原著論文

- 中学生サッカー選手の試合における高衝撃動作の加速度プロファイル―下肢の非対称性に着目して―
- 静的ストレッチングの伸張時間の違いが動的バランスに及ぼす即時的効果

【原著論文】

中学生サッカー選手の試合における高衝撃動作の加速度プロファイル
―下肢の非対称性に着目して―

笹木正悟（東海大学体育学部競技スポーツ学科）　永野康治（日本女子体育大学体育学部健康スポーツ学科）
小山孟志（東海大学体育学部競技スポーツ学科）　市川　浩（西九州大学健康福祉学部スポーツ健康福祉学科）

Acceleration profile of high-impact movement during football games among junior high-school players: A focused study on lower limb asymmetry

Shogo SASAKI, Yasuharu NAGANO, Takeshi KOYAMA and Hiroshi ICHIKAWA

Abstract

In young footballers, the non-dominant leg (the non-kicking leg) is more prone to developing growth-related knee pain, such as Osgood–Schlatter disease. This study examines which legs experience more high-impact movement during junior football games. Additionally, it compares the magnitude of acceleration between each leg and movements with a resultant acceleration of > 6 G. Eight young male footballers (13.7 ± 0.6 years) played 11-a-side games while wearing tri-axial accelerometers on their upper backs. The frequency and 95% confidence interval (CI) of the movements for each leg that generated >6 G were calculated. Additionally, the resultant acceleration of the top-five items was compared using a two-way ANOVA to examine the effect of legs and movements. The frequency of movements in the non-dominant leg (mean, 3.69 cases/minute; 95% CI, 3.50–3.88 cases/minute) was higher than in the dominant leg (mean, 3.29 cases/minute; 95% CI, 3.10–3.47 cases/minute). The magnitude of the resultant acceleration was significantly greater during shuffle and slowdown than during running/jogging and curved running. However, the magnitude of acceleration did not differ from one leg to another. This study indicates that the frequency of the external load, rather than its magnitude, may be associated with the mechanism for growth-related knee pain among junior footballers.

Keywords: Accelerometer; external load; frequency; magnitude; injury mechanism

（Tokai J. Sports Med. Sci. No. 38, 9−17, 2026）

Ⅰ．緒言

子どもの健全な発育・発達を守るためにも、スポーツ活動で生じる外傷・障害を未然に防ぐことは重要な課題である。特に子どものケガの特徴として、急性外傷に比べて慢性障害での医療機関受診が多く[1)]、骨端軟骨に起因する成長関連障害（growth-related injury）は大人とは異なる身体問題として報告されている[2)]。

成長期に生じる膝の痛みは、荷重の影響を受けるためスポーツ活動に支障をきたすことが多い。

本邦における大規模調査をみてみると、6–15歳の子どもにおける膝痛の有病率は10.8％（787/7,234人）であり、最も高かった年齢は13歳（19.1％）であった[3]。12–15歳のサッカー選手を対象とした別の調査では、過去1年以内に経験した膝痛の有病率は21.0％（126/600人）と報告されており[4]、膝骨端軟骨障害の好発年齢である14歳以下[5]への予防的取り組みは極めて重要である。とりわけ、ボールを足で操作するサッカー選手においては、成長期の膝オーバーユース障害がスポーツ活動の参加だけでなく、パフォーマンス発揮に最も大きな負担になる問題として取り上げられている[6]。

膝の骨端軟骨障害であるオスグッド・シュラッター病（Osgood–Schlatter disease、以下：オスグッド病）の約30％は両側性に発生する一方、サッカー選手においてはキック動作の軸足側（ボールを蹴りやすい足と反対側）から発症することが多い[7]。小学生サッカー選手（平均10.2歳）を対象としたコホート研究では、オスグッド病の発症側は全例「軸足」であった[8]。Gaulrappら[9]はバスケットボールをはじめとする他競技とは異なり、サッカー選手にのみオスグッド病の発症が軸足側で特異的に多いことを報告している。つまり、成長期サッカー選手の下肢に生じる外的負荷には、非対称性が生じている可能性が推察できる。

スポーツ外傷・障害の予防を考えていくうえでは、危険因子（risk factor）とあわせてメカニズム（mechanism）の理解が重要である。メカニズムとは外傷・障害というアウトカムに極めて近いところに位置する受傷原因の概念であり、誘発事象（inciting event）が生じることで外傷・障害の最終的な引き金（トリガー）になる[10]。特に、突発的に発生する外傷とは異なり、慢性的なオーバーユース障害は試合や練習で暴露される外的負荷の蓄積が誘発事象になることが多い。

近年ではウェアラブルデバイスの進化に伴い、スポーツ現場における外的負荷のモニタリングが広く浸透している。Global positioning system（GPS）から得られる位置情報は走行距離や走速度を評価するのに有益な手段である一方、生体に加わる力学的負荷を推定するには至れない。そこで、競技中に生じる衝撃負荷を定量評価するための手段として、加速度センサが用いられている。身体加速度は地面反力（ground reaction force, GRF）と強い相関を示すため[11, 12]、加速度センサを装着してプレーすることで地面や物体から受ける衝撃の大きさを定量化できる。これまでにもサッカー[13, 14]やバスケットボール[15, 16]、ハンドボール[17]、バレーボール[18]、バドミントン[19, 20, 21]において競技特性を踏まえた高衝撃場面が検討されており、センサから得られる加速度情報からスポーツ外傷・障害のメカニズムとなりうる減速、方向転換、着地、コンタクト動作を高頻度に抽出できている。特に、オスグッド病は脛骨粗面への牽引ストレスが病態の原因となるため[22]、減速動作によって生じる大腿四頭筋のエキセントリックな収縮は膝蓋腱の付着部に過負荷および微細損傷を引き起こすと考えられる。先行研究[13]でもこうした衝撃負荷の観点から子どもの膝オーバーユース障害のメカニズムについて考察しているものの、サッカー選手に特徴的な軸足への好発（非対称性）については言及しきれていない。

そこで本研究は、中学生が行うサッカーの試合から高衝撃場面を抽出し、接地脚および動作種類の観点から検討することを目的とした。本研究の仮説は、①軸足（本研究では「非利き脚」と定義する）は蹴り足（本研究では「利き脚」と定義する）に比べて高加速度動作の発生頻度が高い、②接地脚や動作種類によって加速度の大きさは異なることである。

Ⅱ．方法

1．対象者

過去に手術歴がなく、現在のプレーに支障をきたしていない健康な中学生男子サッカー選手8名（mean［SD］: age, 13.7［0.6］yrs; height, 1.65［0.06］m; body mass, 49.3［5.5］kg）を対象とした。

全ての選手は中学校体育連盟サッカー専門部に所属するサッカー部員であり、フィールドプレーヤーを研究の対象とした。利き脚は「ボールを蹴りやすい足」と定義[23]して調査し、8名全員が右利きであった。対象者ならびに保護者には事前に研究の目的、方法、倫理的配慮等に関する説明を十分に行い、文章にて参加の同意を得られた者を対象とした。本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、所属機関の倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：第368号）。

2．測定方法

データ収集を行うにあたり、試合前に行う標準的なウオームアップ（ランニング、ストレッチング、パス・シュート・ポゼッションを含むボールスキルトレーニング）を約40分間実施した。測定は全国中学校サッカー大会の競技規則に則り、試合時間を50分（25分ハーフ）もしくは60分（30分ハーフ）とするトレーニングマッチにて実施した。スターティングメンバーを研究の対象としたが、途中交代を行った選手もいたため、対象者の平均出場時間は47.4分、合計出場時間は379.0分であった。

対象者の上背部に専用ベストを使って小型かつ軽量のワイヤレス三軸加速度センサ（SS-WP-SMA16G15, Sports Sensing社製）を装着し（図1）、11人制サッカーの試合を実施した。成分加速度の測定範囲は±16Gであり、サンプリング周波数200Hzで計測を行った。加速度センサの左右成分はx軸（A_x）、上下成分はy軸（A_y）、前後成分はz軸（A_z）と定義され、対象者の解剖学的軸に近接するよう装着した。各軸方向に対して重力による加速度を示す場合に+1Gとなるよう、センサの補正を事前に行った。加えて、対象者のプレー動作を判定するために、試合映像をデジタルビデオカメラ（HDR-CX590V, Sony社製, 60Hz）で撮影した。加速度センサの記録開始に合わせて発光パルスによるトリガ信号を映像へ入力することで、加速度とビデオ映像を同期させた。

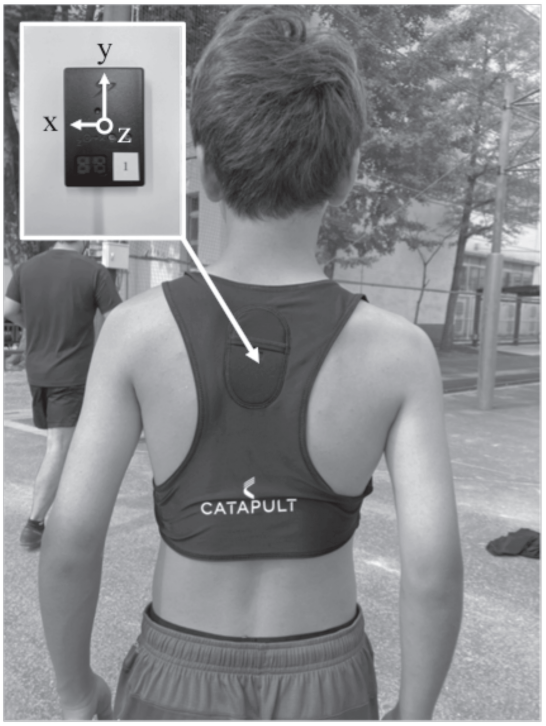

図1　三軸加速度センサの装着位置
Fig. 1 Location of attaching a tri-axial accelerometer

3．高加速度動作の抽出方法

試合で生じる衝撃負荷を定量化するために、各軸成分の加速度から合成加速度（root [A_x^2+ A_y^2+ A_z^2]; unit, G）を算出した。本研究では合成加速度が重力加速度の6倍（6G）を超える場面を高衝撃場面と定義し、プレー動作の分類を行った。先行研究において、サッカー[13,14]だけでなくバスケットボール[15,16]やハンドボール[17]といったゴール型の球技種目でも同様の閾値が使われており、競技特性を反映した高衝撃動作の抽出に成功している。カスタマイズされたタグ切りアプリケーション（Sports Sensing社製）から合成加速度が6Gを超えた瞬間の時間を識別し、Dartfish software（Connect Plus, Dartfish社製）を使ってビデオ映像とタイムスタンプをあわせることで、高加速度（>6G）が生じているプレー場面を導出した。導出されたプレー場面をサッカーに特化した25種類の動作[13]［Sprint, Run/jog, Curve running, Walk, Skip, Slowdown, Shuffle（pre-braking）, Shuffle（braking）, Shuffle（footwork）, Stop, Fall, Get-up,

Jump, Land, Dive, Change of direction, Turn, Impact, Kick, Heading, Receive, Dribble, Tackle, Pressing, Others/unsure］に分類した。また、動作の分類とあわせて、接地脚（利き脚、非利き脚）のタグ付けを行った。なお、先行研究[13, 21]と同じく、基準の一貫性を保つため、映像分析の経験が豊富である単一の評価者（SS）が全ての動作分類を慎重に実施した。

4．統計処理

合成加速度が6G を超えた動作の発生回数および発生頻度（1分間あたりの発生回数）を求めた。また、接地脚の発生頻度に違いがあるのかを確認するため、先行研究[24]にならい95％信頼区間［95% confidence interval（CI)］を算出した。さらに、高衝撃場面（>6G）として判定された合成加速度の大きさについて、動作（発生頻度が高かった上位5動作）と接地脚（利き脚、非利き脚）を2要因とした二元配置分散分析を行った。交互作用および主効果が有意であった変数について、Bonferroni 法による調整および事後検定を実施した。統計学的検定量の算出にはIBM SPSS Statistics（ver.22 for Windows）を用い、有意水準は5％未満とした。

Ⅲ．結果

対象者8名の合計出場時間は379.0分であり、2,693場面が合成加速度 >6G として抽出された。そのうち、50場面は両脚での接地もしくはビデオに映らなかったことにより動作判定できない場面であった。そのため、本研究では2,643場面を片脚での接地動作として解析を行った。

合成加速度が6G を超えた全場面の発生頻度は6.97 case/min（95 % CI, 6.71–7.24 case/min）であった。接地脚の内訳をみてみると、非利き脚は3.69 case/min（95% CI, 3.50–3.88 case/min)、利き脚 は3.29 case/min（95 % CI, 3.10–3.47case/min）となり、95%信頼区間が重ならない範囲で非利き脚の発生頻度は利き脚より高い値を示した（表1）。上位5つとなる高加速度動作の内訳として、スローダウン［1.60（95 % CI, 1.47–1.72）case/min; ratio, 22.9 %］、ラン・ジョグ［1.51（95 % CI, 1.39–1.64）case/min; ratio, 21.7 %］、ブレーキングを伴うシャッフル［1.21（95 % CI, 1.10–1.32）case/min; ratio, 17.3%］、ブレーキング前のシャッフル［0.39（95% CI, 0.33–0.45）case/min; ratio, 5.6%］、カーブランニング［0.38（95% CI, 0.32–0.44）case/min; ratio, 5.5%］であった。特に、ラン・ジョグについて非利き脚［0.87（95% CI, 0.77–0.96）case/min］が利き脚［0.65（95 % CI, 0.57–0.73）case/min］に比べて95%信頼区間が重ならない範囲で高い値を示した（表1）。

6G を超える場面として高頻度に観察された上位5動作の種類および接地脚によって合成加速度の大きさが異なるかを調べるために二元配置分散分析を行った結果、交互作用は認められず（F=0.30, p=0.87)、動作の種類に主効果（F=18.5,

表1　中学生のサッカー試合中に観察された合成加速度6G 以上となる上位5動作の発生頻度

Table 1 Top five most frequently observed movements over 6 G resultant acceleration during football games in junior high school players.

Movement (>6G acceleration)	Leg	Count (case)	Ratio (%)	Frequency (case/min)	95% CI (case/min)
Slowdown	All	605	22.9	1.60	1.47–1.72
	Dominant	274	10.4	0.72	0.64–0.81
	Non-dominant	331	12.5	0.87	0.78–0.97
Run/jog	All	574	21.7	1.51	1.39–1.64
	Dominant	246	9.3	0.65	0.57–0.73
	Non-dominant	328	12.4	0.87	0.77–0.96
Shuffle (braking)	All	459	17.3	1.21	1.10–1.32
	Dominant	244	9.2	0.64	0.56–0.72
	Non-dominant	215	8.1	0.57	0.49–0.64
Shuffle (pre-braking)	All	147	5.6	0.39	0.33–0.45
	Dominant	72	2.7	0.19	0.15–0.23
	Non-dominant	75	2.9	0.20	0.15–0.24
Curve running	All	144	5.5	0.38	0.32–0.44
	Dominant	62	2.4	0.16	0.12–0.20
	Non-dominant	82	3.1	0.22	0.17–0.26
Other than top five movement	All	714	27.0	1.88	1.75–2.02
	Dominant	347	13.1	0.92	0.82–1.01
	Non-dominant	367	13.9	0.97	0.87–1.07
Total	All	2643	100.0	6.97	6.71–7.24
	Dominant	1245	47.1	3.29	3.10–3.47
	Non-dominant	1398	52.9	3.69	3.50–3.88

表2　接地脚と動作（6G以上となる上位5動作）を2要因とした合成加速度の大きさについての分散分析
Table 2 Two-way ANOVA summary for legs and movements (top five most frequently observed >6 G) as factors for the magnitude of resultant acceleration.

Factor	df	SS	MS	F value	P value	partial Eta²
Leg (L)	1	0.2	0.2	0.37	0.54	0.001
Movement (M)	4	58.1	14.5	18.50	< 0.01	0.037
L*M	4	0.9	0.2	0.30	0.87	0.001

SS. square sum; MS. mean square.

p<0.01）が認められた（表2）。ブレーキングを伴うシャッフルはスローダウン（p<0.01）、ラン・ジョグ（p<0.01）、カーブランニング（p<0.01）に比べて有意に高い合成加速度の大きさであった。また、スローダウン（p<0.05）およびブレーキング前のシャッフルはラン・ジョグに比べて合成加速度が有意に大きかった。その一方、接地脚に主効果はみられず（F=0.37, p=0.54）、合成加速度の大きさについて利き脚と非利き脚は異ならなかった。

Ⅳ．考察

本研究は中学生サッカー選手を対象に、試合で生じた6Gを超える高衝撃負荷を接地脚および動作種類の観点から検討した。「非利き脚」は「利き脚」に比べて高加速度の発生頻度が高く、特にラン・ジョグで違いがみられた。しかしながら、合成加速度の大きさに非対称性はみられず、ブレーキングやスローダウンといった「減速」を伴う動作で高い加速度を示した。サッカーは足でボールを扱う競技特性を有する一方、試合でボールに触れている時間は極めて短い。つまり、多くの時間はオフザボール（ボールを保持していない）の状況下で速度変化を伴う移動を繰り返しながら、相手選手との駆け引きを行っている。そうした際、左右の脚は連続的に接地しているにもかかわらず、サッカー選手でオスグッド病が好発しやすい「非利き脚（軸足）」で高加速度動作の発生頻度が高かったことは興味深い。

表3　中学生のサッカー試合中に観察された合成加速度6G以上となる上位5動作の発生頻度
Table 3 Comparison of the magnitude of resultant acceleration (mean ± SD) among top five frequent movements generating over 6 G.

Movement	All (G)	Dominant (G)
		Non-dominant (G)
Slowdown	6.90±0.82 [a]	6.88±0.78
		6.92±0.85
Run/jog	6.74±0.83	6.68±0.66
		6.78±0.94
Shuffle (braking)	7.20±1.03 [b,c,d]	7.16±0.92
		7.24±1.15
Shuffle (pre-braking)	6.99±0.88 [a]	7.02±0.86
		6.96±0.90
Curve running	6.82±0.84	6.83±0.81
		6.82±0.87

a, Significantly greater than run/jog, p < 0.05
b, Significantly greater than slowdown, p < 0.01
c, Significantly greater than run/jog, p < 0.01
d, Significantly greater than curve running, p < 0.01

高加速度場面の発生頻度は非利き脚（mean, 3.69 case/min）が利き脚（mean, 3.29 case/min）より高く、特にラン・ジョグの動作で非対称性（利き脚 mean, 0.87 case/min; 非利き脚 mean 0.65 case/min）が顕在化していた。これらは、本研究における1つ目の仮説を支持する結果となった。育成年代のゲームパフォーマンスを評価するために設定されるスピードの閾値に絶対的な基準はない[25]ものの、サッカーにおいてはウオーキング、ジョギング、ランニング、スプリントという枠組みで運動強度を定量化することが多い[26]。本研究におけるラン・ジョグ（run/jog）は先行研究と同じく“Slower than sprint, quicker than walking. Especially straight motion”と定義[13]した基準でビデオ判定しており、スプリントに至らない直線的な移動で6Gを超える高加速度が発生していた。前述した通り、サッカーは味方や相手との相互作用の中でスピードを変化させながら、105m × 68mのサッカーコート内で移動を繰り返す。そのため、ビデオ分析のような視覚的評価でランニング・ジョギングと捉えられる動作であっても、実際には微妙な速度変化を行いながら移動を遂行

している可能性が高い。そうしたランニング中の速度調整を習慣的に非利き脚で行うことが、試合における高加速度の発生頻度を高める原因になると考えられた。動作の習慣という観点について、中学生サッカー選手の片脚ドロップ着地テストにおいても非利き脚は利き脚に比べて loading rate が高く、下肢スティッフネスを増大させた硬い着地特性を有していた[23]。こうした減速を伴う速度調整や着地動作で高衝撃を反復することで筋腱付着部へ繰り返しの牽引ストレスが誘発されることは、成長期における膝痛の発症メカニズムに繋がる。利き脚の判定はキック動作（ボールを蹴りやすい足）で行っているものの、キック以外の動作に衝撃負荷の非対称性が波及していることは、サッカーの競技特性を反映した結果であると考えられた。

高衝撃場面として抽出された合成加速度の大きさをみてみると、交互作用および接地脚の主効果は認められなかった。つまり、中学生サッカーの試合で生じる高衝撃場面において合成加速度の大きさに非対称性は観察されず、２つ目の仮説の一部は否定された。しかしながら、動作の種類には有意な主効果（$F=18.50$, $p<0.01$）が認められ、特にシャッフルやスローダウンは他の動作に比べて大きな合成加速度を示した。シャッフル動作は本研究より高く設定した閾値（>8G）においてもラン・ジョグに比べて大きな合成加速度を呈しており[13]、本結果を支持するものである。本研究で合成加速度が大きくなった動作の定義を振り返ると、ブレーキングを伴うシャッフル［shuffle（braking）］ は“Brake heavily from a sprint/running”、スローダウン（slowdown）は“Reduce the speed gradually”、ブレーキング前のシャッフル［shuffle（pre-braking）］ は“Preliminary step to adjust the stride before braking” とされており[13]、いずれも視覚的に減速を伴うと判断される場面であった。つまり、エキセントリックな収縮を伴いやすい減速場面ほど大きな加速度を呈しやすく、膝オーバーユース障害を惹起する外的負荷となる可能性が示唆された。しかしながら、そういった減速局面を含むいずれの動作においても、合成加速度の大きさ自体に非対称性が生じなかった結果は着目に値する。本研究はサッカーの試合で生じた高加速度を「外的負荷」の指標として抽出しているため、対象者はパフォーマンスレベルを制御することなく、全力でプレーに臨んでいると考えられる。そうした不確定要素の多い局面において、いずれかの脚における衝撃の大きさをコントロールする事は極めて難しく、身体に受ける高加速度場面の大きさが「利き脚」、「非利き脚」を問わず一定量生じていることは納得できる。小学生サッカー選手に対する縦断研究においても、高加速度場面の発生頻度は発育に伴い変化する一方、その時に生じた合成加速度の大きさに変化は見られなかった[14]。つまり、子どものサッカー試合における高衝撃場面は「大きさ（magnitude）」より「頻度（frequency）」で調整が行われており、非利き脚で高頻度に生じる衝撃負荷が片側性の膝オーバーユース障害のメカニズムになる可能性が示唆された。

本研究の限界として以下のことがあげられる。１つ目に、本研究の対象者は特定のチームに所属する選手８名と過少であり、中学生サッカー選手の特性を一般化するには至れていない。また、対象者はプレーに支障をきたさない健康な選手であり、本研究から膝オーバーユース障害の原因論を証明することはできない。加えて、本研究では実際の試合場面において選手が十分なパフォーマンスを発揮できるよう、加速度センサを下肢ではなく上背部に装着した。そのため、本研究で得られた合成加速度は、膝関節を含む下肢の局所的な力学的負荷を直接反映したものではなく、競技中に身体全体に加わる外的負荷の代替指標として解釈される必要がある。２つ目に，対象者の筋力などは計測しておらず、個人が有する内的因子が結果にどのような影響を与えているかは不明である。しかしながら、健常なジュニアサッカー選手（mean［SD］: age, 15.7［0.2］）を対象とした先行研究[27]では等速性膝筋力に左右差は認められておらず、本研究でも筋力に顕著な非対称性が生じ

ている可能性は低いと考える。3つ目に、高衝撃場面の動作判定に観察者バイアス[28]が含まれていることである。ビデオ分析における観察者バイアスを最小化するために、高い信頼性を有するBloomfield Movement Classification[29]を使って先行研究[13]における動作分類を作成した。本研究もこの定義を用いてビデオ分析に精通した評価者が慎重に動作判定を行っているが、個人の特性が観察者バイアスに与える影響[28]を否定することはできない。最後に、本研究は横断的デザインであり、発育に伴う非対称性の変化を縦断的に観察していくことが今後の課題としてあげられる。

Ⅴ．結論

本研究は中学生サッカー選手の試合で生じる高衝撃場面の発生頻度および加速度の大きさが、接地脚および動作種類によって異なるのか検討した。合成加速度が6Gを超える高加速度場面の発生頻度は非利き脚が利き脚に比べて高く、特にラン・ジョグの動作で非対称性が出現していた。また、高衝撃場面として抽出された合成加速度の大きさをみてみると、接地脚に違いはなかった一方、動作間に有意差がみられた。特に、シャッフルやスローダウンといった減速を伴う動作は、ランニング動作に比べて大きな合成加速度を示した。このことから、育成年代のサッカー試合における高衝撃場面は「大きさ（magnitude）」よりも「頻度（frequency）」で調整が行われており、非利き脚で高頻度に生じる衝撃負荷が片側性の膝オーバーユース障害のメカニズムになる可能性が示唆された。

謝辞

本研究はJSSP科研費（23K10621）の助成を受けたものです。研究にご理解・ご協力いただきました選手、保護者ならびにチームスタッフの皆さまに、心から感謝を申し上げます。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

参考文献

1）高橋佐江子, 鈴川仁人, 玉置龍也, 清水邦明, 青木治人. スポーツ医科学センターリハビリテーション科におけるスポーツ外傷・障害の疫学的研究：第2報―サッカー. 日本臨床スポーツ医学会誌. 20(2): 286-291, 2012.

2）Rossler R, Junge A, Chomiak J, Dvorak J, Faude O. Soccer injuries in players aged 7 to 12 years: a descriptive epidemiological study over 2 seasons. Am J Sports Med. 44(2): 309-317, 2016.

3）Iwatsu J, Yabe Y, Sekiguchi T, Momma H, Tsuchiya M, Kanazawa K, Yoshida S, Sogi Y, Nagatomi R, Hagiwara Y. Knee pain in young sports players aged 6-15 years: a cross-sectional study in Japan. BMC Sports Sci Med Rehabil. 15(1): 16, 2023.

4）Sasaki S, Nagano Y. Observational study of growth-related knee pain in Japanese footballers aged 12–15 years: a subsequent series following children aged 8–12 years. Europ J Sport Sci. 3(2): 27-33, 2024.

5）Materne O, Chamari K, Farooq A, Tabben M, Weir A, Holmich P, Bahr R, Greig M, McNaughton LR. Shedding light on incidence and burden of physeal injuries in a youth elite football academy: a 4-season prospective study. Scand J Med Sci Sports. 32(1): 165-176, 2022.

6）Leppanen M, Pasanen K, Clarsen B, Kannus P, Bahr R, Parkkari J, Haapasalo H, Vasankari T. Overuse injuries are prevalent in children's competitive football: a prospective study using the OSTRC Overuse Injury Questionnaire. Br J Sports Med. 53(3): 165-171, 2019.

7）中瀬順介, 土屋弘行. Osgood-Schlatter病の病態と予防. 関節外科. 39(2): 198-204, 2020.

8）Watanabe H, Fujii M, Yoshimoto M, Abe H, Toda N, Higashiyama R, Takahira N. Pathogenic factors associated with Osgood-Schlatter disease in adolescent male soccer players: a prospective cohort study. Orthop J Sports Med. 6(8): 2325967118792192, 2018.

9）Gaulrapp H, Nuhrenborger C. The Osgood-Schlatter disease: a large clinical series with evaluation of risk factors, natural course, and outcomes. Int Orthop. 46(2): 197–204, 2022.
10）Bahr R and Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. Br J Sports Med. 39(6): 324–329, 2005.
11）Nagano Y, Sasaki S, Higashihara A, Ichikawa H. Relationships between trunk and knee acceleration and the ground reaction force during single limb landing. ISBS -conference proceedings archive. 34 International Conference of Biomechanics in Sport: 875–878, 2016.
12）Rowlands AV and Stiles VH. Accelerometer counts and raw acceleration output in relation to mechanical loading. J Biomech. 45(3), 448–454, 2012.
13）Sasaki S, Nagano Y, Suganuma Y, Koyama T, Ichikawa H. Acceleration profile of high-impact movements during young football games: a cross-sectional study involving healthy children. Sports Biomech. 23(11): 1933–1947, 2024.
14）Sasaki S, Nagano Y, Suganuma Y, Koyama T, Ichikawa H. Longitudinal study on high-impact movements during football games among children aged 10–11. Gazz Med Ital. in press.
15）Koyama T, Rikukawa A, Nagano Y, Sasaki S, Ichikawa H, Hirose N. Acceleration profile of high-intensity movements in basketball games. Strength Cond Res. 36(6): 1715–1719, 2022.
16）Nagano Y, Sasaki S, Shimada Y, Koyama T, Ichikawa H. High-impact details of play and movements in female basketball game. Sports Med Int Open. 5(1), E22-E27, 2021.
17）Kanoshima N, Nagano Y, Ichikawa H, Sasaki S, Suzukawa M. Characteristics of high-impact movements observed in high school handball players during games. Int J Sports Phys Ther. 20(9): 1311–1320, 2025.
18）Nagano Y, Sasaki S, Kose Y, Ichikawa H. Detection of high-impact movements in a volleyball match: a cross-sectional study. Exerc Med. 4: 3, 2020.
19）Sasaki S, Nagano Y, Ichikawa H. Loading differences in single-leg landing in the forehand- and backhand-side courts after an overhead stroke in badminton: a novel tri-axial accelerometer research. J Sports Sci. 36(24): 2794–2801, 2018.
20）Nagano Y, Sasaki S, Higashihara A, Ichikawa H. Movements with greater trunk accelerations and their properties during badminton games. Sports Biomech. 19(3): 342–352, 2020.
21）Sasaki S, Nagano Y, Ichikawa H. Differences in high trunk acceleration during single-leg landing after an overhead stroke between junior and adolescent badminton athletes. Sports Biomech. 21(10): 1160–1175, 2022.
22）Lau LL, Mahadev A, Hui JH. Common lower limb sport-related overuse injuries in young athletes. Ann Acad Med Singap. 37(4): 315–319, 2008.
23）笹木正悟, 松島綾飛, 永野康治. 中学生サッカー選手における片脚ドロップ着地時の鉛直床反力および足圧中心軌跡長の特性―非対称性に着目して―. 日本アスレティックトレーニング学会誌. 9(1): 11–18, 2023.
24）Tscholl P, O'Riordan D, Fuller CW, Dvorak J, Junge A. Tackle mechanisms and match characteristics in women's elite football tournaments. Br J Sports Med. 41(Suppl 1): i15–9, 2007.
25）Palucci Vieira LH, Carling C, Barbieri FA, Aquino R, Santiago PRP. Match running performance in young soccer players: a systematic review. Sports Med. 49(2): 289–318, 2019.
26）Cummins C, Orr R, O'Connor H, West C. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. Sports Med. 43(10): 1025–1042, 2013.
27）Hoshikawa Y, Iida T, Muramatsu M, Nakajima Y, Fukunaga T, Kanehisa H. Differences in thigh muscularity and dynamic torque between junior and senior soccer players. J Sports Sci. 27(2): 129–38, 2009.
28）Losada JL and Manolov R. The process of basic training, applied training, maintaining the performance of an observer. Qual Quant. 49(1): 339–347, 2014.
29）Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Reliability of the bloomfield movement classification. Int. J.

Perf. Anal. Sport. 7(1), 20-27, 2017.