

大学女性アスリートにおける 疲労骨折の要因の検討

原 著

Investigation of risk factors for stress fracture in college female athletes

村本勇貴*¹, 木村豪志*¹, 木之田章*¹
山田唯一*¹, 勝俣良紀*^{1,2}, 佐藤和毅*¹

キー・ワード : Japan Association for University Athletics and Sport, Female athletes, Stress fractures
日本大学スポーツ協会, 女性アスリート, 疲労骨折

〔要旨〕 女性アスリートは、負のエネルギーバランスに陥りやすく、低骨密度から疲労骨折が生じる。しかし、本邦における大学女性アスリートの疲労骨折の実態を捉えた研究はない。そこで、本研究の目的は、大学スポーツ協会 (UNIVAS) に属する選手への傷害調査から、大学女性アスリートの疲労骨折の実態を把握する事とした。

2022年6月から2023年8月にかけて UNIVAS に関連する大学にウェブアンケートを行い、過去1年以内 (2021年4月~2022年3月) に生じた疲労骨折の有無を聴取した。疲労骨折と関連する因子の検討には、BMI、部位、競技、競技レベル、練習量などを独立変数として、多変量ロジスティック解析を行った。

回答が得られた選手は4053名であり、疲労骨折を直近の1年間で生じた選手は3.1% (126人) で合計140件であった。疲労骨折が生じやすい部位としては、足/足趾が32.1%、下腿が22.1%と下腿から遠位に多いことが示された。競技別の頻度は、陸上が最も多く (19.0%)、練習量 ($\beta=0.5$, $\text{Exp}=1.6$)、BMI ($\beta=-0.1$, $\text{Exp}=0.9$)、全国大会以上の競技レベル ($\beta=0.7$, $\text{Exp}=2.1$) が、疲労骨折の関連因子であった。

大学生女性アスリートでは、疲労骨折は陸上で最も頻度が高く、足/足趾の発生が多かった。疲労骨折のリスク因子は、BMIが低く、練習量が多いことであった。

1. 緒言

女性アスリートは、「摂食障害の有無に関わらない Low energy availability (LEA)」、「月経機能障害」、「低骨密度」のリスクがあり、これらを「女性アスリートの三主徴」といい、女性アスリートの健康管理やコンディショニングにおいて重要な問題となっている^{1,2)}。女性アスリートの三主徴の要因は様々であるが、LEA と呼ばれる負のエネルギーバランス (消費エネルギーに比べ摂取エネルギーが不足している状態) の積み重ねで、エネルギー不足を生じ、月経機能障害となり、さらにはエストロゲン分泌の低下も重なり、低骨密度から

疲労骨折に関連する³⁾。疲労骨折は、10代後半の女性でマラソン、体操、バレエなどトレーニング量が多く、体重を制限する必要のある競技で生じやすい^{1,2)}。欧米では疲労骨折の予測因子についての研究が行われており、女性の大学生アスリートに対して月経不順、骨密度、摂食障害に関する測定を行い、疲労骨折のリスクを有する選手を分類し、前向きに骨ストレス障害 (BSI : Bone stress injuries) の発生を計測した。その結果、中・高リスクを有する選手は4倍近くBSIが生じたと報告されている⁴⁾。しかし、日本では、このような大規模なデータベースが構築されておらず、日本人アスリートの疲労骨折の発症頻度、その特徴については、トップアスリートなど少数の検証に限られている⁵⁾。そのため、日本のアスリートにおける疲労骨折のリスク要因 (競技、練習量、BMI など) が国際的な報告とどのように一致するかを検証する

*1 慶應義塾大学医学部スポーツ医学総合センター

*2 慶應義塾大学医学部循環器内科教室

Corresponding author : 勝俣良紀 (goodcentury21@keio.jp)

ことは、効果的な予防策を開発する上での重要な課題であった。

そこで、我々は、2022年より、大学スポーツ協会 (UNIVAS) に所属する大学生に対して、1万人以上の大規模な横断研究を行い、大学スポーツにおけるスポーツ外傷・障害の実態調査を行った。本研究では、このデータベースを用いて、日本における女性大学生アスリートの疲労骨折の特徴を抽出することを目的とした。

2. 対象および方法

アンケートの方法

2022年6月から2023年8月10日にかけて実施されたウェブアンケート (<https://enquete.cc/q/BC2XC8A8>) を通じてデータを収集した。UNIVASに関連する219の大学と36のスポーツ団体から参加希望者を募った。各大学のスポーツ部門とスポーツ団体は、手紙や電話を通じて参加を依頼した。加えて、チームのマネージャーやアスレティックトレーナーに対して、研究の内容と同意書へのリンクを選手に配布するよう依頼した。アスリートは研究の内容を読み、参加に同意した後、アンケートのページに移動し回答した。質問項目は、日本臨床スポーツ医学会と日本アスレティックトレーニング学会のコンセンサス文書⁶⁾ から採用した。

すべての参加者は、参加前にオンラインによるインフォームド・コンセントを行った。本研究はヘルシンキ宣言⁷⁾ の原則に従って実施され、STROBE-SIIS コンセンサス・ステートメント⁸⁾ に従って報告した。本研究は慶應義塾大学倫理委員会の承認を得てから行った (承認番号: 20211158)。

アンケートの質問項目

質問項目は、アスリートの特徴 (年齢, 在学年, 体重, 身長), スポーツ参加状況 (プレーしているスポーツ, スポーツ経験年数, 競技レベル, 週あたりのトレーニング日数), 過去1年以内 (2021年4月~2022年3月) に負った疲労骨折の有無について尋ねた。疲労骨折に関する詳細 (部位, 重症度, 試合中またはトレーニング中に受傷) についてのフォローアップ質問が行われた。

傷害の重症度は、傷害によりトレーニングや競技に参加できなかった期間に基づいて定義され、次のように分類された⁸⁾。Non time loss: 欠場0

日, Mild: 欠場1日-1週間, Moderate: 欠場1週間-1ヶ月, Severe: 欠場1ヶ月-6ヶ月, Very severe: 欠場6ヶ月以上と分類した。

統計学的方法

統計解析はすべて SPSS (IBM Corp, IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp) を用いて行った。調査は質的および量的データを収集した。質的データは度数でまとめた。連続データは平均値と標準偏差でまとめた。質的データについては、カウントとパーセンテージを算出した。

アンケートのデータから、疲労骨折の有無を分け、疲労骨折群と疲労骨折なし群に分けて解析した。疲労骨折の有無の特徴は、対応のないt検定を行った。疲労骨折の原因になり得る因子については、ロジスティック解析を用いて検討した。独立変数は、2群比較で有意差のついたものに加え、過去のデータをもとに、練習量, Body Mass Index (BMI), 競技歴, 競技レベルを多項ロジスティック解析によって検討した。加えて、ROC 曲線を用いて、疲労骨折の要因となる練習量と BMI を算出した。危険率が5%未満を統計的に有意とした。

3. 結果

本研究に回答のあった女性選手は4053人であった。回答してくれた選手の特徴としては、年齢が 19.8 ± 1.5 歳, 身長が 160.2 ± 5.8 cm, 体重が 55.4 ± 7.1 kg, BMI が 21.6 ± 2.3 , 競技歴が 7.9 ± 4.8 年であった。

疲労骨折が生じる状況, 重症度, 部位, 競技別の特徴

疲労骨折を直近の1年間で経験した選手は3.1% (4053人中126人) で合計140件の報告があった。表1に疲労骨折の受傷状況と重症度を示した。その結果, トレーニング中に疲労骨折を生じた選手が80%であった。練習を1週間以上中断した, Moderate の骨折が25.7% (140件中36件), 1ヶ月から6ヶ月中断した Severe の骨折が45.0% (140件中63件) であり, 疲労骨折は, 重症度の高い傷害であることが明らかになった。図1に疲労骨折部位を調べた。足/足趾が32.1% (140件中45件), 下腿が22.1% (140件中31件), 足関節が9.3% (140件中13件) であり, 下腿から遠位に多く生じることが示された。次に, 回答者数が100名以上の競技における疲労骨折の受傷者数と

発生率を示す(図2)。その結果、陸上が最も疲労骨折の頻度が高く、19.0%(142人中27件)であった。一方、バレーボールで6.8%(221人中15件)、サッカーで3.9%(179人中7件)と球技でも骨折の頻度が高かった。しかし、競技種目毎に分類した疲労骨折の発生率では、球技系競技の疲労骨折の発生率は、持久系と比較して、それほど高率ではなかった(表2)。

疲労骨折を生じる選手の特徴

表3に疲労骨折が生じた女性アスリートの特徴を示す。疲労骨折を1年以内に経験したアスリートは、「身長が高く」、「競技歴が長く」、「練習量

が多い」選手であった(身長: mean difference=1.20, 95% confidence interval (CI) = 0.18-2.22, p=0.02, 競技歴: mean difference=0.85, 95% confidence interval (CI) = 0.01-1.72, p=0.03, 練習量: mean difference=0.62, 95% confidence interval (CI) = 0.39-0.85, p<0.01)。一方で体重, BMI などこれまで疲労骨折と関連すると考えられていた項目に有意差は得られなかった(体重: mean difference=0.31, 95% CI = -0.95-1.58, p=0.62, BMI: mean difference=-0.20, 95% CI = -0.60-0.21, p=0.34)。

次に多変量ロジスティック解析を用いて、疲労骨折と関連する因子を検証した。その結果、「練習量の多さ ($\beta=0.50$, Exp=1.64, $p<0.01$)」と「BMIが低い ($\beta=-0.11$, Exp=0.90, $p=0.02$)」、「競技レベルが高い(全国大会レベル: $\beta=0.73$, Exp=2.08, $p=0.05$, 国際大会レベル: $\beta=1.10$, Exp=3.01, $p=0.04$)」が、疲労骨折の独立した因子であった(表4)。加えて、ROC曲線を用いて練習量とBMIのカットオフ値を算出した結果、練習量が5.5日(感度: 0.5, 特異度: 0.7), BMIが18.9(感度: 0.9, 特異度: 0.2)であった。

表1 疲労骨折受傷状況, 重症度

	受傷者数 (%)
受傷状況	
トレーニング	113 (80.7%)
試合	27 (19.3%)
重症度	
Non time loss	21 (15.0%)
Mild	13 (9.3%)
Moderate	36 (25.7%)
Severe	63 (45.0%)
Very severe	7 (5.0%)

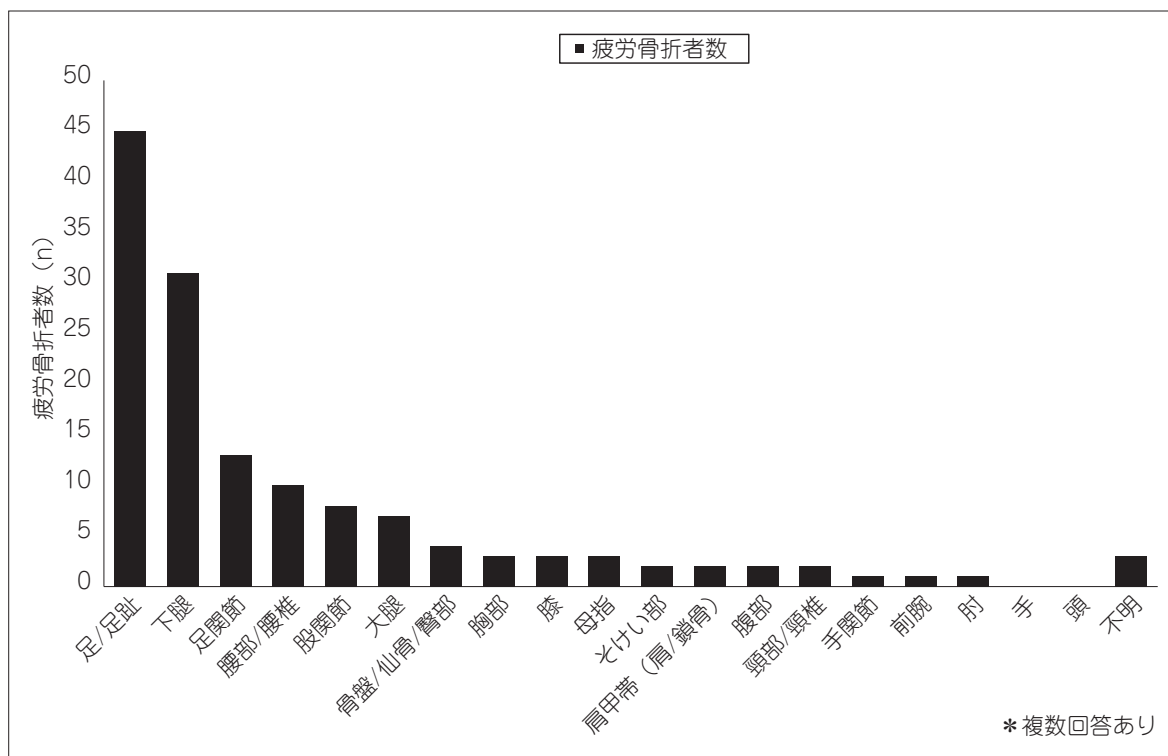


図1 疲労骨折部位と受傷者数

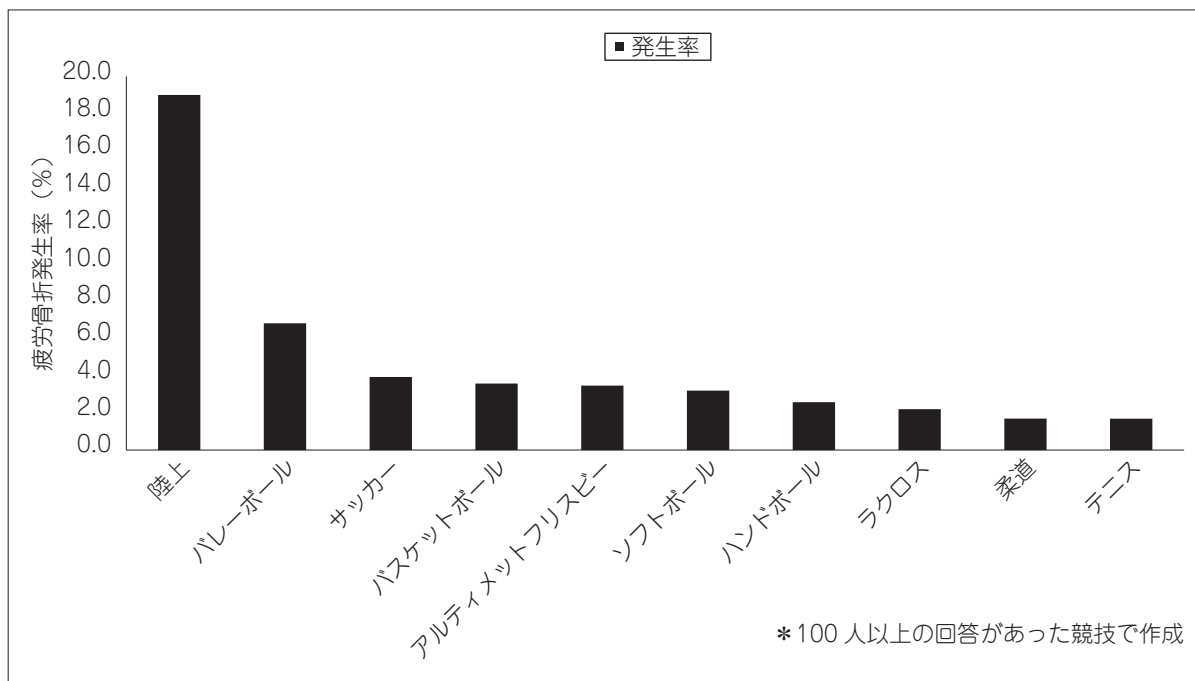


図2 競技別に見た疲労骨折の発生率

表2 競技種目毎の疲労骨折発症率

項目	球技系 (n=2853)	持久系 (n=251)	審美系 (n=76)	パワー系 (n=233)	技術系 (n=615)
身長 (cm)	161.0 ± 5.8	160.9 ± 5.6	158.2 ± 5.6	159.1 ± 5.7	160.2 ± 5.8
体重 (kg)	57.0 ± 6.5	53.4 ± 7.0	52.6 ± 5.8	62.5 ± 10.9	55.4 ± 7.1
BMI (kg/m ²)	22.0 ± 19.0	20.6 ± 2.4	21.0 ± 2.1	24.6 ± 3.8	21.6 ± 2.3
競技歴 (年)	9.7 ± 4.6	8.4 ± 4.8	9.9 ± 4.9	11.4 ± 4.2	7.9 ± 4.8
練習量 (日/週)	5.5 ± 1.1	5.5 ± 1.2	5.4 ± 1.2	5.6 ± 1.0	4.0 ± 1.6
疲労骨折発症率 (%)	2.8% (82/2853)	8.4% (23/251)	3.9% (3/76)	0.8% (2/233)	2.6 (16/615)

4. 考察

疲労骨折の状況と重症度

本研究は大学生の女性アスリートを対象に行ったアンケート調査の結果である。その結果、大学生の女性アスリートにおける疲労骨折は、試合だけでなくトレーニング中でも発生し、練習に復帰するまでに1ヶ月から半年程度を要することが示された。練習中断から復帰までに、34日~58日を要するという国内の大学生男子長距離選手を対象に行ったアンケート調査に一致する結果であった⁹⁾。疲労骨折は、繰り返しの負荷の積み重ねによって生じ、復帰にまで長い時間を要するため、予防が緊喫の課題である。

疲労骨折が生じやすい部位と競技

疲労骨折が生じやすい部位としては、足/足趾と

下腿であり、競技が陸上で19% (142人中27人)の選手に疲労骨折が生じていた。疲労骨折は、体操、バレエ、陸上など痩せていることが有利に働く競技に多く認められる。すなわち、体重を増加させたくないために摂取エネルギーよりも消費エネルギーの方が高くなるため、無月経や低エストロゲン状態を引き起こす。その結果、骨皮質の菲薄化、海綿骨の減少など骨の強度が減少し、その状況下で陸上のように高頻度で高強度の接地を繰り返す競技は、下腿、足部に疲労骨折が生じやすい競技の代表である^{10,11)}。女性の陸上選手は負のエネルギーバランスによる骨密度の低下が生じやすいというコホート研究があるため¹²⁾、本研究と一致する。

本研究では、バレーボールやサッカーなどの競技で疲労骨折が生じやすいことも示された。バ

表3 疲労骨折を有する選手の特徴

項目	疲労骨折あり (n=126)	疲労骨折なし (n=3927)	Mean Difference (95%CI)	p-value	Cohen'd
学年 (年)	2.3±1.1	2.3±1.2	0.01 (-0.19-0.22)	0.66	0.01
身長 (cm)	161.4±6.1	160.2±5.8	1.20 (0.18-2.22)	0.02*	0.21
体重 (kg)	55.7±6.9	55.4±7.1	0.31 (-0.95-1.58)	0.62	0.04
BMI (kg/m ²)	21.4±2.1	21.6±2.3	-0.20 (-0.60-0.21)	0.34	-0.09
競技歴 (年)	8.7±4.2	7.8±4.8	0.85 (0.01-1.72)	0.03*	0.18
練習量 (日/週)	5.7±0.8	5.1±1.3	0.62 (0.39-0.85)	<0.01*	0.48

*p<0.05

95%CI : 95% confidence interval

表4 ロジスティック解析

項目	β	p-value	Exp (95%CI)
BMI	-0.11	0.02*	0.90 (0.82-0.99)
練習量	0.50	<0.01*	1.64 (1.31-2.08)
競技歴	-0.05	0.09	0.96 (0.91-1.01)
競技レベル			
国際	1.10	0.04*	3.01 (1.03-8.78)
全国	0.73	0.05*	2.08 (1.00-4.38)
地方大会	0.27	0.46	1.31 (0.64-2.65)

*p<0.05

95%CI : 95% confidence interval

レーボールは、陸上以上に繰り返し高強度の着地が要求され、脛骨にかかるストレスが高い競技である¹²⁾。そのため、オリンピック競技でも陸上に次いでバレーボールは疲労骨折が生じやすいと報告されている¹³⁾。サッカーは、第5中足骨の疲労骨折である、ジョーンズ骨折が生じやすい競技である。原因としては、スパイクのポイント、サーフェイスなど要因として挙げられる¹⁴⁾。すなわち、バレーボール、サッカーは女性特有の問題に関係なく下腿、足部に疲労骨折が生じやすい競技であるため、本研究でも疲労骨折のリスクが高かったと考えられる。

本研究の結果、肩甲帯(肩/鎖骨)、手関節など上肢の疲労骨折は全体の2%程度であった。テニスや水泳などオーバーヘッド動作が多い女性アスリートの参加者が少なかったことが考えられるが、女性アスリートの疲労骨折の割合を調べたレビュー論文でも上肢の疲労骨折は10%以下であったと報告されており¹⁵⁾、本研究と一致する結果であった。そのため、女性アスリートの上肢の疲労骨折の割合は低いと考えられる。

疲労骨折が生じやすい選手の特徴

疲労骨折のリスク因子として、BMIが低く、練

習量が多いことが示された。疲労骨折が、女性でBMIが低い人に多いとされる海外の報告と一致した¹⁶⁾。加えて、本研究では、競技レベルが高い選手ほど疲労骨折が生じやすいことが示された。競技レベルが高いチームの方が下肢傷害のリスクが高くなると報告されている¹⁷⁾。そのため、競技レベルが高いチームに対しては、疲労骨折に対する予防のプログラムがより重要と考えられる。疲労骨折対策として運動量の管理だけでなく、バイオメカニクスの改善(接地の衝撃が少なくなるようなフォーム指導)、環境(柔らかいサーフェイス)や道具(靴やインソール)の管理が挙げられる¹⁸⁾。低BMIのアスリートに対する栄養管理が挙げられるが、低体重が有利に働く競技も存在するため、骨質の改善を目指し、ビタミンDやカルシウム、通常の2倍程度のタンパク質摂取が望まれる¹⁹⁾。将来的に、組織レベルでの骨負荷を臨床的に決定し、骨ストレス障害を予防することも挙げられる²⁰⁾。今回の研究から、練習日数が週5.5日以上(約6日)の女性アスリートで疲労骨折が多いことから、少ない練習時間で、効率よく練習する方法を取り入れることも1つの方法となりうる。

本研究の限界

本研究の限界を以下にのべる。1つ目として、疲労骨折の報告が多い、審美系の選手が少ないことが挙げられる。競技ごと、特に審美系の選手を対象にさらなる検証が必要である。2つ目に、骨粗鬆症、ホルモン値、月経情報などの既存の疲労骨折の要因の評価ができていないことが挙げられる。日本における女性アスリートの疲労骨折に関しては、月経異常に比較して、報告も少ない。3つ目として、本研究は後ろ向きに行った大学生を対象としたアンケート調査である。そのため復帰までに要した期間、競技レベルなどで想起バイアス、思案バイアスが生じる事である。加えて、大学生のみを対象としているため、幅広い年代へ一般化するのが困難であった。また、部位の詳細を聴取していないため、足/足趾を分けることができなかった。陸上選手に多いとされる足部の疲労骨折を正確に把握できなかった。女性アスリートの疲労骨折を含む三主徴に対する有効な対策を講じるために、この後ろ向き横断研究を参考に、審美系、持久系の競技を中心にサンプル数を増やして、身体情報を網羅した前向きコホート研究をさらに行う必要性が示された。

5. 結語

疲労骨折の発症率は、従来のように陸上で多い結果となった。また、バレーボールやサッカーなど女性特有の問題に関連しない競技でも疲労骨折が多いことが示された。部位としては、足/足趾、下腿に多く発症することが示された。練習量が5.5日以上、BMIが18.9以下、競技レベルが全国大会以上の女性選手ほど疲労骨折のリスクが高くなることが示唆された。

謝 辞

本研究はUNIVASの財政的支援を受けて行った。資金提供者は本研究のデザイン、データ分析、報告に影響を与えなかった。加えて、アンケートに答えてくれたすべてのアスリートに感謝いたします。また、本論文を作成するにあたり、多大な貢献をしてくださった慶應義塾大学医学部の横尾美空様に感謝申し上げます。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

著者の貢献は以下の通り。Y.M., Y.K.が草案の執筆を

行った。A.K., Y.Y.はデータを管理した。Y.K., K.S.が資金獲得、指導、原稿の見直しを行った。すべての著者は、本研究を承認し、出版用の原稿を読んで承認した。

文 献

- 1) De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, et al. 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med.* 2014; 48(4): 289-309.
- 2) Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, et al. American college of sports medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 1867-1882.
- 3) Maya J, Misra M. The female athlete triad: review of current literature. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* 2022; 29: 44-51.
- 4) Tenforde AS, Carlson JL, Chang A, et al. Association of the female athlete triad risk Assessment stratification to the development of bone stress injuries in collegiate athletes. *Am J Sports Med.* 2017; 45: 302-310.
- 5) 能瀬さやか, 土肥美智子, 難波 聡, 他. 女性トップアスリートにおける無月経と疲労骨折の検討. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2014; 22(1): 67-74.
- 6) Sunagawa N. Recommended methods for sports injury and illness surveillance: Japanese society of clinical sports medicine and Japanese society for athletic training consensus. Document J Japanese Clinical Sports Medicine. 2022; 155-171.
- 7) Halonen JI, Erhola M, Furman E, et al. The Helsinki declaration 2020: Europe that protects. *The Lancet Planetary Health.* 2020; 4: e503-e505.
- 8) Bahr R, Clarsen B, Derman W, et al. International Olympic Committee consensus statement: methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sport 2020 (including STROBE Extension for Sport Injury and Illness Surveillance (STROBE-SIIS)). *British Journal of Sports Medicine.* 2020; 54: 372-389.
- 9) 初雁晶子, 鳥居 俊. 大学生男子長距離走選手における疲労骨折発生に関する実態調査. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2018; 26(3): 390-396.

- 10) Hreljac A. Impact and overuse injuries in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36: 845-849.
- 11) Barrack MT, Rauh MJ, Nichols JF. Prevalence of and traits associated with low BMD among female adolescent runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40: 2015-2021.
- 12) Milgrom C. Do high impact exercises produce higher tibial strains than running? *British Journal of Sports Medicine.* 2000; 34: 195-199.
- 13) Hayashi D, Jarraya M, Engebretsen L, et al. Epidemiology of imaging-detected bone stress injuries in athletes participating in the Rio de Janeiro 2016 Summer Olympics. *British Journal of Sports Medicine.* 2018; 52: 470-474.
- 14) Miyamori T, Nagao M, Sawa R, et al. Playing football on artificial turf as a risk factor for fifth metatarsal stress fracture: a retrospective cohort study. *BMJ Open.* 2019; 9: e022864.
- 15) Abbott A, Bird ML, Wild E, et al. Part I: epidemiology and risk factors for stress fractures in female athletes. *PhysSportsmed.* 2020; 48(1): 17-24.
- 16) Kale NN, Wang CX, Wu VJ, et al. Age and female sex are important risk factors for Stress fractures: A Nationwide Database Analysis. *Sports Health.* 2022; 14: 805-811.
- 17) Murphy DF. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British Journal of Sports Medicine.* 2003; 37: 13-29.
- 18) Warden SJ, Davis IS, Fredericson M. Management and prevention of bone stress injuries in long-distance runners. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 2014; 44: 749-765.
- 19) Close GL, Sale C, Baar K, et al. Nutrition for the prevention and treatment of injuries in track and field athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.* 2019; 29: 189-197.
- 20) Warden SJ, Edwards WB, Willy RW. Preventing bone stress injuries in Runners with optimal workload. *Current Osteoporosis Reports.* 2021; 19: 298-307.

(受付：2023年12月18日，受理：2024年5月7日)

Investigation of risk factors for stress fracture in college female athletes

Muramoto, Y.^{*1}, Kimura, T.^{*1}, Kinoda, A.^{*1}
Yamada, Y.^{*1}, Katsumata, Y.^{*1,2}, Sato, K.^{*1}

^{*1} Institute for Integrated Sports Medicine, Keio University School of Medicine

^{*2} Department of Cardiology, Keio University School of Medicine

Key words: Japan Association for University Athletics and Sport, Female athletes, Stress fractures

[Abstract] The purpose of this study was to investigate stress fractures in female athletes who belongs to Japan Association for University Athletics and Sport (UNIVAS). A web-based survey was conducted between June 2022 and August 2023, with a total of 4,053 female athletes responding. The results showed that 3.1% (126) of athletes reported a total of 140 stress fractures during the year. The most common fracture sites were on foot and toe (32.1%) and lower leg (22.1%), highlighting a tendency for fractures to occur in the distal region. The track and field had the highest frequency rate of stress fractures (19.0%). Multivariate logistic analysis identified 'high volume practice ($\beta=0.5$, Exp=1.6)', 'lower BMI ($\beta=-0.1$, Exp=0.9)' and 'higher competition level ($\beta=0.7$, Exp=2.1)' as independent factors for stress fracture. These findings identify the prevalence of stress fractures in female athletes in Japan and the importance of monitoring training intensity, BMI and competition level to reduce such injuries, particularly in sports such as track and field.