

女性エリートランナーにおけるオーバートレーニングが 骨代謝と月経異常に及ぼす影響

財団法人
三菱養和会 永田 瑞穂
(共同研究者) 東京学芸大学 渡辺 雅之
同 有吉 正博

Effect of Overtraining on Bone Metabolism and Menstrual Function in Female Elite Runners

by

Mizuho Nagata
The Mitsubishi Yowakai Foundation
Masayuki Watanabe, Masahiro Ariyoshi
Tokyo Gakugei University

ABSTRACT

In recent study it was found that female athletes with exercise-induced amenorrhea accompany low bone mineral density (BMD) at a high incident.

The present study has investigated the effect of overtraining on bone metabolism and menstrual function in female elite runners.

Subjects were 29 students of the university. There were divided into two groups according to training conditions ; 18 college athletes (Training group) ; 11 physically non-active students (Control group).

Also, the training group were divided into three groups following there kind of exercise ; the long distance group (L group), the sprinter group (S group), and the thrower group (TH groups). Calcaneal bone mass was measured by using ultrasound bone densitometer (A-1000 ,

Lunar Co.).

Stiffness which was calculated from both the speed of sound (SOS) and broadband ultrasound attenuation (BUA). It was used as the diagnostic criterion for measurement of bone strength.

In addition we investigated the bone metabolism in urinary pyridinoline (Pyr) and deoxypyridinoline (D-Pyr) as a marker of bone resorption, in plasma bone alkaline phosphatase (B-ALP) and bone Glaprotein (BGP) as a marker of bone integration.

The results obtained were as follows :

1) The average value of stiffness for control group, L, S and TH groups were 82.1 ± 10.4 , 95.8 ± 11.9 , 106.5 ± 10.0 and 114.2 ± 16.0 , respectively. There were significant differences against the control group.

2) In the training group the average value of stiffness in normal menstruation group and the exercise-induced amenorrhea group were 103.1 ± 16.1 and 106.0 ± 12.73 , respectively, but there were no significant differences among groups.

3) In the training group the average value of %fat in normal menstruation group and the exercise-induced amenorrhea group were 21.9 ± 3.6 and 18.3 ± 1.9 , respectively. There were significant differences between groups.

4) In the training group the average value of bone metabolic marker and serum estradiol (E_2) in both normal menstruation group, the exercise-induced amenorrhea group showed no significant differences between groups.

The above results suggest that calcaneal bone mass loss combined with loss of body weight, body fatness and exercise-induced decrease serum estradiol concentration.

Although the measurement of stiffness, urinary Pyr and D-Pyr might be useful for evaluation of bone loss in athletes. The further prospective study is needed.

要 旨

女性の競技選手、とくにマラソンや長距離種目を専門とする選手では骨密度が低いとの報告がなされている。今回、骨量に及ぼすトレーニングの影響を検討するために超音波骨量測定装置を用いて、右踵骨の超音波伝播速度 (speed of sound ; SOS), 広帯域超音波減衰係数 (broadband ultrasound attenuation ; BUA) およびこの両者から算出される超音波指標である Stiffness index (Stiffness) の測定を行った。また、骨代謝状態を把握するために骨吸収および骨形成マーカーの測

定を行った。

今回の結果では非運動群と比較して、運動群の Stiffness および SOS が有意に高いことを認めた。また、月経異常を呈する者において、正常な月経周期を呈する者と比べて骨量および骨代謝マーカーに差はみられなかった。このことは、エストラジオールの分泌が1名を除き確認されたことから、月経異常による骨量低下を招くトレーニング量まで到達していない可能性が考えられ、運動性無月経の症状によっては無月経による影響を相殺して骨量維持に効果を及ぼしている可能性が示唆された。また、エストラジオールが検出不可能な

10pg/ml以下であった1名の被験者については、第Ⅱ度無月経であることが推察され、体脂肪率も15.1%と低値であり、無月経に体脂肪率の減少が伴うことで、骨量の低下を招いたと推察される。

緒言

陸上競技の女子長距離・マラソン界において過剰なトレーニングおよびウェイトコントロール等が月経異常や貧血を引き起こすことが知られている。また、同時に骨密度の低下が引き金となり、疲労骨折等の障害を招くといわれている。

陸上競技の女子選手において多発する月経周期異常と骨量低下は、女子選手の健康管理上非常に重要な問題である。これまでの報告によると、月経周期異常を呈する選手は一般に練習量が多く、体脂肪率が低い傾向とされている²⁰⁾。とくに長距離選手において、週間走行距離が160km以上になると月経異常の発生率が高くなり¹⁾、また、正常月経状態の維持には体脂肪率22%以上が必要とされていることから¹⁸⁾、体脂肪率の低下が無月経の大きな原因と考えられている。

運動性無月経による身体的影響でとくに考慮しなければならない問題は、将来の妊娠と骨粗鬆症である。妊娠に関しては、練習量の軽減あるいは体重の回復により、排卵を伴う正常な月経周期が回復され、妊娠・分娩もとくに問題なく経過するとされている^{16, 17)}。しかし、骨量については運動性無月経がもたらす骨代謝異常によって、最大骨量 (peak bone mass) を獲得しなければならない時期に、十分な骨量を得られない可能性があるため将来の骨粗鬆症のリスクになると考えられている。

トレーニングに伴う月経異常は、シーズンオフや引退等により改善される可逆的なものである場合がほとんどで、より高度なパフォーマンスを追求する上で、むしろ都合がよく軽視されがちである。しかし、トレーニングにより生じた月経異常

は、骨量減少を引き起こし、運動支持機構の障害を来すと言われている¹⁹⁾。

今回の研究は、以下の2点について検討することを目的とした。

- 1) 陸上競技におけるトレーニングが骨代謝に及ぼす影響。
- 2) オーバートレーニングに伴う月経異常が骨代謝に及ぼす影響。

1. 方法

被験者は定期的な運動習慣のない健康な女子学生11名 (非運動群; C群)、大学の陸上競技部に所属し、定期的にトレーニングを行っている女子学生18名 (運動群; T群) を対象とした。運動群18名の内訳は長距離を専門種目とする者5名 (長距離群; L群)、短距離種目を専門とする者8名 (短距離群; S群)、投擲種目を専門とする者5名 (投擲群; TH群) であった。全対象例について、超音波骨量測定装置 (Quantitative Ultrasound; QUS, Lunar社製, A-1000) を用いて、右踵骨の超音波伝播速度 (speed of sound; SOS)、広帯域超音波減衰係数 (broadband ultrasound attenuation; BUA) およびこの両者から算出される超音波指標である Stiffness index (Stiffness) を測定した。また、形態計測を行い、体脂肪率はインピーダンス体脂肪計 (タニタ社製 BODYFAT ANALYZER TBF-102) を用いて測定を行った。自己記入法により、身体状況および過去から現在にわたる運動歴、現在の月経状況等について調査を行った。

また、肘静脈より採血した血清検体を用い、エストラジオール (E_2)、骨形成マーカーである骨型アルカリフォスファターゼ (B-ALP) およびオステオカルシン (BGP) の測定を行った。併せて、尿中の骨吸収マーカーであるピリジノリン (Pyr) およびデオキシピリジノリン (D-Pyr) の測定を行った。採尿は、午前8時から午前10時の間に行

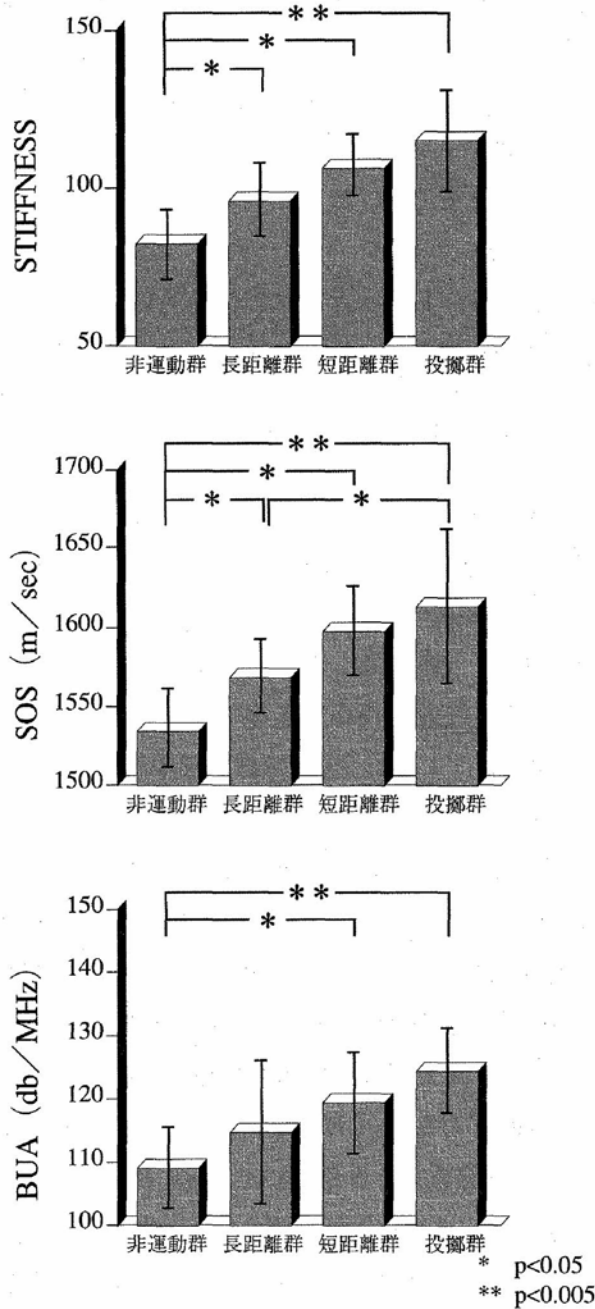


図1 各群における超音波指標

った。

結果は、すべて平均値±標準偏差 (SD) で表した。2群間の平均値の差の検定には、Student

unpaired-t test, 多群間の差の検定にはANOVAを用いた。相関についてはPearsonの単相関係数を用いた。検定に際しての有意水準は、いずれの場合も危険率5%以下とした。

2. 結果

C群およびT群の年齢、身長、体重、BMIおよび体脂肪率を表1に示す。年齢については、C群とL群およびS群で有意差が得られた。体重、BMIは、C群とTH群の間に有意な差が得られた。体脂肪率は、C群とL群およびS群の間に有意な差が得られた。

各群の超音波指標を図1に示した。Stiffnessは、C群、L群、S群およびTH群で各々82.1 ± 10.4, 95.8 ± 11.9, 106.5 ± 10.0, 114.2 ± 16.0であった。SOSは、各々1534.1 ± 25.0, 1568.8 ± 22.7, 1596.9 ± 27.7, 1612.0 ± 48.4m/secであった。BUAは、各々109.0 ± 5.8, 114.8 ± 11.2, 119.4 ± 7.9, 124.6 ± 6.8db/MHzであった。StiffnessおよびSOSについて、C群に比べてL, SおよびTH群が有意に高く、さらにSOSについてはL群とTH群の間に有意な差が得られた。BUAについては、C群とS群およびTH群の間に有意な差が得られた。表2に示すように、骨代謝マーカーとE₂については、PyrのみC群とL群の間に有意な差が得られた。

T群の被験者の中で、正常月経周期を有する者が9名 (月経正常群; N群), 月経周期に異常を呈した者が6名 (月経異常群; A群)であった。表3に示すように、N群とA群の間で体重および体脂肪率についてN群が有意に高かった。表4に示すように、すべての超音波指標において有意な

表1 被験者の身体特性

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	% FAT (%)
非運動群 (n = 11)	18.7 ± 0.67*	158.8 ± 6.84	52.2 ± 5.26*	20.7 ± 1.35*	25.3 ± 3.30*
運動群					
長距離群 (n = 5)	20.0 ± 2.00*	158.9 ± 3.15	53.9 ± 5.02	21.3 ± 1.46	19.6 ± 3.41*
短距離群 (n = 8)	20.3 ± 0.71*	162.9 ± 4.08	53.6 ± 1.60	20.2 ± 0.71	18.5 ± 1.09*
投擲群 (n = 5)	19.2 ± 0.84	163.5 ± 4.19	66.6 ± 5.76*	24.9 ± 2.04*	23.9 ± 2.60

*p < 0.05 vs 非運動群

表2 各群の骨代謝マーカーおよびエストラジオール

	B-ALP U/L	BGP ng/ml	Pyr pmol/μmol/Cr.	D-Pyr pmol/μmol/Cr.	E ₂ pg/ml
非運動群 (n=11)	20.3 ± 5.55	6.6 ± 1.66	34.1 ± 5.28*	6.2 ± 2.03	92.8 ± 91.16
運動群					
長距離群 (n=5)	19.1 ± 5.61	7.1 ± 1.48	44.6 ± 10.20*	8.0 ± 1.91	58.2 ± 50.68
短距離群 (n=8)	18.0 ± 5.06	5.5 ± 1.73	34.9 ± 7.04	6.7 ± 1.43	102.9 ± 46.44
投擲群 (n=5)	18.5 ± 4.72	6.0 ± 2.74	41.9 ± 11.22	7.6 ± 2.25	56.8 ± 25.02

*p < 0.05 vs 非運動群

表3 運動群の月経状態別身体的特徴

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	% FAT (%)
月経正常群 (n=9)	19.8 ± 1.30	162.8 ± 3.21	60.5 ± 8.11*	21.9 ± 3.58*
月経異常群 (n=6)	20.5 ± 1.38	161.5 ± 5.91	52.7 ± 3.59*	18.3 ± 1.88*

*p < 0.05

表4 運動群の月経状態別超音波指標

	STIFFNESS	SOS (m/sec)	BUA (db/MHz)
月経正常群 (n=9)	103.1 ± 16.14	1591.6 ± 44.41	116.6 ± 7.11
月経異常群 (n=6)	106.0 ± 12.73	1594.0 ± 33.69	119.7 ± 9.83

表5 運動群の月経状態別骨代謝マーカーおよびエストラジオール

	B-ALP U/L	BGP ng/ml	Pyr pmol/μmol/Cr.	D-Pyr pmol/μmol/Cr.	E ₂ pg/ml
月経正常群 (n=9)	19.4 ± 4.92	6.1 ± 2.57	41.3 ± 11.17	7.6 ± 1.87	63.4 ± 26.99
月経異常群 (n=6)	18.3 ± 5.80	6.0 ± 1.44	35.1 ± 7.97	6.7 ± 1.72	84.2 ± 61.36

差は得られなかった。また、表5に示すように、骨代謝マーカーおよびE₂についても有意な差は得られなかった。

3. 考察

今回の結果ではC群と比較して、L、SおよびTH群のStiffnessおよびSOSが有意に高いことを認めた。この結果は、運動選手が同年代の一般人よりも明らかに骨密度が高いというNilssonら¹³⁾の報告と一致している。運動による骨密度の増加は、ジャンプやターン等、メカニカルストレスが骨に加わることにより、骨が歪み圧縮力が加わり圧電位が形成され(ピエゾ効果)⁶⁾骨芽細胞の働きが活発になる。また、ピエゾ効果によってカルシウムイオン(Ca²⁺)が負の電位の側に引き付けられ吸着すると報告されている²³⁾。しかし、その一方で女性の競技選手、とくにマラソンや長距

離種目を専門とする選手には骨密度が低いとの報告がなされている^{2, 15)}。本研究においては、Stiffnessに関して種目間の差は認められなかったが、TH、S、L群の順で高い傾向にあった。S群とL群の間でStiffnessに有意差は認められなかったものの、3群の中でL群のStiffnessが最も低かったことは長距離種目におけるlow impact, high frequencyなmechanical loadにみる運動特性そのものが骨代謝に影響を与えている可能性が考えられる²¹⁾。

今回のT群の被験者の中で月経異常を訴えた者が、S群で5名、L群で1名、TH群では存在しなかった。梶原ら⁴⁾によると、長距離・マラソン選手は月経異常に陥る頻度が高く、高校選手68.5%、大学選手35.4%、マラソン選手29.4%と報告している。競技種目によっては、コンディショニングや体形の調節、維持のために、節食や減食によ

り体重減少を図る選手も多い。この体重減少の大部分は体脂肪の減少である。スポーツ選手の体脂肪率による月経異常の頻度をみると、体脂肪率が低いほど月経異常率が高く、体脂肪率が減少する傾向が示されている⁹⁾。正常な性機能の発現、維持のためには、ある一定以上の体脂肪が必要であることが知られている。初経発来には17%以上、また正常な月経周期の確立には22%以上の体脂肪率が必要であると報告されている¹⁸⁾。これらの要因が相互に関与することにより月経異常が発現するとされている¹⁰⁾。今回、L群で5名中1名のみ月経異常を示したことは、平均体脂肪率が19.6%であり、月経異常に陥るまでには至っていないと推察される。

N群とA群の間において、すべての超音波指標で有意な差は得られなかった。また、骨代謝マーカーおよびE₂についても有意な差は得られなかった。このことは、月経異常の症状の差によるものと考えられる。八幡ら²⁴⁾の報告によると無月経の重症度によって、骨塩量の低下に差が存在すると報告している。続発性無月経の重症度は、卵巣からのE₂の分泌状態により、E₂の分泌がある第Ⅰ度無月経（軽症型）と、E₂の分泌がほとんど認められない第Ⅱ度無月経（重症型）の2段階に分類される⁸⁾。先行研究によると、第Ⅰ度無月経ではE₂値が30~50pg/ml、第Ⅱ度無月経では20pg/ml以下と規定されている¹²⁾。月経周期に個人差があるが、今回のN群のE₂濃度は63.4 ± 27.0pg/ml (34~107pg/ml)、A群は84.2 ± 61.36pg/ml (45~183pg/ml)であり、その中で1名が10pg/ml以下で検出不可能であったことから、第Ⅱ度無月経であることが推察される。

一般に、月経異常を伴う女子長距離ランナーの骨塩量低下は、月経異常による女性ホルモン（エストロゲン）の低下が骨代謝に対してマイナスに作用し骨塩量の低下をもたらすとされている⁷⁾。しかし、Wolmanら²²⁾は、背筋力もあり除脂肪

体重の大きいボート選手では無月経でも骨塩量は低下しないと報告している。また、フィギアスケートの選手においても無月経で骨塩量の低下は認めないとSlemendaら²⁰⁾は報告している。Linnelら⁵⁾によると長距離選手でも無月経に体重減少が伴うことで、はじめて骨密度の減少が生じると報告されている。また、Hetlandら³⁾によると、月経の影響を受けない男子長距離選手でも骨量の低下を報告している。

統計的にN群とA群の間に超音波指標およびE₂の差は得られなかった。しかし、Stiffnessが85と最も低値を示した被験者は、長距離種目を専門とし、フルマラソンを3時間13分42秒の記録を持ち、ウルトラマラソン（100km）の完走も達成している。既往歴については、特記すべき事項はなく、運動歴は中学1年生から長距離種目のトレーニングを開始し、現在まで10年間継続している。初経は14歳で、現在月経は認められるものの月経周期は不順であった。形態計測の結果から、身長、体重および体脂肪率は、各々154.1cm、46.2kg、15.1%であった。E₂は検出不可能な10pg/ml以下であった。トレーニングは、週6日間、月間平均走行距離283.3kmで測定直前の6ヶ月の総走行距離は1700kmであり、測定を実施した前月の月間走行距離は350kmであった。

武者¹¹⁾の報告によるとオーバートレーニングとは、運動性貧血と類似の症状を呈し、慢性的に運動能力の低下をきたす疾患と規定している。さらに、長距離種目を専門としている選手でオーバートレーニングと診断された選手の発症前後の練習量は、女子選手で月間走行距離が最小200kmから最大500km、平均348kmと報告している。また、大田ら¹⁴⁾は、閉経前であっても月経不順や無排卵性月経を来すようになると卵巣刺激ホルモン（FSH）やE₂の低下を生じるようになり、骨量は明らかに減少すると報告している。

上記の被験者については、月間平均走行距離

283.3kmで測定直前6ヶ月間の総走行距離は1700kmであり、測定を実施した前月の月間走行距離は350kmであった。さらに、ヘモグロビン濃度11.9g/dlと低値を示し、本人の自覚的健康状態も「どちらかといえば悪い」と答えていることからオーバートレーニングの症状が現われていることが推察される。

以上のことから、女子陸上競技選手の骨量低下は月経異常だけでなく、種目特性、練習量の増加による体重低下、体脂肪率低下および E_2 濃度の低下が伴うことにより生じる可能性が示唆された。

4. まとめ

女子エリートランナーのトレーニングが、超音波法による骨量と骨代謝マーカーに及ぼす影響と月経異常が骨代謝に及ぼす影響について検討を行い以下の結果を得た。

- 1) 超音波法による骨量測定において、運動群で骨量は有意に高値を示した。
- 2) 運動群において、月経正常群および月経異常群の超音波指標で有意差は認められなかった。
- 3) 骨吸収および骨形成マーカー共に、非運動群と運動群の間で有意差は認められなかった。同様に、運動群の月経正常群および月経異常群の間でも有意差は認められなかった。

以上のことから、超音波法を用いた骨量測定においても過去の研究同様にトレーニングによる骨量の増加を認めた。しかし、月経正常群と月経異常群の間で骨量に差が認められなかった理由は、DEXA法と異なる超音波法の測定特性から骨の微細構造、骨質を反映しているため、従来の報告とは異なった結果を得たと考えられる。 E_2 の分泌が1名を除き確認されたことから、月経異常による骨量低下を招くトレーニング量まで到達していない可能性が考えられ、運動性無月経の症状によっては無月経による影響を相殺して骨量維持に効果を及ぼしている可能性が示唆された。また、 E_2 が

検出不可能な10pg/ml以下であった1名の被験者については、体脂肪率も15.1%と低値であり、無月経に体脂肪率の減少が伴うことで、骨量の低下を招いたと推察される。つまり、女子陸上競技選手の骨量低下は月経異常だけでなく、種目特性、練習量の増加による体重低下、体脂肪率低下および E_2 濃度の低下が伴うことにより生じる可能性が示唆された。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、石本記念デサントスポーツ科学振興財団より研究助成を賜りましたことに深謝いたします。また、本研究で使用した実験器材の借用にあたり、ご協力をいただきました東京工業大学の中原凱文先生、北川淳先生、測定のご協力をしていただきました東横学園女子短期大学の和田光明先生と中村正雄先生に感謝いたします。

文 献

- 1) Feicht, C. B., et al. ; Secondary amenorrhea in athletes, *Lancet*, 2, 1145 (1978)
- 2) 福島一雅, 齋藤明義, 佐藤賢治, 布袋屋浩, 佐藤勤也; 女子スポーツ選手における疲労骨折と月経異常, 骨密度の関連について, *臨床スポーツ医学*, 13 (5) 493-497 (1996)
- 3) Hetland, M. L., Haarbo, J., Christiansen, C. ; Low bone mass and high bone turnover in male long distance runners, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 77, 770-775 (1993)
- 4) 梶原洋子ら; 若年女子の運動習慣が女子生理機能に及ぼす影響について, *小野スポーツ科学*, 2, 143-166 (1994)
- 5) Linnel, S.L. et al. ; Bone mineral content and menstrual regularity in female runner, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16, 343-348 (1984)
- 6) 松永俊二; 電気刺激における骨形成の機序について, *臨床整形外科*, 27, 1349-1355 (1992)
- 7) 目崎登ら; 運動によるホルモンと骨塩量の変動, *The Bone*, 7 (2), 71-75 (1993)
- 8) 目崎登; 運動性無月経, *Book House HD*, 44 (1992)
- 9) 目崎登; 月経現象に関する調査結果, *オリンピッ*

- ク強化指定選手制度（昭和62~63年度）報告書（日本体育協会競技力向上委員会，スポーツ科学委員会編），58，（1989）
- 10) 目崎登ら；女性の性機能とスポーツ-臨床的立場から-, 産婦世界, 42, 299 (1990)
 - 11) 武者春樹；スポーツ診療所におけるオーバートレーニングの現状, 平成元年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. オーバートレーニングに関する研究-第1報-, 4-8, (1989)
 - 12) 永田行博ら；月経異常と骨代謝, *Clinical Calcium*, 5, 45-50 (1995)
 - 13) Nilsson, B. E. and Westlin, N. E. ; Bone density in athletes, *Clin. Orthop.*, 77, 179-182 (1971)
 - 14) 大田博明ら；骨代謝マーカー, 骨代謝マーカー, 第1版（福永仁夫, 中村利孝, 松本俊夫編）, メディカルビュー社, 162-177 (1995)
 - 15) 岡野亮介ら；女性における運動と骨密度 -陸上中長距離選手と育児休業女性の場合-, 臨床スポーツ医学, 11 (4), 446-450 (1994)
 - 16) Prior, J. C. et al. ; Reversible luteal phase changes and infertility associated with marathon training, *Lancet*, 31, 269-270 (1982)
 - 17) Prior, J. C. et al. ; Reproduction for the athletic women : new understandings of physiology and management, *Sports Medicine*, 14, 190-199 (1992)
 - 18) Reid, R.L. and Van Vugt, D.A. ; Weight related changes in reproductive function, *Fertil. Steril.*, 48, 905 (1987)
 - 19) 佐々木純一ら；女子運動選手における疲労骨折と月経異常の関係, 産婦人科の実際, 38 (2), 227-232 (1989)
 - 20) Slemenda, C.W., et al. ; Hight intensity activities in young women : site specific bone mass effects among female figure skaters, *Bone Miner*, 20, 125-132 (1993)
 - 21) 辻秀一, 勝川史憲, 大西祥平, 山崎元；女子運動選手の月経状態と骨密度 -運動性無月経の影響に関する多角的検討-, 臨床スポーツ医学, 13 (12) 1413-1418 (1996)
 - 22) Wolman, R. L. et al. ; Menstrual state and exercise as determinants of spinal trabecular bone density in female athletes, *BMJ*, 301, 516-518 (1990)
 - 23) 山村俊昭, 石井精一；骨粗鬆症と運動, 日経スポーツメディスン '92, 20-25 (1992)
 - 24) 八幡朋子ら；若年無月経における骨塩量.DXA法による検討, 思春期学, 11, 34-39 (1993)