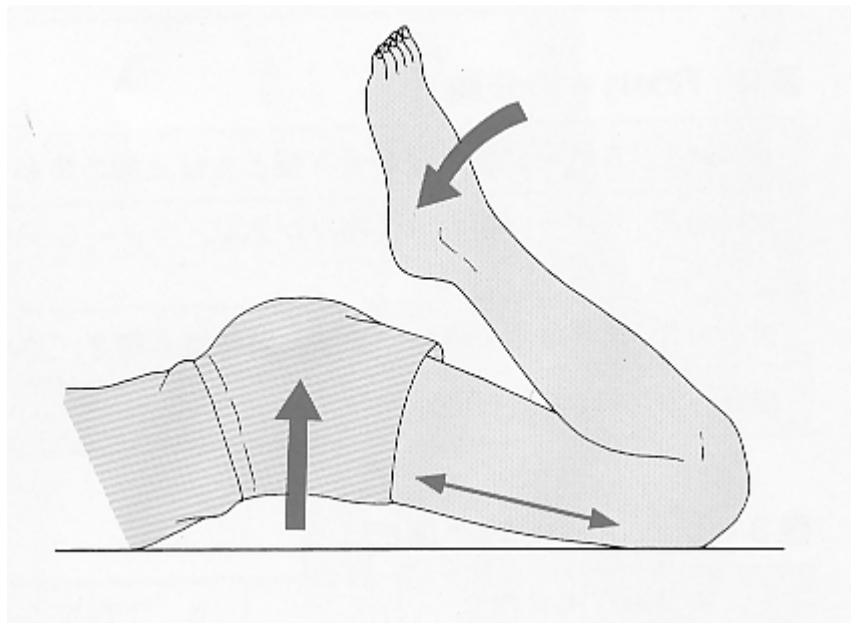


図 1 - 2 尻上がり現象（文献 46 から引用）

著者は、整形外科医であり、またスポーツドクターとして（社）大阪府サッカー協会や（財）日本サッカー協会における活動を通じて、サッカー選手のメディカルチェックに携わることがあるが、現在行われている測定項目がスポーツ障害の予防や早期発見に有効であるのか疑問に思うことが少なくない（木下ほか，2005）。膝伸展機構傷害の発症を予測し、予防につながるような新しい指標はないかと考えるようになったことが本研究を始める発端となった。

近年、スポーツや作業による筋肉疲労の指標としての「筋硬度」を皮膚の表面から測定する目的で圧入式生体用組織硬度計（以下、筋硬度計）が研究、開発された（土居，小林，1988；Horikawa, et al, 1993；Komiyama, et al, 1996；有馬ほか，1997；堀川ほか，1997；Murayama, et al, 2000；Leonard, et al, 2003；Arokoski, et al, 2005）。無侵襲的に測定が可能であり、小型軽量で携帯性や操作性に優れ、しかも測定角度に影響を受けず、一定の精度をもつ機種もあり（図1-3）、研究室のみならず、臨床やスポーツの現場で用いられている（宮本ほか，2003；曾我部ほか，2003；宮川・木下，2004；宮川ほか，2005；木下・宮川，2006）。Komiyamaらは、肘関節を伸展し、上腕二頭筋が伸長されるときに筋硬度が増加すると報告した。すなわち、筋硬度は、その筋肉が関連する関節角度の変化に応じて変化し、筋肉が伸長される関節運動時には筋硬度が増加するという特性がある（Komiyama, et al, 1996；Murayama, et al, 2000）。この特性を利用すれば、膝伸展機構においても膝関節を屈曲したときに膝伸展機構が伸長され、

筋硬度が増加すると考えられた。筋柔軟性の測定とは、筋 - 腱ユニットを伸長する能力を評価することである (Gilbert & McHugh, 1997)。このため、伸長された筋 - 腱ユニットの筋硬度を測定することにより、筋柔軟性を評価できる可能性がある。筋硬度が膝伸展機構の柔軟性の指標となれば、その測定により、膝伸展機構におけるスポーツ障害発症の新しい予測指標となりうると考えられた。

以上より、本研究では筋硬度が膝伸展機構の柔軟性の指標となり、スポーツ障害発症の予測指標となる可能性があるという仮説を立てた。



図 1 - 3 筋硬度計 P E K - 1

2 . 研究の目的

本研究の目的は、成長期スポーツ選手における膝伸展機構の筋硬度が障害発症の予測指標となる可能性について検討することである。

3 . 検 討 す べ き 研 究 課 題 お よ び 本 研 究 の 構 成

1) 検 討 す べ き 研 究 課 題

【 研 究 課 題 1 】

健常成人を対象として，膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係を明らかにする．

【 研 究 課 題 2 】

成長期スポーツ選手における膝伸展機構の筋硬度とスポーツ障害発生の関連について，以下の項目を検討する．

(研 究 課 題 2 - 1)

横断的調査による膝伸展機構の筋硬度と成長段階の関係．

(研 究 課 題 2 - 2)

前向き研究による膝伸展機構の筋硬度とスポーツ障害発症の関係．

(研 究 課 題 2 - 3)

膝伸展機構スポーツ障害発症のリスク因子の解析．

2) 本 研 究 の 構 成

成長期スポーツ選手の膝伸展機構障害発症の予測指標として，筋硬度を応用する可能性について検討するために，第 1 章（研究課題 1）では，健常成人における膝伸展機構の伸長

と筋硬度の関係を調べた。また，筋硬度の測定に影響を与えると考えられた因子についても検討した。

第～章では，成長期スポーツ選手の膝伸展機構の筋硬度を測定し，スポーツ障害発症との関係について調べた。

第章（研究課題2-1）では，成長期スポーツ選手に対して横断的調査を行い，膝伸展機構の筋硬度と成長段階を調べ，成長の思春期スパートにおける急激な骨成長が筋硬度にどのような影響を及ぼすかについて調査した。

第章（研究課題2-2）では，1年間の前向き研究により，成長期スポーツ選手の膝伸展機構の筋硬度を予めメディカルチェックにおいて計測し，スポーツ障害発症との関係について調査した。

第章（研究課題2-3）では，研究課題2-2において計測した膝伸展機構の筋硬度と筋硬度以外のメディカルチェック項目や1年間の身長や体重の増加量について多変量解析を行い，スポーツ障害発症のリスク因子について検討した。

終章では，本研究の限界や問題点について検討し，今後の研究課題や展望について述べた。

第 章

研究課題 1

膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係

1 . 目的

本章では、筋硬度が膝伸展機構の筋柔軟性の指標となる可能性を明らかにするために、健常成人における膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係について調べることを目的とした。また、膝伸展機構の筋硬度測定に影響を与えると考えられる因子について検討した。

2 . 対象と方法

1) 対象

膝伸展機構に傷害の既往がない筑波大学大学院体育研究科に属する健常成人 20 名 (男 10 名 , 女 10 名 ; 平均年齢 \pm 標準偏差 23.0 ± 1.1 歳) , 40 肢を対象とした .

2) 身体特性の計測

各被験者について , 予め身体特性に関する測定を行った . 測定項目は , 身長 (cm) , 体重 (kg) , 仰臥位・膝伸展位における膝伸展機構の長さ (cm ; 以下 , 膝伸展機構長) , 大腿周囲径 (cm) , 大腿部皮下脂肪厚 (mm) , および , 大腿四頭筋筋力 (Nm/kg) であった . 身長と体重の計測結果から , body mass index (BMI) を算出した . 膝伸展機構長は , 下前腸骨棘から脛骨粗面までの距離とした . 大腿周囲径は , 膝伸展機構の midpoint の高さで測定した . 大腿部皮下脂肪厚は , 膝伸展機構の midpoint で大腿前面の中央部位をキャリパー法に準じて計測した (高橋・飯田 , 2004) . 大腿四頭筋筋力は , Biodex Medical Systems 社製多用途筋力機能評価訓練装置 (バイオデックス・システム 4) を用い , 秒速 60 度における膝伸展等速性筋収縮のピークトルクを計測し , 体重あたりの相対値 (Nm/kg) を算出した (松尾 , 2004) .

3) 筋硬度測定方法

(1) 測定肢位

被験者をバイオデックス・システム付属椅子に仰臥位で固定し、膝関節角度のモニターを行いながら、膝関節角度（0度、30度、60度、90度、深屈曲位）における膝伸展機構長と筋硬度を測定した（図2-1）。バイオデックス・システム付属椅子上の膝関節深屈曲位の平均膝関節角度は 107.9 ± 5.9 度であった。



図 2 - 1 筋硬度測定

(2) 膝伸展機構の長さ と筋硬度の測定

膝伸展機構長は、下前腸骨棘から脛骨粗面までの距離とした。筋硬度は、各々の肢位における大腿の前面中央で膝伸展

機構の中心において測定を行った。筋硬度の測定中は被験者をリラックスさせ、測定部位の筋肉に力を入れないように指示した。筋硬度は3回の測定の平均値を測定値とした。

膝伸展機構長と筋硬度の関係については、各々の膝屈曲角度における筋硬度と膝伸展機構長の値をプロットし、その関係について検討した。さらに、筋硬度の変化率（膝伸展位の値との比較）と膝伸展機構長の変化率（膝伸展位の値との比較）の値をプロットし、その関係について検討した（表2-1）。

表2-1 膝伸展機構長の変化率と筋硬度の変化率の計算式^a

角度	0	30	60	90	深屈曲
KEML	L1	L2	L3	L4	L5
筋硬度	S1	S2	S3	S4	S5
	KEMLの 変化率	$\frac{L2-L1}{L1}$	$\frac{L3-L1}{L1}$	$\frac{L4-L1}{L1}$	$\frac{L5-L1}{L1}$
	筋硬度の 変化率	$\frac{S2-S1}{S1}$	$\frac{S3-S1}{S1}$	$\frac{S4-S1}{S1}$	$\frac{S5-S1}{S1}$

^a 角度：膝屈曲角度，筋硬度：膝伸展機構の筋硬度，

KEML：Knee Extensor Mechanism Length（膝伸展機構長）

(3) 筋 硬 度 測 定 装 置

筋 硬 度 測 定 装 置 は ， (株) 井 元 製 作 所 製 の 筋 弾 性 計 (Muscle Meter PEK-1) を 用 いた 。 本 装 置 の 先 端 子 は ， 主 針 お よ び 副 筒 に よ り 構 成 さ れ て いる 。 測 定 は ， バ ネ 定 数 の 異 な る 主 針 お よ び 副 筒 を 測 定 部 位 に 押 し つ け る こ と に よ り 行 う (圧 入 式) 。 測 定 部 位 に 押 し つ け ら れ た 主 針 お よ び 副 筒 は ， 本 体 の 円 筒 部 の 中 に 入 り 込 み ， 副 筒 が 予 め 設 定 さ れ た 距 離 に 移 動 し た と き の 主 針 の 移 動 距 離 を 硬 さ の 指 標 と し て 用 いる 。 測 定 値 0 ~ 99 の 範 囲 で 本 体 の 液 晶 に 表 示 さ れ る 。 測 定 の 精 度 に 関 し て は ， 測 定 対 象 と 装 置 の 角 度 に よ ら ず ， 一 定 の 精 度 を 保 つ こ と が 検 証 さ れ て いる (曾 我 部 ほ か ， 2003) 。

(4) 統 計 処 理

統 計 学 的 解 析 に 関 し て ， 測 定 値 は ， す べ て 平 均 \pm 標 準 偏 差 で 記 載 し た 。 各 々 の 関 節 角 度 に お け る 膝 伸 展 機 構 長 ， 筋 硬 度 の 平 均 値 の 差 に 関 し て は ， 1 元 配 置 分 散 分 析 を 行 い ， 平 均 値 に 差 を 認 め た 場 合 ， Tukey の 多 重 比 較 を 行 っ た 。 ま た ， 筋 硬 度 の 測 定 に 影 響 す る 身 体 特 性 を 調 べ る た め に ， 筋 硬 度 を 従 属 変 数 ， 影 響 を 与 え る と 考 え ら れ た 身 体 的 特 性 を 独 立 変 数 と し て 重 回 帰 分 析 を 行 っ た 。 な お ， 統 計 処 理 の 有 意 性 は ， 危 険 率 5 % 水 準 で 判 定 し た 。

3 . 結果

1) 筋硬度と性差

膝伸展位における膝伸展機構の筋硬度は , 51.4 ± 3.2 であった . 筋硬度の性差は , 男性 : 51.2 ± 2.8 , 女性 : 51.5 ± 3.5 であり , 有意差を認めなかった (表 2 - 2) .

表 2 - 2 膝伸展機構の筋硬度 (膝伸展位) の性差

	男性	女性
右	52.1 ± 2.7	52.6 ± 2.7
左	50.4 ± 2.8	50.4 ± 4.1
全体	51.2 ± 2.8	51.5 ± 3.5

2) 筋硬度と身体特性

筋硬度の測定に影響を及ぼすと考えられた身体特性について , BMI , 両側の大腿周囲径 , 左脚の大腿四頭筋筋力は女性よりも男性で高い値を示した (表 2 - 3) . 膝伸展位における膝伸展機構の筋硬度を従属変数 , 身体特性の各項目である BMI , 大腿周囲径 , 大腿部皮下脂肪厚 , および , 大腿四頭筋筋力を独立変数として重回帰分析を行ったところ , すべての項目で有意確率が 0.05 より , 大きく , 有意な関連を認めなかった (表 2 - 4) .

表 2 - 3 身体特性

身体特性	男性 (N=10)	女性 (N=10)	全体 (N=20)
BMI	23.4 ± 1.7*	20.9 ± 1.8	22.2 ± 2.1
大腿周囲径 (c m)			
右	52.4 ± 1.9*	49.0 ± 3.3	50.7 ± 3.2
左	52.1 ± 2.0*	48.4 ± 2.9	50.3 ± 3.1
皮下脂肪厚 (m m)			
右	16.1 ± 7.5	18.7 ± 6.4	17.4 ± 6.9
左	15.7 ± 9.7	17.7 ± 7.6	16.7 ± 8.5
膝伸展筋力 (Nm/kg)			
右	303.5 ± 48.2	277.4 ± 31.6	290.5 ± 41.9
左	312.4 ± 43.9*	265.1 ± 38.0	288.8 ± 46.8

* 女性と比べ有意に高かった, P<0.05

表 2 - 4 筋硬度を従属変数とした重回帰分析における各身体特性の有意確率

身体特性	有意確率
BMI	0.59
大腿周囲径	0.32
皮下脂肪厚	0.45
膝伸展筋力	0.74

3) 筋硬度と膝伸展機構長

膝関節角度が増加するに従い，筋硬度と膝伸展機構長は増加した（表 2 - 5）．筋硬度と膝伸展機構長の分布は，有意な正の相関関係を示した（相関係数 0.35， $p < 0.05$ ）．また，各々の膝屈曲角度における筋硬度の変化率（膝伸展位の値との比較）と膝伸展機構長の変化率（膝伸展位の値との比較）の分布においても有意な正の相関を示した（相関係数 0.70， $p < 0.01$ ，図 2 - 2）．

表 2 - 5 膝関節角度の変化による膝伸展機構の長さ と筋硬度 (N=40)

膝屈曲角度	0	30	60	90	深屈曲
長さ (cm) ^a	47.9±3.2	50.6±3.5*	53.2±3.4*	55.2±3.5*	56.4±3.8*
筋硬度 ^b	51.4±3.2	52.4±3.1	55.1±3.3*	57.6±3.4*	59.0±3.6*

a: 膝伸展機構の長さ，b: 膝伸展機構の筋硬度．

*: 膝屈曲角度 0 度（伸展位）と比較して有意に高かった（ $p < 0.05$ ）．

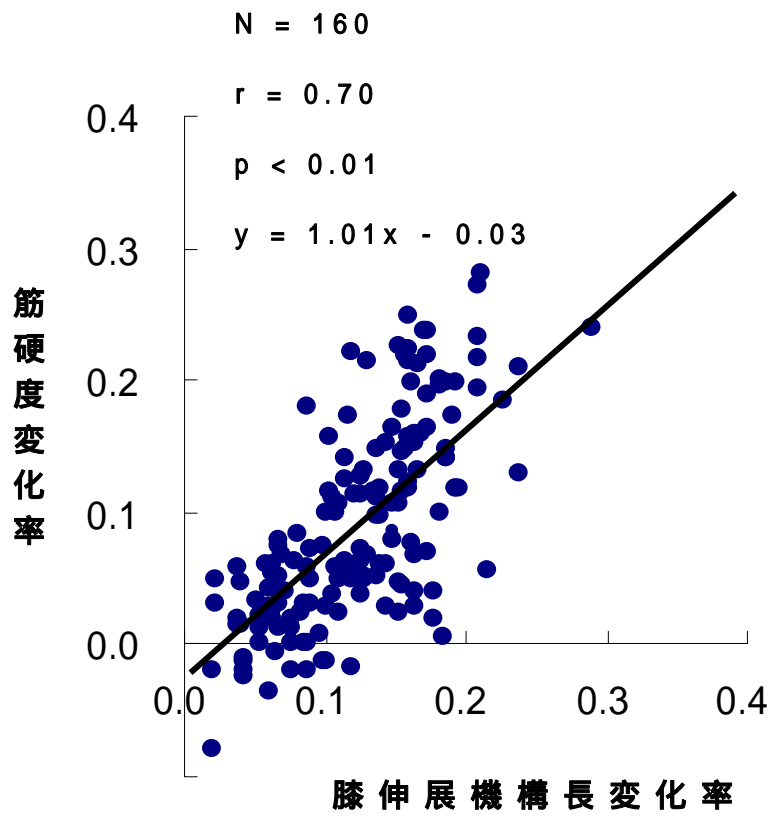


図 2 - 2 膝伸展機構における長さの変化率と筋硬度の変化率の関係

4 . 考 察

1) スポーツ障害と筋柔軟性

スポーツ障害の要因は様々であるが，内的（身体的）要因と外的要因に大別される．内的要因として，筋-腱ユニットの柔軟性（以下，筋柔軟性），アライメント，筋力などの身体的要因や心理的要因があり，外的要因としてトレーニング内容，トレーニング量，環境，用具などがあげられる (Taimela, et al, 1990; 武藤, 1992)．内的要因として，筋柔軟性の低下は重要なリスク因子の1つと考えられており，筋柔軟性を高めるために，スポーツ活動の前にストレッチングを含むウォーミングアップが様々なスポーツ現場で広く実施されている (Ekstrand, et al, 1983; Wiktorsson-Moller, et al, 1983; 山本, 1990; Smith, et al, 1991; van Mechelen, et al, 1993; Gilbert & McHugh, 1997; Witvrouw, et al, 2001; Witvrouw, et al, 2003; LaRoche, et al, 2006)．しかしながら，前向き研究による筋柔軟性低下と下肢障害発症の因果関係については，議論が分かれている．Ekstrandら，Smithら，Witvrouwらは，筋柔軟性の低下が大腿内転筋の障害，膝前部痛，ハムストリング・大腿の筋損傷と関連があると報告した (Ekstrand, et al, 1983; Smith, et al, 1991; Witvrouw, et al, 2001; Witvrouw, et al, 2003)．Wiktorsson-Mollerらは，ウォーミングアップ・クーリングダウン・ストレッチングによって下肢の筋柔軟性が向上したと報告している (Wiktorsson-Moller, et al, 1983)．一方，van Mechelen

らはランナーに対する前向き介入研究で，ウォーミングアップ・クーリングダウン・ストレッチングを行っても下肢の障害発症を抑制することができなかったと報告している（van Mechelen, et al, 1993）. Herbert らは，ストレッチングと障害発症の報告に対する systematic review を行い，ストレッチングと下肢障害抑制との間に有意な関連を認めなかったと述べている（Herbert & Gabriel, 2002）.

筋柔軟性は，筋 - 腱ユニットを伸長させる能力を評価するが，静的柔軟性と動的柔軟性がある（Gilbert & McHugh, 1997）. 静的柔軟性は，その筋 - 腱ユニットが関与する関節の可動域（range of motion; 以下，ROM）を測定するのが一般的である．メディカルチェックにおいて膝伸展機構の柔軟性を検査するために，膝関節を屈曲させて尻上がり現象をみる Ely テストや踵部臀部間距離が測定されている．これらの評価方法は簡便でスポーツ現場においても測定が可能であるが，片側に膝伸展機構障害があるにも関わらず，尻上がり現象を認めず，踵部臀部間距離にも左右差がない場合がある（広瀬，2006）. さらに，ROM の低下が筋柔軟性の低下によるものか関節包や靭帯などの関節構成体の異常によるものか判別がつかない場合がある（Gilbert & McHugh, 1997; Chleboun, et al, 1998）. このため，ROM の測定による筋柔軟性の評価は正確ではないと考える．

動的柔軟性は，スティフネス（stiffness）を評価する．スティフネスは，組織の長軸方向に緊張を加えたとき，一定の長さ（ l ）の変化を与えるのに要する力（ P ）と定義されてい

る。図 2 - 3 の直線の傾き dP / dl がステイフネスである (Woledge, et al, 1985)。筋 - ユニットが短縮した状態や伸長された状態から, 筋 - ユニットのさらに伸長させるには, より大きな力が必要となる。このような状態がステイフネスの増加, または筋柔軟性の低下と言われている。このステイフネスを正確に評価するためには, 筋肉を採取して加えられた張力と長さの変化を測定しなければならないが, 生体では測定できないので, 間接的な測定が行われている (Chleboun, et al, 1998)。その 1 つに反力計などの歪みゲージ (strain gauge) を用いて, 関節の角度を変化させて, 標的とする筋肉が伸長する運動の抵抗を測定する方法がある (Koga, et al, 1999; 田中ほか, 2000)。この方法も関節構成体の影響を受ける上に, スポーツ現場での測定が困難である。このように筋柔軟性とスポーツ障害発症の因果関係が明らかにならないのは, 筋柔軟性の定義と評価が確立していないことが原因と考えられている (Gilbert & McHugh, 1997)。

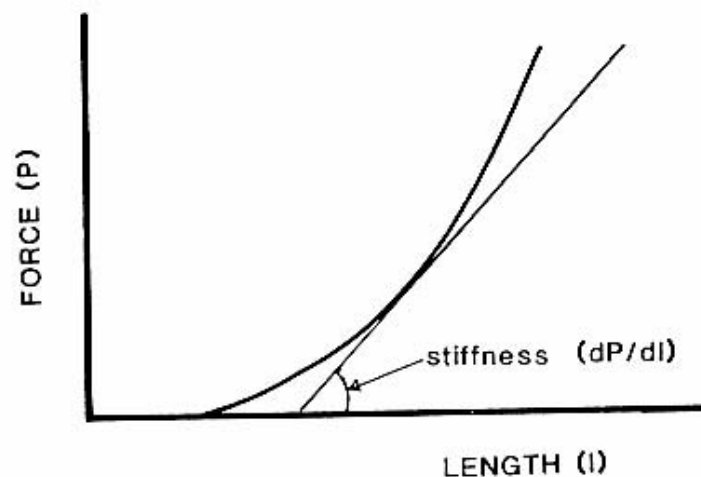


図 2 - 3 筋肉のステイフネス (文献 11 より引用)

2) 筋硬度の測定に影響を与える因子

本研究で測定した筋硬度は、筋肉を皮膚の上から押したときの反発力、すなわちハードネスを測定する方法であり、筋疲労によって筋肉のハードネスが増大することが報告されている（土居，小林，1988；Horikawa, et al, 1993；Komiya, et al, 1996；堀川ほか，1997；Murayama, et al, 2000）。この方法は、関節を動かさずに標的とする筋肉の硬度を測定するため、関節構成体の影響は受けないという利点があるが、皮膚の上から測定するため皮膚や皮下脂肪の影響を受けることが考えられる。土居らは、水泳選手における運動前後の筋硬度を測定した結果、皮下脂肪厚に変化はみられず、筋の硬さだけが増加していたことから、筋硬度の測定において、皮下脂肪厚の影響は少ないと報告している（土居，小林，1988）。本研究においても皮下脂肪厚の平均値が17mm前後であったため、皮下脂肪厚の影響は少ないという結果であったが、皮下脂肪が厚い被験者の場合は、筋硬度に影響する可能性がある。

本研究における筋硬度の測定点は、関節角度に関わらず、膝伸展機構の midpoint であったが、関節角度の変化により、測定点と筋肉の位置にずれが生じる可能性がある。また、筋収縮が筋硬度に影響を及ぼす可能性があり、筋硬度測定中は被検者をリラックスさせ、測定部位の筋肉に力を入れないように指示したが、筋電図によって筋収縮がないことを確認したほうが測定の信頼性が増すと思われた。

このように、筋硬度の測定には筋疲労、皮下脂肪厚、筋収

縮など様々な因子が影響を及ぼすと考えられるが，本研究においては，性差，BMI，大腿周囲径，皮下脂肪厚，大腿四頭筋筋力などの身体特性による影響は少なかった．

3) 筋柔軟性と筋硬度

上腕二頭筋の筋硬度を調査した研究で，関節角度の変化によって，筋硬度が変化することが報告されている．特に，肘関節を伸展し，上腕二頭筋が伸長されるときに筋硬度が増加した (Komiya, et al, 1996; Murayama, et al, 2000)．本研究においても，膝関節の屈曲に伴い，膝伸展機構長が増加し，筋硬度も増加した．また，膝伸展機構長と筋硬度は有意な正の相関関係を示したことから，膝伸展機構の伸長を筋硬度によって評価する可能性が示唆された．本研究で計測した範囲においては，膝伸展機構長と筋硬度の関係は直線回帰を示すと考えられたが，膝伸展機構は引っ張り張力に対して，粘弾性特性を示すと考えられるので，より詳細な関係を求めるためには，動物実験において，筋 - 腱ユニットを切離して検討する必要がある (Alter, 1988; Lamontagne, et al, 1997)．

Anderson らの 1 歳から 18 歳まで大腿骨長を縦断的に測定した研究によれば，10 歳から 18 歳の成長期男子（おそらく英国人）における大腿骨長の最大増加量は平均 2.1 cm / 年（12 歳から 13 歳）であった (Anderson, et al, 1963)．田原らによれば，日本人男子の身長標準化成長速度曲線から得られた成長期スパートの開始である take off age は，10.7 歳，身長年間増加量が最大となる peak height age が 13.7

歳であった。take off age から peak height age までの約 3 年間は、Phase 2 と呼ばれ、急激な骨成長を認める時期である（田原ら、1987）。この 3 年間で、Anderson らの研究対象において大腿骨長は約 6 cm 増加していた。Anderson らの研究対象の 18 歳時の平均身長が 175.9cm、田原らの研究対象の最終身長（年間身長増加量が 1cm 以下となった年齢）が 169.7 cm であったことを考慮して、日本人成長期男子では、膝伸展機構長の増加は Phase 2 の 3 年間に 5 ~ 6 cm の大腿骨長の増加が見込まれる。本研究では、膝伸展位から膝屈曲 60 度までに約 5 cm の膝伸展機構長の増加を認め、筋硬度も有意に増加した。成長による膝伸展機構の伸長は、膝屈曲による急激な伸長とは異なるが、膝関節の屈曲による膝伸展機構の伸長は、思春期スパート期の急激な骨成長による膝伸展機構伸長のシミュレーションとなりうると考えられた。

以上より、筋硬度の測定によって、成長期スポーツ選手における膝伸展機構の筋柔軟性を評価できることが示唆された。

5 . 本章のまとめ

膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係を評価することを試みた。膝の屈曲によって膝伸展機構長と筋硬度が有意に増加し、相対的膝伸展機構長と相対的筋硬度の分布において有意な正の相関関係を認めた。以上より、膝伸展機構の柔軟性を筋硬度の測定によって評価できる可能性があることが示唆された。また、健常成人の膝伸展位における膝伸展機構の筋硬度は、性別、身体特性による影響が少ないことがわかった。

第 章

研究課題 2 - 1

膝伸展機構の筋硬度と成長段階の関係

1 . 目的

研究課題 1 において , 膝伸展機構の伸長と筋硬度の間に正の相関があることが明らかとなった . 膝伸展機構が伸長されて , 柔軟性が低下した状態では筋硬度が高値を示すことが予想される .

成長の思春期スパートの時期には , 骨格の急激な成長によって伸長された膝伸展機構の柔軟性が低下するといわれている . このため , 膝伸展機構の筋硬度は , 成長段階の思春期スパートにおいて , 他の成長段階より高値を示すという仮説を立てた .

本章では , 成長期男子サッカー選手に対して横断的調査を行い , 膝伸展機構の筋硬度と成長段階との関係について検討した .

2 . 対象と方法

1) 対象

少年サッカークラブまたは中学・高校のサッカー部に所属する(小学生 59 名, 中学生 43 名, 高校生 40 名)成長期男子サッカー選手 142 名, 284 肢(9 歳 ~ 17 歳, 平均年齢 13.0 ± 2.5 歳)を対象とした。

2) 測定方法

(1) 筋硬度の測定

対象者に仰臥位, 膝伸展位の姿勢をとらせ, 両側の膝伸展機構の筋硬度(任意単位)を測定した。筋硬度の測定は, 研究課題 1 と同様の方法で行った。

(2) 成長段階の調査

被験者の年齢と学校定期検診時の 1 年毎の身長測定記録(小学校 1 年から測定時年齢まで)を調査した。身長測定記録から身長の成長速度曲線(Fig.1)を描き, 測定時の成長段階を求めた。成長段階は, 村田の方法に従い 4 つの phase に分類した。すなわち, 思春期スパートの立ち上がり年齢(take-off age; 以下, TOA) までを phase 1, TOA から身長最大発育量を示す時の年齢(以下, PHA) までを phase 2, PHA から最終身長時年齢(年間身長増加量が 1 cm 以内となった年齢; 以下, FHA) までを phase 3, FHA 以降を phase 4 とした(村田, 1988; 図 3 - 1)。

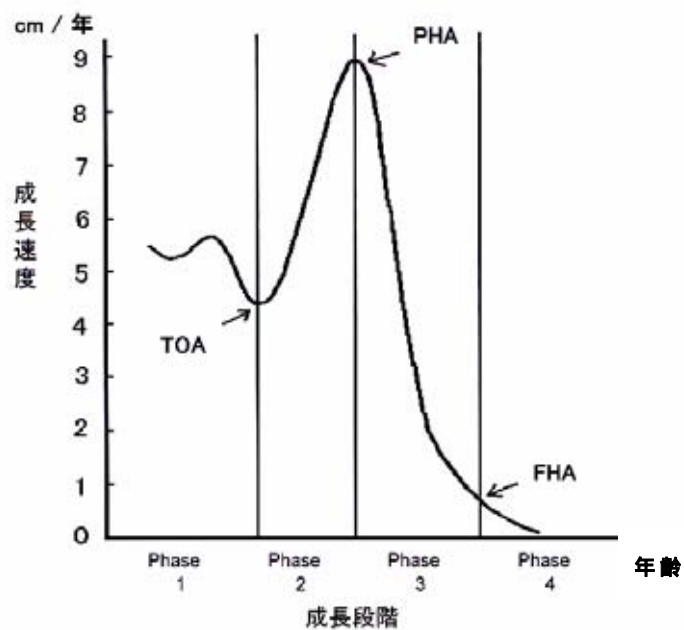


図 3 - 1 成長速度曲線における 4 つの phase (文献 23 より改変)

Phase 1 : 思春期スパートの立ち上がり年齢 (TOA) まで

Phase 2 : TOA から身長最大発育量を示す時の年齢 (PHA) まで

Phase 3 : PHA から最終身長時年齢 (FHA) まで

Phase 4 : FHA 以降

(3) 統計処理

統計学的解析に関して，測定値は平均 ± 標準偏差で記載した．成長速度曲線の各 phase における筋硬度の平均値の差に関しては，1 元配置分散分析を行い，平均値に差を認めた場合，Tukey の多重比較を行った．なお，統計処理の有意性は，危険率 5 % 水準で判定した．

3 . 結果

1) 被験者の身体特性

測定時の被験者の特徴は、年齢 13.0 ± 2.5 歳、身長 157.3 ± 15.0 cm、体重 47.5 ± 13.2 kg であった。成長速度曲線の phase による分類を行った結果、phase 1 が 55 名、phase 2 が 18 名、phase 3 が 64 名、phase 4 が 5 名であった。各々の成長段階における身体特性を表 3 - 1 に示した。

表 3 - 1 各成長段階における身体特性

phase	N	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
1	55	10.5 ± 1.1	141.8 ± 9.4	35.1 ± 8.3
2	18	12.5 ± 1.5	156.3 ± 9.1	45.8 ± 7.4
3	64	15.1 ± 1.2	169.4 ± 5.1	57.6 ± 6.8
4	5	16.2 ± 0.4	172.5 ± 5.0	67.7 ± 4.1
合計	142	13.0 ± 2.5	157.3 ± 15.0	47.5 ± 13.2

2) 成長段階と筋硬度

筋硬度の全体平均値は、 54.9 ± 3.0 (N=284; 右 55.2 ± 2.9 , 左 54.5 ± 3.1) であった。成長の各段階における筋硬度は、両脚において phase 1 と比べて、phase 2 と phase 3 が有意に高く ($p < 0.05$)、右脚のみでは、phase 1 と比べて、phase 2 が高い傾向を示し、phase 3 は有意に高かった。左脚も同様であった (表 3 - 2)。思春期スパートである phase 2 と phase 3 を合わせた筋硬度の平均値は、その他の期間 (phase 1 と phase 4) を合わせた平均値よりも有意に高値を示した ($p < 0.01$; 表 3 - 3)。

表 3 - 2 各成長段階における膝伸展機構の筋硬度

phase	N	右脚	左脚	全体
1	55	54.1 ± 3.1	53.2 ± 3.2	53.6 ± 3.1
2	18	55.7 ± 2.4	54.5 ± 2.9	$55.1 \pm 2.7^*$
3	64	$56.1 \pm 2.6^*$	$55.7 \pm 2.5^*$	$55.9 \pm 2.5^{**}$
4	5	55.7 ± 2.5	52.6 ± 3.7	54.1 ± 3.4
合計	142	55.2 ± 2.3	54.5 ± 3.1	54.9 ± 3.0

*, **: phase 1 と比較して有意に高かった。

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

表 3 - 3 思春期スパートとそれ以外の成長段階における筋硬度

	右	左	全体
思春期スパート ^a	56.0 ± 2.5*	55.4 ± 2.7*	55.7 ± 2.6*
思春期スパート以外 ^b	54.2 ± 3.0	53.2 ± 3.2	53.7 ± 3.1

a: 思春期スパートの成長段階: phase 2, phase 3; N=82.

b: 思春期スパート以外の成長段階: phase 1, phase 4; N=60.

*: 思春期スパート以外と比べて有意に高かった ($p < 0.01$).

4 . 考 察

成長期は本格的なスポーツ活動を開始する時期であり，使いすぎによるスポーツ障害(overuse injuries)が多発する．さらに，骨格発育の観点から，発育期，特に思春期スポーツ期には，骨の急激な成長によって筋腱が伸長されて，過緊張状態となり，スポーツ活動の負荷が引き金となってオスグッド病に代表される牽引性骨端症を発症するといわれている．Micheli は，このような成長による病態を "overgrowth injuries" と呼び，成長期のスポーツ障害を考える場合，overuse の要素とともに overgrowth を考慮する必要があると提唱している (Micheli, 1983) .

今回の調査において，成長期男子サッカー選手の膝伸展機構の筋硬度を測定した結果，思春期スポーツの成長段階である phase 2, phase 3 に分類された選手の筋硬度が思春期スポーツ以外の成長段階である phase 1, phase 4 よりも有意に高かった．思春期スポーツの時期には，骨格の急激な成長により，膝伸展機構が伸長されて過緊張状態にあり，筋硬度が高値になると推察された (関口, 1993) .

成長期スポーツ選手の指導においては，個人差が大きく，個人の発達段階に合わせた指導が重要であるといわれている (宮下, 1986; 村田, 1991) . 発達段階を評価する方法として，村田は学校の健康診断のデータから身長成長速度曲線を作成し，成長速度曲線の各 phase に合わせた練習指導方法を提唱している (村田, 1991) . さらに，関口らは身長成長速度

曲線の phase 2 に一致して，また，広瀬も phase 2，phase 3 に一致して，オスグッド病などの膝伸展機構障害が多発すると報告している（関口，1993，広瀬，2006）．一方で，学校の健康診断の身長記録の入手が困難である場合や標準的な成長速度曲線に当てはまらない場合などがあり，発達段階を正確に評価することができないことも経験する（松浦 2002）．その点，筋硬度測定はスポーツ現場において簡便に測定することが可能であり，測定結果を直ちに指導者や選手にフィードバックすることができるので有用であると考え（木下ほか，2006）．

5 . 本章のまとめ

成長期男子サッカー選手 142 名 , 284 肢の膝伸展機構の筋硬度と成長段階の関係を検討した . 思春期スパートの成長段階である phase 2 , phase 3 の選手の筋硬度は , 思春期スパート以外の成長段階である phase 1 , phase 4 の選手の筋硬度よりも有意に高値であった .

第 章

研究課題 2 - 2

膝伸展機構の筋硬度とスポーツ障害発症の関係

1 . 目的

研究課題 1 の結果から , 筋硬度の測定によって膝伸展機構の筋柔軟性を評価できることが示唆され , 研究課題 2 - 1 において , 思春期スポーツの成長段階であるスポーツ選手では , 筋硬度が高値を示し , 筋柔軟性が低下した状態であることが推察された .

本章では , 膝伸展機構において筋硬度が高値を示すスポーツ選手では , スポーツ障害を発症する可能性が高いという仮説を立て , 1 年間の前向き研究によって , 成長期スポーツ選手の膝伸展機構の筋硬度と障害発症の関係について検討した .

2 . 対象と方法

1) 対象

少年サッカークラブまたは中学・高校のサッカー部に所属する9歳から17歳の成長期男子サッカー選手92名(小学生33名,中学生34名,高校生25名:平均年齢 13.1 ± 2.5 歳),184肢を対象とした。競技レベルは,地域大会レベルであった。研究課題2-1と同様の方法で測定時の成長段階を求めた。

2) 測定方法

(1) 調査開始時の身体特性

調査開始時のメディカルチェックにおいて,被験者の身長,体重,利き足,膝伸展時における膝伸展機構の筋硬度を測定した。利き足はキック時の蹴り足,他方を軸足と定義した。筋硬度の測定方法は,研究課題2-1と同様に行った。

(2) スポーツ障害発症調査

メディカルチェック後の1年間,医師が1週間毎に検診を行い,直接検診および医療機関での診断をもとにスポーツ傷害の発症を記録した。これらのスポーツ傷害のうち,膝伸展機構の柔軟性の低下が関与すると考えられたスポーツ障害を発症した下肢(以下,発症群)とそれらの障害を発症しなかった下肢(以下,非発症群)について筋硬度を比較した。

(3) 統計処理

統計学的解析に関して，測定値は，すべて平均 ± 標準偏差で記載した．また，成長速度曲線の各 phase における筋硬度の平均値の差に関しては，1 元配置分散分析を行い，平均値に差を認められた場合，Tukey の多重比較を行った．スポーツ障害発症の有無に関する筋硬度の平均値の差に関しては t 検定を行った．なお，統計処理の有意性は，危険率 5 % 水準で判定した．

3 . 結果

1) 調査開始時の身体特性

調査開始時メディカルチェックにおける被検者の身体的特徴は，身長 158.0 ± 15.1 cm，体重 48.6 ± 13.1 kg であった．また，成長速度曲線の phase 分類による身体的特徴を表 4 - 1 に示した．

表 4 - 1 各成長段階における年齢，身体的特徴

Phase ^a	N	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
1	31	10.2 ± 1.0	139.9 ± 8.4	33.6 ± 7.0
2	13	12.2 ± 1.7	153.4 ± 7.4	44.4 ± 7.0
3	51	15.1 ± 1.3	169.7 ± 5.4	58.2 ± 7.1
Total	95	13.1 ± 2.6	157.7 ± 15.2	48.3 ± 13.3

^a: Phase 4 は 0 名であった (N=0) .

筋硬度の全体平均値は、 54.8 ± 3.0 であった。成長速度曲線の phase 別の筋硬度は、phase 1 と比べ、phase 2 と phase 3 において高値を示した。さらに、統計学的解析を行った結果、1 元配置分散分析において筋硬度の平均値に差を認め、Tukey の多重比較では、左右を合わせた筋硬度で phase 1 と比べ、phase 2 と phase 3 が有意に高かった（表 4 - 2）。

表 4 - 2 各成長段階における膝伸展機構の筋硬度

phase	N	全体	右脚	左脚
1	58	53.0 ± 3.1	53.5 ± 3.1	52.5 ± 3.0
2	26	$55.1 \pm 2.3^*$	$55.9 \pm 1.7^*$	54.4 ± 2.6
3	100	$55.9 \pm 2.7^{**}$	$56.1 \pm 2.7^{**}$	$55.7 \pm 2.6^{**}$
合計	184	54.8 ± 3.0	55.3 ± 3.0	54.5 ± 3.1

* , ** : phase 1 と比較して有意に高かった (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) .

2) スポーツ障害の発症

前向き調査の結果，1年間に発生したスポーツ傷害(外傷・障害)は，37名40件であり，そのうち，膝伸展機構スポーツ障害の発症群は，4名6肢(両オスグッド病2名，左オスグッド病1名，右ジャンパー膝1名)であった(表4-3)．障害発症者の利き足は，すべて右足であった．すなわち，障害を発症した下肢は，利き足3肢，軸足3肢であった．片側性オスグッド病1名では，軸足に発症した．調査開始時メディカルチェックにおける発症群の成長段階は，すべて phase 2 と phase 3 の成長スパート期に分類された(表4-4)．

表 4 - 3 1 年間に発症したスポーツ傷害の内訳

外 傷		障 害	
足 関 節 捻 挫	10 名 11 件	オスグッド病	3 名 5 件
大 腿 四 頭 筋 損 傷	4 名 4 件	腰 痛 症	4 名 4 件
脛 骨 骨 折	2 名 2 件	膝 タ ナ 障 害	2 名 2 件
足 関 節 内 果 骨 折	2 名 2 件	シ ン ス プ リ ン ト	2 名 2 件
坐 骨 結 節 裂 離 骨 折	1 名 1 件	ジ ャ ン パ ー 膝	1 名 1 件
大 腿 部 打 撲	1 名 1 件	股 関 節 炎	1 名 1 件
大 腿 後 面 筋 損 傷	1 名 1 件	足 背 部 痛	1 名 1 件
膝 蓋 腱 損 傷	1 名 1 件		
足 部 骨 折	1 名 1 件		
合 計	23 名 24 件	合 計	14 名 16 件

表 4 - 4 スポーツ障害発症群と非発症群の成長段階

Phase	発 症 群 (名)	非 発 症 群 (名)
1	0	29
2	2	11
3	2	48
合 計	4	88

3) スポーツ障害発症と筋硬度の関係

膝伸展機構の筋硬度の全体平均は、 54.9 ± 3.0 (N=184; 右 55.2 ± 2.9 , 左 54.5 ± 3.0) であった。スポーツ障害発症群の調査開始時メディカルチェックにおける筋硬度は、 57.3 ± 2.5 (N=6) であった。また、非発症群の筋硬度は、 54.8 ± 3.0 (N=178) であり、発症群の筋硬度は、非発症群の筋硬度よりも有意に高かった ($p < 0.05$, 図4-1)。

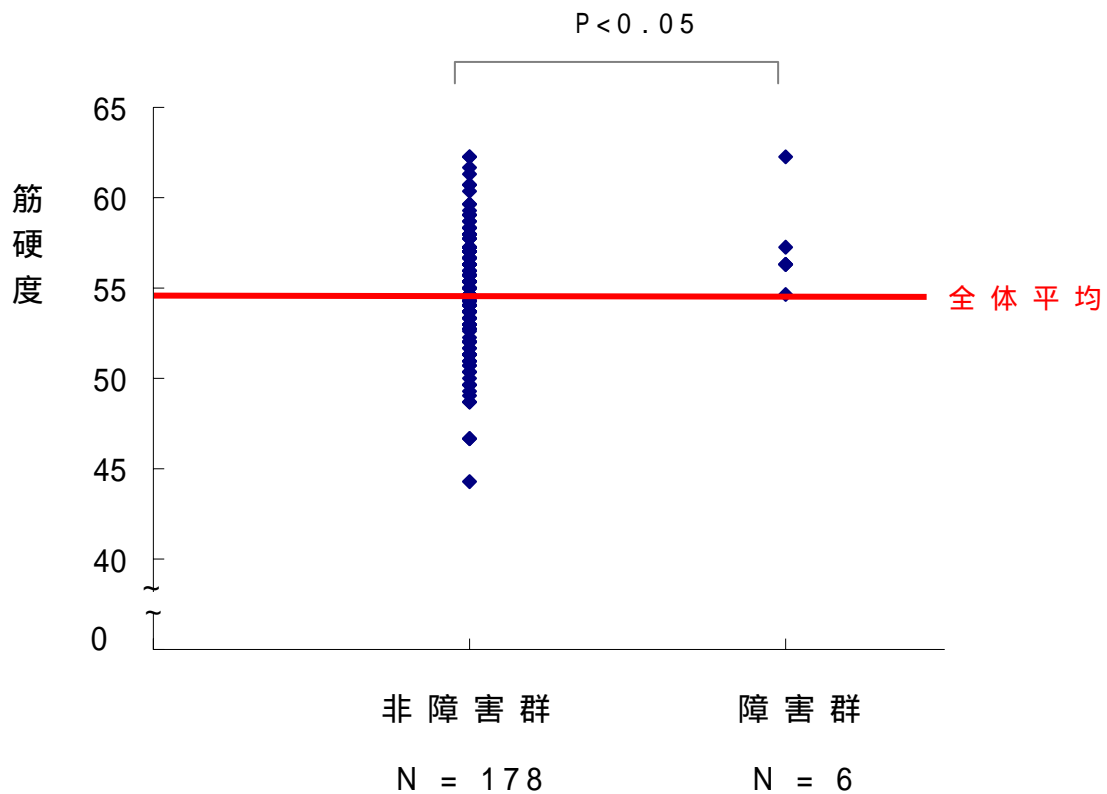


図4-1 障害群と非障害群における筋硬度の比較

4 . 考 察

Kannus らによると ,スポーツ障害でスポーツ外来クリニックを受診した 15 歳以下の少年少女を調査した結果 ,男子で多かったのはオスグッド病 ,セーバー病であり ,女子で多かったのは ,非特異的な膝滑膜炎 ,オスグッド病であり ,膝関節に多発する傾向を認めた (Kannus, et al, 1988). 成長期の膝伸展機構の障害としては ,オスグッド病 ,ジャンパー膝 ,Sinding-Larsen-Johansson 病 ,膝蓋軟骨軟化症 ,膝蓋骨亜脱臼症候群 ,分裂膝蓋骨などがあげられる (正田ほか , 1994). 本研究では , 1 年間の前向き調査により発症した膝伸展機構スポーツ障害は 4 名 6 肢であり , オスグッド病とジャンパー膝であった . スポーツ障害を発症する前の筋硬度と障害発症の関係を調査したところ , スポーツ障害を発症した膝伸展機構の筋硬度は , 発症しなかった 178 肢の筋硬度よりも有意に高く , 筋硬度が高い膝伸展機構においてスポーツ障害発症のリスクが高くなるという仮説を支持すると考えられた . 本研究においてスポーツ傷害を発症した選手はすべて , phase 2 と phase 3 の成長スパート期に分類され , オスグッド病は phase 2 と phase 3 に発症が多かったという関口らや広瀬の調査と一致していた (関口ほか , 1993; 広瀬 , 2006). また , オスグッド病はキック動作時の利き足と反対側の軸足に多発するといわれているが , 本研究では差がなかった . 但し , 池田らは片側性オスグッド病の場合 83%が軸足に発症すると述べているが , 本研究の症例においても , 片側性オスグッド病

1名では，軸足に発症した（池田ほか，2006）．

成長期サッカー選手のスポーツ障害の代表的疾患であるオスグッド病は，成長期の全てのサッカー選手に発症するわけではない．一方，スポーツ活動を行っていないにもかかわらず発症する例も少なからずある（角田，2006）．本邦における横断的研究によれば，成長期のサッカー選手のオスグッド病の発症率は8～30%であった（清水ほか，1993；森川ほか，1996；鈴木ほか，1998；平野ほか，1998；池田ほか，1999）．また，Hiranoらによる2年間の前向き研究によれば，21.5%（80膝中12膝；Hirano, et al, 2001）であった．本研究では，オスグッド病の発症率は3.3%であり，他の報告と比べて少なかった．これは，対象としたチームの競技レベルが低かった（地域大会レベル）ことが一因と考えられた．今後，全国大会や国際大会などに出場するような，より高い競技レベルのチームでの検討が必要と考えられた．また，近年，女子サッカーが盛んになってきているが，女子選手に対する調査も必要と考える．

5 . 本章のまとめ

1年間の前向き研究により，成長期男子サッカー選手 92名 184肢の膝伸展機構の筋硬度とスポーツ障害発症の関係を調査した．

調査期間における膝伸展機構の障害発症は 4名 6肢（オスグッド病 3名 5肢，ジャンパー膝 1名 1肢）であった．障害を発症した選手の成長段階は，すべて思春期スパートである phase 2 と phase 3 であった．

膝伸展機構の筋硬度とスポーツ障害発症について検討した結果，膝伸展機構のスポーツ障害を発症した 6肢の筋硬度は，発症しなかった 178肢の筋硬度よりも有意に高かった．

以上より，筋硬度が成長期スポーツ選手の膝伸展機構障害発症の予測指標となる可能性があると考えられた．

第 章

研究課題 2 - 3

膝伸展機構スポーツ障害のリスク因子分析

1 . 目的

研究課題 2 - 2 において，成長期男子サッカー選手の集団を対象とした前向き研究により，膝伸展機構障害を生じた成長期男子サッカー選手において，発症する前の膝伸展機構の筋硬度が有意に高いことが明らかとなった．

本章では，膝伸展機構障害発症のリスク因子を明らかにするために，膝伸展機構の筋硬度を含む内的要因に対して，多変量解析を用いて検討した．

2 . 対象と方法

1) 対象

研究課題 2 - 2 と同じ集団を対象とした .

2) 方法

(1) 調査項目

1 年間の前向き研究の調査開始時に行ったメディカルチェックでは , 暦年齢 , 骨年齢 , 身長 , 体重 , 成長段階 , 利き足 , 膝アライメント , 関節弛緩性 (looseness test) , Ely test , 膝関節傷害の既往 , 膝伸展機構の筋硬度を調査した (図 5 - 1) .

また , 調査終了時に身長と体重を計測し , 1 年間の身長と体重の増加量を算出した .

暦年齢は , メディカルチェック時の年齢とした .

骨年齢は , TW2 法の RUS スコアを算出し , これを村田らが日本人向けに変法した概算表にて骨年齢を評価した (Tanner , et al , 2001 ; 村田ほか , 1993) . TW2 法の RUS スコアは , 左手正面単純 X 線写真で橈骨 , 尺骨 , 第 1 中手骨 , 第 3 中手骨 , 第 5 中手骨 , 第 1 基節骨 , 第 3 基節骨 , 第 5 基節骨 , 第 3 中節骨 , 第 5 中節骨 , 第 1 末節骨 , 第 3 末節骨 , 第 5 末節骨の各骨について , A から H あるいは I までの成熟段階を評価し , 定められたスコアを総計して算出した .

成長段階は , 研究課題 2 - 1 と同様の方法で分類した .

膝アライメントは , 両膝をそろえて直立し , 両大腿骨内顆

部または脛骨内果の間の距離が 3cm 以上ある場合を異常とした (山本, 1998) .

関節弛緩性は, 中嶋の方法に従って, 全身 7 カ所の関節のテストにより点数化した (中嶋, 1985) .

膝伸展機構の筋柔軟性は, Ely test によって評価した . このテストでは, 腹臥位にて膝を屈曲させ, 尻上がり現象を認めるか, 検者が下腿を押す手に抵抗を感じて踵が殿部に付かなければ陽性と判断した (Bleck, 1987 ; 図 5 - 1) .

膝関節傷害の既往は, 膝関節の外傷または障害で 1 週間以上試合か練習を休んだ場合を既往ありとした .

筋硬度の測定方法は, 研究課題 2 - 1 と同様に行った .



図 5 - 1 メディカルチェック (Ely テスト測定)

(2) 解析方法

統計学的解析に関して，測定値は，すべて平均 ± 標準偏差で記載した．

膝伸展機構障害発症の有無を従属変数（1=あり，0=なし）とし，暦年齢，骨年齢，身長，体重，成長段階，利き足（1=利き足，0=軸足），膝アライメント（1=異常，0=正常），関節弛緩性スコア（0～7），Ely test（1=陽性，0=陰性），膝関節障害（1=あり，0=なし），膝伸展機構の筋硬度，1年間の身長の増加量，1年間の体重の増加量を説明変数として重回帰分析（ステップワイズ法）を行い，関与が高い項目に関してロジスティック回帰分析を行った．

なお，統計処理の有意性は，危険率5%水準で判定した．統計解析は，すべてSPSS version 13.0（SPSS Japan Inc.）を用いた．

3 . 結 果

1) 調 査 項 目 に お け る 障 害 発 症 者 と 非 発 症 者 の 比 較

調 査 期 間 に 発 症 し た 膝 伸 展 機 構 障 害 は 4 名 6 肢 で あ っ た . 調 査 開 始 時 の メ デ ィ カ ル チ ェ ッ ク 項 目 と 1 年 後 の 身 長 , 体 重 の 増 加 量 の 結 果 に つ い て , 障 害 を 発 症 し た 選 手 (発 症 者) と 発 症 し な か っ た 選 手 (非 発 症 者) の 比 較 を 表 5 - 1 に 示 し た . 発 症 者 と 非 発 症 者 で 有 意 な 差 を 認 め た の は , 1 年 間 の 体 重 増 加 量 の み で あ っ た .

表5 - 1 メディカルチェック検査項目，年間身長・体重の増加量における膝伸展機構障害発症者と非発症者の比較

検査項目	発症者	非発症者	全体
暦年齢（歳）	12.8±0.5	13.1±2.6	13.1±2.5
骨年齢（歳）	13.4±1.3	13.1±2.5	13.1±2.4
身長（cm）	161.6±9.0	157.8±15.4	158.0±15.2
1年間の身長増加量（cm）	5.6±2.1	3.5±2.7	3.5±2.7
体重（kg）	50.0±11.1	48.5±13.3	48.6±13.2
1年間の体重増加量（kg）	5.6±1.4*	2.4±2.1	2.6±2.1
成長段階 phase 1（名）	0	29	29
phase 2（名）	2	11	13
phase 3（名）	2	48	50
phase 4（名）	0	0	0
利き足（名） 右足（名）	4	82	86
左足（名）	0	5	5
不明（名）	0	1	1
膝アライメント異常（名）	1	21	22
関節弛緩性（点）	2.5±1.7	2.1±1.3	2.1±0.3
膝傷害既往歴（名）	0	8	8

*：非発症者と比べて有意に高かった（ $p<0.01$ ）。

2) 障害を発症した下肢と発症しなかった下肢の比較

膝伸展機構のスポーツ障害を発症した下肢（以下，発症群）とそれらの障害を発症しなかった下肢（以下，非発症群）について筋硬度の測定値とElyテストの結果を比較した．研究課題2 - 2に示したように，非障害群と比べ，障害群では発症前の膝伸展機構の筋硬度が有意に高かった．一方，膝伸展機構障害を発症した6名のうち発症前のElyテストが陽性であったのは1名であり（感度16.7%），障害を発症しなかった178名のうち発症前のElyテストが陰性であったのは104名であり（特異度58.4%），膝伸展機構障害発症予測に対する検査法としてのElyテストは有用性でなかった（表5 - 2）．

表5 - 2 膝伸展機構の障害群と非障害群における
Elyテストと筋硬度の比較

	障害群 (N=6)	非障害群 (N=178)	全体 (N=184)
Ely test 陽性（肢）	1	74	75
陰性（肢）	5	104	109
膝伸展機構の筋硬度	57.3 ± 2.5*	54.8 ± 3.0	54.9 ± 3.0

*: 非障害群と比べ有意に高かった（P<0.05）．

3) 障害発症の要因解析

重回帰分析を行った結果，障害発症に関与が高い項目は，1年間の体重増加量と膝伸展機構の筋硬度であった（表5-3）．いずれの項目も共線性に関して許容度が高く，残りの独立変数との間に線型関係が成り立つ可能性は低いと考えられた．この2項目に関して二項ロジスティック回帰分析を行った結果，障害発症に対する1年間の体重増加量と膝伸展機構の筋硬度のオッズ比は，1.95（95%信頼区間：1.24-3.06）と1.41（95%信頼区間：1.02-1.96）と統計学的に有意であり，これらの要因が膝伸展機構スポーツ障害発症に関連する内的因子であると考えられた（表5-4）．

表 5 - 3 膝伸展機構障害発症に対する各要因の重回帰分析

要因	偏相関係数	有意確率
暦年令	-0.014	0.85
骨年齢	0.039	0.60
身長	0.019	0.80
体重	0.056	0.45
成長段階	0.087	0.25
利き足	0.018	0.81
膝アライメント	-0.013	0.87
関節弛緩性	0.108	0.15
Ely テスト	-0.058	0.44
膝関節傷害の既往	-0.033	0.65
1年間の身長増加量	0.045	0.55
1年間の体重増加量	0.24	0.001*
膝伸展機構の筋硬度	0.15	0.036*

*: p<0.05

表 5 - 4 ロジスティック回帰分析を用いた膝伸展機構障害発症と各要因の関連

要因	オッズ比	95%信頼区間
1年間の体重増加量	1.95	1.24 - 3.06
膝伸展機構の筋硬度	1.41	1.02 - 1.96

4 . 考 察

成長期サッカー選手のスポーツ傷害に関する疫学調査は多いが、ほとんどが外傷に関する報告であった (Nilsson & Roaas, 1978; Sullivan, et al, 1980; Schmidt-Olsen, et al, 1985; Hoff & Martin, 1986; Backous, et al, 1988; Yde & Nielsen, 1990; Schmidt-Olsen, et al, 1991; Kibler, 1993; Junge, et al, 2000; Peterson, et al, 2000; Junge, et al, 2002; Kakavelakis, et al, 2002). Inklaar らによれば、外傷の発症率は、14歳から16歳の時期に急増し、外傷部位は下肢、特に足関節と膝関節に多い (Inklaar, 1994). Petersonらによれば、足関節、膝関節、大腿、足部の順に多かった (Peterson, et al, 2000). 一方、overuse 障害に関する報告は少なく、前向き研究により、1年間、医師が毎週直接検診を行って調査した報告では、overuse障害の割合は、23%¹⁷⁾、37%¹⁸⁾であった (Peterson, et al, 2000; Junge, et al, 2002). Petersonらによれば、overuse障害で多かったのは、膝、下腿、腓径部、腰部の順であったが、詳細な診断名については記載がなかった (Peterson, et al, 2000).

本邦における成長期サッカー選手のスポーツ傷害に関しては、疫学調査、傷害予防に関する前向き研究は少ない。Hiranoらによる膝伸展機構障害に関する前向き研究があるものの、メディカルチェックによる横断的研究が大部分であった (清水ほか, 1993; 森川ほか, 1996; 鈴木ほか, 1998; 平野ほか, 1998; 池田ほか, 1999; Hirano, et al, 2001). 清水らによれ

ば，中学生年代では足部・足関節外傷，オスグッド病が多く，高校生では，足部・足関節外傷，腰痛・腰部傷害が多かった（清水ほか，1993）．全日本中学生選抜大会に参加した選手に対する森川らの調査によれば，外傷は足関節捻挫，肉離れ，打撲が多く，障害は腰痛，膝痛（オスグッド病，膝蓋靭帯炎）が多かった（森川ほか，1996）．鈴木らは，地域選抜レベルの小学校5年生～中学1年生に対するメディカルチェックにおいて，腰痛症，脛骨疲労性骨膜炎，オスグッド病，踵骨骨端炎を多く認めた（鈴木ほか，1998）．池田らによれば，ジュニアユース年代（中学生）では足関節捻挫・靭帯損傷とオスグッド病が多く，ユース年代（高校生）では足関節捻挫・靭帯損傷が多かった（池田ほか，1999）．本研究においても，足関節捻挫，オスグッド病，大腿四頭筋損傷，腰痛症が多かった．

以前より，サッカー選手のスポーツ傷害に対する疫学研究に関しては，統一した方法論が必要であると指摘されていたが（Keller, et al, 1987; Inklaar, 1994; ），2000年に，国際サッカー連盟（FIFA）Medical Assessment and Research Center（F-MARC）のメンバーが中心となって，サッカー選手におけるスポーツ傷害に関するこれまでの研究のreviewを行い，研究デザイン，観察期間，データ収集方法，傷害の定義，傷害発症率など統一した方法論に従った報告が行われるようになった（Dvorak & Junge, 2000; Junge & Dvorak, 2000; Chomiak, et al, 2000; Dvorak, et al, 2000）．特に，傷害発症率に関しては，すべての傷害に関して，練習または試合1000時間当たりの発症件数に換算すると定めている．近年，

成長期サッカー選手のスポーツ傷害に関して，同様の疫学方法論による調査や傷害予防に関する報告が行われている (Junge, et al, 2000; Peterson, et al, 2000; Junge, et al, 2002; Kakavelakis, et al, 2002; Arnason, et al, 2004) . 本研究においても，できる限り F-MARC の方法論に従って，思春期スパートの時期を含む 10 歳から 17 歳のサッカー選手について膝伸展機構のスポーツ障害発症に関する前向き研究を行ったが，傷害発症率については，成長期にはサッカー以外にも体育授業や友人との遊びなどで体を動かす機会が多く，トレーニング量を定量化することが困難であったため，調査を断念した .

Micheli らは，overuse によるスポーツ障害の予防のためには，内的要因とトレーニング量の関係を明らかにする必要があると述べている (Micheli, 1995) . 本研究において，膝伸展機構障害発症のリスク因子と考えられた内的要因は，1 年間の体重増加量と膝伸展機構の筋硬度であった . 体重の増加と膝伸展機構の高い緊張が膝への過負荷となり，膝伸展機構障害の発症原因となったと考えられた . トレーニング量については，前述の通り，定量化が困難であった . また，これまで膝伸展機構障害のメディカルチェックに有用とされていた Ely テストは，本研究においては，障害発症予測指標として役立たなかった . 本来，Ely テストは脳性麻痺患者の大腿直筋の痙性を検出するための検査であり，障害が重症化して膝伸展機構の短縮や脛骨粗面の炎症が強い場合に陽性となるが，発症前の予測指標とはならない可能性が高いと考えられた .

メディカルチェックは、欧米では「PPE: Preparticipation Physical Examination (Evaluation)」と呼ばれており、スポーツに参加する前の健康診断で、スポーツを行う際に身体に問題がないかどうかをみるために行われている（宮川ら、2005）。膝伸展機構の重篤な障害を検出する検査としてのElyテストは意義があるが、障害を発症する前の予防指標としては不十分であることが示唆された。緒言で述べたように、成長期のスポーツ選手は、成人と比べて骨格が未熟であるため、スポーツ障害を来しやすい。平野らの報告によれば、オスグッド病を発症した成長期男子のサッカー選手の平均骨年齢は14.1歳で、病初期にあたる選手の平均骨年齢は12.1歳であった（平野ら、2000）。本研究において、膝伸展機構障害を発症した選手の平均骨年齢は 13.4 ± 1.3 であり、平野らの報告と同様に骨格が未熟な選手であった。このような骨格が未熟な選手は、障害あるいはその後遺症により長期の安静や手術が必要になることがあり、成長期には障害の発症予防が特に重要と考える。このため、メディカルチェックでは傷害をおこした選手の参加に対応することに加え、その予防について積極的に取り組む必要がある（宮川ら、2005）。本研究により、膝伸展機構障害の予防指標として筋硬度の測定が有用である可能性が高いと考えられた。

膝伸展機構障害の予防のためには、ストレッチングを含むウォーミングアップやクーリングダウンなどのコンディショニングを徹底することやトレーニングの質や量を変更することなどが有用とされている（武藤、1992）。松橋らは、適切

にストレッチングを行った群では不適切にストレッチングを行った群よりも運動後の筋硬度の上昇が低かったと報告しているが、ストレッチングにより、筋柔軟性が高まり、筋硬度が減少することが推察された(松橋ほか, 2002)。筋硬度の測定は、目的とする筋 腱ユニットに対して正しいストレッチングが行われているのか、また、ストレッチングの長期的な効果を検証するのにも有用であると考えられた。

成長期のエリート・サッカー選手と草の根レベルのサッカー選手の膝伸展機構の筋硬度を調査した報告では、エリート・サッカー選手のグループで思春期スパートの成長段階の割合が多いにも関わらず、膝伸展機構の筋硬度が低かった(木下ら, 2005)。エリート・サッカー選手は、レベルの高いコーチの指導を受ける機会が多く、ストレッチングを含むウォーミングアップやクーリングダウンなどのコンディショニングに対する意識も高いため、草の根レベルの選手よりも膝伸展機構の柔軟性が高く、筋硬度が低かったと推察された。

今後、膝伸展機構の筋硬度が高い選手にストレッチングなどコンディショニングを徹底した場合、測定値がどのように変化するのかについて検証する必要があるが、膝伸展機構の柔軟性が高まって、筋硬度が減少する可能性が高いと思われる。筋硬度の測定がメディカルチェックにおける障害発症の予測指標のみならず、コンディショニングの一指標としても、スポーツ障害の予防に寄与する可能性が高いと考えられた。

5 . 本章のまとめ

膝伸展機構障害発症のリスク因子と考えられた内的要因は、1年間の体重増加量と膝伸展機構の筋硬度であった。障害発症に対するオッズ比は、1年間の体重増加量が1.95(95%信頼区間：1.24-3.06)、膝伸展機構の筋硬度が1.41(95%信頼区間：1.02-1.96)であった。

また、これまで膝伸展機構障害のメディカルチェック項目として有用と考えられていたElyテストは、障害発症の予測指標として役立たなかった。

以上より、膝伸展機構の筋硬度がスポーツ障害発症の予測指標となる可能性が示唆された。

終章

本研究のまとめ

1. 研究のまとめ

1) 膝伸展機構の柔軟性の指標

オスグッド病に代表される膝伸展機構の成長期スポーツ障害は、骨格の急激な成長によって伸長された膝伸展機構の柔軟性低下が関係すると言われている。しかしながら、膝伸展機構の柔軟性を定量的かつ簡便に評価する方法は確立されていない。近年、小型軽量で簡易に使用できる筋硬度計が開発され、臨床やスポーツ現場で利用されている。我々は、筋肉が伸長されると筋硬度を増す特性を利用して、筋硬度計を用いて筋硬度を測定し、膝伸展機構の柔軟性を評価することを試みた。本研究では、この筋硬度の特性を利用して、筋硬度が膝伸展機構の柔軟性の指標となり、スポーツ障害発症の予測指標となる可能性があるという仮説を立てた。

2) 膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係

研究課題1では、健常成人における膝伸展機構の伸長と筋硬度の関係について検討した。膝の屈曲によって膝伸展機構長と筋硬度が有意に増加し、膝伸展機構長と筋硬度の分布において有意な正の相関関係を認めた。このことから、膝伸展機構の伸長を筋硬度の測定によって評価できる可能性がある

ことが示唆された。また，健常成人の膝伸展位における膝伸展機構の筋硬度は，性別，身体特性による影響が少ないことがわかった。

3) 成長期スポーツ選手における膝伸展機構の筋硬度

研究課題 2 - 1 では，142 名の成長期男子サッカー選手における膝伸展機構の筋硬度と成長段階との関係について横断的調査を実施した。その結果，思春期スタートの成長段階である phase 2，phase 3 の選手の筋硬度は，思春期スタート以外成長段階である phase 1，phase 4 の選手の筋硬度よりも有意に高値であった。思春期スタートの成長段階であるスポーツ選手では，筋硬度が高値を示し，筋柔軟性が低下した状態であることが推察された。

4) 筋硬度と膝伸展機構障害発症の関係

研究課題 2 - 2 では，膝伸展機構において筋硬度が高値を示すスポーツ選手では，スポーツ障害を発症する可能性が高いという仮説を立て，1 年間の前向き研究により，92 名の成長期サッカー選手の膝伸展機構の筋硬度と障害発症との関係について調査した。その結果，膝伸展機構のスポーツ障害を発症した 6 肢の筋硬度は，発症しなかった 178 肢の筋硬度よりも有意に高かった。このことから，筋硬度が成長期スポーツ選手の膝伸展機構障害発症の予測指標となる可能性があると考えられた。

5) 膝伸展機構障害発症のリスク因子

研究課題 2 - 3 では、膝伸展機構障害発症のリスク因子を明らかにするために、膝伸展機構の筋硬度を含む内的要因に対して、多変量解析を用いて検討した。その結果、膝伸展機構障害発症のリスク因子と考えられた内的要因は、1年間の体重増加量と膝伸展機構の筋硬度であった。障害発症に対するオッズ比は、1年間の体重増加量が 1.95 (95%信頼区間: 1.24-3.06)、膝伸展機構の筋硬度が 1.41 (95%信頼区間: 1.02-1.96) であった。このことから、膝伸展機構の筋硬度の増加が膝伸展機構スポーツ障害発症に関連する内的因子であることが示唆された。

スポーツ現場で用いることができる簡便な測定方法によって、スポーツ障害発症を予測する新たな指標を見いだす可能性を示したことに本研究の最大の意義があると考えた。

2 . 今後の展望

本研究において膝伸展機構における筋硬度が障害発症予防や早期発見のための新しい指標となる可能性が示唆された。本研究のような疫学的手法は、対象者の協力、時間、労力、マンパワー、研究資金など解決すべき課題が多いが、膝伸展機構の筋硬度と障害発症の関係をより明らかにするために、女子選手を含め、大規模な対象における長期的な検討を行い、各成長段階における平均値、スポーツ障害発症に対するカットオフ値の選定、検査の有用性（感度、特異度）などを明らかにする必要がある（Hulley & Cummings, 1997）。また、膝伸展機構の筋硬度が高い選手への介入による障害発症の抑制効果について検証を要すると考えられた。さらに、膝伸展機構における筋硬度測定が柔軟性を評価し、スポーツ障害発症を予測する方法として確立されれば、大腿後面や下腿後面など、他部位のスポーツ障害予防への応用が可能となるであろう。

本研究により、従来から膝伸展機構のスポーツ障害に対してメディカルチェックで行われている Ely テストが障害発症の予測には役に立たない可能性があり、それに代わる指標として、膝伸展機構の筋硬度が有用であることが示唆された。現在行われている他のメディカルチェック項目とスポーツ障害の「明らかな因果関係」についても検証する必要がある（宮川ら、2004）。

国民の誰もが生涯にわたりスポーツに親しむことができる

「生涯スポーツ社会」の実現に向けて，成長期のみならず，他のライフステージにおいてもスポーツ障害の予防は重要な課題である．この課題を達成するためには，スポーツ障害の発症に関連する様々な因子について疫学的な手法を用いて調査し，現在行われているメディカルチェックを見直す必要があるが，「明らかな因果関係」が認められないとすれば，新たな指標を見いだす必要があると考えられた．

謝 辞

本研究を進めるにあたり，公私に渡り多大なる御指導を賜りました筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻，河野一郎教授に深甚なる謝意を表します。また本専攻，宮川俊平助教授には(財)日本サッカー協会での活動を含め，多大なる御指導を賜り深く感謝しています。また数多くの御助言，御指導を賜りました本専攻，向井直樹助教授，白木 仁助教授，竹村雅裕講師には深く感謝しています。また骨年齢や統計学分析で御指導を頂きました本研究科体育科学専攻，高井省三教授，西嶋尚彦助教授に深謝致します。また聖マリアンナ医科大学，青木治人教授，河野照茂教授，(財)日本サッカー協会，田嶋幸三専務理事には，サッカー界を通じて様々な御指導を頂き深謝致します。また英会話やプレゼンテーションの御指導を頂きましたイーオンつくばMOG校の Marc Reeve-Newson 先生に深謝致します。また筑波技術大学保健科学部保健学科理学療法学専攻主任，高橋 洋教授をはじめ，石塚和重教授，薄葉真理子教授，川合秀雄教授，高橋憲一教授，吉田次男教授，小林和彦助教授，鶴巻俊江助手，大澤富士子技術職員には，筑波技術短期大学着任と同時に様々な面から御支援頂き感謝しております。そして，本研究を遂行するにあたり，多大なるご協力を頂きました筑波大学大学院博士課程スポーツ医学専攻およびスポーツ医学研究室の方々，ならびに筑波大学附属駒場中学校・高等学校，茗溪学園中学校・高等学校，つくば市立手代木中学校，つくばフットボー

ルクラブ，手代木サッカークラブ，吾妻サッカークラブの選手・保護者・指導者・顧問の皆様，本当に有難うございました。

最後に，多忙な研究生活に理解を示し，精神面の大きな支えとなってくれた妻である由美子には心より感謝しています。

参考文献

- 1) Ehrenborg, G., Lagergren, C.: Roentgenologic Changes in the Osgood-Schlatter lesion. Acta Chir Scand, 121: 315-327, 1961.
- 2) Jones, R.J, Wright, V.: Relative importance of various tissues in joint stiffness. J Appl Physiol, 17: 824-828, 1962.
- 3) Anderson, M., Green, W.T., Messner, M.B.: Growth and predictions of growth in the lower extremities. J Bone and Joint Surg, 45-A: 1-14, 1963.
- 4) Ogden, J.A., Southwick, W.O.: Osgood-Schlatter disease and tibial tuberosity development. Clin Orthop, 116: 180-189, 1976.
- 5) Nilsson, S., Roaas, A.: Soccer injuries in adolescents. Am J Sports Med, 6: 358-61, 1978.
- 6) Sullivan, J.A., Gross, R.H., Grana, W.A., Garcia-Moral, C.A.: Evaluation of injuries in youth soccer. Am J Sports Med, 8: 325-7, 1980.
- 7) Mital, M.A., Matza, R.A., Cohen, J.: The so-called unresolved Osgood-Schlatter lesion. J Bone and Joint Surg, 62-A: 732-739, 1980.
- 8) Ekstrand, J., Gillquist, J.: The avoidability of soccer injuries. In J Sports Med, 4: 124-128, 1983.

- 9) Micheli, L.J.: Overuse injuries in children's sports: The growth factor. *Orthop Clin North Am*, 14: 337-360, 1983.
- 10) Wiktorsson-Moller, M., Oberg, B., Ekstrand, J., Gillquist, J.: Effects of warming up, massage, and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity. *Am J Sports Med*, 11: 249-252, 1983.
- 11) Woledge, R.C., Curtin, N.A., Homsher, E.: The mechanical and energetic properties of muscle. *Energetic aspects of muscle contraction*. London: Academic Press: 16-26, 1985.
- 12) Schmidt-Olsen, S., Bunemann, L.K.H., Lade, V., Brasso, J.O.K.: Soccer injuries of youth. *Br J Sports Med*, 19: 161-164, 1985.
- 13) 中嶋寛之: スポーツ整形外科的メディカルチェック. *臨床スポーツ医学*, 2: 735-740, 1985.
- 14) Hoff, G.L., Martin, T.A.: Outdoor and indoor soccer: injuries among youth players. *Am J Sports Med*, 14: 231-3, 1986.
- 15) 宮下充正: 子どもの成長・発達とスポーツ: *小児医学*, 19: 879-899, 1986.
- 16) Keller, C.S., Noyes, F.R., Buncher, C.R.: The medical aspects of soccer injury epidemiology. *Am J Sports Med*, 15: 230-7, 1987.
- 17) Micheli, L. J.: The traction apophysitises. *Clin Sports Med*, 6: 389-404, 1987.
- 18) Bleck, E.E.: Orthopaedic management in cerebral palsy.

- Clinics in developmental medicine No.99/100. London: Mac Keith Press: 50-52, 1987.
- 19) 田原佳子, 多田羅裕子, 村田光範, 高石昌弘, 船川幡夫: 思春期成長促進現象に関する数学的解析について - 第2報 - . 思春期学, 5: 185-190, 1987.
- 20) Alter, M.J.: Mechanical and dynamic properties of soft tissues. Science of Stretching. Champaign, IL: Human Kinetics Books: 33-41, 1988.
- 21) Backous, D.D., Freidl, K.E., Smith, N.J., Parr, T.J., Carpine, W.D.Jr.: Soccer injuries and their relation to physical maturity. Am J Dis Child, 142: 839-42, 1988.
- 22) Kannus, P., Niittymaki, S., Jarvinen, M.: Athletic overuse injuries in children. A 30-month prospective follow-up study at an outpatient sports clinic. Clin Pediatr, 27: 333-7, 1988.
- 23) 村田光範: 日本人小児の発育発達の生理学的特徴 - 日中の比較から - . 臨床スポーツ医学, 9: 979-984, 1988.
- 24) 土居陽治郎, 小林一敏: 筋肉の硬さ測定に関する研究. 筑波大学体育科学系紀要, 11: 265-272, 1988.
- 25) Nielsen, A.B., Yde, J.: Epidemiology and traumatology of injuries in soccer. Am J Sports Med, 17: 803-7, 1989.
- 26) Kibler, W.B., Jeff Chandler, T., Maddux, R.E.: A musculoskeletal approach to the preparticipation physical examination. Am J Sports Med, 17: 525-531, 1989.
- 27) Taimela, S., Kujala, U.M., Osterman, K.: Intrinsic risk

- factors and athletic injuries. Sports Med, 9: 205-15, 1990.
- 28) Yde, J., Nielsen, A.B.: Sports injuries in adolescents' ball games: soccer, handball and basketball. Br J Sports Med, 24: 51-4, 1990.
- 29) Krause, B.L., Williams, J.P.R., Catterall, A.: Natural history of Osgood-Schlatter Disease. J Pediatr Orthop, 10: 65-68, 1990.
- 30) 山本利春: スポーツとストレッチング.理学療法, 7: 351-361, 1990.
- 31) Schmidt-Olsen, S., Jorgensen, U., Kaalund, S., Sorensen, J.: Injuries among young soccer players. Am J Sports Med, 19: 273-5, 1991.
- 32) Smith, A.D., Stroud, L., McQueen, C.: Flexibility and anterior knee pain in adolescent elite figure skaters. J Pediatr Orthop, 11: 77-82, 1991.
- 33) 村田光範: 子供にとってスポーツとは何か.臨床スポーツ医学, 8: 1231-35, 1991.
- 34) 武藤芳照: スポーツ障害のメカニズムと予防. 図解スポーツ障害のメカニズムと予防のポイント(武藤芳照・編): 文光堂: 3-27, 1992.
- 35) van Mechelen, W., Hlobil, H., Kemper, H.C.G., Voorn, W.J., Rob de Jongh, H.: Prevention of running injuries by warm-up, cool-down, and stretching exercises. Am J Sports Med, 21: 711-719, 1993.
- 36) Horikawa, M., Ebihara, S., Sakai, F., Akiyama, M.:

- Non-invasive measurement method for hardness in muscular tissues. *Med Biol Eng Comput*, 31: 623-627, 1993.
- 37) Kibler, W.B.: Injuries in adolescent and preadolescent soccer players. *Med Sci Sports Exerc*, 25: 1330-1332, 1993.
- 38) 鳥居 俊: 中学生・高校生の学校スポーツにおけるスポーツ傷害とその予防. *臨床スポーツ医学* 9: 1033-1039, 1993.
- 39) 清水邦明, 青木治人, 磯見 卓, 藤谷博人, 上田宏樹, 三好邦達: 成長期の各年代におけるサッカー選手の外傷と障害について. *臨床スポーツ医学*, 10(別冊), 329-330, 1993
- 40) 関口秀隆, 古賀良生, 牛山幸彦, 杉本英夫, 川崎美和子, 与口暁子: 至適運動強度設定の指標としての身長の変化についての検討. *日整外スポーツ医会誌*, 12: 513-515, 1993.
- 41) 村田光範ほか(骨成熟研究グループ): 日本人標準骨成熟アトラス - TW2法に基づく - . 金原出版: 1993.
- 42) Ekstrand, J.: Injuries. In Ekblom, B. (Eds.), *Handbook of Sports Medicine and Science-Football (Soccer)*. Oxford: Blackwell Scientific Publications: 175-194, 1994.
- 43) Inklaar, H.: Soccer injuries. I: Incidence and severity. *Sports Med*, 18: 55-73, 1994.
- 44) 中嶋寛之: 発育期スポーツ競技者にみられる特徴. *関節外科 special*, 発育期のスポーツ障害(山本龍二・編), メジカルビュー社: 20-28, 1994.
- 45) 正田悦朗, 黒坂昌弘, 水野耕作: 膝関節. *関節外科 special*, 発育期のスポーツ障害(山本龍二・編), メジカルビュー社: 102-119, 1994.

- 46) 下條仁士：ジャンパー膝，ランナー膝．新図説臨床整形外科学講座 14 スポーツ整形外科（林浩一郎・編）：メジカルビュー社：193-196，1994．
- 47) Micheli, L.J.: Sports injuries in children and adolescents. Questions and controversies. Clin Sports Med, 14: 727-45, 1995.
- 48) 古賀良生：年齢から見た膝関節障害．膝のスポーツ傷害（史野根生・編），医学書院：119-136，1995．
- 49) Komiya, H., Maeda, J., Takemiya, T.: A new functional measurement of muscle stiffness in humans. Adv Exerc Sports Physiol, 2: 31-38, 1996.
- 50) 森川嗣夫ほか：第17回全日本中学生選抜サッカー大会出場選手の外傷・障害．臨床スポーツ医学，13: 1149-51，1996．
- 51) 古賀良生：Osgood病．MB Orthop, 9: 116-122, 1996.
- 52) Gilbert, W.G., McHugh, M.P.: Flexibility and its effects on sports injury and performance. Sports Med, 24: 289-299, 1997.
- 53) Krivickas, L.S.: Anatomical factors associated with overuse sports injuries. Sport Med, 24: 132-146, 1997.
- 54) Lamontagne, A., Malouin, F., Richards, C.L.: Viscoelastic behavior of plantar flexor muscle-tendon unit at rest. J Orthop Sports Phys Ther, 26: 244-25, 1997.
- 55) Hulley, S.B., Cummings, S.R.: 医学的研究のデザイン - 研究の質を高める疫学的アプローチ - （木原正博・監訳）：メディカル・サイエンス・インターナショナル，1997．

- 56) 堀川浩之, 佐藤三千雄, 中野雅之, 松橋明宏, 佐藤孝雄, 松石純, 久光 正: 等尺性最大脚伸展動作が筋硬度に及ぼす影響. 臨床スポーツ医学, 14: 573-578, 1997.
- 57) 有馬義貴, 矢野 忠, 井元俊之: 鍼灸臨床における軟部組織の緊張度(硬度)の客観的評価法. 東方医学, 13: 13-21, 1997.
- 58) Chleboun, G.S., Howell, J.N., Conatser, R.R., Giesey, J.J.: Relationship between muscle swelling and stiffness after eccentric exercise. Med Sci Sports Exerc, 30: 529-535, 1998.
- 59) 平野 篤, 石井朝夫, 福林 徹, 宮崎 聰, 宮川俊平, 林 浩一郎: 発育期スポーツ選手における脛骨粗面の MRI 所見と Osgood-Schlatter 病の発症過程. 日整外スポーツ医会誌, 18: 27-33, 1998.
- 60) 鈴木英一, 三ツ木直人, 鈴木一太, 腰野富久, 齋藤智行, 竹内良平, 瀧上秀威, 石川博之, 村松 茂: 成長期サッカー選手における腰部, 下肢のスポーツ障害調査 - 第 1 報 - とくにゴールデンエイジ後期の競技レベルサッカー選手について - . 臨床スポーツ医学, 15: 1432-35, 1998.
- 61) 山本利春: メディカルチェック(外科). スポーツ医学 - 基礎と臨床 - (日本体力医学会学術委員会・監修): 朝倉書店: 119-126, 1998.
- 62) Koga Y., Tanaka, M., Nagasaki, K., Kaga, N., Kobayashi, H., Sakai, J.: Quantitative measurement of tension in the quadriceps femoris muscle and its relation to overuse disorders of the knee in young athletes. JPN J Orthop Sports

- Med, 19: 374-378, 1999.
- 63) 池田浩, 黒澤 尚, 桜庭景植, 廣瀬友彦, 松田圭三, 太田晴康: 若年サッカー選手の外傷・障害. 東日本震災誌, 11: 18-21, 1999.
- 64) Dvorak, J., Junge, A.: Football injuries and physical symptoms. A review of the literature. Am J Sports Med, 28 (Suppl): S3-9, 2000.
- 65) Junge, A., Dvorak, J.: Influence of definition and data collection on the incidence of injuries in football. Am J Sports Med, 28 (Suppl): S40-46, 2000.
- 66) Junge, A., Chomiak, J., Dvorak, J.: Incidence of football injuries in youth players. Comparison of players from two European regions. Am J Sports Med, 28 (Suppl): S47-50, 2000.
- 67) Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., Dvorak, J.: Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. Am J Sports Med, 28 (Suppl): S51-57, 2000.
- 68) Chomiak, J., Junge, A., Peterson, L., Dvorak, J.: Severe injuries in football players. Influencing factors. Am J Sports Med, 28 (Suppl): S58-68, 2000.
- 69) Dvorak, J., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., Peterson, L.: Risk factor analysis for injuries in football players. Possibilities for a prevention program. Am J Sports Med, 28 (Suppl): S69-74, 2000.

- 70) Murayama, M., Nosaka, K., Yoneda, T., Minamitani, K.: Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*, 82: 361-367, 2000.
- 71) 平野 篤, 福林 徹: 膝関節 overuse syndrome の治療法 - 成長期の膝伸展機構障害について - . *臨床スポーツ医学*, 17: 419-25, 2000.
- 72) 平野 篤, 福林 徹, 石井朝夫: 脛骨粗面の発育とオスグット病の発症について . *日臨スポーツ医会誌*, 8: 180-183, 2000.
- 73) 田中正栄, 古賀良生, 長崎浩爾, 加賀なおみ, 粟生田博子: 大腿四頭筋緊張の定量的評価と成長及び運動との関連 . *日臨スポーツ医会誌*, 8: 265-270, 2000.
- 74) Hawkins, D., Metheny, J.: Overuse injuries in youth sports: biomechanical considerations. *Med Sci Sports Exerc*, 31: 1701-1707, 2001.
- 75) Witvrouw, E., Bellemans, J., Lysens, R., Danneels, L., Cambier, D.: Intrinsic risk factors for the development of patellar tendinitis in an athletic population. *Am J Sports Med*, 29: 190-195, 2001.
- 76) Hirano, A., Fukubayashi, T., Ishii, T., Ochiai, N.: Relationship between the patellar height and the disorder of the knee extensor mechanism in immature athletes. *J Pediatr Orthop*, 21: 541-544, 2001.
- 77) Tanner, J.M., Healy, M.J.R., Goldstein, H., Cameron, N.: Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height. 3rd edition, London: Saunders: 2001.

- 78) 日下裕弘, 丸山富雄, 加納弘二: 保健体育審議会の「ライフステージ別生涯スポーツ施策」. 生涯スポーツの理論と実際: 大修館書店: 20-22, 2001.
- 79) Junge, A., Rosch, D., Peterson, L., Graf-Baumann, T., Dvorak, J.: Prevention of soccer injuries: a prospective intervention study in youth amateur players. *Am J Sports Med*, 30: 652-659, 2002
- 80) Kakavelakis, K.N., Vlazakis, S., Vlahakis, I., Charissis, G.: Soccer injuries in childhood. *Scand J Med Sci Sports*, 13: 175-178, 2002
- 81) 松浦義行: 青少年期における発育速度の分析(1). 統計学的発達発育学: 不昧堂出版: 93-106, 2002.
- 82) Hirano, A., Fukubayashi, T., Ishii, T., Ochiai, N.: Magnetic resonance imaging of Osgood-Schlatter disease: the course of the disease. *Skeletal Radiol*, 31: 334-342, 2002.
- 83) Herbert, R.D., Gabriel, M.: Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *Br Med J*, 325: 468-470, 2002.
- 84) 松橋明宏, 佐藤孝雄, 朝比奈茂, 久光正: ストレッチングが運動後の筋硬度上昇からの回復に与える影響. *昭和医会誌*, 62: 401-406, 2002.
- 85) Leonard, C.T., Deshner, W.P., Romo, J.W., Suoja, E.S., Fehrer, S.C., Mikhailenok, E.L.: Myotonometer intra- and interrater reliabilities. *Arch Phys Med Rehabil*, 84:

- 928-932, 2003.
- 86) Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D Have, T., Cambier, D.: Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. *Am J Sports Med*, 31: 41-46, 2003.
- 87) 曾我部晋哉, 向井直樹, 下條仁士, 白木 仁, 宮川俊平, 目崎 登, 宮永 豊: 内反膝がレッグプレス後の下肢筋硬度変化に及ぼす影響について. *日臨スポーツ医学会誌*, 11: 518-525, 2003.
- 88) 宮本俊和, 濱田 淳, 和田恒彦, 寺田和史, 市川あゆみ, 鍋倉賢治: マラソン後の筋痛と筋硬度に対する円皮鍼の効果. *日東医誌*, 54: 939-944, 2003.
- 89) Arnason, A., Sigurdsson, S.B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., Bahr, R.: Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med*, 32 (Suppl): S5-16, 2004.
- 90) 木下裕光, 宮川俊平, 向井直樹, 河野一郎: 筋弾性計を用いた膝伸展機構障害の予防指標開発の試み(第1報). *日臨スポーツ医学会誌*, 12: 278-81, 2004.
- 91) 高橋英幸, 飯田晴子: 形態. *スポーツ医学検査測定ハンドブック*(臨床スポーツ医学編集委員会・編), *臨床スポーツ医学*, 21: 2-11, 2004
- 92) 松尾彰文: 機能検査. *スポーツ医学検査測定ハンドブック*(臨床スポーツ医学編集委員会・編), *臨床スポーツ医学*, 21: 12-21, 2004
- 93) 宮川俊平, 木下裕光: 体育大学生の入学時のメディカルチェ

- ック．スポーツ医学検査測定ハンドブック(臨床スポーツ医学編集委員会・編)，臨床スポーツ医学，21：529-534，2004
- 94) Arokoski, J.P.A., Surakka, J., Ojala, T., Kolari, P., Jurvelin, J.S.: Feasibility of the use of a novel soft tissue stiffness meter. *Physiol Meas*, 26: 215-228, 2005.
- 95) 宮川俊平，向井直樹，白木 仁，竹村雅裕，福田 崇，花岡美智子，内山治樹：筑波大学におけるスポーツ選手のメディカルチェックシステムの構築．筑波大学体育科学系紀要，28：57-66，2005.
- 96) 小笠原 正，塩野 宏，松尾浩也：スポーツ振興基本計画(抄)．スポーツ六法：信山社：127-143，2005.
- 97) 木下裕光，宮川俊平，青木治人：成長期エリート・サッカー選手における膝伸展機構の筋硬度の検討．日本フットボール学会 2nd Congress 抄録集：42，2005.
- 98) LaRoche, D.P., Connolly, D.A.J.: Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *Am J Sports Med*, 34:1000-1007, 2006.
- 99) 木下裕光，宮川俊平：筋のタイトネスとストレッチ．*体育の科学*，56：710-713，2006.
- 100) 広瀬統一：スポーツ選手の骨成長と膝痛．*臨床スポーツ医学*，23：1005-1012，2006.
- 101) 角田雅也，原田俊彦，吉矢晋一：Osgood-Schlatter 病の病態と理学的所見．*臨床スポーツ医学*，23：1013-1019，2006.
- 102) 池田 浩：Osgood-Schlatter 病の発症要因と予防，保存的治療．*臨床スポーツ医学*，23：1029-1034，2006.

- 103) 柚木 脩, 横山勝道: Osgood-Schlatter 病に対する手術的治療とリハビリテーション. 臨床スポーツ医学, 23: 1045-1053, 2006.
- 104) 木下裕光, 宮川俊平, 向井直樹, 河野一郎: 成長期男子サッカー選手における膝伸展機構の筋硬度の検討. 日整外スポーツ医会誌, 25: 399-402, 2006.

参考論文については学術雑誌掲載論文から構成されていますが、著作権者(出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波大学では電子化・公開しておりません。

なお、下記については電子ジャーナルとして出版社から公開されています。契約している場合は全文を読むことができます。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

- 論文 1) 筋弾性計を用いた膝伸展機構障害の予防指標開発の試み
<http://ci.nii.ac.jp/naid/10029606233>
- 論文 2) 筋のタイトネスとストレッチ (特集 スポーツの疲労と予防策)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40007386884>
- 論文 3) 成長期男子サッカー選手における膝伸展機構の筋硬度の検討
<http://ci.nii.ac.jp/naid/10018657985>
- 論文 4) Measurement of Tissue Hardness for Evaluating Flexibility of the Knee Extensor Mechanism
<http://www.shobix.co.jp/jssf/index.cfm?page=3&JournalNo=2006>