

体育大学女性スポーツ選手における競技種目別・部位別の骨密度についての調査研究

赤嶺卓哉*, 高田 大**, 松村 勲**,
小山田和行**, 坂中美郷**, 木葉一総**,
長島未央子*, 吉田剛一郎*, 添嶋裕嗣*

Analysis of bone mineral density on physical college women athletes

Takuya AKAMINE *, Dai TAKATA **, Isao MATSUMURA **,
Kazuyuki OYAMADA **, Misato SAKANAKA **, Kazufusa KIBA **,
Mioko NAGASHIMA *, Goichiro YOSHIDA *, Yuji SOEJIMA *

Abstract

We investigated the bone mineral density on physical college women athletes and control women group (36 female, mean 19.9 ± 0.9 years old) by dual energy X-ray bone absorptiometry (DXA).

Several findings have been obtained as follows.

1) In swimming athletes group, their % fat was significantly lower than the control group ($p < 0.05$). But their total muscle volume was significantly higher than the control group ($p < 0.05$). The swimmers' forearms BMD, 2nd ~ 4th lumbar vertebra ($L_2 \sim L_4$) BMD, $L_2 \sim L_4$ peak reference (PR) were significantly higher than those in long-distance runners respectively ($p < 0.05$).

2) In long-distance runners group, their % fat was significantly lower than the control group ($p < 0.05$). And their total muscle volume was significantly lower than that in swimming athletes ($p < 0.05$).

3) In Judo athletes group, total muscle volume, forearms BMD, $L_2 \sim L_4$ BMD · PR were significantly higher than those in the control group respectively ($p < 0.05$). And forearms BMD of Judo athletes was significantly higher than those in volleyball and basketball athletes groups respectively ($p < 0.05$).

4) In volleyball and basketball athletes groups, their % fat were significantly lower than the control group ($p < 0.05$), but their total bone mineral content, total muscle volume, femoral neck BMD, were significantly higher than those in the control group respectively ($p < 0.05$). In both groups, their legs BMD was significantly higher than that in the control group ($p < 0.05$). The total BMD in basketball athletes group was higher than that in the control group, and its numerical value was the highest of all groups.

Keywords : physical college women athletes, body elements, bone mineral density

* 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

** 鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系

はじめに

「運動と骨」に関する研究はすでに多数の国々で行われ、老若男女の多くの層において、運動の骨増強効果が報告されている (Krolner ら:1983, 後藤ら:1991, Nikander ら:2010). 各競技別・部位別にみた骨塩量向上効果についての検討も行われ、重量挙げの選手では腰椎・大腿骨などの体重負荷部の骨塩量が有意に高いとの報告 (Colletti ら, 1989), テニス選手では利き腕・腰椎の骨密度が高いという結果 (Huddleston, 1980) などが示されている.

一方、人口の高齢化に伴う骨粗鬆症は女性に多発し、若年期の運動は高齢期の骨粗鬆症に伴う骨折などを予防する効果がある、と一般的には指摘されている (後藤ら:1991, Carbuhn ら:2010, Maimoun ら:2013). しかし、具体的にどのような競技をいかに行うことが、将来の骨折予防に有益であるかを詳細に述べた報告は少ない.

そこで本研究では、対照群女性および体育大学女性スポーツ選手を対象として、身体組成、骨密度 (bone mineral density; BMD) 測定を行った. それらの測定値を分析し、各競技別・部位別にみた運動の身体・骨に及ぼす影響について検討し報告する.

対象と方法

1. 対象

対象は、一般女子大学生 6 名 (対照群; 年齢 20.2 ± 0.8 歳, 体重 54.9 ± 5.8 kg, 平均値 \pm 標準偏差) と大学生女性スポーツ選手 30 名 (水泳群・陸上長距離群 [軽量グループ], 柔道群・バレーボール群・バスケットボール群 [重量グループ], 各種目群とも 6 名; 年齢 19.8 ± 0.9 歳, 体重 56.5 ± 5.2 kg, 競技歴 10.5 ± 3.0 年, 平均値 \pm 標準偏差) の計 36 名である. 対象者からは同意書を頂き、研究はヘルシンキ宣言の精神に則って行われた. 各対象群の身体的特性を表 1 に示す.

表1 各対象群の身体的特性 (平均値 \pm 標準偏差)

		年齢 (year)	身長 (cm)	体重 (kg)
対照群	(n=6)	20.2 ± 0.8	161.0 ± 6.5	54.9 ± 5.8
水泳群	(n=6)	19.7 ± 0.9	163.0 ± 3.3	56.0 ± 0.6
陸上長距離群	(n=6)	20.0 ± 1.2	158.3 ± 2.4	50.7 ± 1.9
柔道群	(n=6)	19.4 ± 0.5	158.3 ± 3.3	60.5 ± 6.3
バレーボール群	(n=6)	20.1 ± 1.1	164.0 ± 5.1	57.6 ± 3.3
バスケットボール群	(n=6)	20.0 ± 0.9	164.3 ± 3.1	57.8 ± 2.2

また、BMD は年齢や体重に多大に影響されるといわれており (後藤ら, 1991), この研究では年齢、体重のマッチングが施行された. すなわち、対照群・水泳群・陸上長距離群間の年齢、体重に統計学的に有意な差異はなく、対照群・柔道群・バレーボール群・バスケットボール群間の年齢、体重にも有意差はない. なお、対照群の平均体重は全対象者の中間位に位置しており、軽・重量グループの両者に属しているが、同一の 6 名である. また、体重の最も重い柔道群と、最も軽い陸上長距離群との間には統計学的な有意差が存在した.

2. 方法

全対象 36 名の全身、第 2 ~ 4 腰椎 ($L_2 \sim L_4$) 正面、左大腿骨頸部に対し、dual energy X-ray bone

absorptiometry (DXA; Holologic, Discovery) を用いた骨塩量・骨密度測定を実施した。全身においては、骨塩量、体脂肪率、除脂肪軟部組織量 (筋肉量, bone-free lean tissue mass; LTM), 全身骨密度 (BMD), 前腕 BMD, 脚 BMD を測定した。腰椎正面では L₂~L₄ BMD・対日本人同性平均ピーク値比 (peak reference; PR) を計測し, 左大腿骨頸部では neck BMD, 転子間部 (intertrochanter; int) BMD をそれぞれ測定した。各数値 (各群 [対照, 種目] 別, 各項目別の平均値 ± 標準偏差) に対しては, 軽量グループと重量グループとを分別した上で, 統計処理を行った。統計処理方法として, 各群間における平均値の差の検定を, 一元配置分散分析を用いて行った。その解析で有意差が認められた場合は, Turkey - Kramer の HSD (honestly significant difference) 法による多重比較を行った。さらにすべての項目で, 危険率 5% 未満を有意差ありと判定した。

結 果

DXA による身体組成・骨密度 (BMD) 測定結果を, 以下に示す。

1. 全身・部位別の骨塩量・身体組成・BMD測定結果

①. 軽量グループ

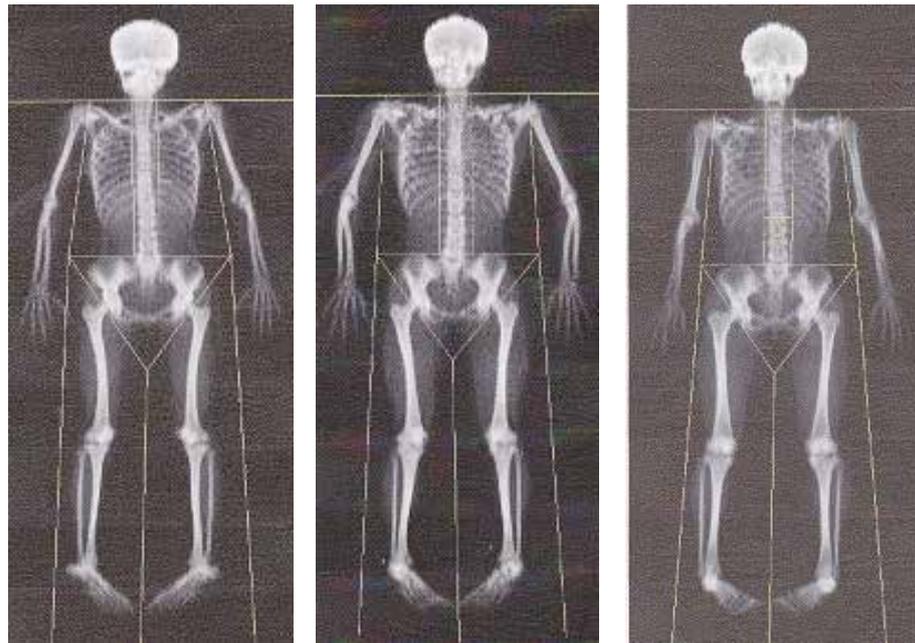
骨塩量, 体脂肪率, LTM (除脂肪軟部組織量 [筋肉量]) の測定結果を表 2 - a に提示する。水泳群では, 対照群と比べ体脂肪率が統計学的に有意に低く, 対照群・陸上長距離群と比較して LTM は有意に高かった (以下すべて $p < 0.05$)。また陸上長距離群では, 対照群と比べ体脂肪率で有意な低値が認められた。なお, 全骨塩量については各群間に有意な差異はなかった。

全身・前腕・脚 BMD の測定値を表 2 - b に掲示する。前腕 BMD においては, 水泳群の平均値は陸上長距離群と比べ有意な高値を示した。また, 全身・脚 BMD については各群間に有意な差異はなかった。なお軽量グループの全身 DXA 像の代表例を図 1 に提示する。

表2 軽量グループの全身・部位別測定結果

a. 全骨塩量・体脂肪率・LTM			
	全骨塩量 (kg)	体脂肪率 (%)	LTM (kg)
対照群 (n=6)	1.93 ± 0.10	34.55 ± 5.49	33.78 ± 2.55
水泳群 (n=6)	1.85 ± 0.23	22.23 ± 2.59	41.55 ± 3.32
陸上長距離群 (n=6)	1.74 ± 0.32	25.60 ± 3.58	35.90 ± 0.88
p(ANOVA)	p=0.3975	p=0.0003	p=0.0002 (*; p<0.05)

b. 全身・前腕・脚BMD			
	全身BMD (g/cm ²)	前腕BMD (g/cm ²)	脚BMD (g/cm ²)
対照群 (n=6)	1.04 ± 0.05	0.67 ± 0.02	1.02 ± 0.11
水泳群 (n=6)	0.99 ± 0.07	0.71 ± 0.04	0.98 ± 0.05
陸上長距離群 (n=6)	0.99 ± 0.14	0.65 ± 0.04	1.07 ± 0.10
p(ANOVA)	p=0.6068	p=0.0233	p=0.2422 (*; p<0.05)



	対照群	水泳群	陸上長距離群
全身 BMD (g/cm ²)	1.037	0.993	0.962
全身 PR (%)	94	90	87

図1 軽量グループの各群代表例 (全身)

表3 重量グループの全身・部位別測定結果

a. 全骨塩量・体脂肪率・LTM			
	全骨塩量 (kg)	体脂肪率 (%)	LTM (kg)
対照群 (n=6)	1.93±0.10	34.55±5.49	33.78±2.55
柔道群 (n=6)	2.16±0.18 *	28.15±5.09 *	41.15±3.84 *
バレーボール群 (n=6)	2.20±0.22 *	25.63±2.46 *	40.64±3.11 *
バスケットボール群 (n=6)	2.30±0.11 *	23.37±3.48 *	41.97±1.56 *
p(ANOVA)	p=0.0064	p=0.0015	p=0.0003 (*; p<0.05)

b. 全身・前腕・脚BMD			
	全身BMD (g/cm ²)	前腕BMD (g/cm ²)	脚BMD (g/cm ²)
対照群 (n=6)	1.04±0.05	0.67±0.02	1.02±0.11
柔道群 (n=6)	1.12±0.09	0.76±0.03 *	1.08±0.06 *
バレーボール群 (n=6)	1.09±0.07	0.72±0.03 *	1.19±0.05 *
バスケットボール群 (n=6)	1.14±0.04	0.70±0.02 *	1.21±0.06 *
p(ANOVA)	p=0.0683	p<0.0001	p=0.0004 (*; p<0.05)

②. 重量グループ

骨塩量, 体脂肪率, LTM の測定値を表 3 - a に示す. 柔道群, バレーボール群, バスケットボール群ではいずれも対照群に比し, LTM は統計学的に有意に高かった. またバレーボール群, バスケットボール群では対照群と比べ, 体脂肪率は有意に低く, 全骨塩量は有意な高値を示した.

全身・前腕・脚 BMD の測定結果を表 3 - b に提示する. 前腕 BMD においては, 柔道群, バレーボール群ではいずれも対照群と比べ有意な高値が観察された. また中でも柔道群は, バレーボール群, バスケットボール群と比較しても有意な高値を示した. 脚 BMD においては, 跳躍種目であるバレーボール群, バスケットボール群では, いずれも対照群と比べて有意に平均値が高く, バスケットボール群では柔道群と比較しても有意な高値を示した. なお, 全身 BMD については各群間に有意差はなかった.

2. 第 2 ~ 4 腰椎 (L₂ ~ L₄) 骨密度測定結果

①. 軽量グループ

L₂ ~ L₄ 骨密度測定結果などを表 4 に示す. L₂ ~ L₄ BMD, L₂ ~ L₄ PR の両項目において, 水泳群では陸上長距離群に比し, 統計学的に有意な高値を示した.

②. 重量グループ

L₂ ~ L₄ BMD などの数値を表 5 に示す. L₂ ~ L₄ BMD, L₂ ~ L₄ PR の二項目いずれにおいても, 柔道群

表 4 軽量グループの腰椎骨密度測定結果

	L ₂₋₄ BMD (g/cm ²)	L ₂₋₄ PR (%)
対照群 (n=6)	0.99 ± 0.08	98.2 ± 7.7
水泳群 (n=6)	1.03 ± 0.07	102.2 ± 7.1
陸上長距離群 (n=6)	0.89 ± 0.11	88.3 ± 11.1
p(ANOVA)	p=0.0417	p=0.0430 (*; p<0.05)

表 5 重量グループの腰椎骨密度測定結果

	L ₂₋₄ BMD (g/cm ²)	L ₂₋₄ PR (%)
対照群 (n=6)	0.99 ± 0.08	98.2 ± 7.7
柔道群 (n=6)	1.17 ± 0.08	116.0 ± 8.0
バレーボール群 (n=6)	1.12 ± 0.08	110.2 ± 7.3
バスケットボール群 (n=6)	1.11 ± 0.07	109.7 ± 7.1
p(ANOVA)	p=0.0046	p=0.0048 (*; p<0.05)

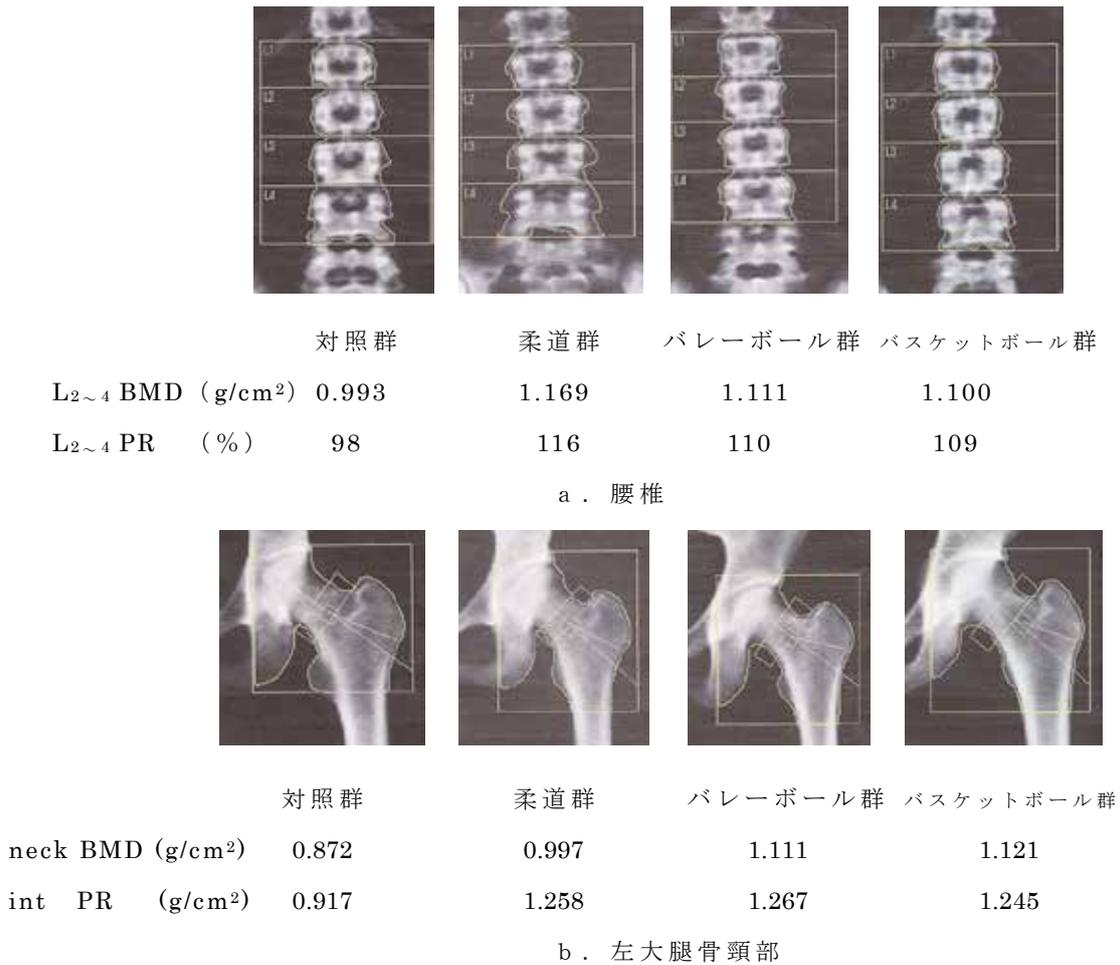


図2 重量グループの各群代表例

では対照群と比べ、それぞれ有意に高い数値が認められた。また、重量グループのL₂~L₄ DXA像の代表例を図2-aに提示する。

3. 大腿骨頸部の骨密度測定結果

①. 軽量グループ

大腿骨頸部 (neck, int) BMD の測定結果を表6に提示する。neck BMD, int BMD の両項目において、水泳群では対照群・陸上長距離群に比し、それぞれ低値を示したものの、統計学的に有意ではなかった。

表6 軽量グループの大腿骨頸部骨密度測定結果

	neck BMD (g/cm ²)	int BMD (g/cm ²)
対照群 (n=6)	0.87±0.08	1.04±0.15
水泳群 (n=6)	0.75±0.05	0.98±0.05
陸上長距離群 (n=6)	0.87±0.10	1.04±0.14
p(ANOVA)	p=0.0333	p=0.5714

表7 重量グループの大腿骨頸部骨密度測定結果

	neck BMD (g/cm ²)		int BMD (g/cm ²)
対照群 (n=6)	0.87±0.08	* *	1.04±0.15
柔道群 (n=6)	0.99±0.07		1.10±0.12
バレーボール群 (n=6)	1.04±0.15		1.21±0.10
バスケットボール群 (n=6)	1.07±0.07		1.29±0.14
p(ANOVA)	p=0.0085		p=0.0170 (*; p<0.05)

②. 重量グループ

neck BMD などの測定値を表7に示す. neck BMD では, バレーボール群の数値は対照群と比べ有意に高かった. また, neck BMD, int BMD の二項目のいずれにおいても, バスケットボール群では対照群に比し有意な高値を示した. とくに, バスケットボール群のそれらの平均値は, 全種目群間においても最高値であった. なお, 重量グループの大腿骨頸部 DXA 像の代表例を, 図2 - b に掲示する.

考 察

近年, 抗重力運動または跳躍的運動(柔道, バレーボール, バスケットボールなど)を長期間行ったスポーツ選手では, 全身, 腰椎, 下肢などの骨密度(BMD)が高いとする研究が多数報じられている(Brebanら:2011, Tenfordeら:2011, Maimounら:2013). 一方, 非荷重運動(水泳, 水球など)を続けた選手では, 上肢のBMDが比較的に高いとする報告も散見される(Nikanderら:2006, Magkos:2007). 本研究では, 各競技種目別の身体組成や骨密度について部位別の差異を考察する.

水泳群(軽量グループ)においては, 対照群に比し, 体脂肪率が統計学的に有意に低く, LTM(除脂肪軟部組織量[筋肉量])は有意に高かった. それらについては, 長期間の運動効果に関与すると考えられる. また同じ軽量グループである陸上長距離群と比較すると, LTM, 前腕BMD, 第2~4腰椎(L₂~L₄)BMD・PRが有意に高く, 大腿骨頸部BMDは逆に有意ではないものの低かった. この事に関しては, 水中では浮力が関与し重心や運動モーメント軸が腰椎部に集中して, 腰椎BMDは比較的に高く大腿骨頸部BMDはやや低い値を示す点が推察される. また水泳競技では, 前腕部に筋肉を介した衝撃力が加わりやすいこととも関連すると考えられる. これらの諸点は, 過去の先行研究結果とも概ね一致する(Magkosら:2007, Tenfordeら:2011).

陸上長距離群では, 対照群に比し体脂肪率が有意に低かった. 同じ軽量グループの水泳群との比較は先述のとおりであるが, 陸上長距離群の腰椎のBMDについては, 高いとする説があるものの(Hindら, 2011), 全身・上下肢のBMDは低いとする報告も多く(Muddら:2007, Barrackら:2010), 中・高齢期以降の骨量低下に基づく骨折予防の観点からすると, 定期的なBMD検診などが重要であると考えられる.

柔道群においては, 対照群と比較してLTM, 前腕BMD, L₂~L₄BMD・PRがいずれも有意な高値を示した. この点については, 柔道は抗重力的かつ衝撃圧迫的な競技であり, 前腕部を含む全身の骨増強効果を有している可能性を示唆しており, 諸家の報告とも一致する(Brebanら:2009, Tenfordeら:2011). 一方,

同じ重量グループのバレーボール群・バスケットボール群との比較では前腕部 BMD が有意に高く、バスケットボール群に比し脚 BMD は有意に低かった。格闘的競技である柔道においては、とりわけ前腕部に筋肉を介する多大な衝撃圧迫力が加わり、BMD 増強効果が発揮されたものと推察される。

バレーボール群・バスケットボール群においては、いずれも対照群に比し、全骨塩量、LTM、脚 BMD、大腿骨頸部 BMD が有意に高く、体脂肪率は有意に低かった。またバレーボール群では対照群と比較して、前腕 BMD も有意な高値を示した。両競技は共通して跳躍的競技であり、バレーボールではさらに前腕の打突的要素も包含される。これらの抗重力的かつ衝撃的な運動負荷が、骨代謝・骨動態に多大な影響を与えたと考えられる (Nichols ら：2007, Carbuhn ら：2010, Tenforde ら：2011, Weidauer ら：2012)。

一方、あくまでも今回の調査の範囲内での知見ではあるが、バスケットボール群では全身 BMD が特に高く、その平均値は各群間において最高値を示した。絶え間なく繰り返される跳躍的抗重力運動の有する筋肉を通じた下肢への骨刺激効果は多大であり、バスケットボール競技は、高齢化後の下肢骨折などを予防する上で、適した運動種目の一つであると考えられた。

ま と め

体育大学女性スポーツ選手、対照群女性の計36名に対し、DXA を用いた身体組成・骨密度 (BMD) 測定を行い、各競技種目別・部位別に比較検討し、以下の知見を得た。

1. 水泳群においては、対照群と比べ体脂肪率が有意に低く、LTM (除脂肪軟部組織量 [筋肉量]) は有意に高かった (以下すべて $p < 0.05$)。また同群では陸上長距離群に比し、LTM、前腕 BMD、 $L_2 \sim L_4$ BMD・PR は有意に高かった。
2. 陸上長距離群では、対照群と比較して体脂肪率が有意な低値を示した。
3. 柔道群においては、対照群に比し LTM、前腕・ $L_2 \sim L_4$ BMD、 $L_2 \sim L_4$ PR が有意に高かった。またバレーボール群・バスケットボール群との比較においても、柔道群の前腕 BMD ではいずれも有意な高値が観察された。
4. バレーボール群・バスケットボール群では、対照群に比し体脂肪率は有意に低く、全骨塩量、LTM、脚・大腿骨頸部 BMD は有意な高値を示した。また、バレーボール群では対照群と比較して前腕 BMD が有意に高く、バスケットボール群では対照群に比し、大腿骨転子間部 BMD が有意に高く観察された。なお、バスケットボール群の全骨塩量はすべての群中の最高値を示した。

引用文献

- Barrack, M. T., Rahn, M. J., and Nichols, J. F. (2010) : Cross-sectional evidence of suppressed bone mineral accrual among female adolescent runners. *J. Bone Miner. Res.* 25 (8) : 1850-1857.
- Breban, S., Benhamou, C. L., and Chappard, C. (2009) : Dual-energy X-ray absorptiometry assessment of tibial mid-third bone mineral density in young athletes. *J. Clin. Densitom.* 12 (1) : 22-27.
- Breban, S., Chappard, C., Jaffre, C., Khacef, F., Briot, K., and Benhamou, C. L. (2011) : Positive influence of long-lasting and intensive weight-bearing physical activity on hip structure of young adults. *J. Clin. Densitom.* 14 (2) : 129-137.
- Carbuhn, A. F., Fernandez, T. E., Bragg, A. F., Green, J. S., and Crouse, S. F. (2010) : Sport and training influence bone and body composition in women collegiate athletes. *J. Strength Cond. Res.* 24 (7) : 1710-1717.
- Colletti, L. A., Edwards, J., Gordon, L., Shary, J., and Bell, N. H. (1989) : The effect of muscle-building exercise on

- bone mineral density of the radius, spine, and hip in young men. *Calcif. Tissue Int.* 45 (1) : 12-14.
- 後藤澄雄・山縣正庸・百武衆一・小林康正・袖山知典・守屋秀繁・梅津美香 (1991) : 高い骨密度の維持に有効なスポーツの質と量に関する研究 . *臨床スポーツ医学* 8 (7) : 821- 825.
- Hind, K., Zanker, C., and Truscott, J. (2011) : Five-year follow-up investigation of bone mineral density by age in premenopausal elite-level long-distance runners. *Clin. J. Sport Med.* 21 (6) : 521-529.
- Huddleston, A. L., Rockwell, D., Kulund, D. N., and Harrison, R. B. (1980) : Bone mass in lifetime tennis athletes. *JAMA* 244 (10) : 1107-1109.
- Krolner, B., Toft, B., Pors Nielsen, S., and Tondevold, E. (1983) : Physical exercise as prophylaxis against involutional vertebral bone loss: a controlled trial. *Clin. Sci.* 64 (5) : 541-546.
- Magkos, F., Kavouras, S. A., Yannakoulia, M., Karipidou, M., Sidossi, S., and Sidossis, L. S. (2007) : The bone response to non-weight-bearing exercise is sport-, site-, and sex-specific. *Clin. J. Sport Med.* 17 (2) : 123-128.
- Maimoun, L., Coste, O., Mura, T., Philibert, P., Galtier, F., Mariano-Goulart., D., Paris, F., and Sultan, C. (2013) : Specific bone mass acquisition in elite female athletes. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 98 (7) : 2844-2853.
- Mudd, L. M., Fornetti, W., and Pivarnik, J. M. (2007) : Bone mineral density in collegiate female athletes: comparisons among sports. *J. Athl. Train.* 42 (3) : 403-408.
- Nichols, D. L., Sanborn, C. F., and Essery, E. V. (2007) : Bone density and young athletic women. An update. *Sports Med.* 37 (11) : 1001-1014.
- Nikander, R., Sievanen, H., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., and Kannus, P. (2006) : Loading modalities and structures at nonweight-bearing upper extremity and weight-bearing lower extremity: a pQCT study of adult female athletes. *Bone* 39 (4) : 886-894.
- Nikander, R., Kannus, P., Rantalainen, T., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., and Sievanen, H. (2010) : Cross-sectional geometry of weight-bearing tibia in female athletes subjected to different exercise loadings. *Osteoporos. Int.* 21 (10) : 1687-1694.
- Tenforde, A. S. and Fredericson, M. (2011) : Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM R.* 3 (9) : 861-867.
- Weidauer, L. A., Eilers, M. M., Binkley, T. L., Vukovich, M. D., and Specker, B. L. (2012) : Effect of different collegiate sports on cortical bone in the tibia. *J. Musculoskelet. Neuronal. Interact.* 12 (2) : 68-73.