

2013年度 修士論文

発育期におけるサッカー活動が
膝アライメントに与える影響

The influence of participation in training
and game of soccer on the knee alignment of
young males in growth period.

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻スポーツ医学研究領域

5012A007-6

岡本 海斗

研究指導教員： 鳥居 俊 准教授

目次

第1章 序論	1
1-1 緒言	1
1-2 目的	6
第2章 本論	7
第1節 【研究1】2重エネルギーX線吸収測定装置を用いた膝アライメント測定	7
1-1 緒言	7
1-2 方法	8
1-3 結果	13
1-4 考察	18
1-5 結論	19
第2節 【研究2】中学生年代における膝アライメントの他種目間比較	20
2-1 緒言	20
2-2 方法	21
2-3 結果	22
2-4 考察	24
2-5 結論	26
第3節 【研究3】発育期サッカー選手における膝アライメントの変化 —中学生年代における縦断研究と他年代における横断研究—	27
3-1 緒言	27
3-2 方法	28
3-3 結果	30
3-4 考察	40
3-5 結論	47
第3章 総合考察	48
第4章 結論	53
参考文献	54
謝辞	58

第 1 章 序論

1-1. 緒言

サッカー選手には内反膝が多い、ということが指摘されている (Chantrain, 1985)。Chantrain (1985) は引退したサッカー選手 81 名の膝アライメントを調査した結果、73% の人が内反膝であったと報告している。しかし、この研究の対象者は平均年齢が 48.8 歳であり、過去に半月板の切除を受けた者や、変形性膝関節症であると診断された者が含まれていた。そのため、内反膝が 73% という割合には加齢や膝関節疾患の影響も含まれている。しかしながら、一般の高齢者 (対象の平均年齢 66.4 歳) の内反膝の割合が 26% (Brouwer et al., 2007) であり、上記の元サッカー選手の割合と比べると大きな差があることから、過去のサッカー経験によって高齢時に膝関節が内反する割合が高くなる可能性がある。内反膝は変形性膝関節症や他のスポーツ障害の要因になると報告されている (Brouwer et al. 2007; Sharma et al. 2001)。そのためサッカー活動をすることで内反膝を引き起こす時期を明らかにすることや、サッカー活動による影響の大きさを明らかにすることは、サッカー選手および引退後の元選手の健康を守ることに重要であると考えられる。

発育期の 14 歳から 17 歳までの期間にサッカーを経験した者とそうでない者の膝アライメントを、内反・外反・正常の 3 つに分類し比較した研究では、内反膝の割合はサッカー経験者で有意に高かった (Rezende et al., 2011)。このことから、発育期で既にサッカー選手は内反膝の割合が高くなっていることが明らかとなった。

また、Yaniv ら (2006) は 10 歳から 21 歳までのサッカー選手とテニス選手の膝アライメントを比較した。その結果、13 歳以降でテニス選手と比較してサッカー選手の膝関節の内反が有意に大きくなったと報告し

ている。また、Witvrouw ら (2009) は 8 歳から 18 歳までのサッカー選手とその他のスポーツ (テニス、バスケットボール、ハンドボール、バレーボール) を行なっている選手の膝アライメントを比較し、14 歳以降でサッカー選手の膝関節が外反膝から内反膝に変化し、16 歳以降でサッカー選手の膝関節の内反が有意に増加したと報告している (図 1)。一方、一般小児を対象とした研究では 4 歳あるいは 7 歳以降では膝アライメントに変化はない (蜂谷, 1981; Sabharwal et al., 2009) とされている (図 2)。したがって、サッカー選手の膝アライメントは 13 歳、または 14 歳以降でサッカー活動の影響を受けて変化することが考えられる。

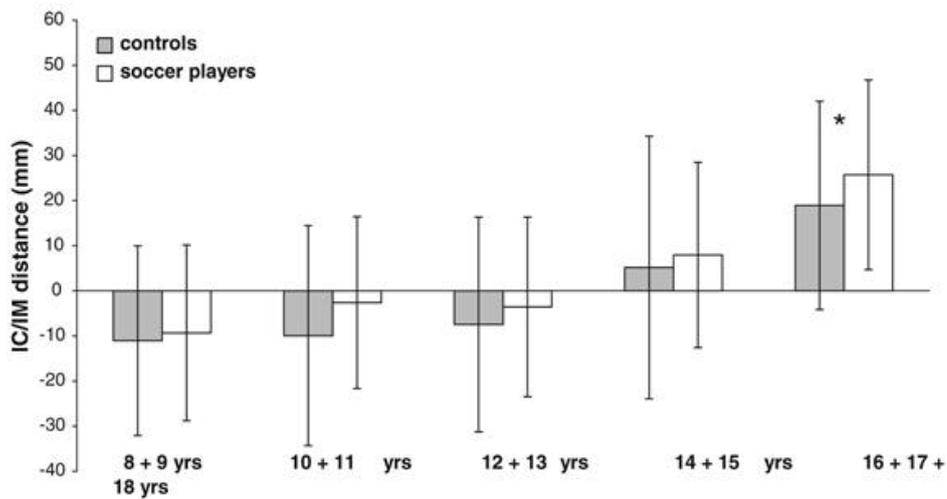


図 1。サッカー選手の膝アライメントの変化 (Witvrouw et al., 2009)

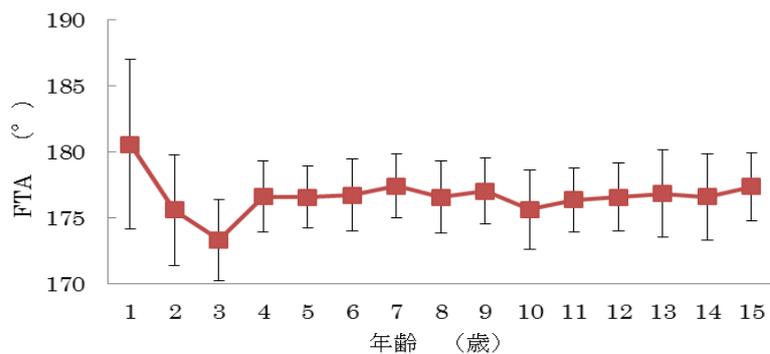


図 2。日本人一般小児の膝アライメントの変化 (蜂谷, 1981)

発育期の骨の骨端部に存在する成長軟骨は、Heuter-Volkman 則という法則に従って成長する。Heuter-Volkman 則とは、成長軟骨への過度な負荷は骨の成長を抑制し、適度な負荷は骨の成長を促進するという法則である (Charles et al., 1997)。1 歳から 3 歳の膝アライメントは、内反した後、外反し、正常な角度に変化する (図 2) が、それは Heuter-Volkman 則によるものである。したがって、サッカー活動によって膝関節の内外側に異なる大きさの負荷が加わることで大腿骨遠位部、脛骨近位部の成長軟骨の成長も内外側で異なり、結果として膝アライメントが変化することが考えられる (Cook et al., 1983)。このようなメカニズムによって、成長軟骨が存在する発育期での激しいサッカー活動が膝関節のアライメントを変化させ、その影響は成長が完了し成長軟骨がなくなるまで続くと考えられている。Witvrouw ら (2009) は、サッカーで見られるキック、切り返し、ランニングが膝関節の内反を増大させる動作であるとしている。しかし、それらの動作の中でどれが膝アライメントを内反へ変化させるのかについては明らかになっていない。

膝関節の内反を大きくさせると考えられている動作の中で、キックは他のスポーツと比べサッカーに特異的な動きである。キック動作を行う際、左右の脚は異なる動きをするためボールを蹴る脚と軸脚とでは膝関節に異なる負荷が加わることが考えられる。そのため、左右の膝アライメントを比較することでキック動作が及ぼす影響が明らかになると考えられる。

これまで述べてきた、サッカー経験者の膝関節の内反に関する先行研究ではいくつかの課題がある。先行研究はいずれも横断研究であり、対象者が本来有していたアライメントの個人差が群間差に影響を及ぼしていた可能性がある。また、膝が内反している選手の方がアジリティやバ

ランス能力が高く、内反膝がサッカーに対して有利にはたらくという報告（Rezende et al., 2011）がある。実際に競技レベル別に比較した研究では、レベルが高くなるほど、膝関節の内反が大きくなったと報告している（Junge et al., 2000）。このことから、年代が高くなるにつれて、競技能力に関連した淘汰によって、結果的に内反膝の選手が残ったという可能性もある。そのため、サッカー活動が膝アライメントに及ぼす影響を明らかにするためには縦断研究を行う必要がある。

また、先行研究では測定方法上の問題もある。ほとんどの先行研究では立位時の大腿骨内側顆間あるいは脛骨内果間距離の計測（図 3）を膝アライメントの測定手法として用いており、両脚で 1 つの指標を算出するため、左右差の比較は行われていない。さらに、この測定手法は骨ではなく皮膚上から測定するため、皮下脂肪などの皮下組織の影響により

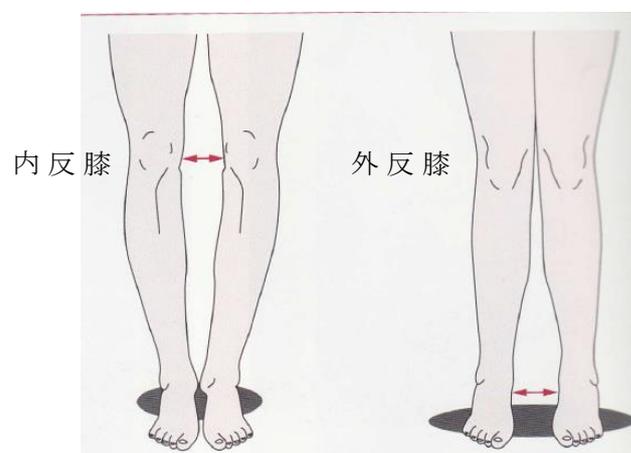


図 3. 内顆間あるいは内果間距離の計測

（公認アスレティックトレーナー専門科目テキスト第 5 巻より）

膝蓋骨が正面を向くようにし両脚を閉じるようにして立つ。
内反膝の場合は大腿骨内側顆の間に、外反膝の場合は脛骨の内果の間に隙間が生じる。その隙間の距離を計測する方法である。

実際の膝アライメントとの誤差が生じる可能性がある。膝アライメントをより正確に、そして左右差からキック動作による影響を検討するためには X 線を使用し、実際の骨を測定しなければならない。

X 線画像から膝アライメントを算出する方法は 2 つある。1 つは股関節、膝関節、足関節の中心から角度を算出する Hip-Knee-Ankle angle (以下、「HKA」と略す) の測定、もう 1 つは大腿骨、脛骨の 2 つの骨軸からなる角度を算出する femorotibial angle (以下、「FTA」と略す) の測定 (Cooke et al. 2007) である (図 4)。HKA は下肢の荷重軸である足関節と股関節の軸から膝関節がどれ位離れているのかを示す機械的アライメント、FTA は骨の軸の傾きを示す解剖学的アライメントとされている。

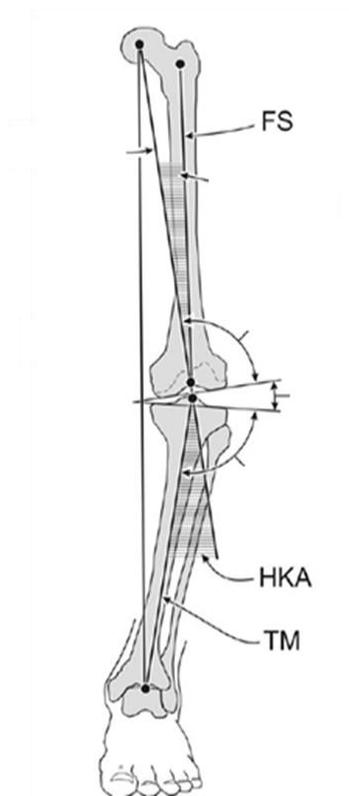


図 4. HKA と FTA の定義 (Cooke et al. 2007)

股関節、膝関節、足関節の 3 点でできる角度が HKA、
大腿骨軸 (FS) と脛骨軸 (TM) の成す角度が FTA である。

HKA と FTA は相関性が非常に高い ($r=0.75-0.88$) (Karus et al., 2005; Hinman et al., 2006; Issa et al., 2007) という報告がある。しかし、HKA は大腿骨頸部を含んでいるが FTA では含まれていないこと、骨幹部の湾曲は FTA のみに影響を及ぼすことから、HKA と FTA の変化が必ずしも一致しないことが考えられる。そのためアライメントの変化が骨のどの部分で起きているかを明らかにするために HKA と FTA を両方測定する必要がある。

1-2. 目的

本研究では先行研究においてサッカー選手の膝アライメントに変化が生じるとされた中学生年代に着目し、発育期におけるサッカー活動が膝アライメントに与える影響とその要因を明らかにすることを目的とした。そのために、まず【研究 1】では本研究で用いる測定手法の再現性を確認するとともに、先行研究で用いられてきた測定方法との比較を行うことで本測定手法の妥当性を検証する。【研究 2】では中学生年代の競技種目間の比較をすることで、キック、切り返し、ランニングというサッカー動作が内反膝に与える影響を検討し、【研究 3】では他年代のサッカー選手の横断比較と中学 3 年間の縦断変化の検討を行う。

第 2 章 本論

第 1 節

【研究 1】2 重エネルギー X 線吸収測定装置を用いた膝アライメント測定
の信頼性の検証

1-1. 緒言

膝アライメントの測定方法には、X 線写真を用いる方法と、皮膚上から測定する方法が多く用いられている。皮膚上から膝アライメントを測定する方法は放射線を用いない安全な方法ではあるが、膝アライメントを骨ではなく皮膚上から測定するため皮下脂肪などの皮下組織の影響により実際の膝アライメントとの誤差が生じる可能性がある。一方で、X 線写真を用いた場合、実際の骨から膝アライメントを算出できるため解析の精度が高いという利点があるが、測定によって対象者が微量の被ばくを受けるといった欠点もある。X 線を使用し骨格を撮影する装置には X 線写真の他に、2 重エネルギー X 線吸収測定（以下、DXA）装置がある。DXA 装置による測定は X 線を使用するものの、レントゲンの 50 分の 1（0.01mSv：人が自然に受けている放射線の 1 日程度以下）というわずかな放射線量で骨格の画像を撮影できるため、安全にかつ正確に膝アライメントを測定できるという大きな利点がある。Keith ら（1993）は骨延長手術後に新たにできる骨の骨幹部のアライメントの経過観察において、DXA 装置は X 線写真と同じく有用であると報告している。一方、DXA 装置を使用して膝アライメントを測定した研究は皆無であり、その妥当性は不明確である。そのため、膝アライメント測定における DXA 装置の妥当性を明らかにすることは、膝アライメント分野の研究の発展につながる事が考えられる。

そこで第2章第1節では、膝アライメント測定におけるDXA装置とX線写真の比較と、DXA装置による骨格画像撮影と解析の再現性を検証することで膝アライメント測定におけるDXA装置の信頼性を明らかにすることを目的とする。

1-2. 方法

1-2-1. 対象

対象は下肢に重篤な障害や手術経験のない健康なものとした。DXA装置とX線写真の膝アライメント測定の比較には成人男性7名14脚、DXA装置による膝アライメント測定の再現性の検討には青年男子8名16脚とした。各対象群の年齢、身長、体重は表1に示した(平均値±標準偏差)。対象者には、本研究の目的と起こりうる危険性を十分に説明し、書面にて参加の同意を得た。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」に承認を受けたものである。

表1. 各実験群の年齢、身長、体重

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	n
DXA-X線比較実験群	23.7±3.1	167.4±3.2	59.6±5.5	7
再現性検討実験群	15.5±0.8	168.9±6.0	58.1±3.9	8

1-2-2. 測定方法

DXA 装置 (DelphiA-QDR、Hologic 社) による測定では、whole body mode で全身スキャンをすることで、全身骨格画像を撮影した。本装置の使用は、放射線取扱い資格を有する医師が行い、定められた手順で較正 (キャリブレーション) を実施してから測定を行った。衣類による測定誤差を少なくするため、対象者には T シャツとハーフパンツといった軽装になるよう指示をした。対象者には、検診テーブル上で仰臥位をとらせ、身体の正中線が検診テーブルの中心線と一致するようにさせた。また、股関節軽度内旋位で左右の母趾が接するように足部を固定した (野間ほか, 2009; 図 5)。対象者には約 4 分間の測定中、安静で上記の姿勢を維持するように指示した。DXA 装置による全身骨格画像撮影の再現性を検討するため、青年対象者には 2 度撮影を行った。撮影は同じ日に行い、同一対象者を連続して撮影しないよう留意した。

X 線写真撮影 (KX0-80G、東芝社) は対象者に検診台の上に立つように指示し、膝蓋骨が正面を向くように股関節軽度内旋位をとらせた (図 6)。撮影条件は管電圧 85Kvp、管電流 400mA、照射時間 0.08msec、撮影距離 210cm とした。X 線写真と DXA 装置による撮影は 10 日以内の間隔で行った。



図 5. DXA 装置撮影姿勢（左）と撮影画像（右）

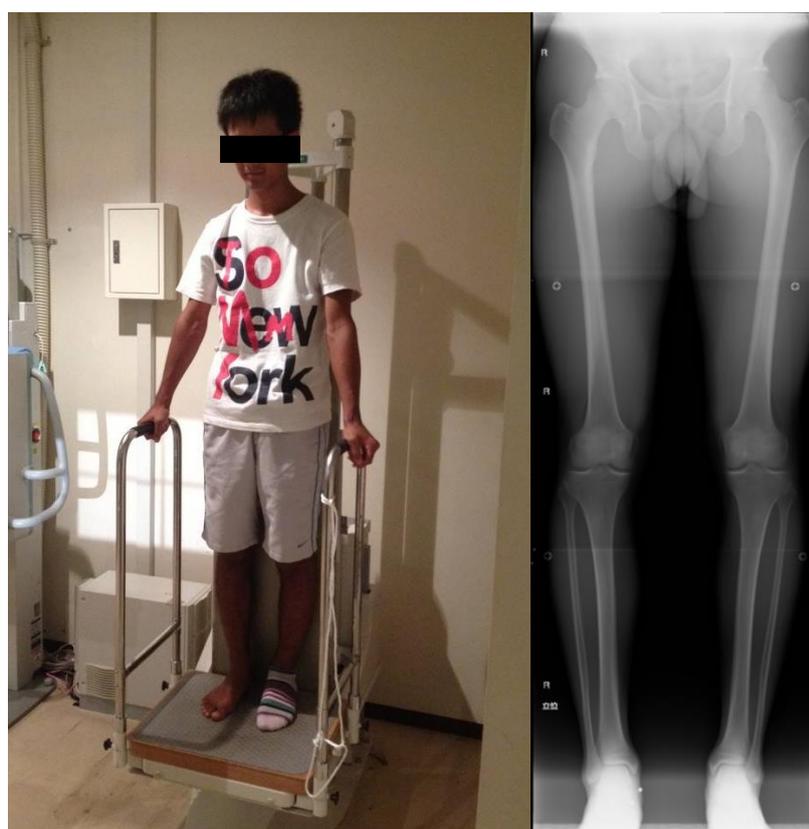


図 6. X線写真撮影姿勢（左）と撮影画像（右）

1-2-3. 解析方法

DXA 装置、X 線写真によって得られた骨格画像から、画像解析ソフトウェア (ImageJ、National Institutes of Health) を使用して膝アライメントの指標である HKA と FTA を算出した。HKA は股関節中心である大腿骨頭の中心点、膝関節中心である膝裂隙の中心点、足関節中心である距腿関節の中心点の 3 点のなす角度とした (図 7、左)。先行研究に従い、180 度を基準とし、外反方向を正の値、内反方向を負の値と定義した (Cooke et al. 2007)。FTA は大腿骨軸と脛骨軸のなす角度とした。それぞれの骨の近位、遠位の骨幹端の骨幅の中点を結んだ線を骨軸とした (図 7、右)。解析は左右両脚ともに行った。

DXA 装置によって撮影した画像の角度解析の再現性を検討するため、青年対象者のみ、同一画像に対して 2 回解析を行った。全ての解析は同一検者が行った。

1-2-4. 統計処理

取得したデータはすべて平均±標準偏差で示した。DXA 装置の全身骨格画像撮影の再現性、角度解析の再現性は級内相関係数 (1, 1) (Intraclass correlation coefficient、以下 ICC) の算出と Bland-Altman 分析を用いて、加算誤差、比例誤差を算出し検討した。DXA 装置と X 線写真によって得られた角度の比較は Pearson の積率相関係数の算出と Bland-Altman 分析 (Bland & Altman, 1986) を用いて、加算誤差、比例誤差を算出し検討した。また、それぞれの測定における左右差の違いを明らかにするため、左脚から右脚の値を引いた値を HKA、FTA ともに対応のある T 検定を用いて検討した。

統計処理には統計解析ソフトウェア (PASW Statistic 18、IBM 社) を

使用し、危険率は5%未満とした。

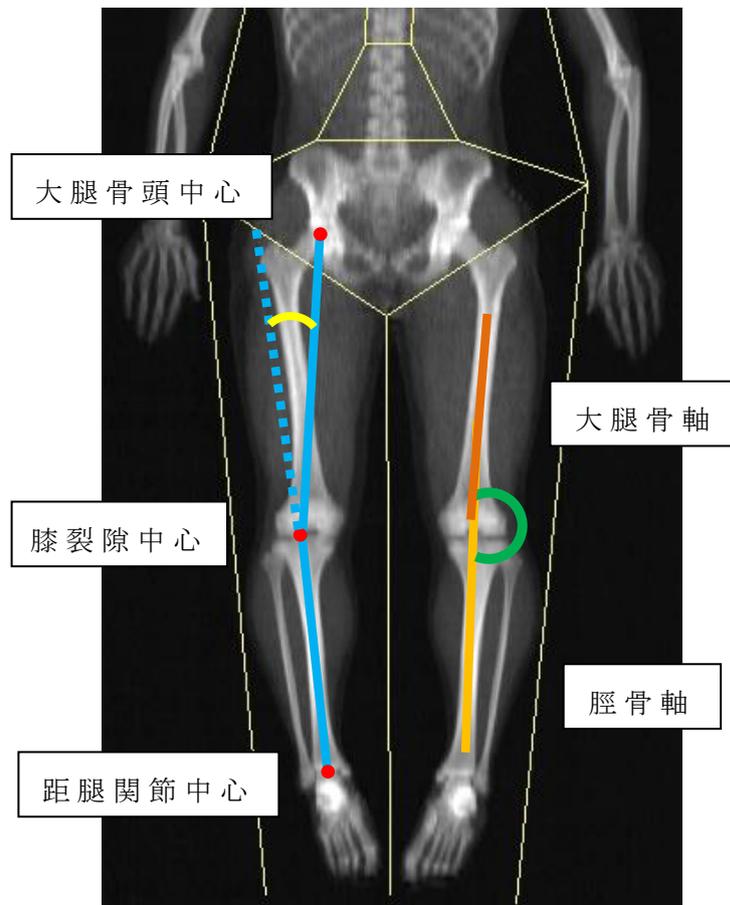


図 7. 解析角度

HKA（左）：大腿骨頭中心・膝裂隙中心・距腿関節中心の3点（赤丸で表した点）を結んでできる角度を、180度を基準とし、外反方向を正の値、内反方向を負の値で示した（黄色で表した角度）。

FTA（右）：大腿骨軸（茶色で表した軸）と脛骨軸（オレンジ色で表した軸）の成す角度とした（緑色で示した角度）。

1-3. 結果

1-3-1. 角度解析の再現性

HKA の角度解析の Bland-Altman プロットを図 8 に示した。加算誤差 (95%信頼区間: $-1.00 \sim 0.55$)、比例誤差 ($r=0.27, p=0.30$) とともに認められなかった。ICC は 0.877 であった。FTA の角度解析の Bland-Altman プロットを図 9 に示した。加算誤差 (95%信頼区間: $-0.32 \sim 0.05$)、比例誤差 ($r=0.16, p=0.61$) とともに認められなかった。ICC は 0.991 であった。

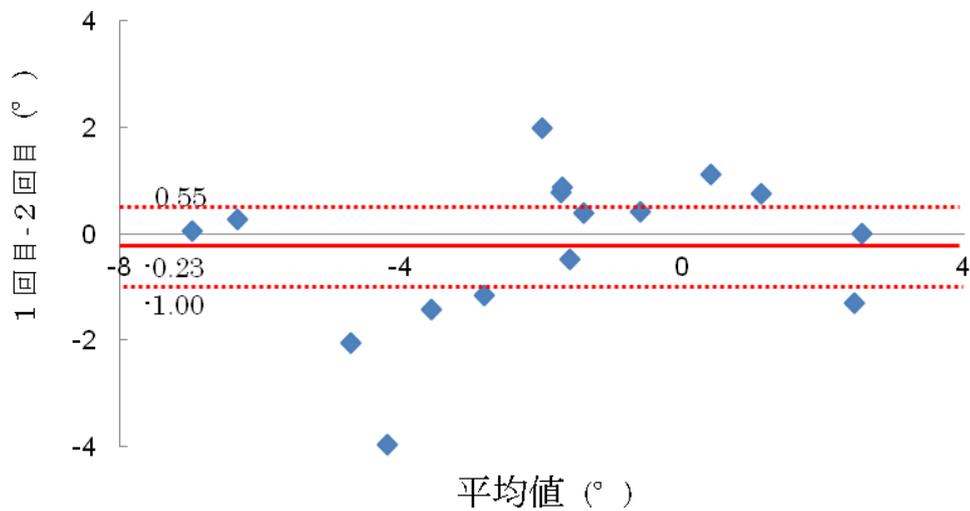


図 8. Bland-Altman Plot (1 回目解析角度 - 2 回目解析角度、HKA)

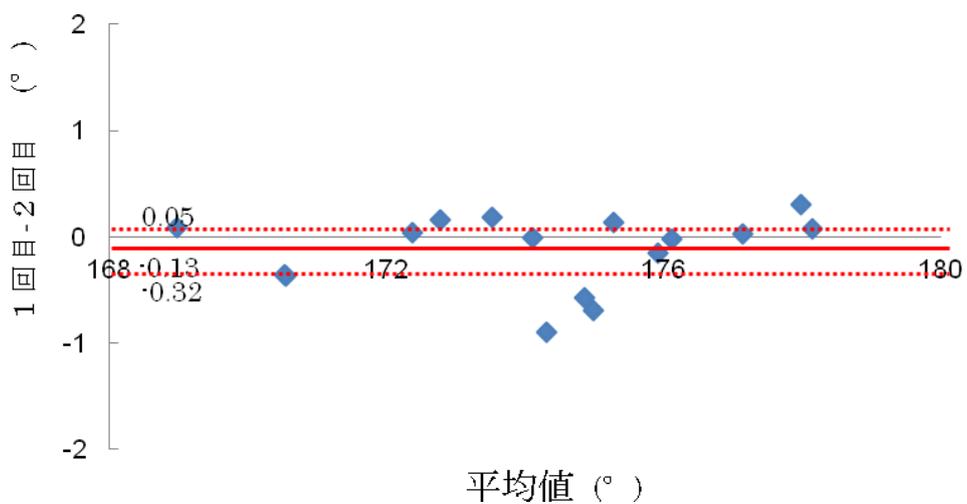


図 9. Bland-Altman Plot (1 回目解析角度 - 2 回目解析角度、FTA)

1-3-2. DXA 装置による画像撮影の再現性

DXA 装置による 2 度の画像撮影の HKA の角度解析について Bland-Altman プロットを図 10 に示した。加算誤差(95%信頼区間:-0.79~0.49)、比例誤差 ($r=-0.40, p=0.12$) とともに認められなかった。ICC は 0.972 であった。DXA 装置による 2 度の画像撮影の FTA の角度解析について Bland-Altman プロットを図 11 に示した。加算誤差(95%信頼区間:-0.56~0.53)、比例誤差 ($r=-0.23, p=0.40$) とともに認められなかった。ICC は 0.98 であった。

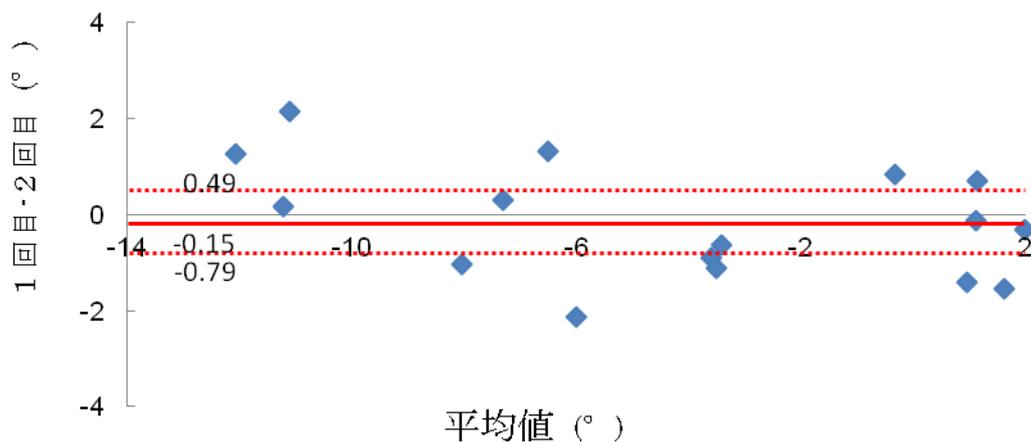


図 10. Bland-Altman Plot (DXA1 回目測定角度 - 2 回目測定角、HKA)

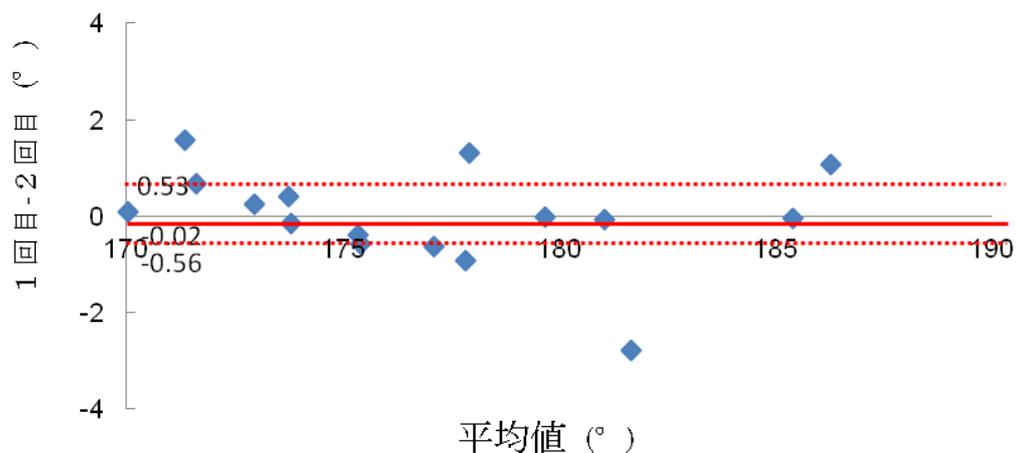


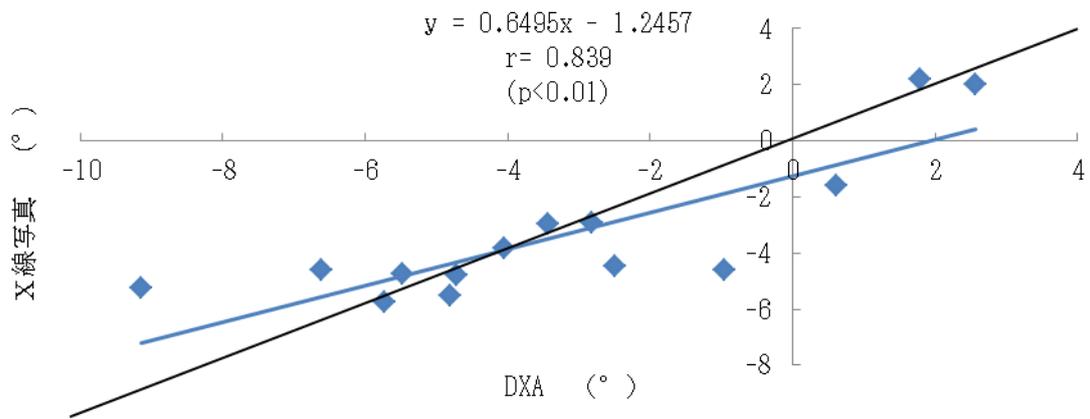
図 11. Bland-Altman Plot (DXA1 回目測定角度 - 2 回目測定角、FTA)

1-3-3. DXA 装置と X 線写真の比較

DXA 装置と X 線写真による測定角度を表 2 に示した。HKA、FTA ともに DXA 装置と X 線写真で生じる左右差に有意差は認められなかった。DXA 装置と X 線写真によって算出される HKA の値には正の相関関係が示された ($r=0.839, p<0.01$) (図 12)。DXA 装置と X 線写真の HKA 測定角度の Bland-Altman プロットを図 13 に示した。加算誤差 (95%信頼区間: $-0.66 \sim 0.89$)、比例誤差 ($r=0.43, p=0.13$) ともに認められなかった。DXA 装置と X 線写真によって算出される FTA の値には正の相関関係が示された ($r=0.934, p<0.01$) (図 14)。DXA 装置と X 線写真の FTA 測定角度の Bland-Altman プロットを図 15 に示した。加算誤差 (95%信頼区間: $-2.79 \sim -1.39$)、比例誤差 ($r=0.64, p=0.01$) ともに認められた。

表 2. DXA 装置、X 線写真による各解析角度

	HKA (右)	HKA (左)	HKA (左右)	FTA (右)	FTA (左)	FTA (左右)
DXA装置 (°)	-2.72 ± 3.52	-3.75 ± 3.28	-3.23 ± 3.31	175.44 ± 3.70	176.95 ± 3.72	176.20 ± 3.65
X線写真 (°)	-3.18 ± 2.66	-3.52 ± 2.67	-3.35 ± 2.56	178.03 ± 2.66	178.54 ± 2.93	178.29 ± 2.70



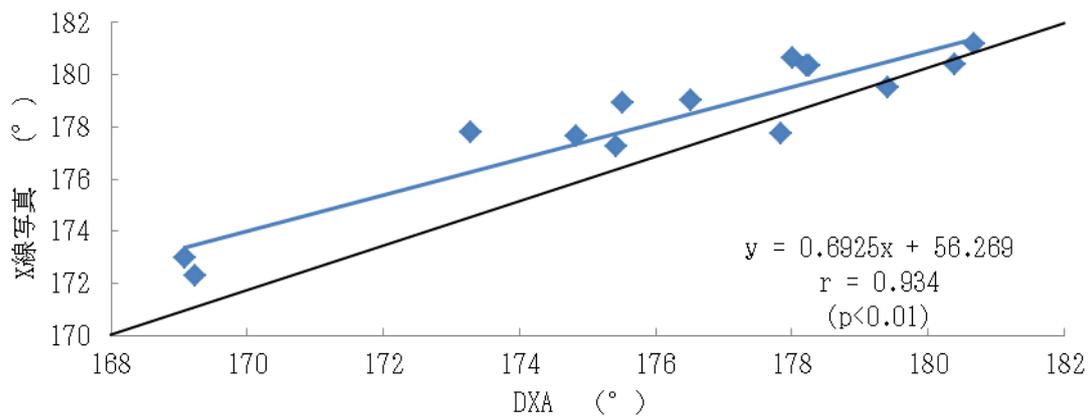


図 14. DXA 装置と X 線写真の比較 (FTA)

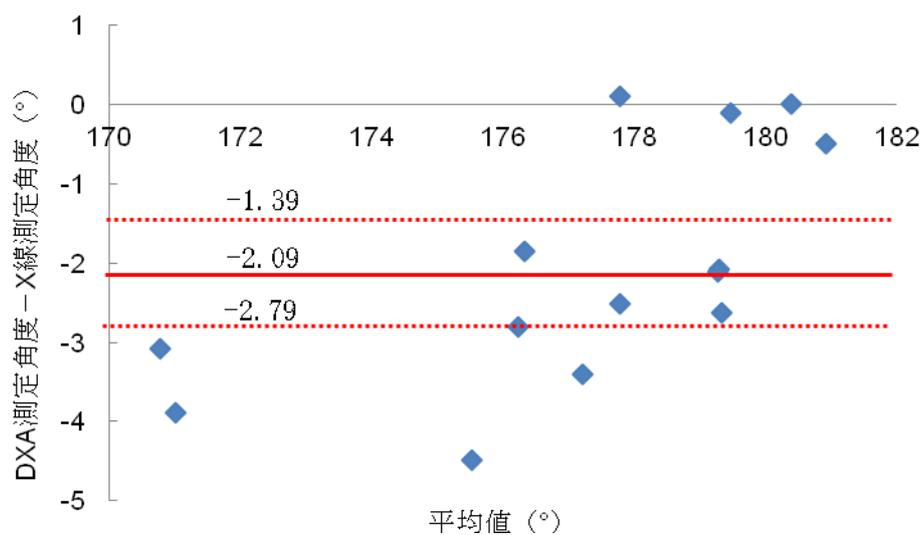


図 15. Bland-Altman Plot (DXA 測定角度 - X 線測定角度、FTA)

1-4. 考察

1-4-1. 角度解析、DXA 装置による画像撮影の再現性

同一画像に対する 2 回の解析角度、DXA 装置による同一対象者に対する 2 回の骨格画像撮影から算出する角度は HKA、FTA ともに加算誤差、比例誤差が認められず、ICC は非常に高い値を示した。従って、本研究における角度解析と DXA 装置による全身骨格画像撮影には高い再現性が認められた。

1-4-2. DXA 装置と X 線写真の比較

DXA 装置と X 線写真によって取得した全身骨格画像から算出される角度は、HKA、FTA ともに正の相関関係が認められた。その一方で、HKA では加算誤差および比例誤差が見られなかったが、FTA では加算誤差と比例誤差が認められた。FTA で認められた加算誤差、比例誤差は測定姿勢の違いにより生じたものであると考えられる。立位に比べ、臥位では下肢に荷重負荷が掛からず、そのために DXA で測定される FTA は X 線写真で測定される角度よりも約 2° 小さくなることが示された。また、FTA が小さい（外反が大きい）程、X 線写真で測定される角度よりも DXA 装置で測定される角度が小さくなるということは、荷重負荷による影響は FTA が小さい人ほど大きく受ける可能性がある。これは、外反が大きいほど、荷重による負荷のモーメントアームが大きくなるからであると考えられる。

1-5. 結論

- DXA 装置と X 線写真の間には強い正の相関関係が認められ、DXA 装置による全身骨格画像撮影には高い再現性が認められた。
- DXA 装置による膝アライメント測定は妥当である
(ただし、FTA において立位時と比べ約 2° 小さくなり、さらに FTA の角度が小さいほどその差は大きくなる)

第 2 章 第 2 節

【研究 2】中学生年代における膝アライメントの他種目間比較

2-1. 緒言

発育期に膝関節の内反が大きくなる変化はサッカー選手だけでなく、その他のスポーツ（陸上競技、フィールドホッケー、バスケットボール、バレーボール、テニス、バドミントン、スカッシュ）選手においても見られる（Thijs et al., 2012）。そのため、膝関節の内反を増大させる動作として考えられているキック、切り返し、ランニング（Witvrouw et al., 2009）の内、サッカー以外の種目でも頻繁に見られる切り返しやランニングが膝アライメントの変化に大きく影響を及ぼしている可能性がある。しかし、これらの動作と膝アライメントの変化の関係を検討した研究は行われていないため、膝関節の内反を増大させる動作は明らかになっていない。

そこで第 2 節では、キック、切り返し、ランニングが膝関節の内反に及ぼす影響の大きさを明らかにすることを目的とし、中学生年代における他種目の横断比較を行った。キック、切り返し、ランニングを頻繁に行うサッカー選手と、左右前後への切り返しが多い野球選手、ランニングを主動作とする陸上競技選手を比較することで、各種目で行われる動作が膝アライメントの変化に及ぼす影響を検証した。

2-2. 方法

2-2-1. 対象

対象は地域サッカークラブチームに所属する中学生男子サッカー選手 285 名、比較対象として地域野球クラブチームに所属する中学生男子野球選手 22 名、中学校の陸上競技部に所属する中学生男子陸上競技選手 14 名とした。各群の身体的特徴は以下に示す（表 3）。対象者には、本研究の目的と起こりうる危険性を十分に説明し、書面にて参加の同意を得た。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」に承認を受けたものである。

表 3. 各群の身体的特徴

	身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)
サッカー群	158.8±9.3	47.3±8.2	13.1±0.8
野球群	162.9±7.7	57.6±12.6	13.5±0.9
陸上競技群	163.9±7.5	48.5±5.8	13.9±0.6

2-2-2. 測定方法

本研究の測定は【研究 1】と同様に、DXA 装置（DelphiA-QDR、Hologic 社）を使用し、whole body mode で全身スキャンをすることで全身骨格画像を取得した。測定方法、手順、姿勢などは【研究 1】と同様である。身長、体重はそれぞれデジタル身長計、デジタル体重計で測定した。

2-2-3. 解析方法

【研究 1】と同様の方法で HKA、FTA を算出した。HKA、FTA とともに左右の平均値を各対象の測定値とし、サッカー群、野球群、陸上競技群の横断比較を行った。

2-2-4. 統計処理

取得したデータはすべて平均±標準偏差で示した。各群の比較には 1 要因分散分析と Tukey の多重比較検定を用いた。統計処理には統計解析ソフトウェア (PASW Statistic 18、IBM 社) を使用し、危険率は 5% 未満とした。

2-3. 結果

2-3-1. 中学生年代の他種目間比較

中学生年代のサッカー群、野球群、陸上競技群の他種目間比較の結果を図 16、17 に示した。HKA ではサッカー群が野球群 ($p < 0.01$)、陸上競技群 ($p = 0.01$) に対して有意に内反が大きかった。FTA ではサッカー群 ($p < 0.01$) と野球群 ($p < 0.01$) が陸上競技群に対して有意に内反が大きかった。

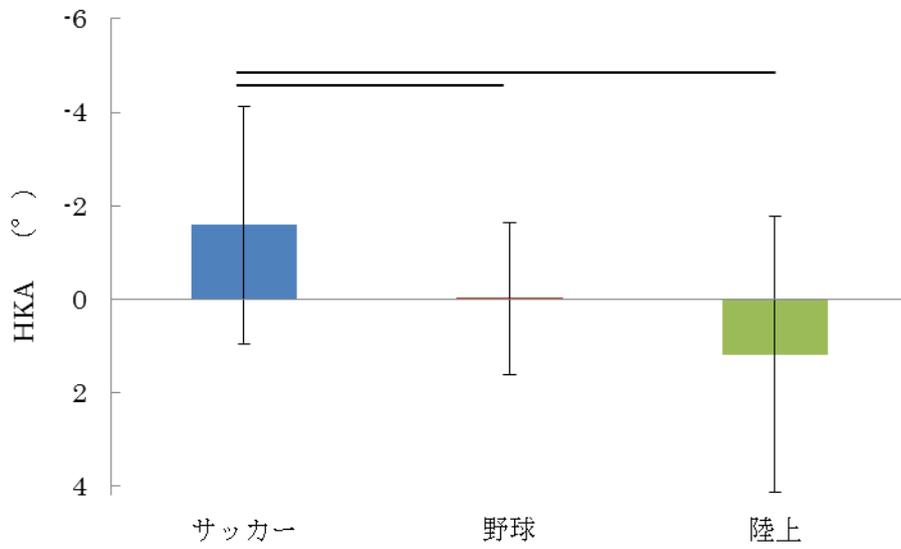


図 16. 中学生年代の他種目間比較 (HKA)

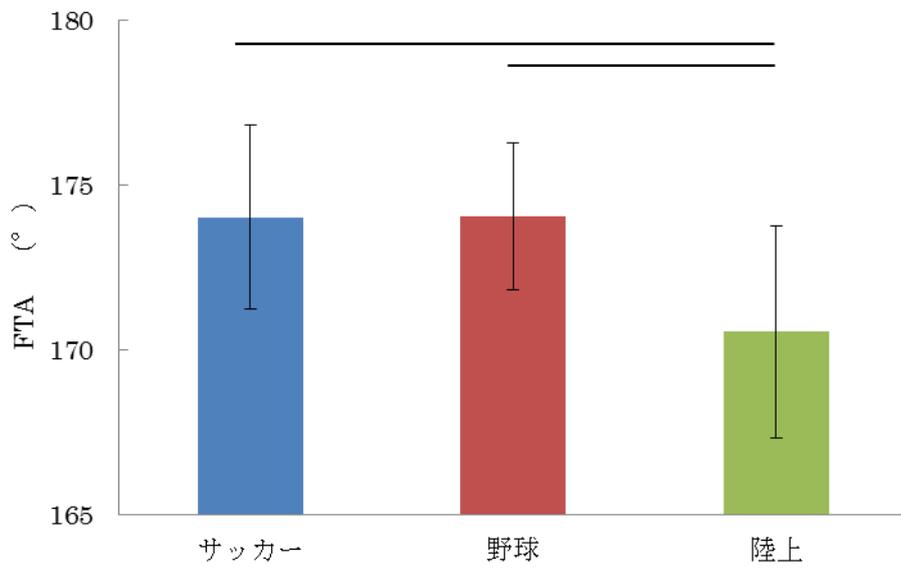


図 17. 中学生年代の他種目間比較 (FTA)

2-4. 考察

動きが異なるサッカー、野球、陸上競技選手の膝アライメントを比較することで、膝関節の内反を増大させると考えられているキック、切り返し、ランニング (Witvrouw et al., 2009) の各動作が膝アライメントへ与える影響を検討した。本研究では、HKA はサッカー群が野球群、陸上競技群より膝関節の内反が有意に大きく、FTA はサッカー群、野球群が陸上競技群より膝関節の内反が有意に大きいという結果を示した。サッカー群の膝関節の内反が他のスポーツよりも大きいことは、14 歳から 16 歳のサッカー選手がテニス選手よりも膝関節の内反が大きいという Yaniv ら (2006) の報告と一致する結果であった。

サッカーはキック、切り返し、ランニングの全ての動作を行う種目であり、中でもキック動作はサッカーに特異的なものである。野球はバッティングや守備時の打球への反応、ベースランニングで切り返しのような横の動きとランニングを行う種目である。しかし、ベースランニングは予測のできる切り返しであり、守備での反応も含めて、野球で見られる切り返しよりもサッカーで見られる切り返しの方が激しく膝関節に加わる負荷も大きいことが考えられる。陸上競技は前方へのランニングのみを行う種目である。サッカー群と野球群の間で、HKA は差があるものの FTA では差がないということは、各種目の動作の影響を受ける骨の部位が異なる可能性がある。つまり、サッカーと野球で共通して見られる横方向の動きは、2 群の FTA が大きいことから大腿骨あるいは脛骨の骨幹部の湾曲を増加させる可能性があり、サッカーのみで見られるキックや激しい切り返しはサッカー群の HKA が小さい (内反方向へ大きい) ため、大腿骨頸部の形状を変化させることが示唆された。

Thijs ら (2012) は、陸上競技選手を含めたサッカー以外の、荷重負荷が大きく掛かるスポーツを行う選手でもサッカー選手と同様に膝関節の内反が大きくなると述べている。これは、陸上競技選手の膝関節の内反が小さかった本研究とは異なる結果であった。その理由は、Thijs ら (2012) は対象としたスポーツ種目 (陸上競技、フィールドホッケー、バスケットボール、バレーボール、テニス、バドミントン、スカッシュ) を、全てを 1 群にまとめて運動習慣のない一般人と比較したためであると考えられる。対象のスポーツの中にはフィールドホッケー、バスケットボール、テニス、バドミントン、スカッシュといった切り返しや横方向の動きがあるスポーツが含まれており、それらの選手の膝アライメントの変化によってスポーツ群と一般人との間に差が出た可能性がある。Thijs ら (2012) が行っていない、種目毎による検討を行った本研究の結果では、陸上競技群の膝関節の内反はサッカー群、野球群に比べて小さく膝関節の内反の増大に対するランニング動作の関与は少ないことが示唆された。

本研究の限界点として、まず横断研究であることが挙げられる。そのため個人差が影響した可能性があり、種目間の違いをより明らかにするためには縦断研究が必要となる。次に、比較対象のスポーツが挙げられる。本研究では切り返し動作のあるスポーツとして野球を選択したが、サッカーで見られる切り返しとは動きが異なる。そのため、バスケットボールなどサッカーと同じような激しい切り返しを行うスポーツと比較することで、膝アライメントの変化に対する切り返しとキック動作の関与を明確にすることができると考える。

2-5. 結論

- キックや激しい切り返しは HKA を減少（内反）させ、横方向の動きは FTA を増加（内反）させる
- ランニングは膝関節の内反を増大させる要因ではない

第 2 章 第 3 節

【研究 3】 発育期サッカー選手における膝アライメントの変化

—中学生年代における縦断研究と他年代における横断研究—

3-1. 緒言

サッカー選手は中学生年代で膝関節の内反が増加すると報告されている (Yaniv et al., 2006; Witvrouw et al., 2009)。しかし、これらの先行研究はいずれも皮膚上から膝アライメントを測定した横断研究であるため、サッカー活動と膝アライメントの関係をより明らかにするためには X 線を使用した測定方法による縦断研究が必要となる。

サッカー選手の膝関節を内反させる要因として、キック、切り返し、ランニングといった動作 (Witvrouw et al., 2009) やポジション、身体的成熟度が考えられる。上記の動作の中でキック動作はサッカーに特異的な動作であり、【研究 2】の結果から膝関節の内反に大きな影響を及ぼす可能性がある。また、Silva ら (2007) は、サッカー選手は試合中のポジションによって異なる動きをすると報告している。試合中のポジションによって上記の動作を行う頻度が異なることで、膝関節に掛かる負荷も異なり、その結果、膝アライメントの変化に相違が見られることが考えられる。さらに、発育期にサッカー選手の膝関節が内反すること (Chantrain, 1985; Yaniv et al., 2006; Witvrouw et al., 2009) は上記の動作が膝アライメントに与える影響の大きさが身体的成熟度と関連していることが考えられる。しかし、これらの要因と膝アライメントの変化を検討した研究はされていない。

また、これまでに行われてきたサッカー選手の膝アライメントを測定した横断研究は複数の年齢の対象を 1 つの群としてまとめた群間比較で

あるため、膝アライメントがサッカー活動による影響によって変化が生じる明確な年齢は明らかになっていない。

そこで第3節では、発育期のサッカー活動が膝アライメントに及ぼす影響を明らかにするために中学生サッカー選手の膝アライメントの縦断研究と小学生から大学生までのサッカー選手の膝アライメントの横断研究を行った。また、キック動作やポジションが膝アライメントの変化に及ぼす影響と、身体的成熟度と膝アライメント変化の関係を縦断的に検討することで膝関節を内反させる要因を明らかにすることを目的とした。

3-2. 方法

3-2-1. 対象

縦断研究の対象は【研究2】と同じ地域サッカークラブチームに所属する中学生男子71名とした。横断研究の対象は上記の地域サッカークラブチームに所属する小学生、中学生及びサッカー部に所属する高校生、大学生の計482名とした。下肢に重篤な障害があるもの、手術経験のあるものは対象から除外した。対象者には、本研究の目的と起こりうる危険性を十分に説明し、書面にて参加の同意を得た。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」に承認を受けたものである。

3-2-2. 測定方法

本研究の測定は【研究1、2】と同様に、DXA装置（DelphiA-QDR、Hologic社）を使用し、whole body modeで全身スキャンをすることで全身骨格画像を撮影した。測定方法、手順、姿勢などは【研究1、2】と

同様である。身長、体重はそれぞれデジタル身長計、デジタル体重計で測定した。

縦断研究の測定は中学 1 年時から 3 年時までの毎年春（5 月上旬）と秋（10 月下旬）に実施し、中学 3 年時のみ秋は行わずに卒業前の 3 月に行った。中学 1 年春・秋、2 年春・秋、3 年春・卒業前の計 6 回の測定を実施した。なお、2007 年から 2013 年の間に上記 6 回の測定を受けた者を本研究の対象とした。利き脚、非利き脚とポジションは対象者から聞き取り調査を行った。利き脚、非利き脚の定義はボールを蹴るのが得意な方を利き脚、逆の脚を非利き脚とした。また、ポジションはゴールキーパー、ディフェンダー、ミッドフィールダー、フォワードの 4 つに分類した。

3-2-3. 解析方法

【研究 1、2】と同様の方法で HKA、FTA を算出した。縦断研究では左右の脚でそれぞれの値を算出し、利き脚・非利き脚の 3 年間の膝アライメントの縦断変化と、各測定期間の変化量の比較を HKA、FTA とともに行った。

また、縦断研究の対象者を 4 つのポジションに分類し、左右の平均値を HKA、FTA とともに算出してポジション間の比較を行った。身体成熟の指標として、パーソナルコンピュータープログラム AUXAL3.1（SSI 社）を用いて、中学 3 年間の 6 回の身長測定結果から最終身長予測値を推定し、各測定時期の身長を最終身長予測で除した値を算出した。HKA、FTA の左右の平均値と身長/最終身長予測の関係を検討した。

横断研究は HKA、FTA の左右の平均値を各対象の測定値とした。小学 1 年から中学 3 年までは学年毎に群分けを行ったが、高校生、大学生は各

学年の人数が少ないため高校生群、大学生群としてそれぞれ1群にまとめて検討した。

3-2-4. 統計処理

取得したデータはすべて平均±標準偏差で示した。縦断研究における測定時期と利き脚・非利き脚、ポジション別の比較、変化量と利き脚・非利き脚の比較には2要因分散分析を用いた。ポジション別の比較ではその後の検定としてTukeyの多重比較検定を行った。膝アライメント角度と身長/最終身長予測の関係の検討にはPearsonの積率相関係数を用いた。横断研究では1要因分散分析を用いた。統計処理には統計解析ソフトウェア(PASW Statistic 18、IBM社)を使用し、危険率は5%未満とした。

3-3. 結果

3-3-1. 身長、体重の縦断変化

縦断研究の対象の身長、体重の縦断変化と、参考として平成24年度学校保健統計調査における同年代の全国平均値を表4に示した。横断研究の対象の各群における人数と身体的特徴を表5に示した。

表4. 縦断研究の対象の身長、体重と全国平均値

	1年春	1年秋	2年春	2年秋	3年春	卒業前
身長(cm)	151.9±7.5	155.6±7.7	159.4±7.3	162.8±6.6	165.5±6.1	168.2±5.4
体重(kg)	41.5±5.7	43.9±5.9	47.0±5.9	49.9±5.7	53.2±5.6	58.2±5.8
(全国平均)						
身長(cm)	152.4±8.0		159.5±7.8		165.1±6.7	
体重(kg)	44.0±9.8		49.0±10.0		54.2±10.0	

表 5. 横断研究の対象の群別の人数と身体的特徴

	小学1年	小学2年	小学3年	小学4年	小学5年	小学6年	中学1年	中学2年	中学3年	高校生	大学生
n	15	24	29	36	39	33	95	95	95	10	27
身長(cm)	119.9±3.2	123.9±5.9	129.9±6.6	134.7±7.7	141.2±7.2	148.6±7.3	151.6±7.8	159.2±7.8	165.3±6.5	166.9±9.2	173.1±5.4
体重(kg)	23.2±4.7	25.5±4.4	27.4±4.8	29.5±4.4	34.7±6.2	39.3±6.4	41.7±6.8	47.1±6.9	53.3±6.5	62.2±8.0	67.0±5.9
年齢(歳)										16.9±0.7	20.0±1.3

3-3-2. 縦断変化

HKA の縦断変化を図 18 に示した。利き脚・非利き脚と測定時期との間に交互作用は認められなかった。利き脚、非利き脚ともに徐々に内反方向へ変化し、1 年春と 1 年秋、1 年秋と 2 年春以外の全てにおいて有意差が認められ、2 年春以降は内反角度が有意に増加した。利き脚、非利き脚の比較では非利き脚が利き脚に対して有意に内反が大きかった。

FTA の縦断変化を図 19 に示した。HKA と同様に、FTA においても利き脚・非利き脚と測定時期との間に交互作用は認められなかった。利き脚、非利き脚ともに徐々に内反方向へ変化し、1 年秋と 2 年春、1 年秋と 2 年秋においては有意差が認められなかったが、それ以外の測定時期の比較では有意差が認められた。利き脚・非利き脚の比較も HKA と同様、非利き脚が利き脚に対して有意に内反が大きかった。

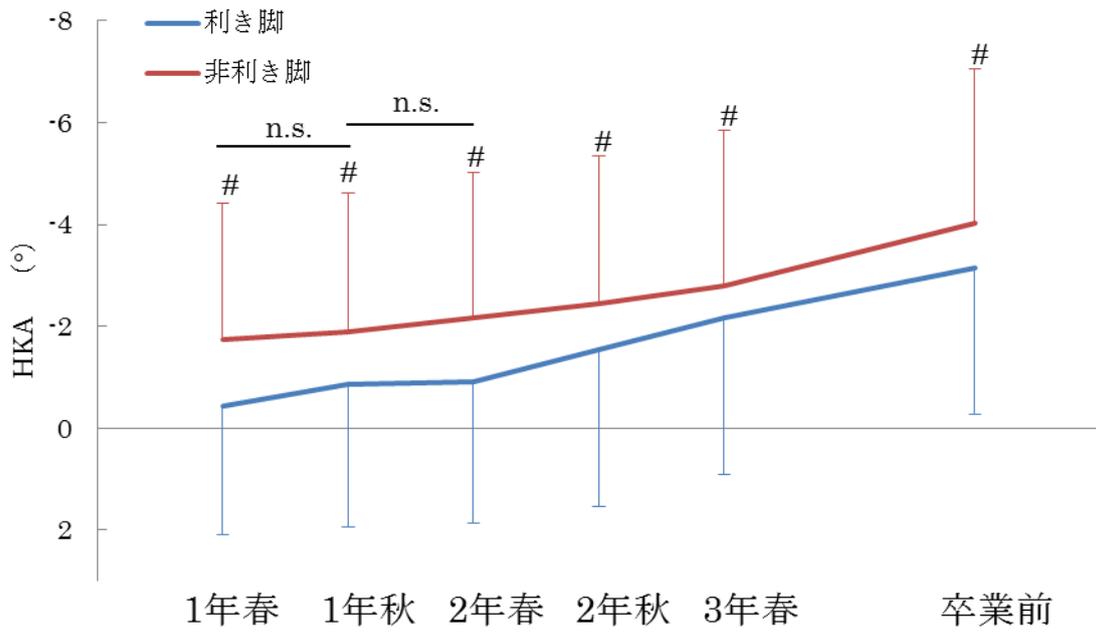


図 18. HKA の縦断変化

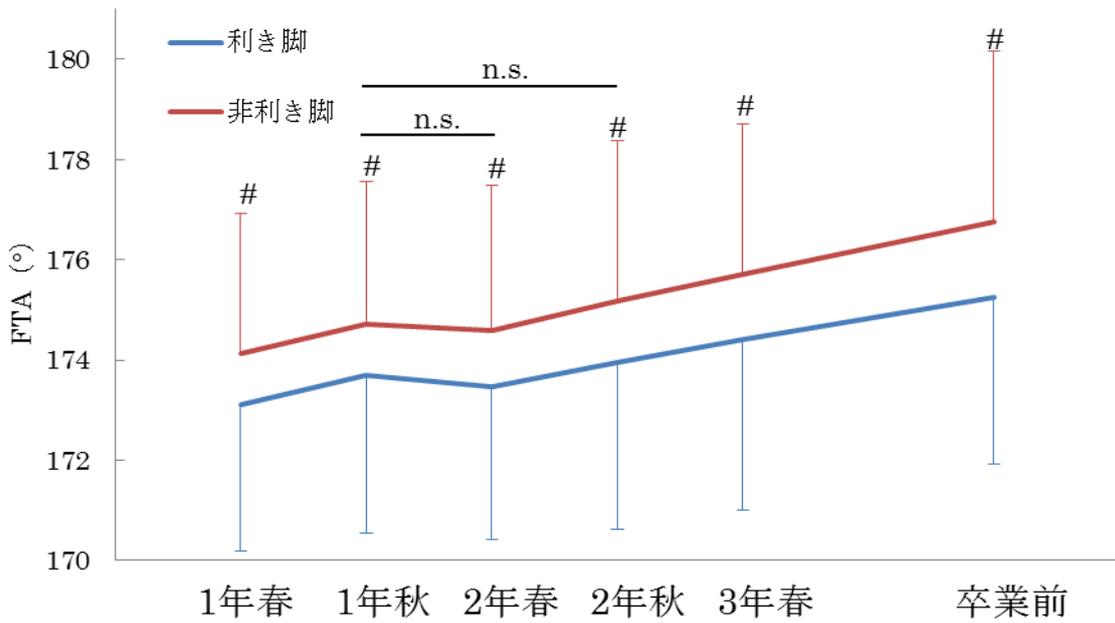


図 19. FTA の縦断変化

3-3-3. 変化量

HKA の変化量を図 20 に示した。HKA の変化量では利き脚・非利き脚と測定時期との間に交互作用は認められず、利き脚と非利き脚の間で有意な差は見られなかった。3 年春から卒業前までの HKA の変化量が、1 年春から 1 年秋、1 年秋から 2 年春、2 年春から 2 年秋と比較して有意に内反方向へ大きかった。

FTA の変化量を図 21 に示した。FTA の変化量についても、利き脚・非利き脚と測定時期との間に交互作用はなく、利き脚と非利き脚の間で有意差は認められなかった。1 年秋から 2 年春までの変化量がその他 4 つの時期の変化量と比べて有意に外反方向に大きかった。

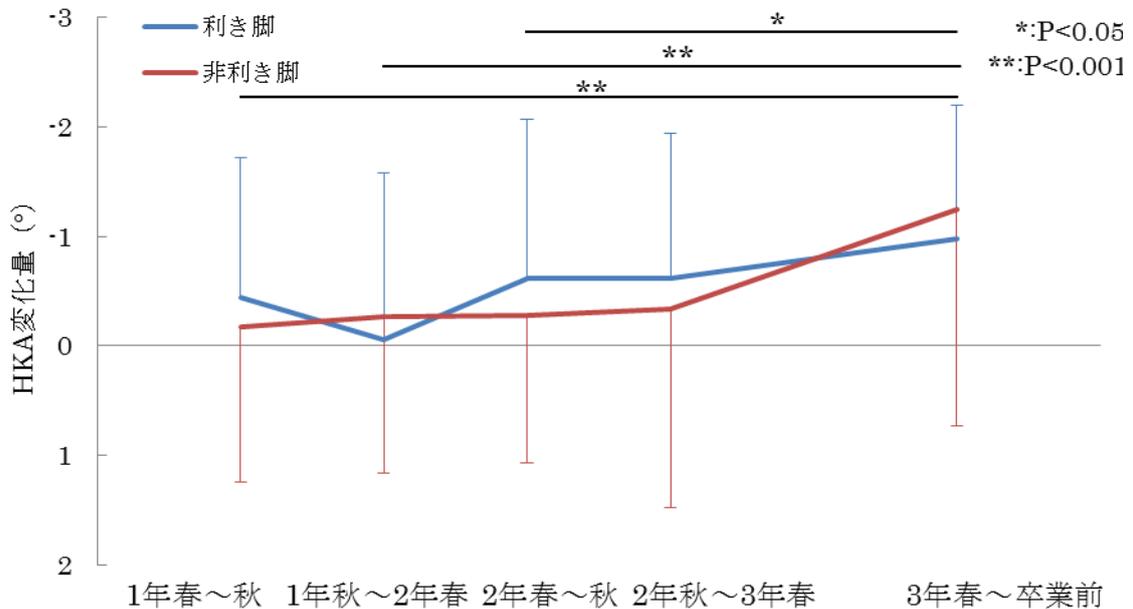


図 20. HKA 変化量

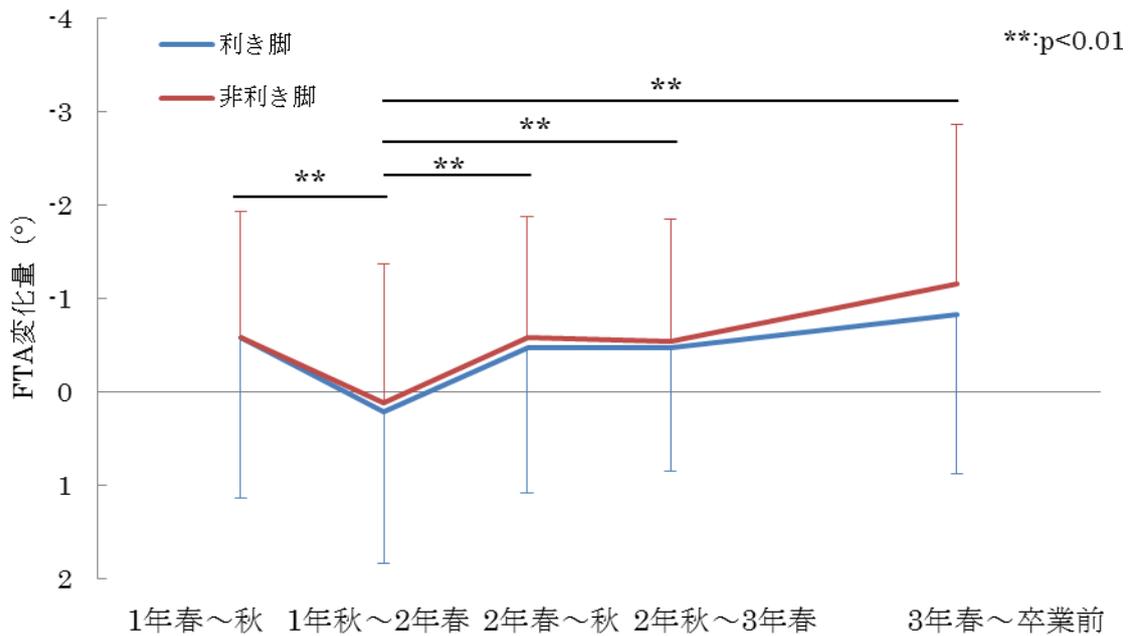


図 21. FTA 変化量

3-3-4. ポジション別の比較

ポジション別の人数は、GKが5名であり、他の3ポジション（19名～27名）と比べて非常に少なかった（表6）。ポジション別のHKA縦断変化を図22に示した。ポジションと測定時期の間に交互作用は認められず、ポジション間で有意差はなかった。

ポジション別のFTA縦断変化を図23に示した。ポジションと測定時期の間に交互作用は認められず、ポジション間で有意差はなかった。しかし、GKは全ての測定時期において他のポジションよりも外反している値を示した。

表 6. 各ポジションの人数

	GK	DF	MF	FW
n	5	27	20	19

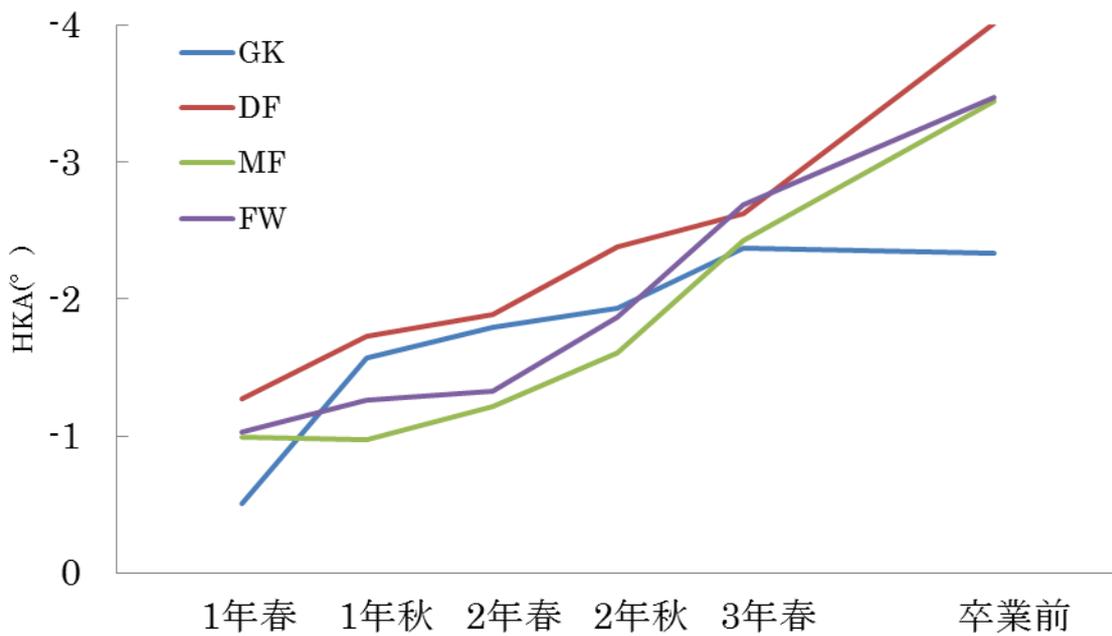


図 22. ポジション別 HKA 縦断変化

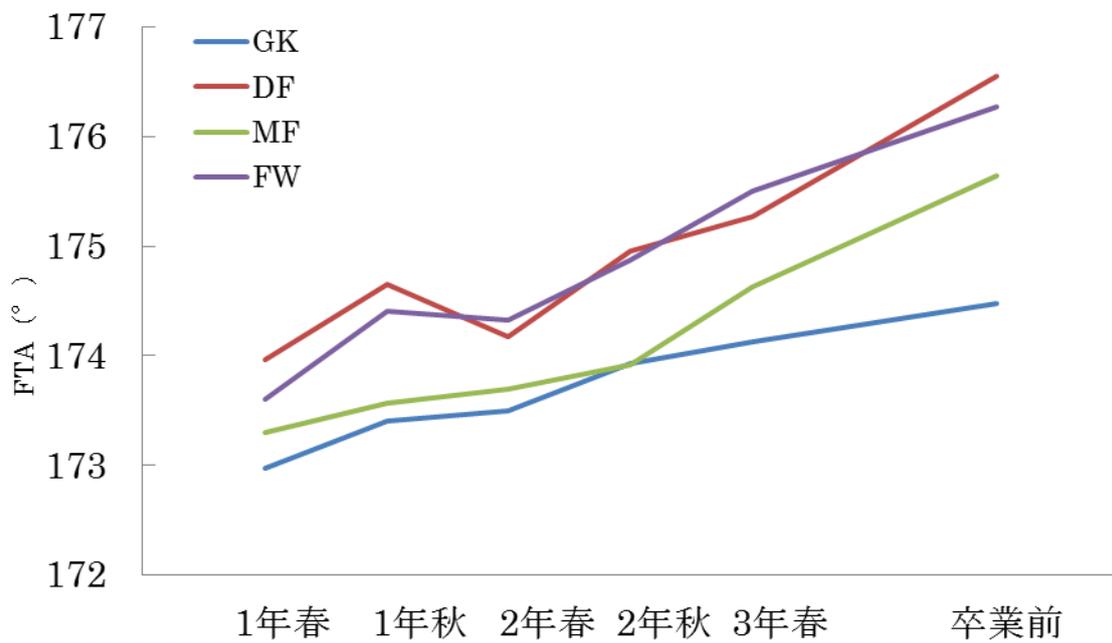


図 23. ポジション別 FTA 縦断変化

3-3-5. 身体成熟と膝アライメント変化の関係

身長/最終身長予測と HKA、FTA の関係を図 24、25 に示した。HKA は身長/最終身長予測と負の相関 ($r=-0.323, p<0.01$) が、FTA では正の相関 ($r=0.291, p=0.01$) が見られた。HKA、FTA と身長/最終身長予測の各測定期間の変化量の間を関係を図 26、27 に示した。HKA 変化量と身長/最終身長予測変化量には正の相関 ($r=0.131, p=0.014$) が見られた。一方、FTA 変化量と身長/最終身長予測変化量には相関が見られなかった ($r=0.086, p=0.106$)。

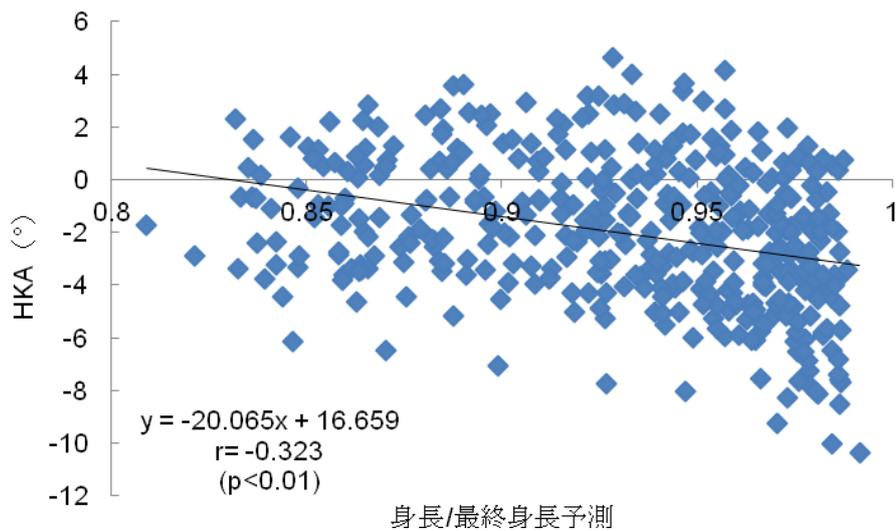


図 24. HKA と身長/最終身長予測の関係

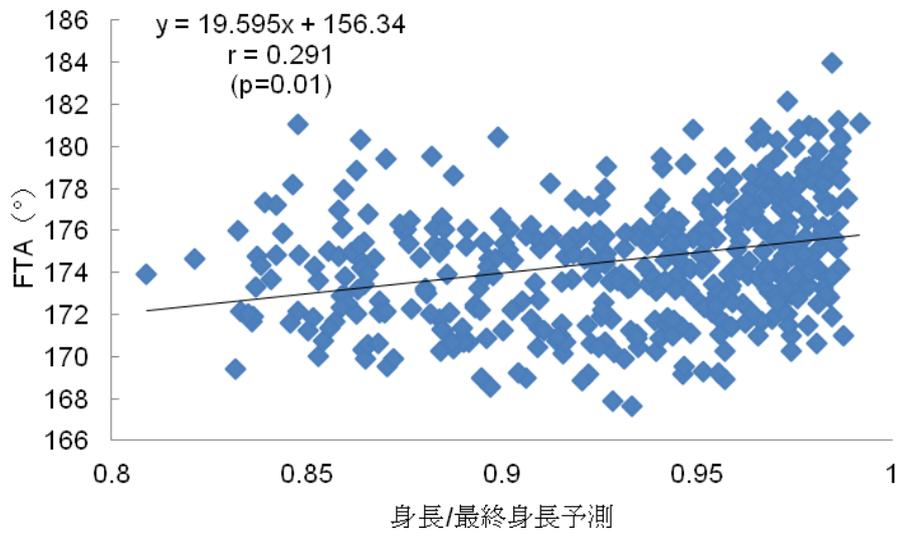


図 25. FTA と身長/最終身長予測の関係

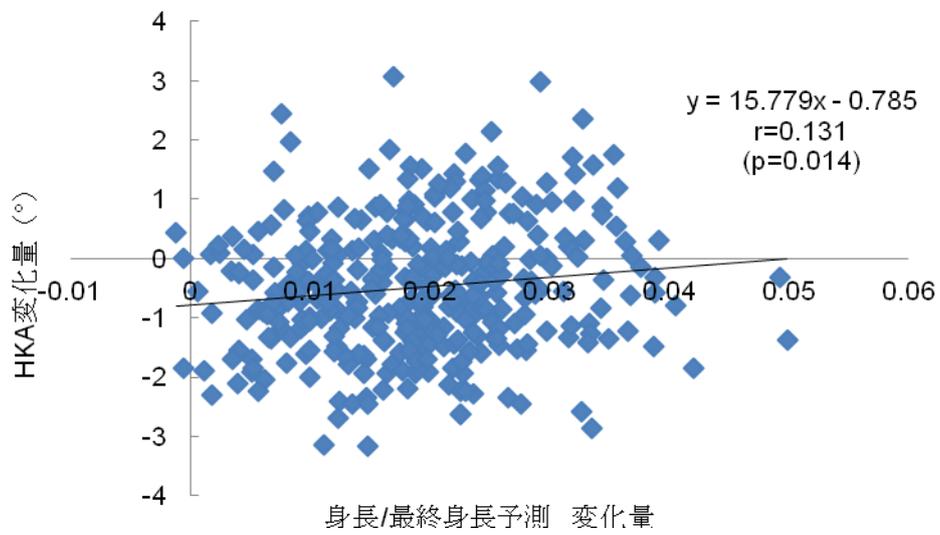


図 26. HKA 変化量と身長/最終身長予測変化量の関係

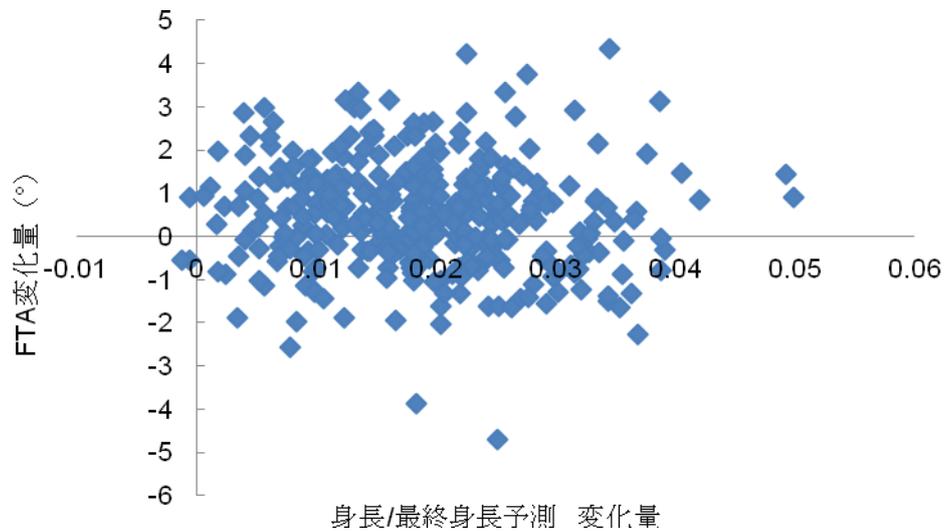


図 27. FTA 変化量と身長/最終身長予測変化量の関係

3-3-6. サッカー選手の他年代比較

小学 1 年生から大学生までのサッカー選手の他年代比較の結果を図 28、29 に示した。HKA では大学生が小学 1 年 ($p < 0.01$)、小学 2 年 ($p < 0.01$)、小学 3 年 ($p = 0.01$)、小学 6 年 ($p < 0.01$)、中学 1 年 ($p < 0.01$) に対して有意に内反が大きかった。高校生が小学 1 年 ($p < 0.01$)、小学 2 年 ($p < 0.01$)、小学 3 年 ($p = 0.04$)、小学 6 年 ($p < 0.01$) に対して有意に内反が大きかった。また、中学 3 年が小学 1 年 ($p < 0.01$)、小学 2 年 ($p < 0.01$)、小学 3 年 ($p = 0.01$)、小学 6 年 ($p < 0.01$)、中学 1 年 ($p < 0.01$) に対して、中学 2 年が小学 1 年 ($p = 0.04$) に対して有意に内反が大きかった。FTA では大学生が小学 6 年 ($p = 0.03$)、中学 1 年 ($p = 0.01$) に対して、中学 3 年が中学 1 年 ($p = 0.01$) に対して有意に内反が大きかった。

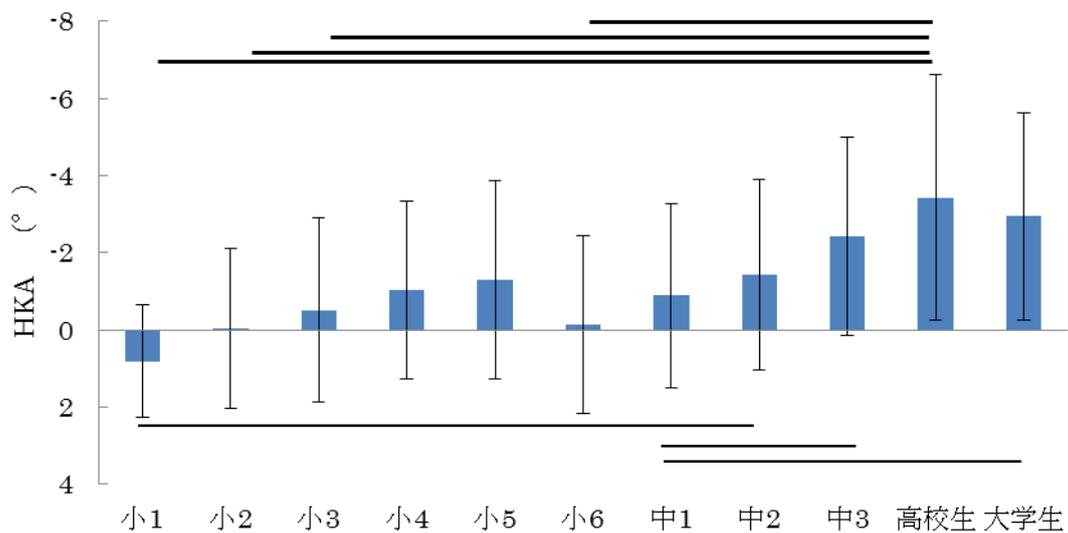


図 28. サッカー選手の他年代比較 (HKA)

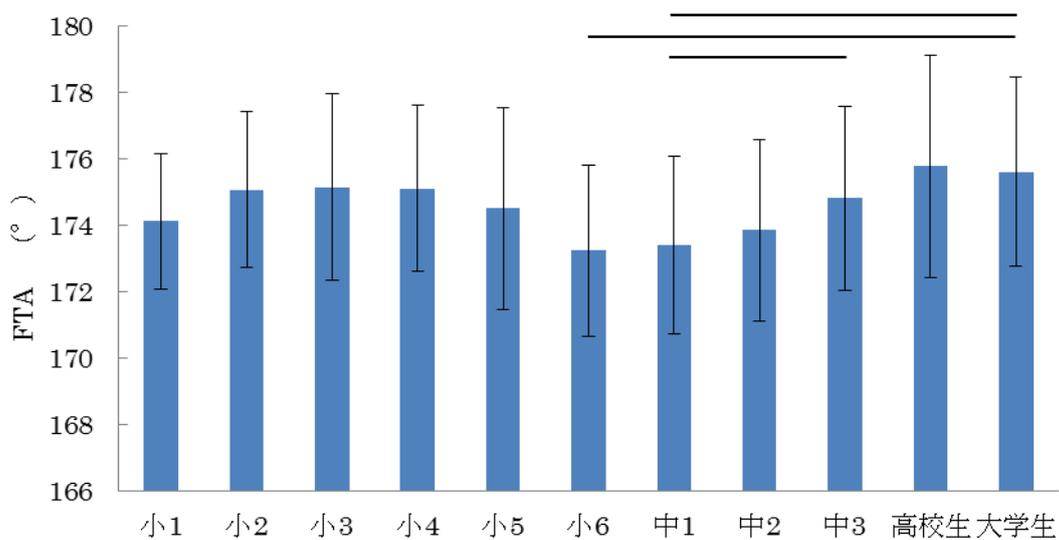


図 29. サッカー選手の他年代比較 (FTA)

3-4. 考察

3-4-1. 対象

縦断研究の対象は身長、体重ともに文部科学省による平成 24 年度学校保健統計調査における全国平均値とほぼ等しいため、一般的な体格を有し正常な発育をしたサッカー選手が対象であると言える。

3-4-2. 膝アライメントの縦断変化

各測定時期の膝アライメントを比較した結果、HKA では 1 年春と 1 年秋、1 年秋と 2 年春以外において有意差が認められた。FTA では 1 年秋と 2 年春、1 年秋と 2 年秋以外において有意差が認められた。FTA の 1 年秋から 2 年春のみ外反方向へわずかに大きくなったが、その他は HKA、FTA ともに内反方向へ角度が増加し、2 年秋以降は有意に角度が増加していた。成長期のサッカー選手の膝アライメントを横断的に調査した先行研究 (Yaniv et al.2006; Witvrouw et al.2009) では、13 歳や 14 歳でサッカー選手の膝アライメントが内反方向へ変化すると報告している。縦断研究である本研究においても同様の結果となった。

本研究は膝アライメントを縦断的に調査した初めての研究である。先行研究では一般的な小児を対象に横断研究が行われてきた。アメリカ人を対象とした先行研究 (Sabharwal et al.,2009) では、HKA、FTA ともに 7 歳以降では大きな変化はないと報告している。日本人を対象とした先行研究 (蜂谷,1981) は FTA のみ測定し、4 歳以降は変化がないと報告している。しかし、中学生サッカー選手を対象とした本研究では、膝アライメントが内反方向へ変化する結果が示された。このことから、7 歳以降であってもサッカー活動によって膝アライメントを変化させうることが示唆された。対象が同じ日本人である蜂谷のデータと本研究のデー

タを比較すると、FTAは蜂谷の結果では 176.5° から 176.8° に対して本研究で 173.7° から 176.7° であり、蜂谷が対象とした一般人よりも本研究の対象であるサッカー選手の方が小さい角度になった。その理由として、蜂谷は立位時のX線レントゲン撮影によってFTAを算出したのに対して本研究では臥位でのDXA装置撮影によってFTAを算出したという測定方法の違いが考えられる。

3-4-3. 膝アライメントの変化量

HKAの変化量は全ての測定期間の間で内反方向への増加を示した。有意差は3年春から卒業前の期間と1年春から1年秋、1年秋から2年春、2年春から2年秋で認められた。測定期間の長さは通常約半年であったが、3年春から卒業前のみ約10ヶ月と他に比べて長かったため、その期間の変化量が最も大きかったと考えられる。測定期間の長さを考慮すると、HKAは3年間、ほぼ同じ大きさ($-0.2\sim-0.6^{\circ}$ /半年)で徐々に内反していくことが考えられる。

FTAにおいても3年春から卒業前が最も変化量が大きかったのは測定期間の長さによるものと考えられる。しかし、FTAはHKAとは異なり、1年秋から2年春で外反方向への変化を示した。その期間は身長が最も伸びた期間であるため、下肢の骨の長軸方向への変化も大きい期間であると推測できる。骨の長軸方向の変化が膝アライメントを外反させるような影響を及ぼした可能性もあるが、1年春から秋までの身長変化は、1年秋から2年春と比べてわずかに少ないだけであり、その他の期間も身長は増加していることから骨も長軸方向に変化していると考えられる。それにも関わらず、その他の期間は膝アライメントが内反方向へ変化している。また、1年秋から2年春の外反方向への変化量は非利き脚で約

0.1°、利き足で約 0.2° と小さく、【研究 1】の角度解析の再現性から考えられる誤差の範囲内であった（図 4）。そのため、この外反方向への増加は測定誤差に埋もれる程度の変化であると考えられる。そのため、FTA も HKA と同様に膝関節の内反が 3 年間で増大し続けることが示唆された。

3-4-4. 利き脚と非利き脚での膝アライメントの比較

HKA、FTA とともに非利き脚が利き脚よりも有意に内反していた（図 18、19）。その要因としてキック時に膝関節に掛かる負荷が利き脚、非利き脚で異なることが考えられる。シュートやロングパスなどボールを強く蹴る際、利き脚を後方にスイングしてからボールを蹴って接地するまでの間、非利き脚は股関節内転位の状態で全体重を支えていることになる（図 30）。この時、膝関節には内反トルクが生じていると考えられる。



図 30. キック時の非利き脚股関節内転の様子

（「世界のトッププロに学ぶサッカー勝利のテクニック」より）

キック時に利き脚に加わる外力は、蹴る瞬間にボールから受ける反力である。インステップキックではボールインパクト時に利き脚の膝関節に対して内外反方向のトルクが生じると考えられるが、全身のバランスをとる支持脚（非利き脚）に比べるとそのトルクは小さいものと考えられる。このことから、キック動作で膝関節に加わる内外反方向の負荷は利き脚よりも非利き脚のほうが大きく、その結果として非利き脚の方が、利き脚より内反が大きかったと推察される。

一方で、利き脚と非利き脚で見られた差は測定方法によるものである可能性がある。本研究の対象者 71 名の内、利き脚が左だったのは 1 名のみで、【研究 1】の結果では、有意差はなかったものの、X 線写真では HKA で 0.3° 、FTA で 0.5° 左脚の内反が大きかったのに対し、DXA 装置では HKA で 1.1° 、FTA で 1.6° 左脚の内反が大きかった。そのため、DXA 装置による膝アライメント測定では右脚に比べて左脚の内反が大きくなる傾向がある可能性がある。また、一般人小児を対象とした過去の横断研究 (Sabharwal et al., 2009; 蜂谷, 1981) では左右差について触れられていないが、【研究 1】の結果では X 線写真と DXA 装置のいずれも左脚が右脚に比べて内反が大きかったことから、そもそも人間の膝アライメントは左脚が右脚と比較して内反が大きいという左右差が存在する可能性がある。

本研究では HKA、FTA、およびそれらの変化量ともに利き脚、非利き脚と測定時期との間に交互作用は見られなかった。つまり、利き脚と非利き脚の HKA、FTA は同じように変化するが、常に利き脚よりも非利き脚で内反が大きいということになる。したがって、非利き脚と利き脚で見られた差は、キック動作による影響だけでなく測定方法や人間本来の左右差によるものである可能性がある。しかし、ボールを蹴る頻度は利き脚

の方が高いものの、少なからず非利き脚でもボールを蹴っていると考えられる。そのため、両脚ともにキック動作の影響を受けて膝関節の内反が大きくなった可能性もある。

3-4-5. ポジション別の比較

本研究では膝関節が内反方向へ変化することに対して、ポジションは関係ないという結果を示した。サッカーの試合中の動きはポジションによって異なることが報告されており (Silva et al., 2007)、特にフィールドプレイヤーと比べて GK はランニング、切り返し、キックの頻度が少なく、膝関節に掛かる負荷も少ないことが考えられる。そのため、GK と比較して他のポジションの方が有意に内反するという仮説を立てていたが、有意差は認められなかった。しかし、FTA では全ての期間で GK が最も外反しており卒業前では他のポジションと比べて 1° 以上、DF とは 2° の差になった。HKA においても、卒業前では GK が他のポジションよりも 1 度以上の差が生じておりポジションによる動作の違いが少なからず影響を及ぼしている可能性がある。

本研究の限界として、GK の人数が 5 名と少なかったことが挙げられる。今後は GK の数を増やした調査を行うことで、フィールドプレイヤーと GK の間に膝アライメントの違いがあることが明らかになるものと期待される。

3-4-6. 身体成熟と膝アライメント変化の関係

HKA、FTA とともに身体成熟度と低い相関関係が見られた。しかし、発育期の中学生は身長が増加するのが一般的であるため、発育が進む（身長が伸びる）ほど膝関節の内反が大きくなるという解釈だけでなく、サッ

カー活動の影響を受け、膝関節の内反が大きくなる時期に身長が伸びたことで、結果として相関関係が見られたという解釈もできる。そこで、膝アライメント角度と身長/最終身長予測のそれぞれの変化量の関係について検討した結果、FTAは相関関係が見られなかったがHKAは非常に低い正の相関関係が認められた。しかしながら、HKAの相関係数は0.131極めて小さく、膝関節の内反の増加は身体成熟度とは関係がないと考えられる。

3-4-7. サッカー選手の横断研究

横断研究の結果はHKAとFTAで似たような傾向を示した。HKAは、小学6年で停滞した後、大学生にかけて徐々に内反が大きかった。一方、FTAは小学1年から小学4年にかけて内反が大きく、小学5年、小学6年で内反が停滞し、その後大学生にかけて内反が大きかった。いずれの角度も小学1年から小学6年の各学年間に有意差は認められず、統計学的に、この期間の差が有意であるという結果は示さなかった。FTAにおいても同様に、小学1年から小学6年の間に有意差は認められなかった。しかし、小学4年が中学1年よりも内反が有意に大きい結果を示したが、これは横断研究であるため、個人差が影響したと考えられる。HKA、FTAともに小学6年以降に有意に内反が増大したという本研究の結果から小学6年以降でサッカー選手の膝アライメントが内反方向へ変化することが示唆された。

本研究の限界点として、対象の競技歴を検討できなかったことが挙げられる。そのため、本研究の結果はサッカーの影響だけでなく発育の影響も考えられる。しかし、一般小児を対象とした先行研究ではHKAは、7歳以降は変化がなく、FTAは4歳あるいは7歳以降は変化がない

(Sabharwal et al., 2009; 蜂谷, 1981) と報告しており、本研究は一般小児とは異なる結果であった。そのため、本研究の結果から小学 6 年までは膝アライメントに対するサッカーの影響はないために差が生じなかったと考えられる。小学 6 年以降は一般小児とは異なる変化を示し、サッカー選手の膝アライメントを調査した先行研究と一致するため、小学 6 年以降からサッカー活動の影響を受けて膝アライメントが変化すると考えられる。Witvrouw ら (2009) は年齢を 2 歳または 3 歳毎にまとめて群分けをし、群間比較を行っており、本研究がサッカー選手の膝アライメントを年齢 (学年) 毎に比較した初めての研究である。そのため、本研究の結果からサッカー活動の影響を受け始める時期が小学 6 年ころである可能性が示された。

本研究では中学 3 年と高校生、大学生の間で膝関節の内反が大きくなったが、有意な差ではなかった。したがって、中学 3 年以降も継続して内反が大きくなるのか中学 3 年以降は変わらないのかを明らかにすることはできなかった。しかし、Witvrouw ら (2009) の報告では高校生年代でさらに内反が大きくなっており、中学 3 年以降も内反が増大する可能性がある。Witvrouw ら (2009) は大学生年代以降の対象はいなかったため、サッカー活動が膝アライメントの変化に影響を及ぼす期間は明らかになっていない。しかし、Ogden (1982) は骨端核の閉鎖時期が大腿骨頭では 16 歳から 18 歳、大腿骨遠位部と脛骨近位部は 16 歳から 19 歳、脛骨遠位部は 17 歳から 18 歳であると報告している。したがって、大腿骨と脛骨の骨端核が閉鎖する 18 歳～19 歳までは膝アライメントが変化することが考えられる。この点を明らかにするためには、小学生から大学生あるいは 22 歳以降までの幅広い対象を調査する必要があると考える。

3-5. 結論

- ・中学生サッカー選手の膝関節は徐々に内反が増大する
- ・その変化はほぼ一定であり、利き脚と非利き脚、ポジション、身体成熟度による違いはない
- ・サッカー活動によるものであるかどうかは明らかではないが、利き脚と比較して非利き脚の方が膝関節の内反が大きかった
- ・膝アライメントに対するサッカー活動の影響は小学6年生から現れる

第 3 章 総合考察

本論文では、発育期におけるサッカー活動が膝アライメントに与える影響と膝アライメントを変化させる要因を明らかにすることを目的に 3 つの研究を行った。各研究の主な結果は以下の通りである。

【研究 1】では DXA 装置と X 線写真による膝アライメント測定の比較、DXA 装置の全身骨格画像撮影の再現性を検討し、膝アライメント測定における DXA 装置の信頼性の検証を行った。DXA 装置による全身骨格画像撮影は高い再現性があり、DXA 装置と X 線写真には強い相関関係が認められたことから DXA 装置による膝アライメント測定は妥当であることが明らかとなった。しかし、FTA のみ DXA 装置では X 線写真と比べて約 2° 小さくなる加算誤差と、その差が FTA の角度が小さいほど大きくなる比例誤差があった。

【研究 2】では中学生年代での他種目比較を行い、膝関節の内反を増大させる動作を検討した。HKA でサッカー群の膝関節の内反が大きかったことから、激しい切り返しやキックが HKA の減少（内反）に関与していること、FTA ではサッカー群と野球群の内反が大きかったことから横方向の動きが FTA の増加（内反）に関与していると推察された。

【研究 3】では、中学生サッカー選手の膝アライメントの縦断研究と小学生から大学生までの横断研究を行い、膝アライメントの 3 年間の縦断変化と、利き脚・非利き脚、ポジション、身体成熟度との関係、サッカー活動が膝アライメントへ影響を及ぼす時期を検討した。その結果、サッカー活動によって中学 3 年間で膝関節の内反が徐々に大きくなっていくこと、小学 6 年以降でサッカー活動の影響を受けることが示されたが、利き脚・非利き脚、ポジション、身体成熟度と膝アライメントの変化に関連はなかった。以上の研究結果を基に、発育期におけるサッカー

活動と膝アライメントについて総合的に考察していく。

1. DXA 装置による膝アライメント測定

本研究は X 線を使用して膝アライメントを縦断的に調査した初めての研究である。本研究の【研究 1】によって、X 線写真と比較して対象者が浴びる放射線量が非常に少ない DXA 装置による膝アライメント測定が妥当であることが示された。FTA において X 線写真と比較して加算誤差と比例誤差があること、算出される角度に左右差がある可能性があるという問題点はあるものの、【研究 2、3】において大規模な調査が可能であったことから DXA 装置による測定が安全にかつ正確に膝アライメントを測定できる手法として有用であることが示された。

DXA 装置によって測定した本研究【研究 3】の縦断的検討における中学生サッカー選手の FTA と、蜂谷（1981）が X 線写真で測定した一般小児の FTA を対応のない T 検定で比較した結果、一般小児の方が、有意に内反が大きかった（表 7）。しかし、【研究 1】で示された、DXA 装置で測定される FTA は X 線写真で測定される FTA と比較して 2.09° 小さいことを考慮して再検討した。その結果、有意差はなくなり 14 歳から 15 歳でサッカー選手が一般小児よりも内反が大きい値を示した。したがって、一般人と比較して中学生の間にサッカー活動によって膝アライメントの内反が大きくなることが示唆された。

表 7. 本研究と蜂谷(1981)の比較

	12歳～13歳 (°)	13歳～14歳 (°)	14歳～15歳 (°)
本研究	173.60±2.63	174.03±2.80	175.06±2.86
蜂谷(1981)	176.57±2.56	176.85±3.30	176.61±3.27
本研究 (加算誤差補正後)	175.69±2.63	176.17±2.80	177.15±2.86

2. サッカー選手の膝アライメント変化—横断研究と縦断研究の結果に基づく考察—

先行研究によって、サッカー選手は発育期に膝関節の内反が増大する可能性が示されてきた(Chantrain, 1985; Yaniv et al, 2006; Witvrouw et al, 2009; Rezende et al, 2011)。しかし、発育期のサッカー選手の膝アライメントを調査した先行研究は全て膝アライメントを皮膚上から測定した研究であり、また横断研究である。そのため、膝アライメントの変化は明確にはされていなかった。本研究の【研究3】において中学生サッカー選手の膝アライメントを、X線を使用して縦断的に測定した結果、徐々に膝関節の内反が大きくなったことから、先行研究で言われていたように、発育期にサッカー選手の膝関節の内反が増大するということが明らかとなった。また、横断研究の結果から、発育期のサッカー活動が膝アライメントの変化に影響を及ぼすのは小学6年からである可能性が示された。そこで、小学6年と中学1年のデータがあるサッカー選手6名を対象に縦断比較を行った。対応のあるT検定による比較を行った結果、小6と中1の間にHKA、FTAともに有意差は認められなかったものの、どちらもわずかに内反が大きくなった(図31)。対象が少なかつたため有意差が出なかったと考えられるが、縦断的に比較しても小6から中1で膝関節の内反が増大していることから小学6年生からサッカー選手の膝アライメントが変化する可能性は極めて高いことが示された。

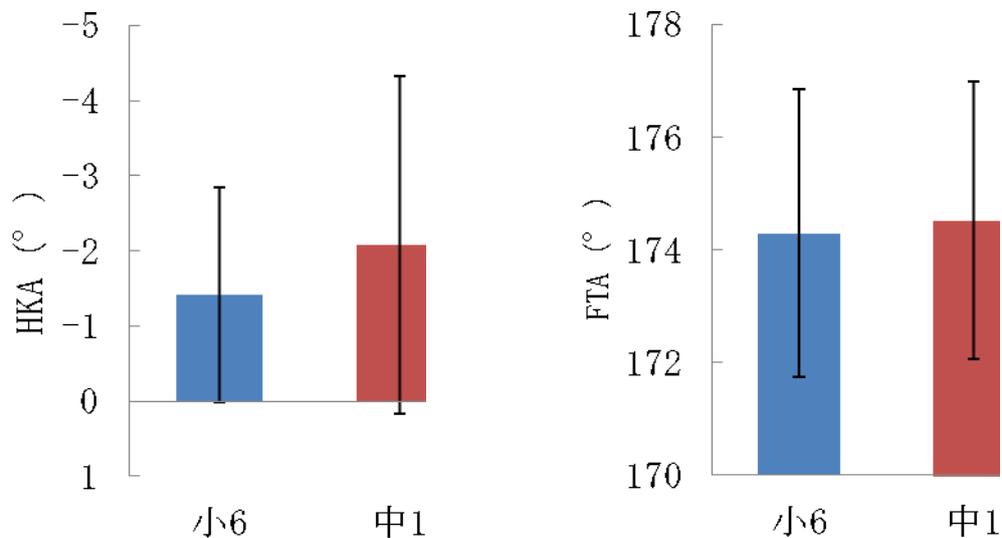


図 31. 小 6 と 中 1 の 膝 ア ラ イ メ ン ト の 縦 断 比 較 (左 : HKA 右 : FTA)

3. 膝アライメントを変化させる動作

膝関節に掛かる負荷は、主に動作によってもたらされるものであると考える。Witvrouwら(2009)は、サッカーで見られる動作の中で、キック、切り返し、ランニングが膝関節の内反の増大に関与しているのではないかと述べている。【研究2】によって、サッカーで見られるような激しい切り返しはHKAの内反の増大に関与し、野球で見られるような横方向の動きはFTAの内反の増大に関与することが示された。一方で、ランニングは膝アライメントの変化に関係ないという結果が示された。キック動作は、【研究2】においてサッカー群の膝関節の内反が大きかったことから膝アライメントの変化に関与することが考えられるが、比較対象とした野球で見られる切り返しとサッカーで見られる切り返しは異なり、野球とは違う激しい切り返しが膝関節の内反を増大させた可能性があり、キック動作の関与を純粹に抽出することはできなかった。さらに【研究

3】では利き脚と非利き脚の膝アライメントの変化のパターンに差はなく、利き脚と非利き脚の間でキックによる影響の差が生じなかった。したがって、膝アライメントの変化に対してキック動作は関与しないという可能性も考えられる。本研究ではキック動作が膝アライメントを変化させる要因である可能性を示すことはできたが、明らかにすることはできなかった。この点を明らかにするためには更なる調査として、サッカー選手と、サッカーで見られる切り返しと同じような切り返しを行うフィールドホッケーやバスケットボール選手の膝アライメントを縦断的に比較検討する必要がある。

第 4 章 結語

中学生年代でのサッカー活動は膝関節の内反を増大させることが明らかとなった。また、サッカー活動による膝アライメントの変化は小学 6 年から始まる可能性がある。キック動作や切り返し動作、横方向の動きが膝関節の内反を増大させる要因である可能性が示された。

【参考文献】

- Astrid J, Jiri D, Jiri C, , et al. Medical History and Physical Findings in Football Players of Different Ages and Skill Levels. The American journal of Sports Medicine 28(5):16-21, 2000

- Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. Can J Sports Sci 16:110-116, 1991

- Bland MJ, Altman GD. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet 1(8476):307-310 1986

- Brouwer G, Tol A, Bergink A, et al. Association Between Valgus and Varus Alignment and the Development and Progression of Radiographic Osteoarthritis of the Knee. ARTHRITIS & RHEUMATISM 56:1204-1211, 2007

- Capranica L, Tessitore A, Guidetti L, et al. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. J Sports Sci 19:379-384 2001

- Chantrain A. Knee joint in soccer players: osteoarthritis and axis deviation. Med Sci Sports Exerc 17:434-439, 1985

- Cook SD, Lavernia CJ, Burke SW, et al. A biomechanical analysis of the etiology of tibia vara. J Pediatr Orthop 3:449-454, 1983

- Cooke TD, Sled EA, Scudamore RA. Frontal. plane knee alignment: a call for standardized measurement. The Journal of Rheumatology 34(9):1796-1801, 2007

- de Rezende LFM, do Santos M, Araujo TL, et al. Does Soccer Practice Stress the Degrees of Genu Varo?. Rev Bras Med Esporte 17:329-333, 2011

- 蜂谷 將史. 小児の膝内反・外反の逐年的推移に関する X 線像の研究 Jpn Orthop Assoc 55:31-43, 1981

- Hinman RS, May RL, Crossley KM. Is there an alternative to the full-leg radiograph for determining knee joint alignment in osteoarthritis? Arthritis Rheum 55:579-585 2006

- Issa SN, Dunlop D, Chang A, Song J, Prasad PV, Guermazi A, et al. Full-limb and knee radiography assessments of varus-valgus alignment and their relationship to osteoarthritis disease features by magnetic resonance imaging. Arthritis Rheum 57:398-406 2007

- Kraus VB, Vail TP, Worrell T, Mcdaniel G. A comparative assessment of alignment angle of the knee by radiographic and Physical examination methods. Arthritis Rheum 52:1730-1735 2005

- Mehlman CT, Araghi A, Roy DR. Hyphenated history: the Hueter-Volkman law. Am J Orthop (Belle Mead NJ) 26(11):798-800 1997

- 文部科学省,平成 24 年度学校保健統計調査報告書,文部科学省障害学習政策局調査企画課

- 野間健佑,鳥居俊,高橋直美.上腕骨長軸方向の成長と骨量・骨密度変化との関連性,日本成長学雑誌 15;11-16 2009

- Ogden A J. Skeletal Injury in the Child. Lea & Febiger, Philadelphia

- Sabharwal S, Caixia Z. The hip-knee-ankle angle in children: reference values based on a full-length standing radiograph. J Bone Joint Surg Am 91(10):2461-2468 2009

- 成美堂出版株式会社,世界のトッププロに学ぶサッカー勝利のテクニック,成美堂出版株式会社

- Sharma L, Song J, Felson DT, et al. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. JAMA 286(2):188-195,2001

• Thijs Y, Bellemans J, Rombaut L, et al. Is high-impact sports participation associated with bowlegs in adolescent boys?. Med Sci Sports Exerc 44(6):993-998, 2012

• Witvrouw E, Danneels L, Thijs Y, et al. Does soccer participation lead to genu varum?. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 17:422-427, 2009

• Yaniv A, Becker T, Goldwirt M, et al. Prevalence of Bowlegs Among Child and Adolescent Soccer Players. Clin J Sport Med 16:392-396, 2006

•財団法人日本体育協会,公認アスレティックトレーナー専門科目テキスト第5巻 検査・測定と評価,文光堂

謝辞

本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院鳥居俊准教授の指導の下に行われました。稿を終えるにあたって、数々のご指導に感謝に意を表します。

また、ご多忙の中、副査を快諾していただいた福林徹教授、金岡恒治教授、広瀬統一准教授に厚く御礼申し上げます。

そして、研究活動を進めるにあたり、励まし支えてくださった岩沼聡一朗助手、そして楽しい研究室の日々をくださった飯塚さん、大伴さん、浅野さん、板橋君、木谷君、後藤君、清水さん、そして M1 のみんなに心より感謝申し上げます。また、本研究にご協力いただいた FCGONA 篠田直様、選手の皆様に厚く御礼申し上げます。

最後に、これまで長きに渡った学生生活を常に支えて下さった両親に、この場を借りて心より御礼申し上げます。