

# 大学女子長距離走選手の 身体部位別骨密度と月経周期・ 女性ホルモンとの関連

Relationship between bone mineral density, menstrual irregularity and female hormones in female college long-distance runners

藤田有紀\*1, 佐々木英嗣\*1, 米田勝朗\*2, 衣笠祥子\*3  
加藤 健\*4, 津田英一\*1, 石橋恭之\*1, 梅田 孝\*2

キー・ワード：female long-distance runner, bone mineral density, menstrual irregularity  
女子長距離走選手, 骨密度, 月経異常

〔要旨〕 目的：女子長距離走選手では月経異常により骨粗鬆症を生じるが，反復する力学的負荷により下肢骨密度は高値となり，下肢の骨密度のみを用いて全身の骨密度を評価することは困難である．本調査の目的は女子長距離走選手の身体部位別骨密度と月経周期・女性ホルモンとの関連を明らかにすることである．

対象と方法：大学女子長距離走選手 17 名を対象に，月経状況を調査した．また DEXA 法により橈骨，腰椎，大腿骨骨密度と血中エストラジオール ( $E_2$ ) を測定した．

結果と考察：94% で月経異常を認め，稀発月経 6 例 (35%)，続発性無月経 7 例 (41%)，原発性無月経 3 例 (18%) であった． $E_2$  は  $20.5 \pm 10.3 \text{ pg/ml}$  と低値で，橈骨骨密度とのみ正の相関を認めた．女子長距離走選手においては橈骨骨密度が最も  $E_2$  値を反映しており全身の骨密度の評価に有用であると考えられた．

## はじめに

女子スポーツ選手における疲労骨折の発生は陸上選手で最も多く<sup>1)</sup>，疲労骨折を生じることで競技から長期離脱を余儀なくされることがある．疲労骨折の基盤として，女性アスリートの三主徴（摂食障害の有無によらない相対的エネルギー不足，視床下部性無月経，骨粗鬆症）が問題視されている<sup>2)</sup>．特にエストラジオール ( $E_2$ ) が  $20 \text{ pg/ml}$  以下の選手では疲労骨折のリスクが高いという報告や<sup>3)</sup>，水球選手において  $E_2$  と全身・腰椎骨密度が

正の相関を認めたという報告がある<sup>4)</sup>．

女子長距離走選手においては，その競技特性から体脂肪率の低下に伴い月経異常をきたしやすく， $E_2$  低下に伴う骨吸収の亢進により全身の骨密度は低下する傾向にある．一方，走ることによる繰り返しの力学的負荷は下肢の骨密度を上昇させる．骨強度が低下している状態で繰り返し外力が過度に加わることにより疲労骨折に至ると考えられるが，運動習慣のない女性より下肢骨密度は上昇している，また競技間で骨密度が増加する部位が異なると報告されており<sup>5)</sup>，骨密度の評価を下肢のみで判断するのは困難であると考えられる．

本研究は女性アスリートにおける月経周期と身体部位別骨密度の特徴を把握するため，女子長距離走選手を対象に身体部位別の骨密度の特徴と月経周期・女性ホルモンの関連を明らかにすること

\*1 弘前大学大学院医学研究科整形外科学講座

\*2 名城大学

\*3 岡崎市医師会公衆衛生センター

\*4 雪印メグミルク (株)

表1 対象の身体特性と走行距離

	平均	最小	最大
身長 (cm)	158.2±5.4	148.7	171.2
体重 (kg)	44.7±4.6	39.4	53.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	17.8±1.1	15.7	19.8
%fat (%)	15.3±4.5	6.3	20.0
一日あたりの平均走行距離 (km/日)	16.6±7.3	0	27.0

平均値±標準偏差. BMI: bone mass index.

を目的とした。

## 対象および方法

対象は大学女子駅伝部に所属する長距離走選手18名(19.6±1.1歳)とした。疲労骨折の既往は18例中3例(16.7%)に認めたが、高校時代における骨折であり、現時点での骨代謝には影響していないと考えたため対象から除外しなかった。また月経異常に対し、ホルモン治療中の選手1名を除外した17名を対象とした。本研究は所属大学の倫理委員会の承認を得て行った。全選手に対してインフォームドコンセントを行い、同意の得られた選手のみを対象とした。対象の平均身長・体重・BMIはそれぞれ158.2±5.4cm, 44.7±4.6kg, BMI 17.8±1.1kg/m<sup>2</sup>, 体脂肪率は15.3±4.5%であり、一日あたりの平均走行距離は16.6±7.3km/日であった(表1)。

調査項目は自記式アンケートによる月経調査、血液検査、骨密度とし、シーズン開始から1ヶ月経過した5月に調査を行った。

月経状況は月経周期を聴取し、正常・稀発月経・続発性無月経・原発性無月経に分類した。血液検査は早朝空腹時に施行し、下垂体から分泌される卵胞刺激ホルモン(LH: mIU/ml)(基準値: 卵胞期1.8-7.0, 黄体期1.0-7.8)と黄体刺激ホルモン(FSH: mIU/ml)(基準値: 卵胞期5.2-14.4, 黄体期2.0-8.4), 卵巣から分泌される卵胞ホルモン(エストラジオール; E<sub>2</sub>: pg/ml)(基準値: 卵胞期50以下, 黄体期100以上)と黄体ホルモン(プロゲステロン; P<sub>4</sub>: ng/ml)(基準値: 卵胞期1以下, 黄体期10以上)を測定した。全ての定量評価は株式会社LSIメディエンスに委託して行った。骨密度はDEXA(dual-energy X-ray absorptiometry)法により、橈骨(遠位1/3), 腰椎(L2-4の平均), 大腿骨(頸部)の3か所でそれぞれ測定を行い、骨密度(g/cm<sup>2</sup>)とYoung adult mean(YAM)

値(%)での評価を行った。また橈骨骨密度の比較対象として、過去に当科で行った一般住民健診のうち20代女性31名(25.7±2.5歳)を対照群とし、同様にDEXA法により橈骨遠位1/3にて骨密度の測定を行った。

採血にてE<sub>2</sub>が10pg/ml未満と測定可能範囲以下であった選手が2名おり、平均の算出、統計学的検討時には9として扱った。

統計学的検討として、身体部位別の骨密度とE<sub>2</sub>の関連をSpearmanの相関係数を算出し検討した。また月経状況とE<sub>2</sub>、対照群の橈骨骨密度を含む身体部位別骨密度と月経状況の比較を、それぞれTukey法を用いて比較した。統計学的処理はSPSS ver.12.0J(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)で行い、有意水準は5%未満とした。

## 結果

月経状況は、正常1例(6%:正常群), 稀発月経6例(35%:稀発月経群), 続発性無月経7例(41%:続発性無月経群), 原発性無月経3例(18%:原発性無月経群)であり、94%で月経異常を呈していた。

血中女性ホルモン値は排卵周期によって大きく変動するため、月経異常の選手が大半である本調査では基準値との比較は困難であるが、LH, FSH, E<sub>2</sub>, P<sub>4</sub>はそれぞれ3.7±3.3mIU/ml, 5.3±2.5mIU/ml, 20.5±10.3pg/ml, 16.0±7.6ng/mlであった(表2)。E<sub>2</sub>が20pg/ml未満のものは8例(47%)であった。またE<sub>2</sub>値を月経状況別にみると、正常群・稀発月経群・続発性無月経群・原発性無月経群ではそれぞれ21.0, 27.3±11.2, 16.6±8.7, 16.0±5.3pg/mlと各群間に有意差は認めなかったが、続発性無月経群・原発性無月経群で20pg/ml未満と低値だった(図1)。

各身体部位別骨密度は、橈骨、腰椎、大腿骨がそれぞれ0.61±0.04g/cm<sup>2</sup>(YAM 89.2±5.9%), 1.01±0.10g/cm<sup>2</sup>(90.2±8.8%), 1.00±0.11g/cm<sup>2</sup>(110.7±12.5%)と、橈骨で低く、大腿骨で高値であった。月経状況別にみると、橈骨では稀発月経群と原発性無月経群がそれぞれ0.64±0.03g/cm<sup>2</sup>(93.2±4.8%), 0.57±0.04g/cm<sup>2</sup>(82.7±6.7%)であり稀発月経群が有意に高値であった。腰椎では稀発月経群と続発性無月経群がそれぞれ1.10±0.11g/cm<sup>2</sup>(97.8±9.8%), 0.97±0.06g/cm<sup>2</sup>(87.0±5.7%)であった。大腿骨は月経状況別では有意差を認めなかつ

た。また、対照群における橈骨骨密度は  $0.68 \pm 0.05$  g/cm<sup>2</sup> であり、続発性無月経群と原発性無月経群は対照群に比べ有意に低値であった (表 3)。

部位別骨密度と E<sub>2</sub> の相関関係をみると、橈骨と E<sub>2</sub> は正の相関を認め ( $r=0.500, p=0.029$ )、腰椎では E<sub>2</sub> が上昇すると骨密度はあがる傾向を認めた ( $r=0.437, p=0.061$ )。荷重部である大腿骨と E<sub>2</sub> は相関を認めなかった ( $r=0.352, p=0.139$ ) (図 2)。

## 考 察

本調査では、女子長距離走選手における月経状

況を調査し、身体部位別骨密度と月経状況・女性ホルモン値の関連を明らかにした。女子長距離走選手は女性アスリートの中でも特に月経異常をきたしやすく、本調査でも 94% が月経異常を呈しており、E<sub>2</sub> は疲労骨折のリスクがあがるとされる 20 pg/ml より少ないものが 47% を占めていた。さらに月経状況別にみると、E<sub>2</sub> は続発性無月経群・原発性無月経群では正常群・稀発月経群と比べ有意差は認めないが低い傾向にあった。

E<sub>2</sub> は女性ホルモンとして子宮の発育、子宮内膜の増殖、乳腺発達などの作用がある一方、骨吸収抑制作用を持っており、閉経後など E<sub>2</sub> が低下することで骨吸収が亢進し高代謝回転を生じる<sup>6)</sup>。このため骨密度は低下しなくても、リモデリングスペースが増加することで骨強度が低下するとされている<sup>7)</sup>。また若年選手においては、E<sub>2</sub> が 50pg/ml を超えた頃より骨密度の増加が始まり、十分な骨密度を得るには十分なエストロゲンの分泌が必要といわれている<sup>8)</sup>。このため本調査のように続発性無月経群・原発性無月経群では、18 歳前後に到達すべき最大骨量が得られていない状態といえ

表 2 女性ホルモン値

	平均	最小	最大
LH (mIU/ml)	3.7±3.3	0.1	9.5
FSH (mIU/ml)	5.3±2.5	0.1	11.8
E <sub>2</sub> (pg/ml)	20.5±10.3	10 未満	19.8
P <sub>4</sub> (ng/ml)	16.0±7.6	0	27.0

平均値±標準偏差。LH：卵胞刺激ホルモン FSH：黄体刺激ホルモン E<sub>2</sub>：エストラジオール (卵胞ホルモン) P<sub>4</sub>：プロゲステロン (黄体ホルモン)。

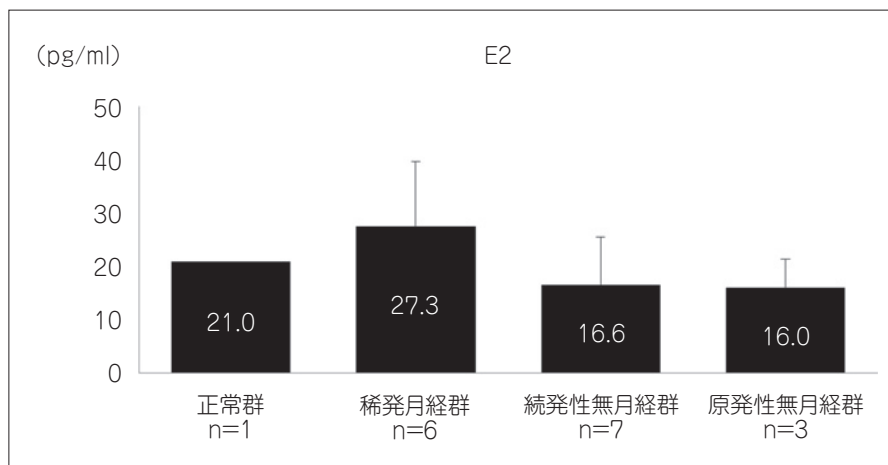


図 1 月経状況別のエストラジオール (E<sub>2</sub>) 値  
ANOVA 事後検定 Tukey 法。

表 3 月経状況と身体部位別骨密度

	対照群 n=31	正常群 n=1	稀発月経群 n=6	続発性無月経群 n=7	原発性無月経群 n=3
橈骨 (g/cm <sup>3</sup> )	0.68±0.05	0.64	0.64±0.03	0.60±0.03 <sup>†</sup>	0.57±0.04* <sup>†</sup>
腰椎 (g/cm <sup>3</sup> )	-	0.89	1.10±0.11	0.97±0.06*	0.96±0.01
大腿骨 (g/cm <sup>3</sup> )	-	0.96	1.09±0.10	0.96±0.11	0.93±0.06

ANOVA 事後検定 Tukey 法。

\* : p<0.05 (稀発月経群に対して), † : p<0.05 (対照群に対して)。

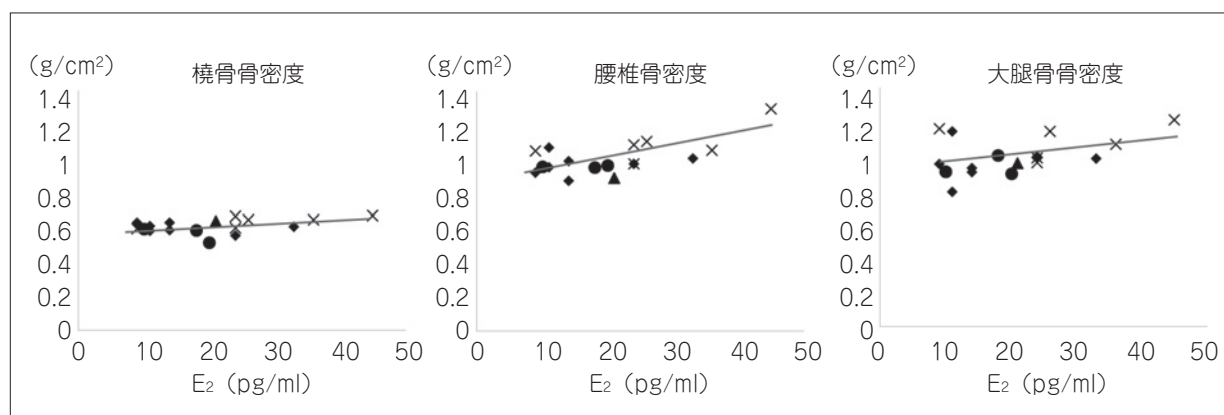


図2 身体部位別骨密度とエストラジオール値 (E<sub>2</sub>) の相関  
 左：橈骨骨密度 中央：腰椎骨密度 右：大腿骨骨密度  
 Spearman の相関係数を算出。

図中 ▲：正常群 ×：稀発月経群 ◆：続発性無月経群 ●：原発性無月経群

る<sup>9)</sup>。さらにエストロゲン低下が続くことで骨吸収は亢進した状態であり、そこに繰り返される走運動の外力が加わり、マイクロダメージに応じて骨形成能が亢進していると推測される。女子長距離走選手では、最大骨密度に達していないにもかかわらず骨吸収と骨形成がそれぞれ亢進し高代謝型骨回転となっている状態であり、疲労骨折を生じやすい要因であると考えられる。

また繰り返される外力は骨形成能を亢進させるため、競技ごとに身体別骨密度に特徴があるとされている<sup>10-13)</sup>。本調査では長距離走選手において骨密度は橈骨で最も低く、大腿骨で最も高かった。陸上長距離走やクロスカントリーなど一回あたりの負荷は小さいが同じ動作の繰り返しの多い持久系の競技においては、体脂肪率が低く月経異常の影響もあり全身骨密度は低いといわれている。特に非荷重部である前腕が低い一方で、荷重部であり力学的負荷を受ける下肢の骨密度は相対的に高いとされており、本調査でも同様の結果が得られた。一方で繰り返しの動きは少ないが一回あたりの負荷が大きい柔道や球技などは全身骨密度が高く、各部位ごとの骨密度も高いとされている<sup>11,12)</sup>。また、水泳は非荷重で行う競技であり、全身骨密度は低く、特に下肢の骨密度が低いとされているが、前腕・腰椎に関しては運動習慣のない同年代の女性と比べ、同等もしくは高いと報告されている<sup>11,13)</sup>。このように全身の骨密度には月経異常が関与し、各部位の骨密度には力学的負荷のかかる部位において骨形成が亢進するため、競技ごとに骨密度の特徴も異なる。本調査のように陸上長距離

走選手では月経異常を呈し全身骨密度は低く骨強度が弱いにもかかわらず、下肢骨密度はマイクロダメージにより高くなっていることがある。このため本調査において E<sub>2</sub> と有意な相関を認めた部位は非荷重部である橈骨のみであったと考えられる。下肢骨密度のみで骨代謝の状態を評価すること、また疲労骨折のリスクを評価することは困難であると考えられ、橈骨における骨密度などを用いた評価が必要となる。

本調査の問題点として以下の点があげられる。対象者数が少ないこと、対照群の設定が問題点である。つまり同年代で運動習慣のない健常群や他の競技を含め月経異常のないアスリート群との比較を行うことができていない。本調査では、E<sub>2</sub> と相関を認めたのは橈骨骨密度のみであったが、腰椎骨密度も p=0.061 であり、今後対象者数が増えることで、E<sub>2</sub> と相関が認められるかもしれない。また、測定器の限界により、E<sub>2</sub> の下限値以下の数値 (10pg/ml 未満) を得ることはできなかった。統計学的検討においてこの数値の扱いについて明確な方法がないが、この症例を除外することは本調査で最も問題となる選手群を無視することとなる。本解析では姑息的ではあるが 10 未満値を 9 と代用することで、統計処理を行った。今後は測定法の改善を求めていく方針である。しかし、本調査では身体部位別における骨密度の違いを評価できた。今後臨床において疲労骨折のリスクを評価するために下肢骨密度のみでは不十分であり、疲労骨折のリスクの指標となる E<sub>2</sub> と相関があるものは橈骨骨密度であることが明らかになった。

## 結 論

女子長距離走選手の94%が月経異常を呈しており、 $E_2$ は低値であった。骨密度は、力学的負荷の加わる大腿骨が相対的に最も高く、橈骨が最も低値であり、 $E_2$ と橈骨骨密度に正の相関を認めた。女子長距離走選手においては橈骨骨密度が最も $E_2$ 値を反映しており骨密度の評価に有用であると考えられた。

### 利益相反

藤田有紀, 佐々木英嗣, 米田勝朗, 衣笠祥子, 加藤健, 津田英一, 石橋恭之, 梅田孝: 奨学(奨励)寄付など(雪印メグミルク(株))

### 文 献

- 1) 津田英一, 藤田有紀, 山内良太ほか: 疲労骨折の治療と予防. 臨床スポーツ医学 32: 404-411, 2015.
- 2) Nattiv, A, Loucks, AB, Manore, MM et al.: American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. Med Sci Sports Exerc 39: 1867-1882, 2007.
- 3) 能瀬さやか, 土肥美智子, 難波 聡ほか: 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 22(1): 67-74, 2014.
- 4) 福林 徹, 林浩一郎, 下篠仁士ほか: 女子運動選手の疲労骨折と骨密度・女性ホルモンとの関連. 平成2年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書. 1991.
- 5) 村川増代, 相澤 徹, 足立長彦: 大学女子学生の運動習慣が骨密度に及ぼす影響に関する検討. 武庫川女子大紀要(自然科学) 56: 23-28, 2008.
- 6) Ivaska, KK, Gerdhem, P, Väänänen, HK et al.: Bone turnover markers and prediction of fracture: a prospective follow-up study of 1040 elderly women for a mean of 9 years. J Bone Miner Res 25: 393-403, 2010.
- 7) Burr, DB, Forwood, MR, Fyhrie, DP et al.: Bone microdamage and skeletal fragility in osteoporotic and stress fractures. J Bone Miner Res 12: 6-15, 1997.
- 8) 松田貴雄, 秦 祥彦, 釘宮基泰ほか: 女性アスリートの疲労骨折. 臨床スポーツ医学 27(4): 383-388, 2010.
- 9) 清野佳紀, 田中弘之, 西山宗六ほか: 日本人若年女子の最大骨量. 医学のあゆみ 170(12): 1041-1042, 1994.
- 10) 赤嶺卓哉, 吉田剛一郎, 高田 大ほか: 体育大学生女子スポーツ選手における種目別の骨密度と身体組成についての調査研究. 整形外科と災害外科 63(3): 484-487, 2014.
- 11) Risser, WL, Lee, EJ, LeBlanc, A: Bone density in eumenorrheic female college athletes. Med Sci Sports Exerc 22(5): 570-574, 1990.
- 12) Adam, ST, Fredericson, M: Influence of Sports Participation on Bone Health in the Young Athlete: A Review of the Literature. PM R 3: 861-867, 2011.
- 13) 赤嶺卓哉, 吉田剛一郎, 高田 大: 体育大学生女子スポーツ選手における競技種目別の骨塩量分析について—血中エストラジオール測定を含めて—. 整形外科と災害外科 61(4): 785-787, 2012.

(受付: 2016年4月15日, 受理: 2017年2月14日)

## Relationship between bone mineral density, menstrual irregularity and female hormones in female college long-distance runners

Fujita, Y.<sup>\*1</sup>, Sasaki, E.<sup>\*1</sup>, Yoneda, K.<sup>\*2</sup>, Kinugasa, S.<sup>\*3</sup>  
Kato, K.<sup>\*4</sup>, Tsuda, E.<sup>\*1</sup>, Ishibasi, Y.<sup>\*1</sup>, Umeda, T.<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Orthopedic Surgery, Hirosaki University Graduate School of Medicine

<sup>\*2</sup> Meijo University

<sup>\*3</sup> Okazaki City Medical Association Public Health Center

<sup>\*4</sup> MEGMILK SNOW BRAND Co.,Ltd.

**Key words:** female long-distance runner, bone mineral density, menstrual irregularity

**[Abstract]** Background: Osteoporosis involved in menstrual dysfunction causes stress fractures in female long-distance runners. On the other hand, micro-damage during running increases the bone mineral density (BMD) in the lower legs. The purpose of this study was to investigate the relationship between BMD, menstrual dysfunction and female hormones in female long-distance runners.

Material and Methods: Seventeen female college long-distance runners participated. Menstruation dysfunction was checked by a self-reported questionnaire. BMD was measured at the radius, lumbar vertebra and femoral neck by dual-energy X-ray absorptiometry. Female hormones in blood including estradiol were measured. The correlation among BMD, female hormones in blood and menstrual dysfunction was calculated.

Results: Menstrual dysfunction was found in 94% in the subjects; oligomenorrhea (35%), primary and secondary amenorrhea (18% and 41%). The mean value of estradiol in blood was  $20.5 \pm 10.3$  pg/ml, which was low in primary and secondary amenorrhea, especially. The BMD was  $0.61 \pm 0.04$  g/cm<sup>2</sup> (young adult mean:  $89.2 \pm 5.9\%$ ),  $1.01 \pm 0.10$  g/cm<sup>2</sup> ( $90.2 \pm 8.8\%$ ),  $1.00 \pm 0.11$  g/cm<sup>2</sup> ( $110.7 \pm 12.5\%$ ) at the radius, lumbar vertebra and femoral neck, respectively. BMD at the radius in oligomenorrhea was significantly higher than in primary amenorrhea, and BMD at the lumbar vertebra was also higher with oligomenorrhea than secondary amenorrhea. There was a positive correlation between estradiol and BMD at the radius ( $r=0.500$ ,  $p=0.029$ ).

Conclusion: BMD in female long-distance runners was different at the radius, lumbar vertebrae and femoral neck. BMD at the radius was the lowest and there was a positive correlation with the value of estradiol in the blood, which has been reported to be involved in stress fractures. Our results indicate that it is difficult to evaluate bone strength only by measuring BMD in the lower limbs.