

琉球大学学術リポジトリ

[原著] 減圧性大腿骨頭壊死症のX線およびMR画像と発症要因についての研究

メタデータ	言語: 出版者: 琉球医学会 公開日: 2010-07-02 キーワード (Ja): キーワード (En): diver, dysbaric osteonecrosis of the femoral head, roentgenogram, MRI, decompression sickness 作成者: 濱崎, 直人, 座間味, 伸, 吉川, 朝昭, 金谷, 文則, Hamasaki, Naoto, Zamami, Shin, Yoshikawa, Tomoaki, Kanaya, Fuminori メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016111

減圧性大腿骨頭壊死症のX線およびMR画像と発症要因についての研究

濱崎直人, 座間味 伸, 吉川朝昭, 金谷文則

琉球大学医学部整形外科学講座

(1999年7月22日受付, 2000年1月25日受理)

A study of radiographic findings, MR imaging and causative factors of dysbaric osteonecrosis of the hip

Naoto Hamasaki, Shin Zamami, Tomoaki Yoshikawa and Fuminori Kanaya

Department of Orthopedic Surgery, Faculty of Medicine, University of the Ryukyus

ABSTRACT

We analyzed 81 divers to study dysbaric osteonecrosis of the femoral head (DOF). One hundred and sixty hips were evaluated by roentgenogram. Fifty-eight hips (36.3%) showed bone lesions. We divided these bone lesions into several groups according to Kawashima's classification, as follows: one hip with type A1 (segmental opacity), ten with type A2 (linear opacity), five with type A3 (mass opacity), one with type A4 (sequestration of the cortex), two with type A5 (collapse of the cortex), two with type A6 (osteoarthritis), ten with type B1 (localized calcification), nine with type B2 (irregular calcified areas), 15 with type B3 (transradiant areas and cystic lesions) and three with type C (dense areas like an egg shape). Following this, 85 hips out of the 160 hips were evaluated by MRI. Forty-one hips (48.2%) showed low signal intensities on T1-weighted MRI. Out of the 41 hips, 4 hips were judged as normal and 37 hips revealed abnormalities on roentgenogram. There was no difference in the incidence of positive findings between MRI and roentgenogram, however in 25 hips (29.4%) MRI showed a distinct low signal intensity in a site that was not detected on the roentgenogram, yet we were not able to identify this lesion as false positive or not in this study. Analysis of the questionnaires from all divers to survey related factors affecting DOF revealed that the experience of bends and "fukashi" (repetitive dive for improving the symptoms of decompression sickness), hip pain, obesity and drinking were risk factors of DOF. *Ryukyu Med. J.*, 19(4)211~220, 2000

Key words: diver, dysbaric osteonecrosis of the femoral head, roentgenogram, MRI, decompression sickness

緒 言

沖縄県では潜水漁師, 職業ダイバー, レジャーダイバー等潜水器具を用いてスキューバダイビングを行う人が多い。これらダイビング経験者の中に減圧性大腿骨頭壊死症による大腿骨頭の陥没変形のため著しい歩行障害をきたすものがある。大腿骨頭の陥没はダイビングを中止した後も進行することがあり, また陥没をきたした後の完治は期待できず, 比較的若年者の罹患が多いことより壊死の予防と陥没前の早期発見が重要な課題である。近年特発性大腿骨頭壊死のMRI診断の有用性が多数報告されているが¹⁻⁶⁾, 減圧性大腿骨頭壊死症のMRI診断については報告が少ない⁷⁾。今回, 減圧性大腿骨頭壊死のX線所見とMRI所見の比較および壊死の発症要因について検討を行った。

対 象

1995年から1997年にかけて減圧性大腿骨頭壊死の疫学調査を行った。調査総数は152人でそのうち両股関節のX線検査を受けた81人を研究対象とした。対象は全員男性で, 年齢は24才から68才, 平均43.8才であった。職業は漁師が68人, インストラクター・水中作業員・水中カメラマン等の職業ダイバーが9人, レジャーダイバーが2人, 目的不詳が2人であった。

方 法

対象者81人の大腿骨近位部骨病変を川島らの方法によりX線分類を行った⁸⁾。骨病変はA型(傍関節障害型), B型(骨頭・頸部・骨幹部障害型), C型(島状硬化型)の3種に大き

Table 1 Results of questionnaires

- 対象：81人（全員男性）
1. 年齢：24才～68才，平均43.8才。
 2. 身長：144cm～176cm，平均164.8cm。
 3. 体重：43kg～101kg，平均67.9kg。
 4. BMI：17.2～34.9，平均25.0
 5. 多量飲酒歴：有り36人(44.4%)。
多量飲酒期間：1年～40年，平均21.8年。
(1日平均日本酒3合以上，ビール大瓶2本以上，ウイスキーダブル2杯以上，泡盛2合以上の摂取量を多量飲酒とした。)
 6. 喫煙歴：喫煙歴有り42人(51.9%)，無し39人(48.1%)。
1日喫煙数：10本～100本，平均33.5本。
喫煙期間：5年～40年，平均19.8年。
 7. ステロイド服用歴：ステロイド服用者なし。
 8. 潜水目的：潜水漁68人，職業ダイビング（インストラクター・水中作業員・水中カメラマン）9人，レジャーダイビング2人，不詳2人。
 9. 潜水手段：アクアラング51人，フーカ30人。
 10. 潜水開始年齢：11才～55才，平均24.2才。
 11. 潜水歴：2年～49年，平均19.6年。
 12. 平均潜水深度（m）：9m以下（5人），10～19m（21人），
20～29m（29人），30～39m（18人），
40m以上（7人），解答無し（1人）。
 13. 1日の潜水時間（分）：30分～600分，平均195.6分。
 14. 月あたりの潜水日数：1日～28日，平均17.6日。
 15. 減圧症の経験：有り75人（92.6%），無し6人（7.4%）。
 16. 減圧症状：ベンズ（66人），麻痺（21人），知覚障害（21人），
めまい（19人），吐き気（15人），呼吸困難（14人），
意識障害（13人），耳鳴（13人），膀胱直腸障害（12人），
難聴（11人），視力障害（11人），胸痛（10人），
頭痛（9人），咳（6人），皮膚症状（4人）。
 17. ベンズの内訳：肩（49人75関節），膝（30人51関節），股（29人44関節），
肘（11人19関節），足関節（5人5関節），手関節（3人4関節）。
 18. 減圧症の初体験時年齢：16才～60才，平均32.2才。
 19. 減圧症の経験回数：0回（6人），1～5回（46人），6～10回（10人），11～15回（6人），16～20回（2人），21回以上（5人），
解答無し（6人）。
 20. ふかし：行う（39人），行わない（33人），解答無し（9人）。
 21. 現在の股関節痛：23人31関節に股関節痛を認める。

下線は骨病変と関連の認められた項目である。

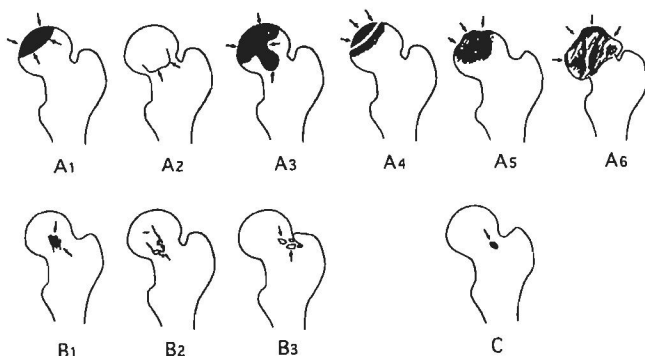


Fig. 1 Kawashima's classification on roentgenogram
(参考文献8, 9より引用)

1. Type A lesion: Juxta-articular lesions
 - (A 1) Segmental opacity
 - (A 2) Linear opacity
 - (A 3) Mass opacity
 - (A 4) Sequestration of the cortex
 - (A 5) Collapse of the cortex
 - (A 6) Osteoarthritis
2. Type B lesion: Head, neck and shaft lesion
 - (B 1) Localized calcification
 - (B 2) Irregular calcified areas
 - (B 3) Transradiant areas and cysts
3. Type C lesion: Dense areas like an island

く分類し，さらにA型を6種（A1分節状硬化，A2線状硬化，A3塊状硬化，A4離断線形成，A5関節面陥没，A6骨関節症），B型を3種（B1限局性石灰化，B2不規則石灰化，B3限局性脱灰化）に亜型分類した⁸⁻¹⁰⁾（Fig. 1）。

次にX線検査を行った81人のうち同意の得られた43人にMRI検査を追加し，X線像とMRIによる骨病変の陽性率を調べ，両者を比較検討した。使用した機種はGE社 SIGNA HORIZON（1.5Tesla）と東芝FLEXERT（0.5Tesla）で，T1強調画像（SE法，TR400～500ms，TE15ms，5～8mmスライス）を撮像した。X線所見，MRI所見は全て筆頭著者が判読した。

また対象者81人全員に対して年齢，身長，体重，喫煙歴，飲酒歴，ステロイド服用歴，潜水環境についてアンケート調査を行った（Table 1）。飲酒歴は多量飲酒の有無と飲酒期間について質問した。多量飲酒の定義は厚生省特発性大腿骨頭壊死症調査研究班による調査票を参考に1日平均日本酒3合以上，ビール大瓶2本以上，ウイスキーダブル2杯以上，泡盛2合以上とした（Table 1，項目5）。平均潜水深度は5段階（9m以下，10～19m，20～29m，30～39m，40m以上）に分けて質問した（Table 1，項目12）。減圧症の経験回数は6段階（0回，1～5回，6～10回，11～15回，16～20回，21回以上）に分けて質問した（Table 1，項目19）。対象者をX線像上骨病変を有する群と骨病変のない対照群に分け，それぞれのアンケート項目について両群間を比較し，減圧性

Table 2 Low signal intensity on T1-weighted MRI

Type of roentgenogram	A (15hips)	B (21hips)	C (1hip)	Normal (4 hips)	Total (41hips)
Lesion on MRI					
Solitary	7	14	0	1	22 (53.7%)
Multiple	8	7	1	3	19 (46.3%)
MRI finding					
1. well-defined	10	15	0	2	27
2. unclearly defined	8	13	1	4	26
3. irregularly continuous	7	7	1	3	18

Table 3 Comparison of group characteristics between control group and DOF group

	age	smoking		diving profile			
		number of smokers (%)	smoking period (years)	age started diving	term of diving (years)	duration of diving per day (min)	frequency of diving per month
Control	42.5±10.9	20/38 (57.9%)	10.1±11.6	22.9±6.8	19.6±10.1	192.8±113.5	16.0±6.8
DOF	44.8±10.6	22/43 (51.2%)	10.4±11.5	25.3±8.1	19.6±11.1	198.1±109.7	19.0±6.1

mean±SD

DOF : dysbaric osteonecrosis of the femoral head

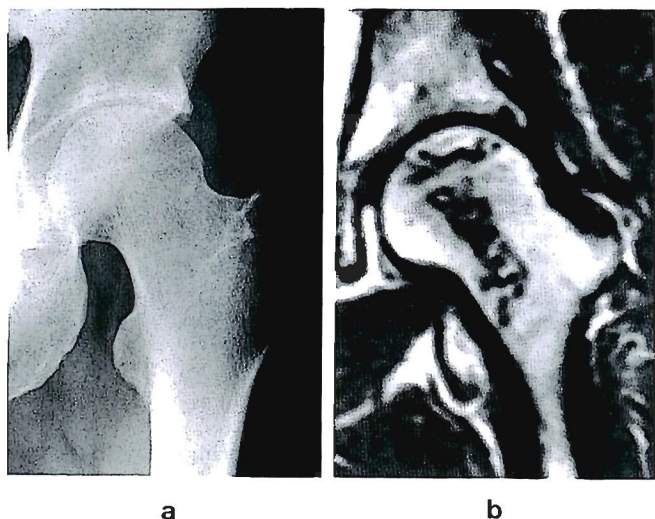


Fig. 2 The case with normal radiographic finding (a) and abnormal T1-weighted MRI showing multiple band like and irregularly waved low intensities (b).

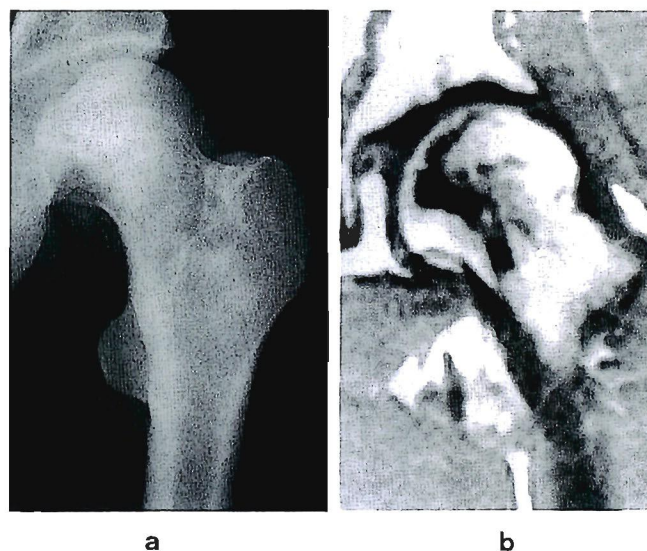


Fig. 3 The case of type A3 lesion on roentgenogram and its MRI.

- a. Roentgenogram: Mass opacity.
- b. T1-weighted MRI: Irregularly continuous and unclearly defined low intensity area from head to neck of the femur.

大腿骨頭壊死症の発症要因について検討した。対象とする群間の発生率の差の検定には χ^2 検定を行い、各パラメーターの平均値の差の検定にはMann-WhitneyのU検定を行った。

結果

I. X線像による大腿骨近位部骨病変の分類

X線像では、81人160股（人工骨頭置換術、杉岡式前方回転

骨切り術を受けていた2股は除外)のうち43人58股（両側例15人）に骨病変を認め、38人は両股とも正常であった。正常股は全体では102股であった。骨病変はA型が21股、B型が34股、C型が3股に分類された。さらに亜型分類ではA1分節状硬化が1股、A2線状硬化が10股、A3塊状硬化が5股、A4離断線形成が1股、A5関節面陥没が2股、A6骨関節症が2

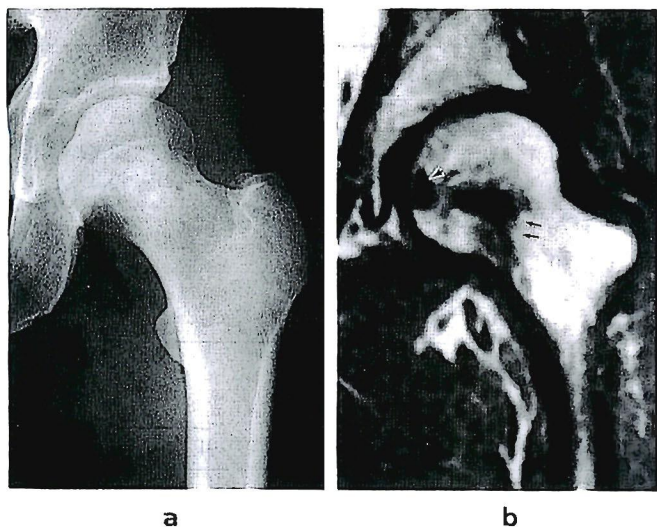


Fig. 4 The case of type B2 lesion on roentgenogram and its MRI.

- a. Roentgenogram: Irregular calcified areas.
- b. T1-weighted MRI: Large low signal intensity area (arrow) is seen in the middle of the femoral head which is larger than the calcified areas on roentgenogram and extends to the femoral neck. Small low signal intensity area (arrow head) is also found in the medial aspect, that can not be found in roentgenogram.

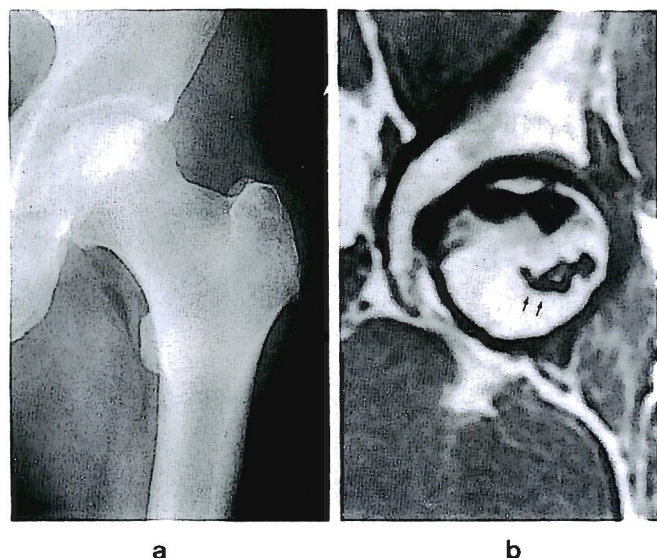


Fig. 5 The case of type A2 lesion on roentgenogram and its MRI.

- a. Roentgenogram: Linear opacity.
- b. T1-weighted MRI: Multiple lesions of well defined low signal intensity. The lower lesion (arrow) can not be recognized on roentgenogram.

股で、B1 限局性石灰化が10股、B2 不規則石灰化が9股、B3 限局性脱石灰化が15股であった。

II. 大腿骨近位部骨病変のX線所見とMRI所見の比較

X線検査とMRI検査の両方を受けた43人85股（杉岡式回転

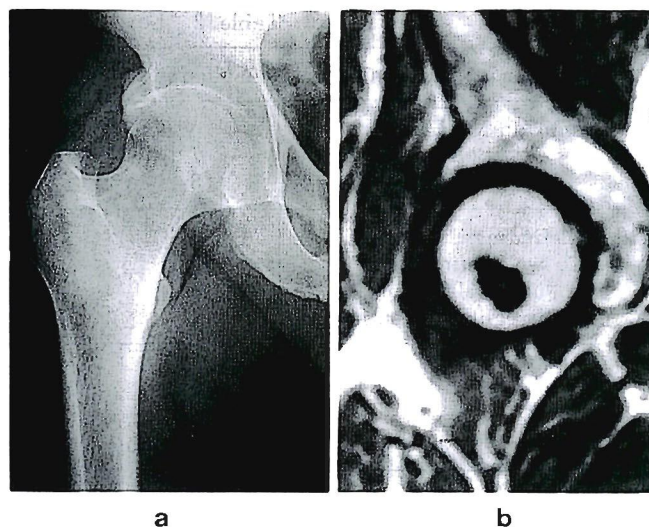


Fig. 6 The case of type B1 lesion on roentgenogram and its MRI.

- a. Roentgenogram: Localized calcification.
- b. T1-weighted MRI: A well-defined low signal intensity.

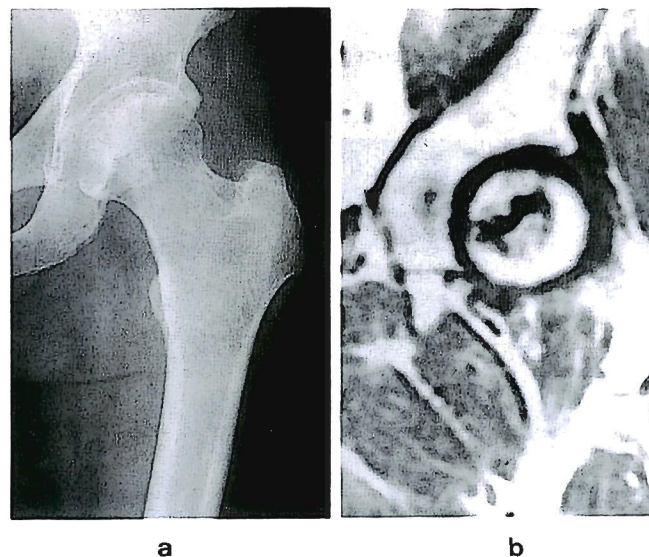


Fig. 7 The case of type A3 lesion on roentgenogram and its MRI.

- a. Roentgenogram: Mass opacity.
- b. T1-weighted MRI: Unclearly defined low intensity area.

骨切術後の1股を除く)についてMRI所見とX線所見とを比較検討した。MRI T1強調画像で低信号を呈したものは85股中41股(X線像ではA型15股、B型21股、C型1股、正常像4股)で、残り44股は正常(X線像も正常像)であった。X線像で検出された骨病変37股は全てMRIで低信号像として検出され、逆にMRIが正常でX線像で骨病変が検出された症例はなかった。したがって大腿骨近位部骨病変の陽性率はX線像が43.5% (37股/85股)、MRIが48.2% (41股/85股)となり、両検査の陽性率に有意差はなかった(χ^2 検定 $p=0.54$)。しかしX線像では正常であった48股中4股にMRIでは広範囲で明瞭な低信号像が検出され (Fig. 2), またX線像で骨病変を

Table 4 Comparison of drinking alcohol beverage between control group, DOF group and DOF subgroups

	heavy drinker (%)	drinking period (years, mean±SD)	subjects over 12years of drinking period (%)
Control	16/38 (42.1%)	5.2±8.6	7/34 (20.6%)
DOF	20/43 (46.5%)	12.1±14.2	19/43 (44.2%)
excluding the type B3	17/30 (56.7%)	15.1±14.8	16/30 (53.3%)
B3 DOF	3/13 (23.1%)	5.2±10.3	3/13 (23.1%)

*p<0.05, **p<0.01

heavy drinking : over 1.5liter of beer or 540ml of sake or 360ml of Awamori or two glasses of double whisky per day
DOF: dysbaric osteonecrosis of the femoral head

Table 5 Comparison of BMI between control group, DOF group and DOF subgroups

	BMI (mean±SD)	BMI 27 or more (%)
Control	24.7±3.2	7/37 (18.9%)
DOF	25.3±3.8	13/40 (32.5%)
excluding the type B3	26.2±4.0	12/27 (44.4%)
B3 DOF	23.5±2.6	1/13 (7.7%)

*p<0.05

BMI: Body Mass Index (kg/m²)

DOF: dysbaric osteonecrosis of the femoral head

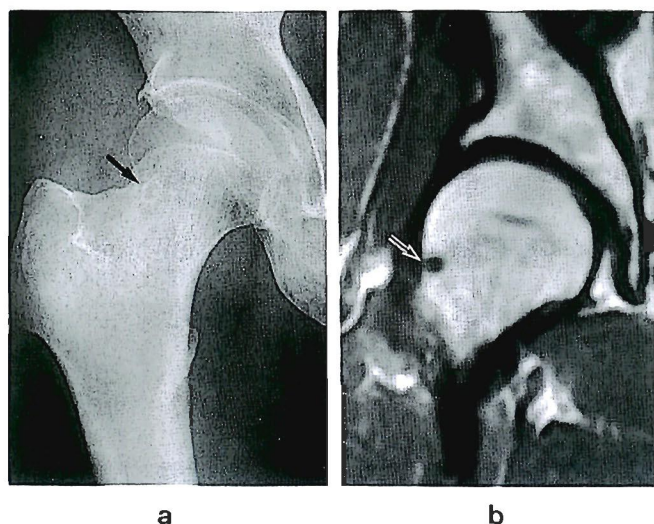


Fig. 8 The case of type B3 lesion on roentgenogram and its MRI.

- Roentgenogram: A small cystic lesion (arrow) is seen on the lateral side of the femoral neck.
- T1-weighted MRI: A small and well-defined low signal intensity (arrow).

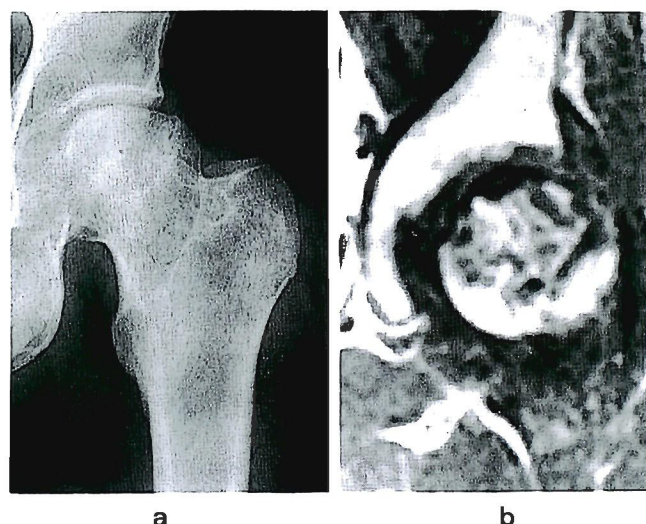


Fig. 9 The case of type A5 lesion on roentgenogram and its MRI.

- Roentgenogram: Collapse of the cortex.
- T1-weighted MRI: A peripheral convex and band like low intensity. The proximal site of the band shows inhomogeneous pattern.

認めた37股中21股 (A型15股中11股, B型21股中9股, C型1股中1股) にX線像の骨病変に比べて明らかに広範な低信号像を描出した (Fig. 3, 4, 5). 全体では85股中25股 (29.4%) にMRIはX線像で確認できなかった広範囲の骨病変を描出していた. またMRIの低信号像は41股中22股 (53.7%) では単発性で, 残り19股 (46.3%) では多発性であった. 低

信号像の形態は境界明瞭な輪郭を持つ像 (Fig. 6 b) や境界不明瞭なびまん性像 (Fig. 7 b) や不規則に連続する像 (Fig. 2 b, 3 b, 4 b) として見られるが (それぞれ27股, 26股, 18股), これらの低信号像はしばしば境界明瞭な部分と不明瞭な部分が混在し, 病変の大きさは小さい範囲の低信号像 (Fig. 8 b) から大腿骨頭~頸部に至る大きい範囲の低信号像まで大

Table 6 Comparison of the number of persons who have experienced bends and "fukashi" between control group and DOF group

	bends episode (+)	"fukashi" episode (+)
Control	27/38 (71.1%)	13/32 (40.6%)
DOF	39/43 (90.7%) □ *	26/40 (65.0%) □ *

*p<0.05

DOF : dysbaric osteonecrosis of the femoral head

Table 7 Comparison of the incidence of hip bends and hip pain between normal hip group and DOF hip group

	hip bends episode (+)	hip pain (+)
normal hip	21/102 (20.6%)	13/102 (12.7%)
DOF hip	23/58 (39.7%) □ **	18/58 (31.0%) □ **

**p<0.01

DOF : dysbaric osteonecrosis of the femoral head

Table 8 Comparison of depth of diving and numbers of DCS experienced between control group and DOF group

	depth (m)					numbers of DCS experienced					
	< 9	10~19	20~29	30~39	40<	0	1~5	6~10	11~15	16~20	21<
Control	2	11	14	6	5	4	21	3	4	1	2
DOF	3	10	15	12	2	2	25	7	2	1	3

DCS : decompression sickness

DOF : dysbaric osteonecrosis of the femoral head

小様々で一定の形態を示さず多様性に富んでいた (Table 2). 特発性大腿骨頭壊死に特徴的な単発性で遠位彎曲凸のband状低信号像を呈したのはわずか3股 (Fig. 9)であった.

Ⅲ. アンケート項目と骨病変の関係

X線検査で異常のない者38人を対照群, 異常を有する者43人を骨病変群としてアンケート項目について両群間の比較検討を行った (項目 2, 3, 4, 5, 8, 12, 13, 14, 18, 19, 20では未回答例を認めた). 対照群の平均年齢は42.5歳 (24~64歳), 骨病変群の平均年齢は44.8歳 (24~68歳)であった (Table 3).

また減圧性骨壊死は脂肪髄に発生すると言われていた^{10, 11)}, B3骨病変 (限局性脱灰化)は全例大腿骨頸部の皮質骨ないし皮質骨近傍に病変が限局しており脂肪髄との関係が少ないように思われた. そこで骨病変と脂肪髄との関係をより鮮明にするためにB3骨病変の13例15股を除外した検討も行った (Table 4, 5).

A) 多量飲酒と骨病変

多量飲酒歴を有する者は対照群では38人中16人 (42.1%), 骨病変群では43人中20人 (46.5%)で両群間に有意差無く (χ^2 検定 $p=0.69$), 多量飲酒の平均飲酒期間は対照群では5.2年, 骨病変群では12.1年で骨病変群に長期間飲酒した者が多

かったが有意差は認められなかった (Mann-WhitneyのU検定 $p=0.1$). しかし飲酒期間12年以上は, 対照群では34人中7人 (20.6%, 未回答4人), 骨病変群では43人中19人 (44.2%)で両群間に有意差を認めた ($p<0.05$).

一方, 病変の局在より脂肪髄との関係が少ないと思われたB3骨病変 (13例15股)を除外して検討すると, 平均飲酒期間は対照群では5.2年, 骨病変群では15.1年であり両群間に有意差を認め ($p<0.05$), また飲酒期間12年以上は対照群では34人中7人 (20.6%), 骨病変群では30人中16人 (53.3%)であり両群間に有意差を認めた ($p<0.01$). B3骨病変群の多量飲酒者は13人中3人 (23.1%), B3以外の骨病変群の多量飲酒者は30人中17人 (56.7%)で両群間に有意差を認めた ($p<0.05$). また平均飲酒期間は前者で5.2年, 後者で15.1年で両群間に有意差を認めた ($p<0.05$). B3骨病変群はその他の骨病変群に比べ飲酒との関連が少ないと思われた (Table 4).

B) 肥満と骨病変

BMI (Body Mass Index, kg/m^2)の基準値は22, 正常範囲は20~24である¹²⁾. BMIの平均値は対照群では24.7, 骨病変群では25.3で両群間に有意差を認めなかった. BMI値27以上の肥満男子では高血圧, 耐糖能異常, 高コレステロール血症, 心電図異常など成人病の発生率が有意に上昇するとの報告がある¹³⁾. BMI値27以上の肥満は, 対照群で37人中7人 (18.9

%, 未回答1人), 骨病変群で40人中13人(32.5%, 未回答3人)で骨病変群の出現率が高い傾向を認めたが両群間に有意差は認められなかった。

しかし飲酒期間と同様に全体からB3骨病変を除外して検討するとBMI値27以上の肥満は対照群では37人中7人(18.9%), 骨病変群では27人中12人(44.4%)であり両群間に有意差を認めた($p < 0.05$)。BMIの平均値はB3骨病変群では23.5, B3以外の骨病変群では26.2であり両群間に有意差を認めた($p < 0.05$)。BMI値27以上の肥満はB3骨病変群では13人中1人(7.7%), B3以外の骨病変群では27人中12人(44.4%)であり, B3以外の骨病変群で有意に肥満が多かった($p < 0.05$)。B3骨病変群ではその他の骨病変群に比べて肥満との関連が少くないと思われた(Table 5)。

C) ベンズと骨病変

ベンズとは急速減圧時の骨関節の疼痛である。減圧症状ではベンズが66人と最多で, 以下麻痺と知覚障害が21人, めまい19人の順であった(Table 1, 項目16)。対照群では38人中27人(71.1%), 骨病変群では43人中39人(90.7%)がベンズを経験しており骨病変群は対照群に比べベンズ経験者が有意に多かった($p < 0.05$) (Table 6)。一方股関節のベンズに限って検討すると, 骨病変のない正常股102股中21股(20.6%), 骨病変を認めた58股中23股(39.7%)にベンズを認め両群間に有意差を認めた($p < 0.01$) (Table 7)。

D) ふかしと骨病変

海中からの急速浮上後減圧症に罹患した場合, 減圧症状を改善させる目的でふかしと呼ばれる現場での潜水再加圧がしばしば行われる。対照群32人中13人(40.6%, 未回答6人), 骨病変群40人中26人(65%, 未回答3人)がふかし経験者であり, 骨病変群にふかし経験者が有意に多かった($p < 0.05$) (Table 6)。

E) 股関節痛と骨病変

調査時23人31股関節に何らかの痛みを有していた(Table 1, 項目21)。股関節痛と骨病変の関係を見ると, 骨病変のない102股中13股(12.7%), 骨病変を認めた58股中18股(31.0%)に股関節痛を認め両群間に有意差を認めた($p < 0.01$) (Table 7)。有痛性の股関節31股のうちX線検査とMRI検査の両方を受けたのは21股で, X線像が正常でMRIも正常は7股, X線像が正常でMRIが異常(骨病変を確認)は1股, 両検査とも異常は13股であった。

F) その他の項目と骨病変

喫煙歴, 潜水開始年齢, 潜水歴, 一日の潜水時間, 月あたりの潜水日数 (Table 3), 潜水深度, 減圧症の経験回数 (Table 8) および潜水手段, 減圧症の初回時年齢について骨病変と対照群との間には有意差を認めなかった。

考 察

I. 減圧性骨病変のX線所見とMRI所見の比較検討

KahlstromはX線所見の比較的大きな骨病変が骨壊死であることを病理組織学的に証明したが¹⁰⁾, X線分類の全ての減圧性骨病変が骨壊死であることを病理組織学的に証明した報告はない。Lehnerらは, ヒツジの減圧性骨壊死モデルを作りX

線所見と組織所見の対比を行ったところ, X線所見で骨病変を示した部位から採取した組織はいずれも組織学的に骨壊死であった。逆に組織学的に骨壊死と診断された長管骨の53の部位のうち27の部位がX線検査では正常(false negative)であった。すなわちX線検査は減圧性骨壊死の検出にspecificityは100%と高値であったが, sensitivityは47%と低値であった¹⁵⁾。

特発性大腿骨頭壊死の検出にMRI検査は早期発見が可能で従来の放射線学的診断法より優れており, 現在, 壊死の発症および壊死範囲の判定にかかせない検査となっている。大腿骨頭壊死のMRIの特徴的变化はT1強調画像による異常低信号域の出現である。組織学的に脂肪組織が他の組織に置換された場合低信号域となる^{1,2,5)}。久保らは単純X線像では異常が見られない早期にMRIでは異常像がとらえられfalse negative症例はなく, MRIが陰性の場合かなり確実に大腿骨頭壊死症は否定できると報告した¹⁾。大園らは, 組織学的検索でMRIに異常が認められた場合には組織学的変化が必ず認められること, MRIが正常なら組織学的にも壊死のないことを証明した⁶⁾。

そこで私達はX線像上の全ての型の骨病変とMRIとを比較検討した。MRIによる骨病変の陽性率は48.2%でX線検査による陽性率は43.5%と有意差はなかった。X線像上の骨病変は全てMRIでもT1強調低信号像を示しており骨病変が骨壊死である可能性が示唆された。またMRIは85股中25股(29.4%)でX線像で確認できなかった広範囲の病変を描出しており, 特発性骨壊死の検出同様減圧性骨壊死の検出においてもMRI検査はX線検査より鋭敏な描出能を有している可能性が考えられた。またX線像で出現頻度が最多であったB3脱灰像は, 大腿骨頭部皮質骨ないし皮質骨寄りの狭い範囲に局限し特にX線正面像では正常骨梁像との鑑別困難例が多かったが, MRIでは病変部を明瞭な低信号像として描出でき鑑別に有用であった(Fig. 8)。一方, MRIでは骨壊死以外の病変が描出されたりX線像では検出できない修復の完了した壊死部が描出されることがあるとの報告がある⁶⁾。MRI検査のfalse positiveがどの程度あるかは本研究では不明であり今後, 組織学的検証を行っていく必要がある。

II. 減圧性大腿骨頭壊死症のMRI T1強調低信号像の特徴

特発性大腿骨頭壊死症のMRI T1強調画像所見の特徴は, 遠位彎曲凸のband状低信号像の出現で, band像の近位が壊死部で^{3,4)}, 近位の壊死部に脂肪組織が存在する時には高信号を呈するが, 次第に修復組織に置換されてくると, やがて低信号の入り混じったinhomogeneous patternから低信号のみのhomogeneous patternへと経時的に変化すると言われている^{1,2)}。特発性大腿骨頭壊死症は原因不明の血行障害に基づく虚血性骨壊死疾患であり, 二宮らは四肢の虚血性壊死では循環血流量が低下すれば末梢から順次血行障害に陥るが, 大腿骨頭の壊死像も同様に前上方外側から遠位に向かって順次遠位凸の曲面を形成すると報告した²⁾。

減圧性骨病変のMRI異常像は小さな範囲の低信号像から大腿骨頭から骨幹部に至るような大きな範囲の低信号像まで大小様々であった。低信号像の形態を篠田らは15名のダイバーのMRIによる検討から境界不明瞭なびまん性像, 境界明瞭な輪郭を持つ像, これらの像が不規則に連なった像に分類した⁷⁾。しかし私達の結果ではこれらの像はしばしば混在し篠田らが報告したような単発像を呈したのは約半数(53.7%)で残り(46.3%)は多発像を呈していた(Table 2)。特発性大腿骨

頭壊死症のような単発性で典型的遠位凸のband像を示したの
はわずか3股であった (Fig. 9)。

減圧性骨壊死の発症には骨コンパートメント症候群と血管
閉塞による血行障害の両方の要因が関わっている¹⁶⁾。減圧性骨
壊死の発生母地は脂肪髄であり、脂肪組織は他の組織に比べ
て圧縮空気の窒素ガスが約5倍以上も溶解しやすかつ脂肪
髄内の血流は停滞しやすい。そこで不適切な減圧により気泡
が発生すると骨髄腔の組織圧が上昇し骨コンパートメント症
候群に進展する。さらに血管内の窒素気泡は気泡塞栓の形成
と凝固系の活性化を引き起こす。また脂肪細胞内に溶解して
いた窒素ガスの気泡化により脂肪細胞が破裂すると脂肪滴が
放出され凝固系を活性化し骨髄の血管内血栓形成を促進する¹⁰⁾。
骨コンパートメント症候群による血管の圧迫、気泡塞栓と血
栓による完全な虚血が発生すると4時間後に骨細胞は死滅す
るとの報告もある¹⁴⁾。

減圧性骨壊死症のMRI T1低信号像は血行障害に基づく虚
血性骨壊死と窒素ガスの気泡化による脂肪細胞壊死の程度に
より多様化すると思われる。骨障害を複数回きたしたり大腿
骨頭の圧潰が加わると画像はさらに複雑になるとと思われる。
遠位凸のband像を示した3股は血行障害が主体の虚血性骨壊
死症と考えられるが、特発性か減圧性大腿骨頭壊死か鑑別す
ることは本調査では不可能であった。

III. 減圧性大腿骨頭壊死症の発症要因

急速減圧が減圧性骨壊死の原因であるとの報告は多いが^{17), 18)}、
今回調査したダイバーの多くが標準減圧表に従わない経験的
減圧を行っていたため、減圧速度の評価はできなかった。本
研究では急速減圧以外の減圧性骨壊死の発症要因について検
討した。

A) 肥満および飲酒と骨病変

肥満と飲酒は減圧性大腿骨頭壊死発症の危険因子であった。
廣畑らは実験動物のアルコール投与群と高コレステロール食
群の骨髄の病理所見を調べたところ骨細胞内脂質顆粒蓄積と
骨髄腔の脂肪細胞への置換を認めたと報告した^{19), 20)}。人体でも
同様に肥満や飲酒が骨髄への脂肪の蓄積を引き起こすと考え
られる。骨髄への脂肪の蓄積は潜水加圧時に脂肪内へ溶解す
る窒素ガスの量を増大させるため不適切な減圧時に骨壊死発
症の危険性を高めるとと思われる。

一方B3骨病変群では他の骨病変に比べて飲酒や肥満との関
連が少く (Table 4, 5), 骨髄への脂肪の蓄積も少ないと思わ
れる。またB3骨病変は全例解剖学的に脂肪髄の割合の少ない
大腿骨頭部の皮質骨ないし皮質骨近傍に限局していた (Fig.
8)。川島らもB3骨病変は大腿骨頭部に好発すると報告した
がその理由は述べていない⁸⁾。またX線所見では他の骨病変が
全て骨硬化像であるのに対しB3骨病変は単発状あるいは多房
状にくり抜いたような小限局性脱灰像であった。X線像上大
腿骨頭部の限局性脱灰像は米国成人の5%に見られnormal
variantであるとの報告がある²¹⁾。Daenenらは大腿骨頭部に脱
灰像を呈した3症例中2例がactive runnerであったことより、
周囲軟部組織との慢性的な摩擦が脱灰の原因ではないかと報
告したが減圧症との関係については述べていない²⁴⁾。B3骨病
変が真の減圧性骨壊死かどうか組織学的検索を行う必要があ
ると思われた。

今回のアンケート調査では個々の飲酒量が骨病変発症に与
える影響については、正確な飲酒量についての回答が得られ

なかったため検討から除外した。ところで多量飲酒は特発性
大腿骨頭壊死症の危険因子の一つであり、今回の対象症例の
骨病変が特発性か減圧性か疑問が残る。X線像及びMRIの結
果より遠位凸のband像を呈したのはわずか3股であったこと
より、今回の調査例には特発性のみの症例は少なく多くの症
例では減圧性の要因が発症に関与していると思われた。

B) ベンズと骨病変

減圧症状のなかではベンズが最多頻度で全対象者81人中66
人 (81.5%) がベンズを経験していた。湯佐らは減圧症の治
療を行った症例の大部分 (81.1%) はベンズ経験者であった
と報告した²⁵⁾。骨病変群では対照群に比べてベンズ経験者の発
生頻度が有意に高かった (Table 6, χ^2 検定 $p < 0.05$)。ベン
ズを経験した股関節と経験していない股関節では骨病変の発
生頻度に有意差を認めた (Table 7, χ^2 検定 $p < 0.01$)。また
ベンズの発生部位は肩・膝・股関節の順であった。骨病変は
必ずしもベンズ発生部位と一致していないとの報告もあり⁸⁾、
ベンズ発生関節のみでなく他の関節の評価も考慮すべきであ
ると思われた。

C) ふかしと骨病変

潜水の現場で減圧症状を改善させる目的でふかしと呼ばれ
る潜水再加圧が行われているが、逆にふかし経験者に骨病変
が多く発症していた (Table 6, $p < 0.05$)。ある一定深度以
上に長時間潜水した後は、窒素ガスは体内に溶解し、12時間
以内に繰り返し潜水を行うと窒素ガスは体内に蓄積され、こ
の体内残留窒素は12時間から24時間以上かけて徐々に排出さ
れる²⁶⁾。ふかし経験者では未経験者に比べ減圧症を発症する
ような無理な潜水を行っていた可能性は否定できないが、ふか
しは繰り返し潜水することと同様に窒素ガスの蓄積により骨
病変発症の原因となっている可能性がある。湯佐らはふかし
により大部分は症状が軽減されているか軽症のType I (皮膚
型, ベンズ) から重症のType II (呼吸循環器型, 中枢神経型)
への悪化例があることや脊髄型では大部分で症状が悪化して
おり問題であると述べている²⁷⁾。

D) 股関節痛と骨病変

骨病変のある股関節と無い股関節では股関節痛の発生頻度
に有意差を認めた (Table 7, $p < 0.01$)。大腿骨頭壊死の疼
痛の原因として一般に大腿骨頭の陥没変形や骨折が考えられ
るが、骨病変がありかつ有痛性であった股関節18股のうち明
らかな骨折や陥没を認めたのはわずか3股関節であった。疼
痛の原因として大腿骨骨髄内圧の上昇、関節内圧の上昇、滑
膜炎、筋肉痛等他の要因も検討する必要があると思われたが、
原因の検索にMRIが特に有効とは思われなかった。

E) その他の環境因子と骨病変

年齢や経験年数とともに骨病変の発生頻度が増加するとの
報告や最大潜水深度が20m以上あるいは30m以上で骨病変の
発生頻度は増加するとの報告がある^{8), 28)}。私達の今回の調査結
果では年齢・経験年数や潜水深度と骨病変の発症頻度に有意
な関係は認められなかった。喫煙は特発性大腿骨頭壊死の危
険因子の一つであると報告されているが²⁹⁾、私達の調査では減
圧性骨病変群と対照群との間に有意差は認められなかった。

F) サンプルングの問題点

骨病変群が43人に対し対照群が38人と対照群の人数が少なかった。これは症例収集が困難であったことを反映していると思われる。沖縄県内の漁業協同組合の協力も得て調査を行ったが呼びかけに応じないダイバーが多かった。また対象者は離島在住者が多く、近くにX線検査やMRI検査施設が無く、特にMRIの撮影は困難を極めた。検査は無作為抽出に行われたものではなく、被検者自身の同意に委ねられることとなり、自覚症状のある人、あるいは無理な潜水をしていると思っ

IV. 減圧症性骨壊死の予防・対策

標準減圧表に従った正しい減圧を行うことが骨壊死発症防止の最善策である。湯佐らはたとえ標準減圧表に従っても減圧症の発症はありうるが大部分は軽症で高気圧治療により完治する可能性が高いと報告している^{25, 27, 30)}。しかし潜水漁師の多くは減圧症の危険性を認識しながらも正しい減圧法に従っては漁はできないとの理由で無理な潜水をくり返していた。海洋資源の枯渇がより深くより長くという危険な潜水漁に拍車をかけていた。今回の調査結果からは壊死の具体的予防策はあまり得られなかったが、ふかし経験者に骨病変が多かったことからふかしは中止すべきであると思われた。また潜水時間が長くなった場合や繰り返し潜水を行った場合は残留窒素排出のためできるだけ翌日は潜水を取り止めるべきと思われる²⁶⁾。さらにBMI値27以上の肥満者、多量飲酒期間が12年以上の人、ベンズ経験者、股関節痛を有する人は減圧性大腿骨頭壊死の危険性が高いので定期的にMRI検査を受ける必要があると考える。

要約

- I. 減圧性骨病変の検出においてX線像とMRI T1強調画像の陽性率に有意差はなかったが、85股中25股(29.4%)でMRIはX線像では検出できなかった部位に明らかな低信号像を示した。
- II. 減圧性大腿骨頭壊死のMRI所見は特発性大腿骨頭壊死のMRI所見よりも大小様々で一定の形態を示さず多様性に富んでいた。また低信号像を呈した41股中19股(46.3%)は多発像であった。
- III. 肥満、飲酒、ベンズ、ふかし、股関節痛に関して対照群と骨病変群との間に有意差を認めた。

本研究の一部は平成7年度～平成9年度文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(研究課題番号07807141)により行った。

謝辞

稿を終えるにあたり、御校閲を賜りました琉球大学整形外科科学教室茨木邦夫教授ならびに症例収集に御協力下さいました琉球大学麻酔科学教室湯佐祐子助教授に深謝致します。

文献

- 1) 久保俊一: 特発性大腿骨頭壊死症のMRI. Orthop, 8: 55-

67, 1988.

- 2) 二宮節夫, 高取吉雄, 小久保宇: MR画像よりみた特発性大腿骨頭壊死症の病態. 整災外, 36: 21-27, 1993.
- 3) 久保俊一, 山添勝一: MRIによる特発性大腿骨頭壊死症の予見. 医のあゆみ, 168: 758-759, 1994.
- 4) 久保俊一, 藤岡幹浩: 大腿骨頭壊死症の軟骨病態とMRI. 関節外科, 14: 73-81, 1995.
- 5) 渥美敬, 黒木良克, 山野賢一, 佐藤哲夫, 村木 稔, 柘原俊久: 大腿骨頭壊死症に対するMRI, CTの適応と所見. 関節外科, 13: 83-93, 1994.
- 6) 大園健二: 特発性大腿骨頭壊死症におけるMRIの診断的意義. 別冊整形外科13 “新しい画像診断”, 210-214, 南江堂, 東京, 1988.
- 7) 篠田昌一, 長谷川幸治, 川崎章二, 田川信正, 岩田 久: 減圧症性骨壊死のMRI評価. 日整外会誌 71: S121, 1997.
- 8) 川島真人, 田村裕昭, 鳥巢岳彦, 林 皓: 減圧症における大腿骨頭壊死. 整外MOOK, 24: 239-269, 1982.
- 9) Ohta Y. and Matsunaga H.: Bone lesions in divers. J. Bone Joint. Surg. [Br], 56: 3-16, 1974.
- 10) 川島真人, 野呂純敬: 減圧性骨壊死. 臨スポーツ医, 11: 1025-1031, 1994.
- 11) 北野元生, 仙波伊知郎, 浦郷篤史: 羊における実験的減圧症に伴う無腐性骨壊死の発症. 日病理会誌, 81: 164, 1992.
- 12) 佐々木温子, 池田義雄, 後藤美帆, 松島慈子, 嵯峨園子: 20・30歳代におけるBMI増加からみた適正体重. 肥満研, 3: 34-38, 1997.
- 13) 清原 裕: 一般住民における肥満の頻度の時代的推移と肥満度が生命予後に及ぼす影響: 久山町研究. 肥満研, 4: 12-16, 1998.
- 14) Kahlstrom S.: Aseptic necrosis of bone. Surg. Gynecol. Obstet., 68: 129, 1939.
- 15) Lehner C.E., Adams W.M., Dubielzig R.R. and Palta M.: Dysbaric osteonecrosis in divers and caisson workers. Clin. Orthop. Relat. Res., 344: 330-332, 1997.
- 16) Jones J.P. Jr., Ramirez S. and Doty S.B.: The pathophysiologic role of fat in dysbaric osteonecrosis. Clin. Orthop. Relat. Res., 296: 256-264, 1993.
- 17) 川島真人, 鳥巢岳彦, 加茂洋志, 林 皓, 北野元生, 徳藤真一郎: 急性減圧症の4割検例の大腿骨頭病変について. 整外と災外, 26: 172-175, 1977.
- 18) Kitano M., Lehner C.E., Kawashima M., Taya Y. and Lanphier E. H.: Experimentally induced dysbaric osteonecrosis in sheep: a histopathological analysis. South Pacific Study, 13: 173-182, 1993.
- 19) 廣畑和志, 川井和夫: 特発性大腿骨頭壊死症の病因としての脂質代謝異常. 整災外, 26: 1009-1017, 1983.
- 20) 廣畑和志, 川井和夫: 特発性大腿骨頭壊死症の病因. Orthop, 7: 5-13, 1988.
- 21) Kawai K., Maruno H., Watanabe Y. and Hirohata K.: Fat necrosis of osteocytes as a causative factor in idiopathic osteonecrosis in heritable hyperlipemic rabbits. Clin. Orthop. Relat. Res., 153: 273-282, 1980.
- 22) 廣畑和志: 特発性大腿骨頭壊死症の発生病理における骨細胞の動向. 関節外科, 14: 9-14, 1995.
- 23) Pitt M.J., Graham A.R., Shipman J.H. and Birkby W.:

- Herniation pit of the femoral neck. AJR, 138: 1115-1121, 1982.
- 24) Daenen B., Preider K.W., Padmanabhan S., Brossmann J., Tyson R., Goodwin D.W., Bergman G. and Renick D. :Symptomatic herniation pits of the femoral neck. AJR, 168: 149-153, 1997.
- 25) 湯佐祚子: 減圧症の治療と予防. 日高気圧環境医学会誌, 21: 1-8, 1986.
- 26) 野呂純敬, 川寫真人: 減圧骨壊死に対する診断と治療. リウマチ科, 8: 297-313, 1992.
- 27) 湯佐祚子 : 琉球大学附属病院における減圧治療の現況と問題点. 日高気圧環境医学会誌, 23: 165-171, 1988.
- 28) 鳥巢岳彦, 加茂洋志, 川寫真人, 林 皓: 減圧症と骨関節の変化. 臨整外, 9: 308-318, 1974.
- 29) 廣田良夫, 杉岡洋一, 二宮節夫, 佛淵孝夫, 種子田齋, 大野良之 : 特発性大腿骨頭壊死症の疫学研究-関連要因の解明. 整形外科, 48: 893-898, 1997.
- 30) 湯佐祚子 : 減圧症. 最新医, 41: 313-320, 1986.