

競泳選手の骨量と骨代謝

Bone mineral density and bone metabolic markers in swimmers.

松本高明*, 岩原文彦**

Takaaki MATSUMOTO * and Fumihiko IWAHARA **

ABSTRACT

We have investigated the bone metabolic system status of 16 male competitive collegiate swimmers(SW). The following parameters were evaluated: total bone mineral density (TBMD);total bone mineral content (TBMC); bone-forming metabolic markers; serum procollagen type I C-peptide(PICP) levels; osteocalcin(BGP) levels; bone alkaline phosphatase (B-Alp) content; bone resorption markers; urinary pyridinoline(Pyd) and deoxypyridinoline (Dpd) levels. The swimmers were compared with the male collegiate students belonged with physical education(PS).

We found that the TBMD and TBMC in SW were significantly lower ($p<0.001$) than in PS, and that the PICP, Pyd and Dpd levels were significantly ($p<0.05$) higher. Both the TBMD and the TBMC were correlated with the body weight in PS ($p<0.01$), but not in SW. The TBMD value has shown that significant ($p<0.01$) negative correlation with both Pyd and Dpd levels in SW, but not in PS.

We thus conclude that the bone mineral density in the swimmers in spite of actively pursuing training is not high, because the bone metabolic status shows a resorptive tendency according to swimming in a weightless state.

Key words; Bone mineral density, Bone metabolism, Swimmers, Pyridinoline,

はじめに

スポーツ選手の骨量は一般的に多く、スポーツ活動は、骨量を増加させる効果があることが示されている。^{1) 2) 3) 4) 5)} しかしながら、その効果が認められないものに水泳、一定距離以上の長距離走があげられている。^{6) 7) 8) 9) 10) 11)} また、女性では、エストロゲンが骨代謝に影響するため、運動負荷によるストレスによって生じる視床下部性

無月経による低エストロゲン血症を伴うスポーツ選手の骨量減少が報告されている。^{12) 13) 14) 15) 16) 17) 18)} 女性選手では、月経異常を伴わない柔道選手では骨量が高く⁶⁾、月経異常を示す柔道選手の骨量が少ないことなどからも¹⁹⁾、柔道選手においても月経状態は、骨量の決定因子として重要である。また、われわれは、長距離走選手や、競泳選手は、男性も女性と同様に骨量が少なく、運動様式によりこれら差を生じることや、近年、骨代謝マーカ

* 国士舘大学体育学部スポーツ医学教室 (Dept. of Sport Medicine, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 日本体育大学大学院 (Graduate school, Nippon Sport Science University)

一が測定可能となり、骨量と骨代謝マーカ―を同時に測定した結果から、競泳も、長距離走も、一部骨代謝マーカ―が骨量とともに低値を示すことを指摘してきた。^{6) 7)}しかしながら、いまだ運動選手の骨量や各種骨代謝マーカ―との関係を検討した研究は乏しい。^{6) 7) 20)}今回、われわれは、男性大学生競泳選手の骨量と骨代謝マーカ―を測定し、体育学部在籍する特定の運動種目を行っていない男子大学生と比較検討し、競泳選手の骨代謝の特徴を検討することを目的として本研究を行った。

対象並びに方法

対象は、全員1997年の全日本学生選手権に出場した男性16名の体育学部在籍する大学生競泳選手で、糖尿病、甲状腺疾患、消化管手術の既往はなく、カルシウム剤の摂取は行っておらず、腎機能異常、肝機能異常がないことを血液検査で確認した。また、一般尿検査にて、尿糖、蛋白、潜血陰性であることを確認した。血清Ca、P値の異常を示す者もいなかった。対照は、体重、年齢のマッチした、大学の講義による体育活動以外運動習慣のない体育学部在籍する男性大学生10名で、病歴、血液、尿検査結果は競泳選手と同様異常がないことを確認した。競泳選手群と対照群の身体的特徴を表1に示す。測定を行ったこれら26名全員に対し、事前に測定に関する説明を行い同意を得た。

測定は、骨量測定と採尿、採血を同じ日に行った。

表1 競泳選手群と対照群の身体的特徴

	競泳選手	体育学部生
人数	16	10
身長 (cm)	174.4±0.6	168.8±1.0
体重 (kg)	68.2±1.2	67.8±1.5
除脂肪体重 (kg)	55.1±1.0	55.7±1.2
体脂肪量 (kg)	10.2±0.5	8.6±0.8
年齢 (y/o)	19.7±0.2	19.8±0.4

MEAN±S.D.

骨量は、DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) 法にてNorland 社製XR26を用いて全身骨密度 (TBMD) を測定した。測定に際し、CV値は0.8%であった。TBMD測定時に同時に体重、体脂肪量、除脂肪体重を測定した。身長は通常のPhysician's Scaleを用いて測定した。採尿は早朝1番尿の中間尿とし、3,000rpmで10分間遠心したあの上清を測定まで-20℃で凍結保存した。採血は正中肘静脈より行い、採血後3,000rpmで遠心分離した血清を-20℃で測定まで凍結保存した。骨形成マーカ―として血清骨型アルカリフォスファターゼ (B-Alp) をALKPHASE-B kit (Metra社製) を用い、血清 type I procollagen carboxyterminal propeptide (PICP)、オステオカルシン (BGP) をTakara社製kitを用い、EIA法にて測定した。骨吸収マーカ―として、尿中ピリジノリン (Pyd)、デオキシピリジノリン (Dpd) を日立社製液クロマトグラフィーを用い、Uebelhartの方法²¹⁾に準じ、HPLC法にて測定した。また、従来報告に従い、Pyd、Dpdは、ともにクレアチニンで補正した値を示した。クレアチニンは、Wako社製kitを用いJaffe 法にて測定した。

得られた結果は、それぞれ正規性の検定をした後、群間の差をp<0.05にて、t-test、にて判定した。

結 果

1. 骨量

競泳選手の骨密度は1.02±0.06g/cm²と、対照群の1.21±0.1g/cm²に比べ有意に (p<0.001) 小さかった。また、骨塩量も競泳選手群が2953±208g、対照群が3520±291gと有意に (p<0.001) 小さかった。(図1) 体重と骨密度・骨塩量との関係では、競泳群は体重の増加に連れ骨量が増加する傾向を示したが、相関は示さず、対照群は有意な (p<0.05) 相関を示した。(図2)

2. 骨代謝マーカ―

骨代謝マーカ―は、表2に示すように、PICP、

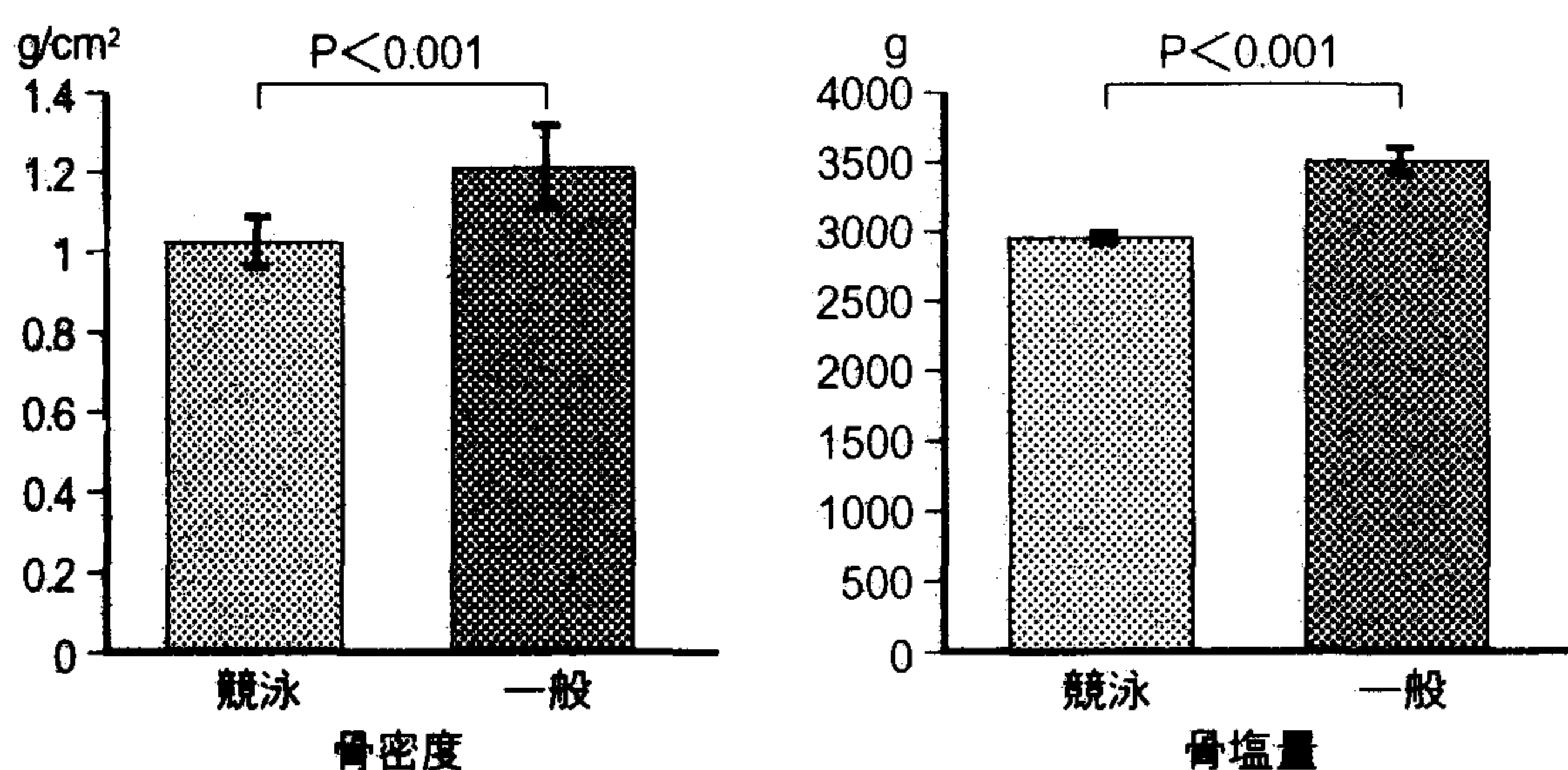


図1 競泳選手群と対照群の骨密度、骨塩量の差

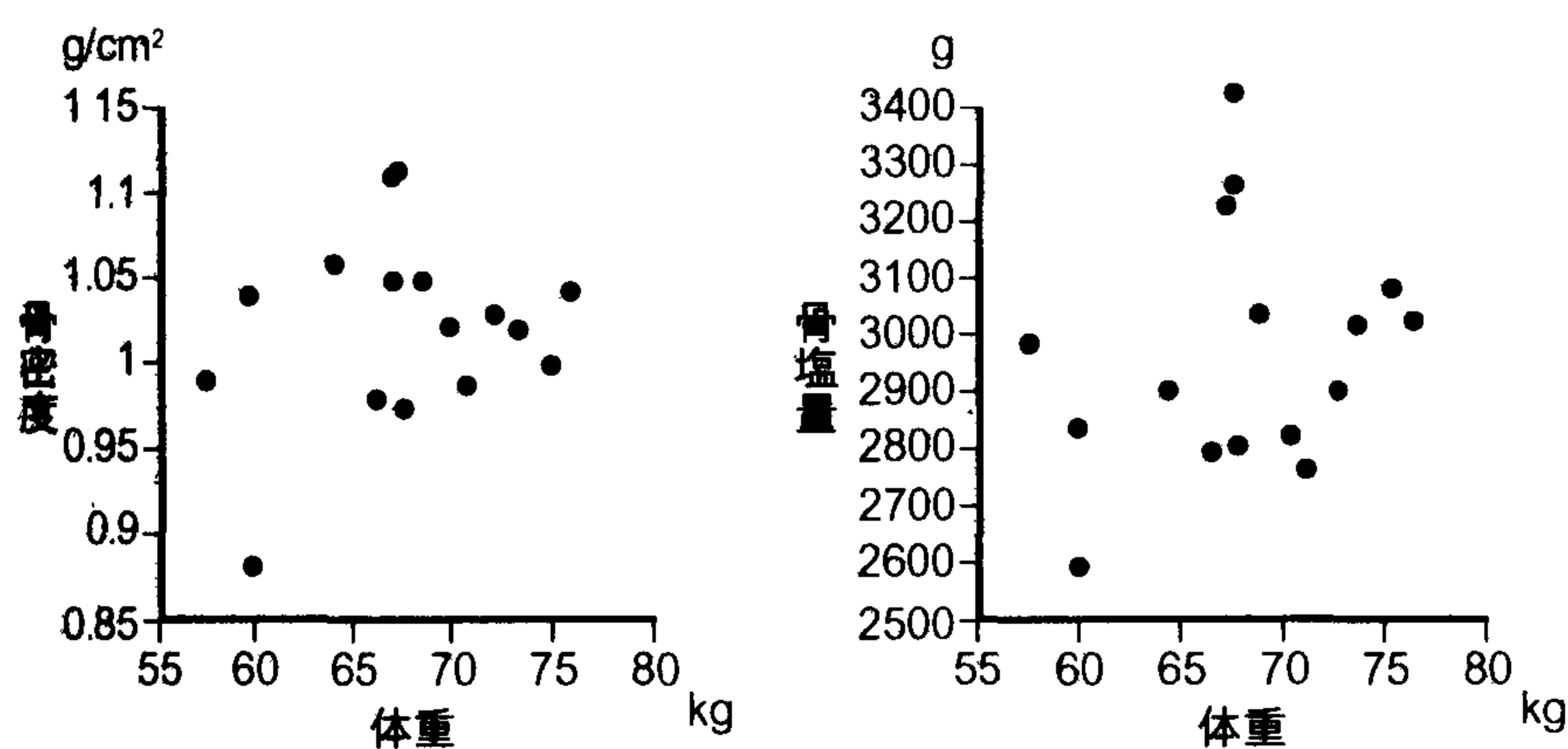


図2 競泳選手の体重と骨密度、骨塩量との関係

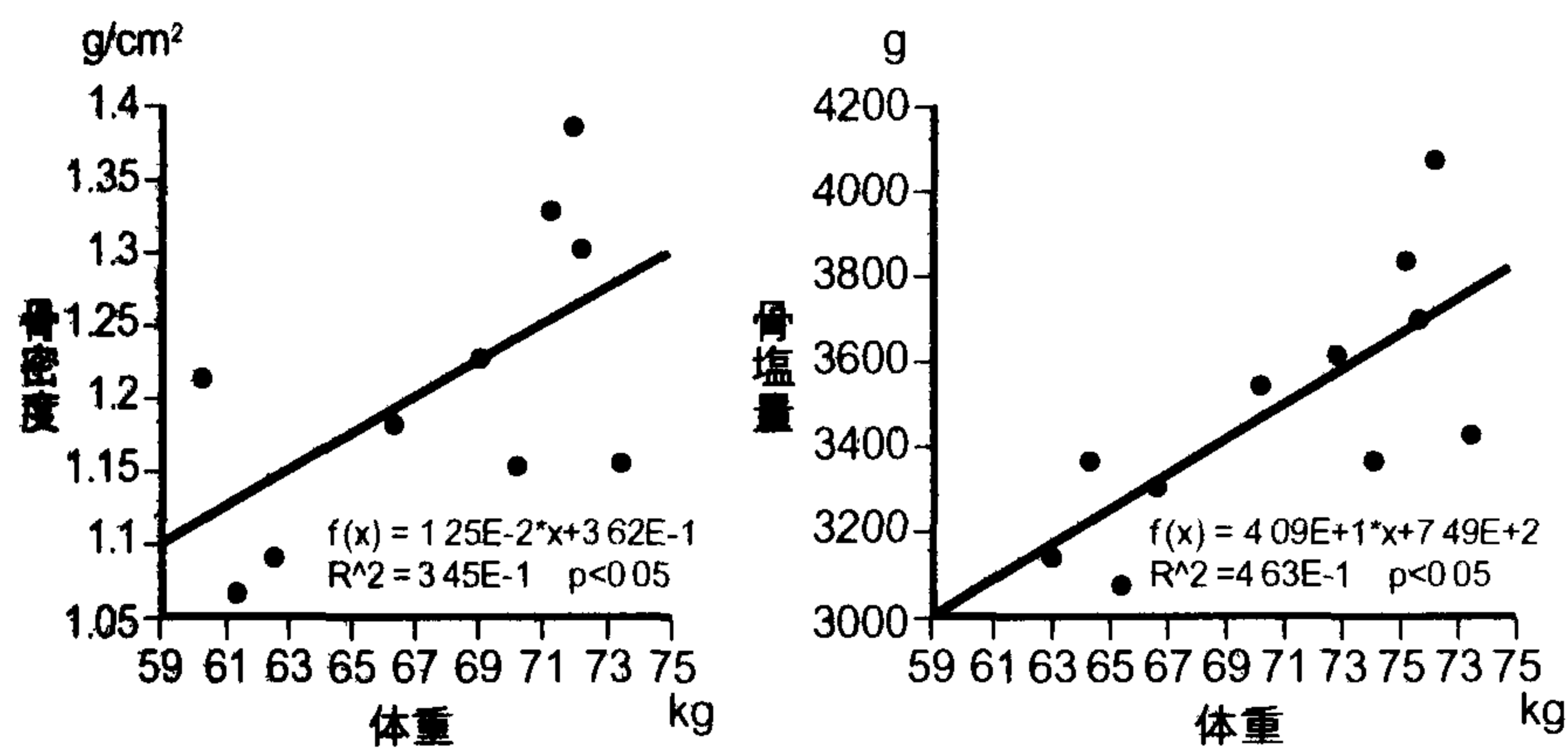


図3 対照群の体重と骨密度、骨塩量との関係

表2 競泳選手、一般体育学部生の骨代謝マーカー

	競泳選手	一般学生	P
B-Alp (U/L)	30.2±7.4	30.6±4.2	N.S.
BGP (ng/ml)	7.0±3.4	6.6±4.2	N.S.
PICP (μg/ml)	5.5±1.8	3.9±1.0	p<0.05
Pyd (p mol/μ mol Cre)	37.2±5.0	32.2±8.9	p<0.05
Dpd (p mol/μ mol Cre)	6.9±1.4	5.7±1.7	p<0.05

(MEAN±S.D.)

Pyd, Dpdで有意に競泳群が高値を示し、B-Alp, BGPは差がなかった。(図3)

骨密度とPyd, Dpdの関係では、競泳群は、有意な負の相関を示した。(p<0.05) 一方対照群は、骨密度とPyd, Dpdとは相関を示さず、むしろPyd, Dpdの増加につれ、骨密度も増加傾向を示した。(図4)

考 察

競泳選手の骨量が、格闘技や球技といった骨に筋力や重力のかかるスポーツ種目の選手に比べ少ないことが指摘されてきた^{22) 23)}が、今回でも同様の結果を得た。今回の競泳選手群は、週6日間、一日5000mから13000m程度、時間にして、一日1時間半から4時間の水中練習を通年で行っている。これは、一般人のエネルギー消費量より明らかに多い。また、本学競泳選手の最大酸素摂取量の平均値は、およそ55.5ml/kg/minと運動習慣がなければ培われない値を示しており、一般に、競泳選手は運動習慣のないものに比べて心肺持久力に優れている。骨量を増加させる因子に、骨に対する力学的なねじれ、牽引力などがあげられている。^{24) 25) 26)} 水泳のトレーニング動作中の筋電図から、水泳を行っている間、全身の筋活動が行われており、骨に対する歪みや牽引力といった刺激が常に与えられていると考えられる。また、これら競泳群は、隔日でベンチプレス、スクワット、ゴムチューブでのプルといった筋力トレーニングも行っており、かつ体育学部の授業で、走る、投げるといった運動動作も行って、筋に

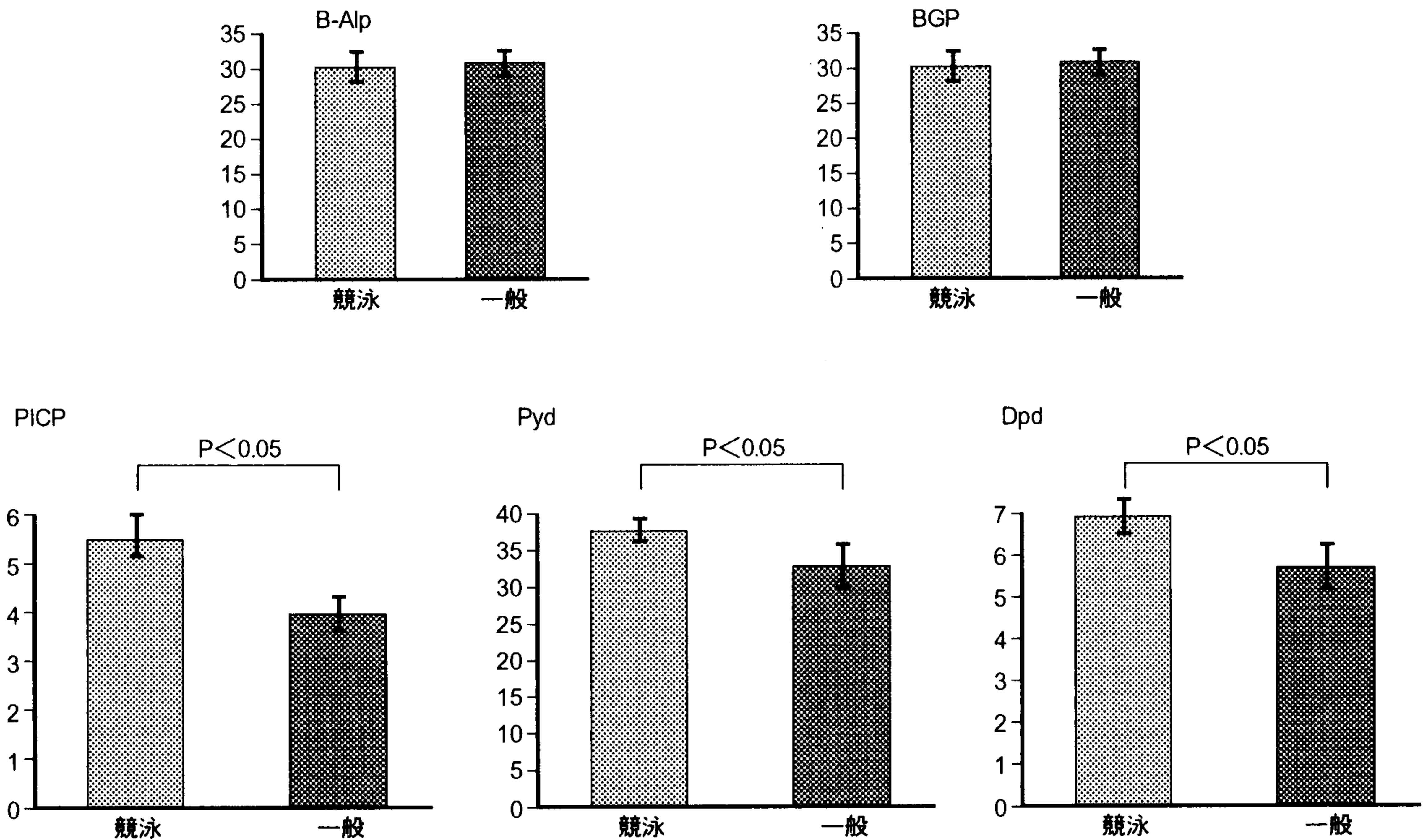


図4 競泳群と対照群の骨代謝マーカの差

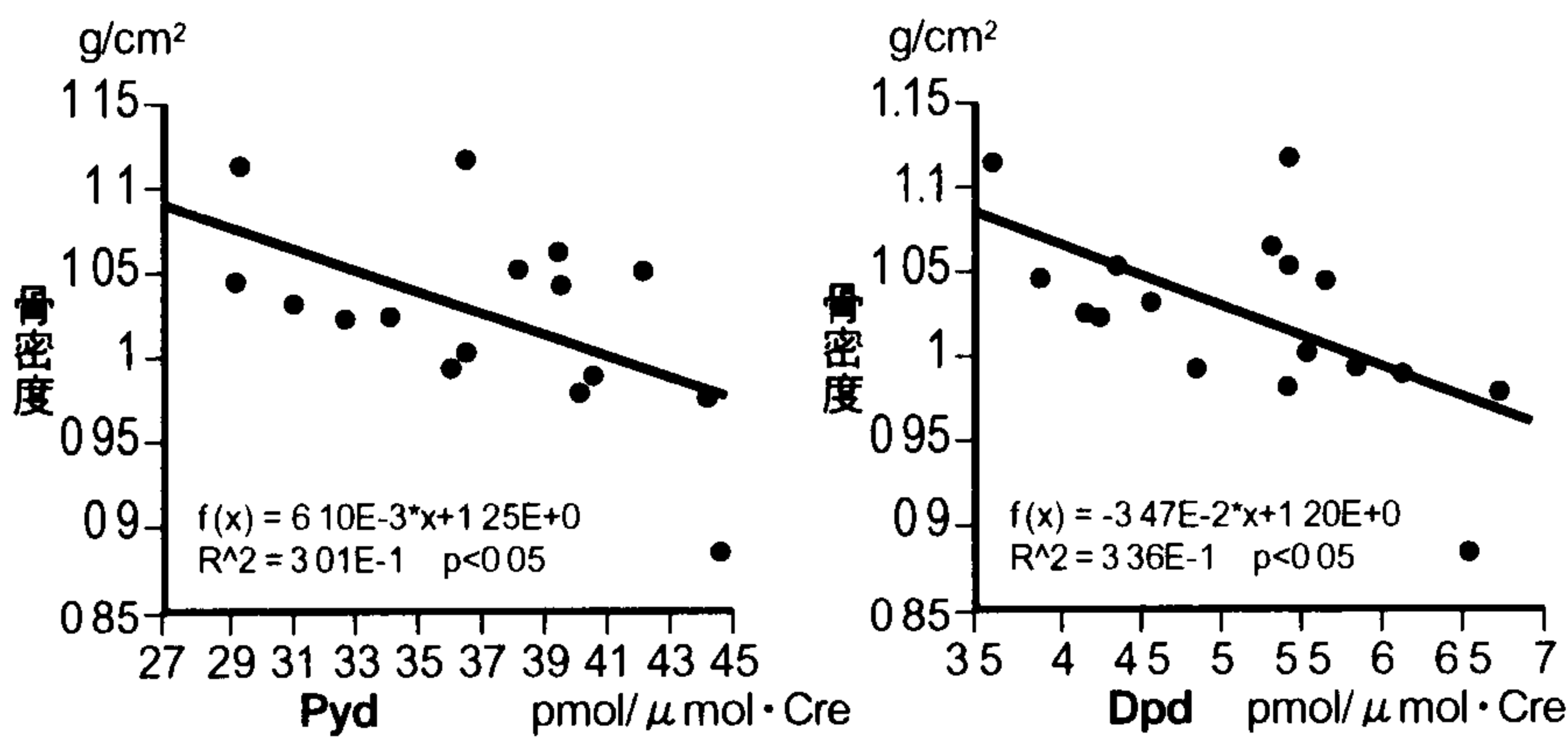


図5 競泳選手の骨密度とPyd、Dpdとの関係

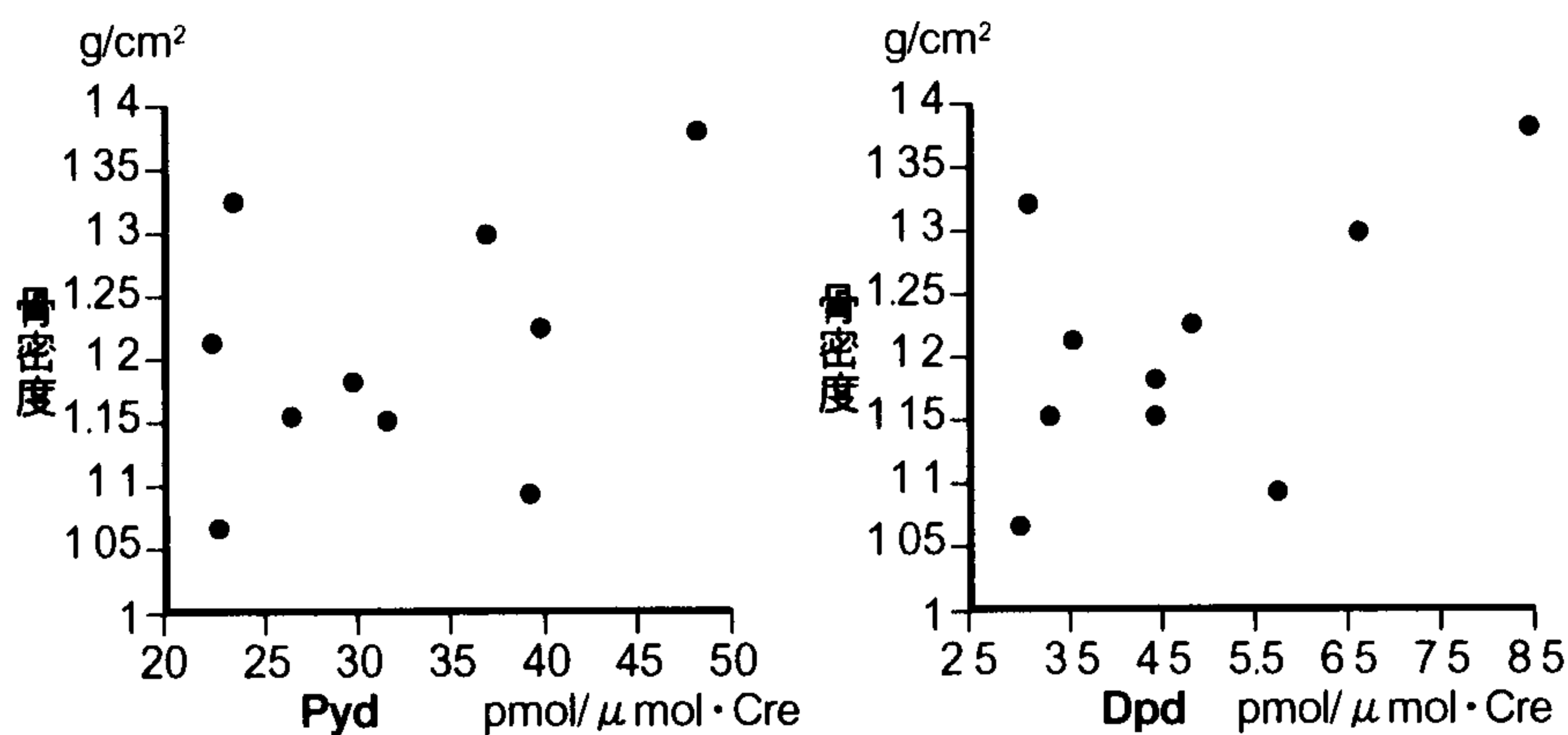


図6 対照群の骨密度とPyd、Dpdとの関係

よる骨に対する刺激も常にかかっていると考えられる。しかしながら、競泳選手の骨量は、多くない。競泳選手の運動様式を考えると、他のスポーツ種目と大きく異なるのは骨に重力負荷が掛からないことである。一般に、骨量は体重と相関を示す^{2) 26)}。しかしながら、本研究では、競泳選手の体重と骨量が相関を示さず、体重による重力負荷が競泳選手にとって骨量増加の要因となっていないことを示している。これは、無重力状態に置かれる宇宙飛行士の骨量が減少することから骨量増加には骨に対する重力負荷が重要であると指摘した報告を支持する結果である。宇宙飛行士は、常に無重力状態に置かれているが、これら競泳選手群は、水泳を行っている以外は重力負荷を受けており、かつ重力のかかる運動も日常的におこなっていることから、一日

に数時間という短い時間でも、重力から開放されることにより、骨形成と骨吸収のバランスが崩れ、骨吸収が盛んになり、骨量が減少に向かうことが推測される。実際、本研究において一般学生は、骨吸収マーカーのPyd, Dpdと骨量とは相関を示さないのに対して、競泳選手はPyd, Dpdと骨量が負の相関を示しており、また、PICP, Pyd, Dpdが、有意に競泳選手群が対照群よりも高値を示し、骨代謝回転が昂進していた。すなわち、激しい運動負荷を競泳選手は受けているが、骨が重力から開放されることにより、骨代謝は骨形成の方向から骨吸収の方向に向かい、骨量が増加しないと推測される。骨代謝マーカーは各種あるが、Pyd, Dpdは、成熟した骨、軟骨のコラーゲンに選択的に存在するため、骨吸収の際に検出される鋭敏なマーカーであるといわれている。^{27) 28) 29) 30)}しかしながら、BGP, B-Alp, PICPといった骨形成マーカーの測定は、近年確立されてきたため、必ずしもマーカーの測定意義まで検討にいたっていないものも多い。骨形成マーカーであり、骨芽細胞の活性を反映するとされるB-Alp, BGPは、2群間で差がなかったが、骨芽細胞から産生されるPICPは、2群間で有意差を認めた。このことは、2群間の骨芽細胞の活性に差がないとか、骨コラーゲンの生成能に差があるといった解釈も可能だが、骨代謝マーカーによってその鋭敏さに差があることによる可能性もあり、また、これらマーカーの測定意義が十分に検討されていないことから、今後更に検討を要すると考えられた。

おわりに

今回、競泳選手の骨量と骨代謝マーカーの測定を行い、競泳選手の骨量が、激しい運動を行っているにもかかわらず、他のスポーツ種目を行っている選手に比べて少ないのは、骨が、重力刺激から開放されると、骨代謝が骨吸収の方向に向かうため、骨量が増加していかない可能性があることが示された。なお、この要旨は、第7回臨床スポ

ーツ医学会で発表した。また、本研究は、国士館大学体育学部附属体育研究所の1997年度助成金によって行われた。

引用・参考文献

- 1) Huddleston AL, Rockwell D, Kulund DN, Harrison B: Bone mass in lifetime tennis athletes. *JAMA* **244** : 1107-1109, 1980.
- 2) 松本高明ら : 大学生柔道選手の部位別骨塩量. 国士館大学体育研究所報. **10.11.** : 35-40, 1992.
- 3) Peterson SE, Raymond G, Gilligan C, Checovich MM, Smith EL: Muscular strength and bone density with weight training in middle-aged women. *Med.Sci.Sports Exerc* **23** : 499-504, 1991.
- 4) Smith EL, Raddan W, Smith PE: Physical activity and calcium modalities for bone mineral increase in aged women. *Med.Sci.Sports Exerc.*, **13** : 60-64, 1981.
- 5) Williams JA, Wagner J, Richard Wasnivh, L. Heilbrun: The effect of long-distance running upon appendicular bone mineral content. *Med.Sci.Sports Med.* **16** : 223-227, 1984.
- 6) T. Matsumoto, S. Nakagawa, S. Nishida, R. Hirota : Bone density and bone metabolic markers in active collegiate athletes : Findings in long-distance runners, judoists, and swimmers, *Int J Sports Med* **18** : 408-412, 1997.
- 7) 松本高明、中川滋木 : 女性駅伝選手の骨量と骨代謝マーカー. 国士館大学体育研究所報. **15** : 1-5, 1996.
- 8) Macdugall JD, Webber, CE, Martin J, S. Ormerod S, Chesley A, Younglay EV, Gordon CL, Blimkie CJR: Relationship among running mileage, bone density, and serum testosterone in male runners. *J.Appl.Physiol.* **73** : 1165-1170, 1992.
- 9) Grimston SK, Sanborn CF, Miller PD, Huffer WE: The application of historical data for evaluation of osteopenia in female runners: the menstrual index *Clin.Sports Med.* **2** : 108-118, 1990.
- 10) Williams JA, Wagner J, Richard Wasnivh, L. Heilbrun: The effect of long-distance running upon appendicular bone mineral content. *Med.Sci.Sports Med.* **16** : 223-227, 1984.
- 11) Macdugall JD, Webber, CE, Martin J, S. Ormerod S, Chesley A, Younglay EV, Gordon CL, Blimkie CJR: Relationship among running mileage, bone density, and serum testosterone in male runners. *J.Appl.Physiol.* **73** : 1165-1170, 1992.
- 12) De Souza MJ, Maguire MS, Rubin KR, Maresh CM: Effects of menstrual phase and amenorrhea on exercise performance in runners . *Med.Sci.Sports Exerc* **22** : 575-580, 1990.

- 13) Carlberg KA, Buckman MT, Peake GT, Riedesel ML: A survey of menstrual function in athletes. *Eur.J.Applied. Physiol.* **51** : 211-222, 1983.
- 14) Lloyd T, Myers C, Buchanan JR, Demers LH: Collegiate women athletes with irregular menses during adolescence have decreased bone density. *Obst.Gyn.* **72** : 639-642, 1988.
- 15) Drinkwater BL, Bruemner B, Chesnut III: Menstrual History as a Determinant of Current Bone Density in Young Athletes: *J.AM.Med.Assoc.* **263** : 545-548, 1990.
- 16) Drinkwater B.L, Nilson K, Chesnut CH III, Bremner WJ, Shainholtz S, Southworth MB: Bone mineral content of amenorrheic and eumenorrheic athletes. *New Eng.J.Med.* **311** : 277-281, 1984.
- 17) Nelson ME, Fisher EC, Castos PD, Meredish CN, Nuran Turksoy R, Evans WJ: Diet and bone status in amenorrheic runners. *Am J. Clin. Nutr.* **43** : 910-916, 1986.
- 18) Risser WL, Lee EJ, Leblanc A, Poindexter HBW, Risser JMH, Schneider V; Bone density in eumenorrheic female college athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **22** : 570-574, 1990.
- 19) Carl de C.R., Robert E.L., Alfredo B.A. : Hypoestrogenemia and rhabdomyolysis (Myoglobinuria) in the female judoists: a new worrying phenomenon? *J Clin Endocrinol Metab* **80** : 3639-3646, 1995.
- 20) Kristoffersson A, Hutdin J, Holmlund I, Thorsen K, Lorentzon R: Effects of short-term maximal work on plasma calcium, parathyroid hormone, osteocalcin and biochemical markers of collagen metabolism. *Int.J.Sports. Med.* **16** : 145-149, 1995.
- 21) Uebelhart D, Gineyts E, Delmas MPD: Urinary excretion of pyridinium crosslinks: a new marker of bone resorption in metabolic bone disease. *Bone and Mineral* **8** : 87-96, 1990.
- 22) Fehling, P.C., L. Alekel, J. Clasey et al.: A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports. *Bone* **17** : 205-270, 1995.
- 23) Heinonen, A., Oja, P. Kannus, et. al.: Bone mineral density in female athletes representing sports with different loading characteristics of skeleton bone. **17** : 197-203, 1995
- 24) Doyle F, Brown J, LaChance C: Relation between bone mass and muscle weight. *Lancet*: 391-393, 1970.
- 25) Tsuji S, Tsunoda N, Yata H., Katsukawa F, Ohnishi S, Yamazaki H: Relation between grip strength and radial bonemineral density in young athletes. *Arch.Phys.Med.Rehabil* **76** : 234-238, 1995.
- 26) Hughes VA, Frontera WR, Dallal GE, Lutz KJ, Fisher EC, Evans WE: Muscle strength and body composition: associations with bone density in older subjects. *Med.Sci.Sports Med.* **27** : 967-974, 1995.
- 27) Collwell A, Eastell R, Assiri AMA, Russell RGG: Effect of diet on deoxy pyridinoline excretion in Christiansen C, Overgaard (eds.) *Osteoporosis: Aalborg, Denmark, Handelstrykkeriet Aalborg Aps, 590-591, 1990.*
- 28) Eyre DR, Oguchi H: The hydroxypyridinium crosslinks of skeletal collagens: their measurement, properties and a proposed pathway of formation. *Biochem Biophys Res Commun.* **92** : 403-410, 1980.
- 29) Eastell R, Robins SP, Colwell T, Assiri AMA, Riggs BL, Russell RGG: Evaluation of bone turnover in type I osteoporosis using biochemical markers specific for both bone formation and bone resorption. *Osteoporosis Int.* **3** : 255-260, 1993.
- 30) Tomita K, Kawamura H, Nemoto R, Ohta T, Tanabe Y, Fukuda K, Ikeda T, Fukutani K, Sasaki T: Increased urinary excretion of pyridinium cross-links as markers of bone resorption in bone metastases of lung cancer. *J Bone Miner Metab.* **13** : 81-86, 1995.